

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ในการสแกน

3 DIMENSIONAL CONSTRUCTIONS BY LASER SCANNER



เลขหมู่.....**73176**
เลขทะเบียน.....**10 ก.ศ. 2550**
วัน,เดือน,ปี.....

b. **11788161**
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ในการสแกน
3 DIMENSIONAL CONSTRUCTIONS BY LASER SCANNER



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ในการสแกน

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจุฑารัตน์ เขียวแจ่ม
2. นางสาวทิมมพร ตีพูล


.....
(ผศ.ดร. ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ในการสแกน

นางสาวจุฑารัตน์ เขียวแจ่ม รหัส 45010138

นางสาวทิมมพร คีพูล รหัส 45010304

ผศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ในโครงงานนี้กล่าวถึงการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ในการสแกน โดยหลักการคือ จะวางกล้อง ณ 2 ตำแหน่งในระนาบเดียวกัน เพื่อสร้างภาพสเตอริโอใน 2 มุมมอง เราจะนำภาพที่ได้ทั้งสองภาพนั้นมาคำนวณเพื่อหาพิกัดในระบบ 3 มิติ โดยใช้เลเซอร์เป็นตัวชี้ตำแหน่งที่เราจะนำมาพิจารณา จากนั้นพิกัดที่ได้ในระบบ 3 มิติจะถูกนำไปสร้างใหม่ในรูปของ 3 มิติ โดยการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 DIMENSIONAL CONSTRUCTIONS BY LASER SCANNER

Miss Jutarat Khiewjam ID. 45010138

Miss Thikhamporn Deephul ID. 45010304

Assist. Prof. Dr. Chuchat Pintavirooj Advisor

Educational Year 2005

Abstract

This project is about finding 3D coordinate of object using laser pointer. The key idea is based on stereoscopy in which 2 cameras are placed in the same plane to take 2-viewed image of the object. The object is scanned by a laser pointer. The image of the pointer is analyzed to find the position of the point. The 3D coordinate is computed using stereoscopy technique. The 3D result is displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีทั้งนี้เพราะได้รับคำแนะนำที่ดีและเป็นประโยชน์
อย่างมากในการดำเนินงานจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ รวมทั้งพี่ๆเพื่อนๆ ในชุมชน
ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด และที่สำคัญที่ขาดไม่ได้คือ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจและ
คอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ส่วนฮาร์ดแวร์	3
2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.1.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	3
2.1.1.2 การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม	4
2.1.1.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	4
2.1.1.3.1 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF	4
2.1.1.3.2 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON	4
2.1.1.4 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	6
2.1.1.5 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์	6
2.1.2 รีเลย์	6
2.1.3 เลเซอร์	7
2.1.4 มอเตอร์กระแสตรง	8
2.1.4.1 สเต็ปมอเตอร์และการควบคุม	8
2.1.4.2 ลักษณะเฉพาะของสเต็ปมอเตอร์	9
2.1.4.3 การขับสเต็ปแบบครึ่งสเต็ป (half step)	9
2.1.5 ไฟโต้ทรานซิสเตอร์ดีเทคเตอร์	10
2.1.6 กราฟิค 2 มิติ	10
2.1.6.1 จุด	10
2.1.6.2 เส้นตรง	11
2.1.6.3 รูปหลายเหลี่ยม	12
2.1.7 กราฟิค 3 มิติ	12
2.1.8 การเกิดภาพสเตอริโอ (Stereo Imaging)	13
2.1.9 เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ (Geometry for 3D Vision)	16
2.1.9.1 พื้นฐานของการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟของกล้อง	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9.2 การแปลงความยาวให้อยู่ในหน่วยพิกเซล	17
2.1.9.3 กรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง	18
2.1.9.4 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)	21
2.1.9.5 การหาพิกัด 3 มิติ ของจุดในฉากโดยใช้กล้อง 2 ตัว	23
2.1.10 การหาตัวแปรของคุณสมบัติกล้อง	25
2.1.10.1 ตัวแปรภายในกล้อง (Intrinsic camera parameters)	25
2.1.10.2 การหาจุดกึ่งกลางของกล้อง	25
2.2 ส่วนซอฟต์แวร์	26
2.2.1 การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C#	26
2.2.1.1 Microsoft.NET	26
2.2.1.2 ภาษา C#	26
2.2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล	26
2.2.2.1 การทำเป็นภาพขาว-ดำ	27
2.2.2.2 การลบภาพ	28
2.2.2.3 การทำเทมเพลตแมชชีน	28
บทที่ 3 การออกแบบฮาร์ดแวร์	30
3.1 กล้องวิดีโอดิจิทัล CCD	30
3.2 การ์ดทีวี (Card TV)	30
3.3 เลเซอร์	30
3.4 ตำแหน่งของกล้องและเลเซอร์	31
3.5 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง	31
3.6 วงจรที่ใช้ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง AT89C2051	32
3.6.1 ไอซี MAX232	32
3.6.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.7 วงจรที่ใช้ในการสลับการใช้งานของกล้อง 2 ตัว	34
3.8 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์	35
3.9 วงจรอินฟราเรด	36
3.10 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรม	38
4.1 โปรแกรมในการควบคุมการสลับการใช้งานของกล้อง	38
4.1.1 การส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์	38
4.1.2 การรับคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์	38
4.2 โปรแกรมในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์	39
4.2.1 การส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์	39
4.2.2 การรับคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์	39
4.3 โปรแกรมในการควบคุมการเปิด-ปิดเลเซอร์	40
4.3.1 การส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์	40
4.3.2 การรับคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์	40
4.4 โปรแกรมในการตรวจสอบตำแหน่งเลเซอร์เมื่อเริ่มต้นการทำงาน	41
4.4.1 การตรวจสอบสถานะลจิกของไมโครคอนโทรลเลอร์	41
4.5 โปรแกรมในส่วนการประมวลผลภาพ	41
4.5.1 การจับภาพของกล้อง	42
4.5.2 การประมวลผลภาพ	42
4.5.2.1 หน้าต่างของโปรแกรม	42
4.5.2.2 หลักการของการประมวลผลภาพ	44
4.5.2.2.1 ขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งเลเซอร์	44
4.5.2.2.2 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุ	45
4.6 การทำงานแบบอัตโนมัติในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ	46
4.6.1 โปรแกรมย่อยในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ 1 จุดแบบอัตโนมัติ	46
4.6.2 โปรแกรมย่อย Timer1_Tick	47
4.6.3 โปรแกรมหลักในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุแบบอัตโนมัติ	48
บทที่ 5 การทดลอง	49
5.1 การทดลองส่วนฮาร์ดแวร์	49
5.1.1 การทดลองส่วนของการสลับการใช้งานของกล้อง	49
5.1.2 การทดลองส่วนของกล้อง	49
5.1.2.1 การหาความยาวโฟกัสของกล้อง	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
5.1.2.2 การแปลงจากหน่วยเซนติเมตรให้เป็นหน่วยฟิสิกเซล	50
5.1.3 การทดลองส่วนการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์และส่วนของมอเตอร์	52
5.2 การทดลองส่วน โปรแกรม	53
บทที่ 6 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	75
6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	75
6.2 ปัญหาในการดำเนินงาน	75
6.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	75
ภาคผนวก ก รูปโครงการงานการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ	
ภาคผนวก ข ส่วน โปรแกรม	
ภาคผนวก ค วิธีการใช้งาน โปรแกรมการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ	
ภาคผนวก ง Datasheet	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำงานของการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
รูปที่ 2.1 ขาของ AT89C2051	2
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบภายในของรีเลย์	6
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรอย่างง่ายในการจ่ายไฟให้แก่เลเซอร์ไดโอด	7
รูปที่ 2.4 แสดงส่วนหัวของเลเซอร์ไดโอด	8
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรการทำงานของไฟไดทรานซิสเตอร์ดีแพคเคอร์	10
รูปที่ 2.6 จุดในระบบกราฟิก 2 มิติ	11
รูปที่ 2.7 เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ	11
รูปที่ 2.8 รูปแสดงตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ	12
รูปที่ 2.9 แบบจำลองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ	14
รูปที่ 2.10 การเกิดภาพสเตอริโอจากกล้อง 2 ตัว	14
รูปที่ 2.11 มุมมองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ	15
รูปที่ 2.12 แบบจำลองของระบบสร้างภาพ	16
รูปที่ 2.13 แสดงจุดศูนย์กลางของรูป	17
รูปที่ 2.14 ก) แบบจำลองการเกิดภาพจากกล้อง	19
รูปที่ 2.14 ข) เรขาคณิตของการเกิดภาพ	19
รูปที่ 2.15 ภาพของตารางหมากรุกที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกล้อง	23
รูปที่ 2.16 แสดงจุดสี RGB ในมุมมอง 3 มิติและ Gray scale ตั้งแต่สีดำ (จุดเริ่มต้น) ถึงสีขาว (1, 1, 1)	27
รูปที่ 2.17 รูปบล็อกไดอะแกรมแสดงการแปลงจากสี RGB ไปเป็นสีขาว-ดำ	28
บทที่ 3 การออกแบบฮาร์ดแวร์	
รูปที่ 3.1 ภาพกล้องวิดีโอดิจิทัล CCD	27
รูปที่ 3.2 ภาพเลเซอร์ที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งวัตถุ	27
รูปที่ 3.3 ภาพตำแหน่งของกล้องและเลเซอร์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง 3 โวลต์	31
รูปที่ 3.5	วงจรจ่ายแรงดันไฟตรง 5 โวลต์ , 9 โวลต์ และ 12 โวลต์	32
รูปที่ 3.6	แสดงขาของไอซี MAX232	32
รูปที่ 3.7	แสดงขาของ AT89C2051	33
รูปที่ 3.8	วงจรที่ใช้ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 3.9	วงจรที่ใช้ในการสลับการใช้งานของกล้อง 2 ตัว	34
รูปที่ 3.10	วงจรที่ใช้ในการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์	35
รูปที่ 3.11	วงจรอินฟราเรด	36
รูปที่ 3.12	วงจรจับสเต็ปมอเตอร์	36
บทที่ 4	การออกแบบโปรแกรม	
รูปที่ 4.1	Flow Chart ของโปรแกรมบน AT89C2051 ส่วนการสลับการใช้งานของกล้อง	38
รูปที่ 4.2	Flow Chart ของโปรแกรมบน AT89C2051 ส่วนการควบคุมการหมุนของมอเตอร์	39
รูปที่ 4.3	Flow Chart ของโปรแกรมบน AT89C2051 ส่วนการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์	40
รูปที่ 4.4	Flow Chart ในส่วนการตรวจสอบตำแหน่งเลเซอร์ เมื่อเริ่มต้นการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	41
รูปที่ 4.5	ภาพการจับภาพของกล้อง	42
รูปที่ 4.6	หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลภาพ	42
รูปที่ 4.7	ภาพถ่ายเมื่อนำเลเซอร์ชี้ที่วัตถุของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ตามลำดับ	44
รูปที่ 4.8	แสดงตำแหน่งของเลเซอร์ของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ตามลำดับ	45
รูปที่ 4.9	ภาพที่ได้จากการนำพิกัด(X, Y, Z) ที่คำนวณได้มาพล็อตในรูป 2 มิติ	46
รูปที่ 4.10	Flow Chart โปรแกรมย่อยในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ 1 จุดแบบอัตโนมัติ	46
รูปที่ 4.11	Flow Chart โปรแกรมย่อย Timer_Tick	47
รูปที่ 4.12	Flow Chart ของโปรแกรมหลักของการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ	48
บทที่ 5	การทดลอง	
รูปที่ 5.1	ภาพส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายของตารางหมากรุกที่จะนำไปคำนวณหาความยาวโฟกัส	50
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างภาพถ่ายตารางหมากรุกที่ระยะต่างๆ	51
รูปที่ 5.4 ตัวอย่างภาพตารางหมากรุกที่นำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ พร้อมแสดงพิกัดของจุดเริ่มต้น(x_1, y_1) และจุดสุดท้าย(x, y)	51
รูปที่ 5.5 ภาพวงจรที่ใช้ควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์และส่วนของมอเตอร์	52
รูปที่ 5.6 ภาพวัตถุรูปทรงต่างๆที่นำมาทดลอง	53
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการวัดห่างจากกล้องเพื่อทำการทดลอง	53
รูปที่ 5.8 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	54
รูปที่ 5.9 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	54
รูปที่ 5.10 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติที่ระยะ 90 เซนติเมตร	55
รูปที่ 5.11 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	55
รูปที่ 5.12 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	56
รูปที่ 5.13 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติที่ระยะ 90 เซนติเมตร	56
รูปที่ 5.14 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	58
รูปที่ 5.15 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	58
รูปที่ 5.16 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	59
รูปที่ 5.17 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	59

รูปที่ 5.18 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	60
รูปที่ 5.19 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	60
รูปที่ 5.20 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	62
รูปที่ 5.21 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	62
รูปที่ 5.22 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	63
รูปที่ 5.23 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	63
รูปที่ 5.24 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	64
รูปที่ 5.25 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้ มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	64
รูปที่ 5.26 ภาพวัตถุรูปโคนที่นำมาสแกน	66
รูปที่ 5.27 ภาพโคนที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (1)	66
รูปที่ 5.28 ภาพโคนที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (2)	67
รูปที่ 5.29 ภาพโคนที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (3)	67
รูปที่ 5.30 ภาพวัตถุรูปดาวที่นำมาสแกน	68
รูปที่ 5.31 ภาพดาวที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (1)	68
รูปที่ 5.32 ภาพดาวที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (2)	69
รูปที่ 5.33 ภาพดาวที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (3)	69
รูปที่ 5.34 ภาพวัตถุรูปหัวใจที่นำมาสแกน	70
รูปที่ 5.35 ภาพหัวใจที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (1)	70
รูปที่ 5.36 ภาพหัวใจที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (2)	71
รูปที่ 5.37 ภาพหัวใจที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (3)	71

	หน้า
รูปที่ 5.38 ภาพรูปสามเหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 60 เซนติเมตร	72
รูปที่ 5.39 ภาพรูปสามเหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	72
รูปที่ 5.40 ภาพรูปสี่เหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 60 เซนติเมตร	73
รูปที่ 5.41 ภาพรูปสี่เหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

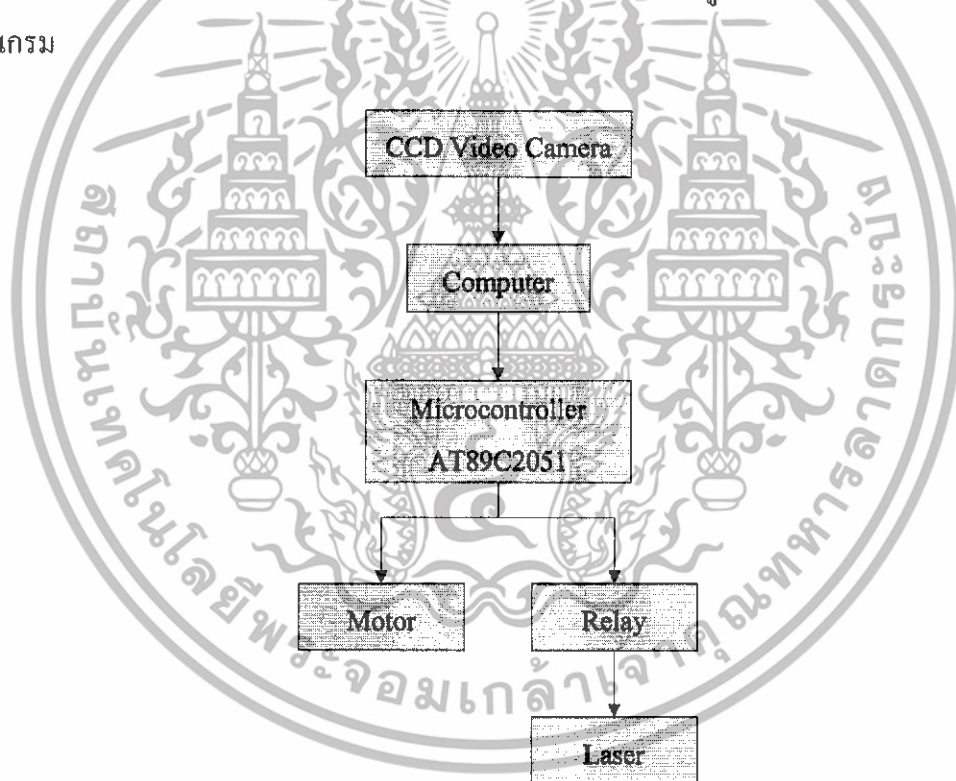
	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎี	
ตารางที่ 2.1 แสดงโหมมการทำงานของพอร์ตอนุกรม	5
ตารางที่ 2.2 แสดงการขับเฟสของสเต็ปมอเตอร์	9
บทที่ 3 การออกแบบบอร์ดแวร์	
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงหน้าที่การทำงานของขาต่างๆของ MAX232	33
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงคุณสมบัติพิเศษของพอร์ต3 ของ AT89C2051	33
บทที่ 5 การทดลอง	
ตารางที่ 5.1 ความยาวไฟกัสน์ที่ระยะต่างๆ	50
ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของการแปลงจากหน่วยเซนติเมตร ให้เป็นหน่วยฟิกเซล	52
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองของรูปสามเหลี่ยม ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	57
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	57
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ระยะ 90 เซนติเมตร	57
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองของรูปสามเหลี่ยม ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	61
ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	61
ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ระยะ 110 เซนติเมตร	61
ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองของรูปสามเหลี่ยม ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	65
ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	65
ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ระยะ 130 เซนติเมตร	65
ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองของรูปสามเหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะต่างๆ	74
ตารางที่ 5.13 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะต่างๆ	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในโครงการนี้กล่าวถึงการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุโดยใช้เลเซอร์ในการสแกน โดยหลักการคือจะวางกล้อง ณ 2 ตำแหน่งในระนาบเดียวกัน เพื่อสร้างภาพสเตอริโอใน 2 มุมมอง จากนั้นเรานำภาพที่ได้ทั้งสองภาพ มาทำการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio.NET ด้วยภาษาC# เพื่อคำนวณหาพิกัดในระบบ 3 มิติ โดยใช้เลเซอร์เป็นตัวชี้ตำแหน่งที่เราจะนำมาพิจารณา หลังจากนั้น คอมพิวเตอร์จะเป็นตัวส่งคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051 เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสลับการใช้งานของกล้องต่อไป จากนั้นเมื่อเราได้พิกัดในระบบ 3 มิติครบที่ต้องการแล้ว เราจะนำพิกัดในระบบ 3 มิติที่ได้ไปสร้างใหม่ในรูปของ 3 มิติ โดยการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ

จากรูปที่ 1.1 นั้นจะประกอบไปด้วยส่วนต่างดังต่อไปนี้

- 1. กล้องวิดีโอดิจิทัล CCD (Digital CCD Video Camera)** โดยกล้องดิจิทัลที่ใช้เป็นของ Digital CCD Video Camera (รุ่น TSUBOMI) เป็นตัวจับภาพแล้วส่งภาพที่จับได้ไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **คอมพิวเตอรื** จะเป็นตัวทำการประมวลผลภาพที่ได้จากกล้อง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio.NET ด้วยภาษา C# และยังเป็นตัวส่งคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย
3. **ไมโครคอนโทรลเลอร์** เบอร์ AT89C2051 เป็นตัวรับคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของรีเลย์
4. **วงจรมอเตอร์** จะใช้รีเลย์เป็นตัวควบคุม
5. **มอเตอร์** เราจะใช้มอเตอร์ในการเคลื่อนเลเซอร์ให้ไปในตำแหน่งต่างๆในระนาบเดียวกัน
6. **เลเซอร์** เราจะใช้รีเลย์เป็นตัวควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำภาพสเตอริโอใน 2 มุมมองมาประมวลผลภาพเพื่อคำนวณหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ

ขอบเขตของโครงการ

1. โปรแกรมสามารถตรวจหา (Detect) ตำแหน่งพิกัดของเลเซอร์ได้อย่างแม่นยำ
2. เมื่อได้ตำแหน่งพิกัดของเลเซอร์แล้ว สามารถนำไปคำนวณหาพิกัด 3 มิติของวัตถุได้อย่างถูกต้อง
3. สามารถนำพิกัด 3 มิติของวัตถุไปสร้างใหม่ใน 3 มิติ โดยการเขียนโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

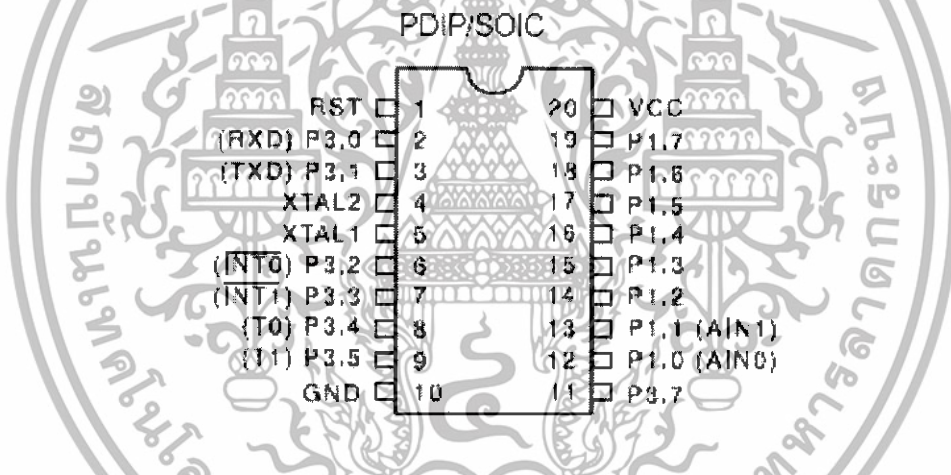
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ส่วนฮาร์ดแวร์

2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถมากมาย ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณทางเอาต์พุต หน่วยความจำ และ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ได้มากมายโดยที่สามารถเลือกจากความถี่การสร้างระบบควบคุมขนาด 8 บิต มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกไม่มากนัก โดยในโครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C2051 ซึ่งมีขาแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขาของ AT89C2051

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C2051 นั้นเป็นไอซีที่มี 20 ขา มีพอร์ตให้เลือกใช้งาน 2 พอร์ต ซึ่งต่างจากเบอร์ AT89C51 ที่มี 40 ขาและมีพอร์ตให้เลือกใช้งานถึง 4 พอร์ต

2.1.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชเมมโมรี (Flash Memory) ขนาด 2 กิโลไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรมภายในชิปขนาด 128 ไบต์ และบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบ 2 ทิศทาง สามารถใช้งานได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
- ไทมเมอร์/เคาท์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัพต์ได้ 5 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรถ่ายโอนสัญญาณนาฬิกาภายในชิป

2.1.1.2 การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จะมีวงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ (วงจรถ่ายโอนแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส

2.1.1.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัว ดังนี้

2.1.1.3.1 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register) มีขนาด 8 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม ข้อมูลนั้นจะถูกส่งออกไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาจากขา RxD หรือขา P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

2.1.1.3.2 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register) SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม ซึ่งประกอบด้วย บิตต่างๆ 8 บิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0 (Serial port mode bit 0): ปกติจะใช้ร่วมกับบิต SM1 เพื่อกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม การเข้าถึงบิตนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเมื่อการเคลียร์บิต SMOD ซึ่งก็คือ บิต 6 ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ PCON ในกรณีที่ใช้ความสามารถในการตรวจจับข้อผิดพลาดของเฟรมบิตข้อมูลนี้ บิตนี้จะแจ้งความผิดพลาดโดยจะเซตเป็น 1 ทันทีเมื่อพบว่าไม่สามารถตรวจจับบิตหยุด (stop bit) ของข้อมูลของพอร์ตอนุกรมได้

SM1 (Serial port mode bit 1): ใช้ร่วมกับบิต SM0 ในการกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม โดยกำหนดได้ดังนี้

SM2 (Serial port mode bit 1): ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโพรเซสเซอร์ (multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าบิตนี้เป็น “1” บิต RI จะไม่แอกทีฟ ถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “0” (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่ แอกทีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 แสดงโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม

SM0	SM1	โหมด	รายละเอียด	อัตราบอด(Baud rate)
0	0	0	ซีพรีจิสเตอร์	ความถี่สัญญาณนาฬิกา/6
0	1	1	UART 8 บิต	ปรับค่าได้
1	0	2	UART 9 บิต	ความถี่สัญญาณนาฬิกา/32
1	1	3	UART 9 บิต	ปรับค่าได้

REN (Enable serial reception): ใช้ในการเอ็นเอเบิลความสามารถในการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม “1” เอ็นเอเบิลการรับข้อมูล และ “0” ดิสเอเบิลการรับข้อมูล

TB8 (Transmit data bit 8): ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรม

RB8 (Receive data bit 8): ใช้เก็บข้อมูลบิต 8 ของข้อมูลที่รับเข้ามาของพอร์ตอนุกรม เมื่อทำงานในโหมด 2 และ 3 ในโหมด 1 ถ้าบิต SM2 = 0 ข้อมูลของบิตนี้จะเก็บไว้ที่บิตนี้ ไม่ใช้งานบิตนี้ในโหมด

TI (Transmit Interrupt flag): ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม เมื่อทำงานในโหมด 0 บิตนี้จะเซตเมื่อมีการส่งข้อมูลบิต 7 หรือบิตที่ 8 ออกไป แต่ถ้าทำงานในโหมดอื่นบิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย

RI (Receive Interrupt flag): ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม เมื่อทำงานในโหมด 0 บิตนี้จะเซตเมื่อมีการส่งข้อมูลบิต 7 หรือบิตที่ 8 เสร็จสมบูรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าทำงานในโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อการรับบิตปิดท้ายดำเนินไปได้ครึ่งทาง นอกจากนี้การเซตบิตนี้ยังมีเงื่อนไขที่กำหนดโดยบิต SM2 ร่วมด้วย

2.1.1.4 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมด คือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจิสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้ UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้ UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่
4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้ UART ขนาด 9 บิต บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 แล้ว

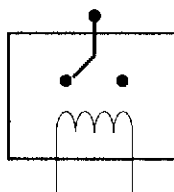
2.1.1.5 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่ ± 3 ถึง $\pm 12V$ ในขณะที่สัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ในระดับที่ทีแอล ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณ

ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณนี้ต้องทำการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จากระดับที่ทีแอลไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลรับจากคอมพิวเตอร์จากระดับของ RS-232 เป็นระดับที่ทีแอลเพื่อให้สามารถถ่ายทอดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างสมบูรณ์ ไอซีดังกล่าวมีด้วยกันหลายเบอร์จากหลายผู้ผลิต อาทิ MAX232 จาก MAXIM หรือ ICL232 จาก HARRIS เป็นต้น

2.1.2 รีเลย์

คือ สวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง เวลาที่เปิดมันมันจะสวิตช์ไปอีกทาง และเมื่อเปิดมันมันจะสวิตช์ไปอีกทาง ปกติจะมีขั้วเป็นของขดลวดทองแดง (coil) เมื่อเราจ่ายไฟรีเลย์จะทำการตัดต่อหน้าสัมผัส(contact)



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบภายในของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

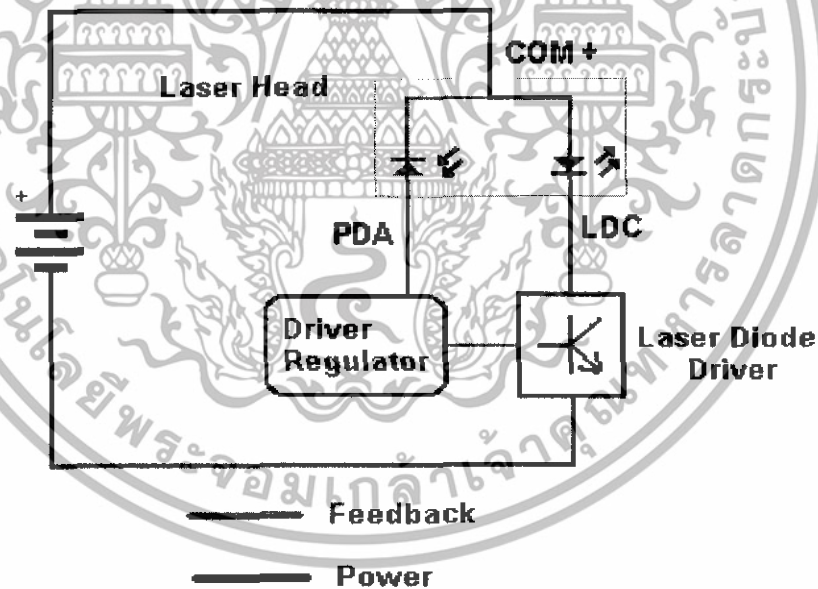
2.1.3 เลเซอร์

เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์โดยการกระตุ้น LED ให้ฉายแสงออกมาอย่างต่อเนื่อง เลเซอร์ไดโอดนั้นสามารถเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นแสง โดยถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ค่อนข้างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับความร้อนที่เกิดขึ้นเล็กน้อยกับแสงไฟที่สว่าง คุณสมบัติที่ทำให้ใช้เลเซอร์ใน Fiber optic มีอยู่ 5 ประการ คือ

1. มีขนาดเล็ก
2. มีแสงที่สว่างมาก
3. ลำแสงมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดของ optical fiber
4. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความน่าเชื่อถือสูง
5. สามารถที่จะปรับการเปิดและปิดด้วยความเร็วที่สูง

วงจรขับเลเซอร์

วงจรอย่างง่ายสำหรับการจ่ายไฟให้แก่เลเซอร์ไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.3 โดยส่วนใหญ่ภายในหัวเลเซอร์จะมีอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์อยู่สองชนิด นั่นคือ LD (laser diode) กับ PD (photodiode)

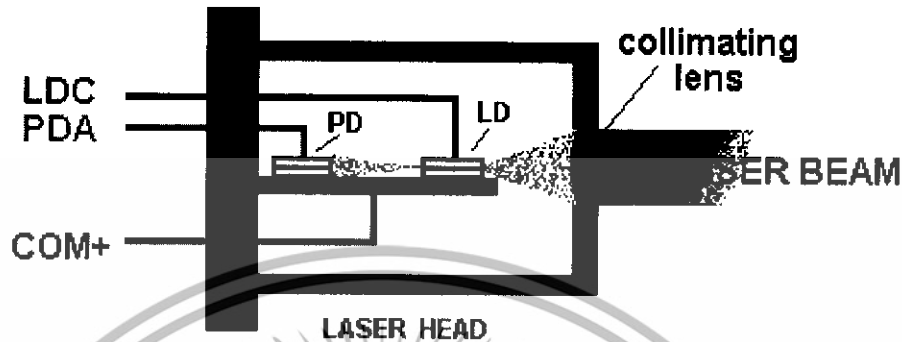


รูปที่ 2.3 แสดงวงจรอย่างง่ายในการจ่ายไฟให้แก่เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดจะไบอัสตรงเมื่อขั้วแคโทดต่อกับทรานซิสเตอร์ที่เป็นตัวไดร์ฟเพื่อจ่ายกระแส โดยขึ้นอยู่กับกระแส photodiode โฟโอดีไดโอดจะรีเวอร์สไบอัสเมื่อขั้วแอนโนดต่ออยู่กับ regulator ดังนั้นตัวควบคุมจะจ่ายสัญญาณกลับมาที่เลเซอร์ไดโอด driver แน่แน่นอนว่า feedback ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับมาก็คือเป็นแสงชนิดหนึ่ง ส่วนของลำแสงเลเซอร์ย้อนกลับเข้ามายังรอยต่อของ photodiode ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนหัวของเลเซอร์ไดโอด

จากรูปที่ 2.4 หัวของเลเซอร์ไดโอดจะมี 3 ขา: LDC (Laser diode cathode) , PDA (Photo Diode Anode) และ COM+ (common Positive Terminal) ข้างในหัวเลเซอร์ไดโอดพบว่าตัวเลเซอร์ไดโอดเองและโฟโตไดโอดใช้เรียงกระแสเลเซอร์ไดโอดโดยใช้รูปฟีดแบคด้านนอก

2.1.4 มอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์แบบกระแสตรง (DC motor) ในปัจจุบันสามารถจำแนกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับวิธีการสร้างการควบคุม สำหรับการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงจะใช้กระแสไฟตรง (direct current) จ่ายให้กับขดลวดสนามไฟฟ้า หรือขดลวดผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายใน สำหรับแรงบิดของมอเตอร์จะขึ้นกับเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้าหากเส้นแรงแม่เหล็กมากจะทำให้มีแรงบิดสูง มอเตอร์กระแสตรงส่วนใหญ่ถ้าหมุนด้วยความเร็วสูงจะมีแรงบิดต่ำ ถ้าหมุนด้วยความเร็วต่ำจะมีแรงบิดสูง

2.1.4.1 สเต็ปมอเตอร์และการควบคุม

มอเตอร์กระแสตรงเหมาะสำหรับงานหมุนที่ต่อเนื่อง เราสามารถควบคุมความเร็วและแรงบิดได้ แต่ไม่สามารถควบคุมให้หมุนเป็นระยะมุมที่ต้องการได้ ตัวมอเตอร์สเต็ป (Stepping motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับกระแสไฟตรงที่สามารถนำมาใช้กับงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี โดยสามารถหมุนเป็นลำดับขั้นหรือสเต็ป (step) รอบแกนหมุนด้วยค่ามุม (step angle) ที่แน่นอน สเต็ปมอเตอร์นี้แบ่งออกเป็นสามประเภทใหญ่ คือ

1. แบบแม่เหล็กถาวร (permanent magnet:PM)
2. แบบแปรค่ารีลักแทนซ์ (variable reluctance:VR)
3. แบบผสม (hybrid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเต็ปมอเตอร์แบบ PM ตัวโรเตอร์หรือแกนหมุนจะทำด้วยแม่เหล็กถาวร และมีสเตเตอร์ (stator) ทำด้วยขดลวด เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมันจะทำให้เกิดแรงผลัก ทำให้โรเตอร์หมุน และแม่จะไม่จ่ายกระแสไฟฟ้า แกนหมุนก็จะหยุดอยู่กับที่ด้วยแรงแม่เหล็ก ส่วนสเต็ปมอเตอร์แบบ VR แกนหมุนจะหมุนได้อย่างอิสระ ตัวโรเตอร์ทำด้วยสารเฟอร์โรแมกเนติกขนาดกำลังอ่อน ทำให้มีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อย ดังนั้นมอเตอร์แบบนี้จะมีความเร็วสูงกว่าแบบ PM ส่วนสเต็ปมอเตอร์แบบ hybrid จะเป็นการผสมกันระหว่างแบบ VR และ PM ซึ่งจะทำให้มีแรงบิดสูง และมีแรงจลน์ให้โรเตอร์อยู่นิ่งเมื่อไม่มีการจ่ายกระแสให้กับตัวมัน

2.1.4.2 ลักษณะเฉพาะของสเต็ปมอเตอร์

1. แรงดัน: ค่าแรงดันโดยส่วนใหญ่แล้วนั้นจะพิมพ์ไว้อยู่บนตัวมอเตอร์เลยหรือบางทีก็จะระบุไว้ใน datasheet ในบางครั้งเราจำเป็นต้องให้แรงดันมากเพื่อที่จะได้แรงบิดที่สูงจากมอเตอร์ แต่การทำเช่นนี้จะทำให้มอเตอร์ร้อนหรือเป็นการทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์ลดลง

2. ความต้านทาน: ความต้านทานต่อการหมุนก็เป็นลักษณะเฉพาะอีกประการของสเต็ปมอเตอร์ ความต้านทานนี้จะเป็นตัวตัดสินกระแสในมอเตอร์, แรงบิดของมอเตอร์และความเร็วในการหมุน

3. องศาต่อรอบการหมุน: องศาต่อรอบการหมุนนั้นถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเลือกสเต็ปมอเตอร์เพื่อใช้งาน ตัวแปรนี้เป็นตัวระบุจำนวนองศาที่หมุนไปในหนึ่งรอบ องศาต่อรอบการหมุนสามารถคำนวณได้โดยหาร 360 ด้วยจำนวนสเต็ปที่หมุนในหนึ่งรอบ ประกอบด้วย 0.72, 1.8, 3.6, 7.5, 15, และ 90

2.1.4.3 การขับเคลื่อนแบบครึ่งสเต็ป (half step)

การทำงานแบบนี้จะทำให้จำนวนสเต็ปของมอเตอร์มากขึ้นอีกเท่าตัวหนึ่ง โดยรูปแบบการขับเฟสเป็นไปดังตาราง

ตารางที่ 2.2 แสดงการขับเฟสของสเต็ปมอเตอร์

สเต็ป	เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

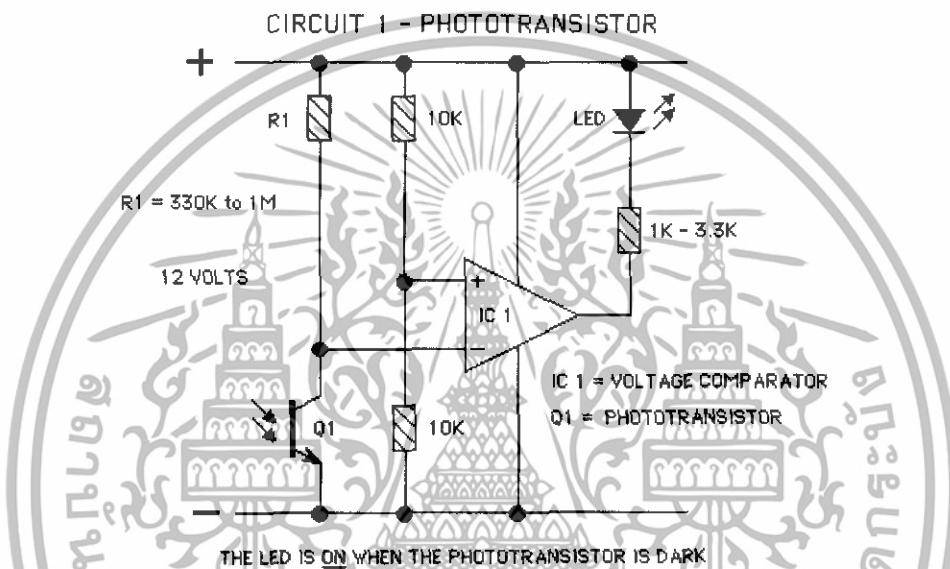
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 โฟโต้ทรานซิสเตอร์ดีเทกเตอร์

โฟโต้ทรานซิสเตอร์ดีเทกเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เปลี่ยนแสงเป็นแรงดันไฟฟ้า

หลักการทำงาน

ในวงจรนี้ เมื่อแสงตกลงบน Phototransistor (Q1) ความนำไฟฟ้าจะลดลงและแรงดันคร่อม Phototransistor จะเพิ่มขึ้น เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นเกิน $\frac{1}{2}$ เท่าของแรงดันแหล่งจ่าย เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบแรงดันจะ turn on หลอด LED ก็จะติด



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรการทำงานของ โฟโต้ทรานซิสเตอร์ดีเทกเตอร์

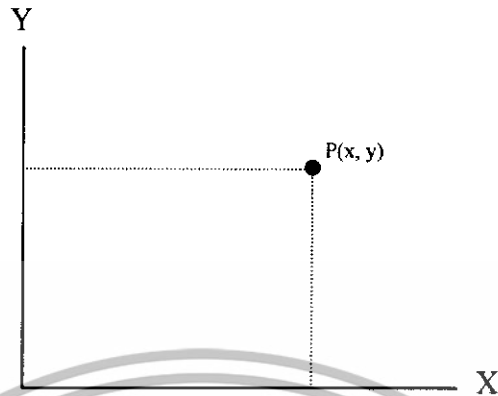
2.1.6 กราฟิกร 2 มิติ

ระบบที่เป็นพื้นฐานของระบบคอมพิวเตอร์กราฟิก คือ ระบบกราฟิก 2 มิติ เพราะภาพที่ได้จากระบบกราฟิก 2 มิติสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น รูปภาพต่างๆในระบบกราฟิก 2 มิติ ตำแหน่งของข้อมูลต่างๆจะถูกแทนที่ได้โดยตัวแปร 2 ตัว คือ (x, y) เมื่อ x คือระยะทางในแนวนอนจากจุดกำเนิด (origin) ใดๆ และ y คือระยะทางในแนวตั้งจากจุดกำเนิดเดียวกัน สิ่งที่สำคัญในระบบกราฟิก 2 มิติ คือ จุด (point) เส้นตรง (line) และรูปหลายเหลี่ยม (polygon) เนื่องจากสามารถที่จะนำสิ่งเหล่านี้ไปประกอบเพื่อให้เกิดเป็นภาพขึ้นมาตามความต้องการ

2.1.6.1 จุด

จุดในระบบกราฟิก 2 มิติจะถูกแสดงโดยพิกัด (coordinate) โดยค่า 2 ค่าด้วยกัน คือ P(x,y) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

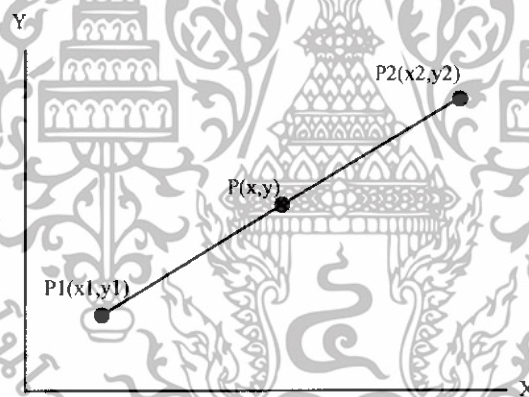
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 จุดในระบบกราฟิก 2 มิติ

2.1.6.2 เส้นตรง

เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ นั้นเกิดจากระยะทางระหว่างจุด 2 จุด ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ

สมการของเส้นตรงสามารถอธิบายได้ดังนี้ ถ้าจุด $P(x, y)$ เป็นจุดใดๆบนเส้นตรงที่เกิดจากจุด $P_1(x_1, y_1)$ และ $P_2(x_2, y_2)$ ใดๆแล้ว สมการของเส้นตรงคือ

$$y = mx + b$$

(สมการที่ 2.1)

โดยที่

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$b = y_1 - mx_1$$

สมการที่ 1 เรียกว่าสมการเส้นตรงแบบ Slope-intercept

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m = ความชัน (Slope)

b = จุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรง ณ ตำแหน่งที่ x มีค่าเป็นศูนย์ $(0, b)$

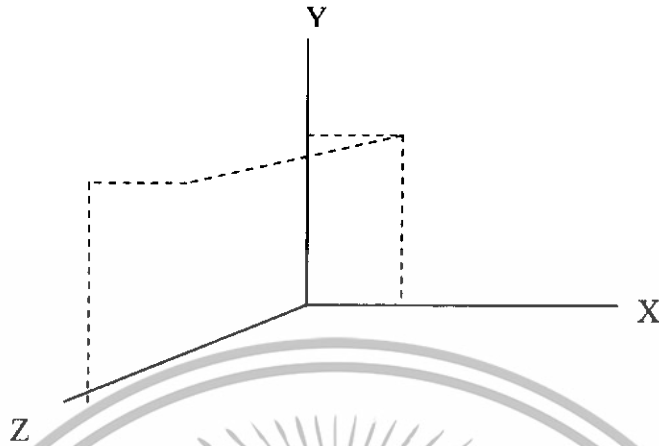
2.1.6.3 รูปหลายเหลี่ยม

รูปหลายเหลี่ยม คือ รูปที่เกิดจากการรวมของจุดและเส้นตรงที่เชื่อมติดกันที่บริเวณปลายทั้งสองข้าง รูปหลายเหลี่ยมที่เกิดขึ้นนั้นจะมีลักษณะเป็นภาพปิด (close figure) เรียกด้านที่ประกอปกกันของรูปหลายเหลี่ยมว่าด้าน (side) หรือขอบ (edges) ของรูป ส่วนจุดปลายสุดของแต่ละด้านของรูปหลายเหลี่ยมจะเรียกว่าจุดรวม (vertices)

2.1.7 กราฟิก 3 มิติ

ภาพกราฟิกบางชนิดจำเป็นต้องใช้ระบบ 2 มิติเพื่อการแสดงผลเช่น ภาพของกราฟต่างๆ แผนที่ หรือแม้กระทั่งภาพที่ถูกสร้างจากจิตรกรต่างๆก็เป็นภาพกราฟิกในระบบ 2 มิติ แต่ในงานบางอย่างก็จำเป็นต้องใช้ภาพในระบบ 3 มิติในการแสดงผลเพื่อให้เกิดความง่ายในการที่จะทำให้เข้าใจในภาพนั้น เช่น ภาพของโครงสร้างต่างๆซึ่งถ้าเป็นภาพจำลองที่สร้างขึ้นมาในระบบ 3 มิติจะสามารถทำให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมในจุดมอง (view point) ที่ต่างๆกัน

- จุดและระนาบ สิ่งที่ยากที่สุดในการที่จะนำมาใช้ในการอธิบายระบบ 3 มิติคือ จุด เนื่องจากในระบบ 2 มิติ ได้อธิบายจุด โดยที่บอกตำแหน่งของจุด โดยอาศัย ค่า 2 ค่า แต่ในระบบ 3 มิติจะต้องเพิ่มแกนอีก 1 แกนเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้บอกตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ ซึ่งจะทำให้ตัวเลขที่ใช้ในการบอกตำแหน่งของจุดมี 3 ค่าด้วยกัน คือ ค่าแรกจะแทนค่าความสูง (height) ของจุด ส่วนค่าที่ 2 และ 3 จะแทนค่าความกว้าง (width) และความลึก (depth) ตามลำดับ โดยที่ทั้ง 3 แกนที่ใช้ในการอธิบายตำแหน่งในระบบ 3 มิติ จะมีทิศทางที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ในระบบ 2 มิติ นั้นใช้ค่าในแนวแกน X และแกน Y แทนค่าตำแหน่งในด้านความกว้างและความยาว ส่วนในระบบ 3 มิติ นั้นจะใช้แนวแกน Z แทนค่าของตำแหน่งในด้านความลึก ส่วนในแนวแกน X และแกน Y นั้นเหมือนกับในระบบ 2 มิติทุกประการ ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติจะสามารถกำหนดได้โดยตัวแปร 3 ตัว คือ $P(x,y,z)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแสดงตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ
และสมการเส้นตรงในระบบ 3 มิติ คือ

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{z - z_1}{x - x_1} = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}$$

(สมการที่ 2.2)

ส่วนสมการของระนาบในระบบ 3 มิติคือ

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

(สมการที่ 2.3)

เมื่อ A, B, C และ D คือค่าคงที่หรือ

$$x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$$

(สมการที่ 2.4)

โดยที่ $B_1 = \frac{B}{A}$, $C_1 = \frac{C}{A}$, และ $D_1 = \frac{D}{A}$

และระยะทางระหว่างจุด(x, y, z) ใดๆกับระนาบถูกกำหนดโดย

$$L = |A_2x + B_2y + C_2z + D_2|$$

(สมการที่ 2.5)

โดยที่ $A_2 = \frac{A}{d}$, $B_2 = \frac{B}{d}$, $C_2 = \frac{C}{d}$ และ $D_2 = \frac{D}{d}$

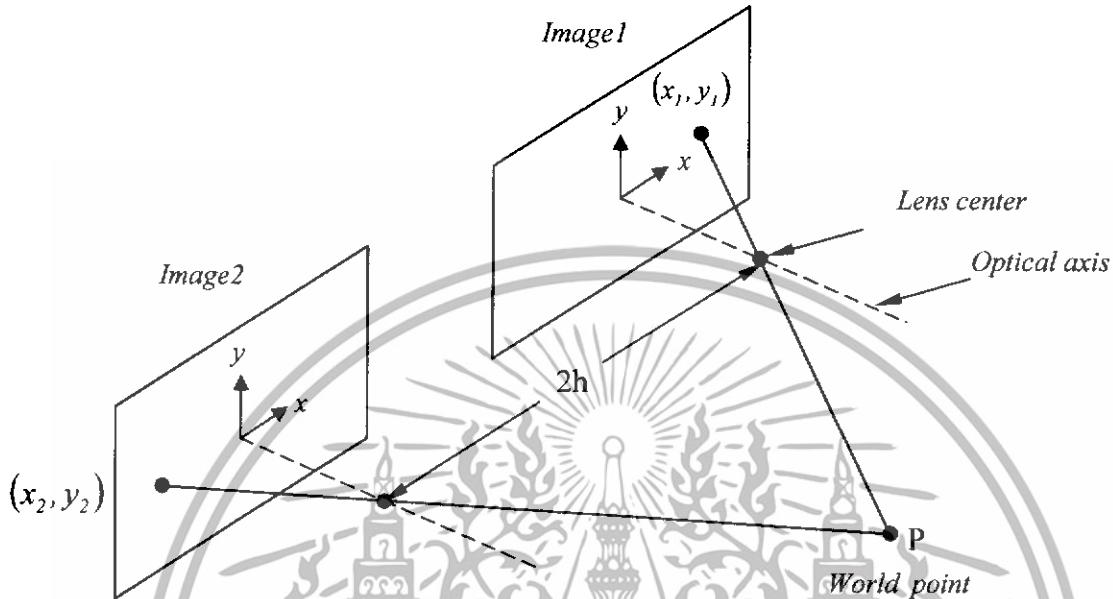
2.1.8 การเกิดภาพสเตอริโอ (Stereo Imaging)

การเกิดภาพสเตอริโอเป็นการสร้างภาพของวัตถุเดียวกันด้วยกล้อง 2 ตัววางอยู่ข้างกัน ภาพ

ที่ได้จากกล้องทั้งสองสามารถนำมาใช้ในการหาพิภค 3 มิติของวัตถุได้พิจารณาแบบจำลองการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพสเตอริโอในรูปที่ 2.6 ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางเลนส์ของกล้องทั้งสองเราแทนด้วยสัญลักษณ์ $2h$ ซึ่งเราต้องการหาพิกัด (X, Y, Z) ของจุด P เราสมมติว่ากล้องทั้งสองมีลักษณะที่เหมือนกัน

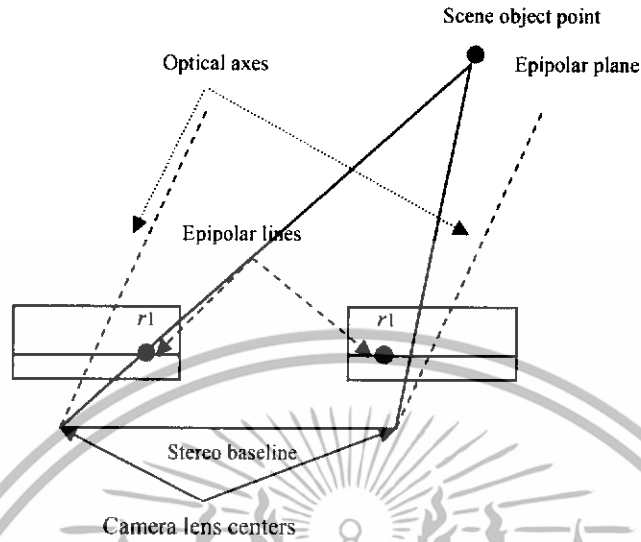


รูปที่ 2.9 แบบจำลองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ

ซึ่งมีจุด (x, y) , อยู่ทางด้านซ้ายและจุด (x, y) , อยู่ทางด้านขวา พิกัดในรูปที่ 2.9 มีแกน z ซึ่งแทนระยะจากกล้องถ่ายรูป (ซึ่งในที่นี้เราให้ $z = 0$) แกน y แทนระยะทางในแนวตั้ง และให้แกน x แทนระยะทางในแนวนอน ตำแหน่งที่ $x = 0$ เป็นตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางระหว่างกล้องทั้งสอง และในแต่ละภาพนั้นจะมีพิกัดของตัวเอง (x_1 กล้องซ้าย, x_2 ทางกล้องขวา)

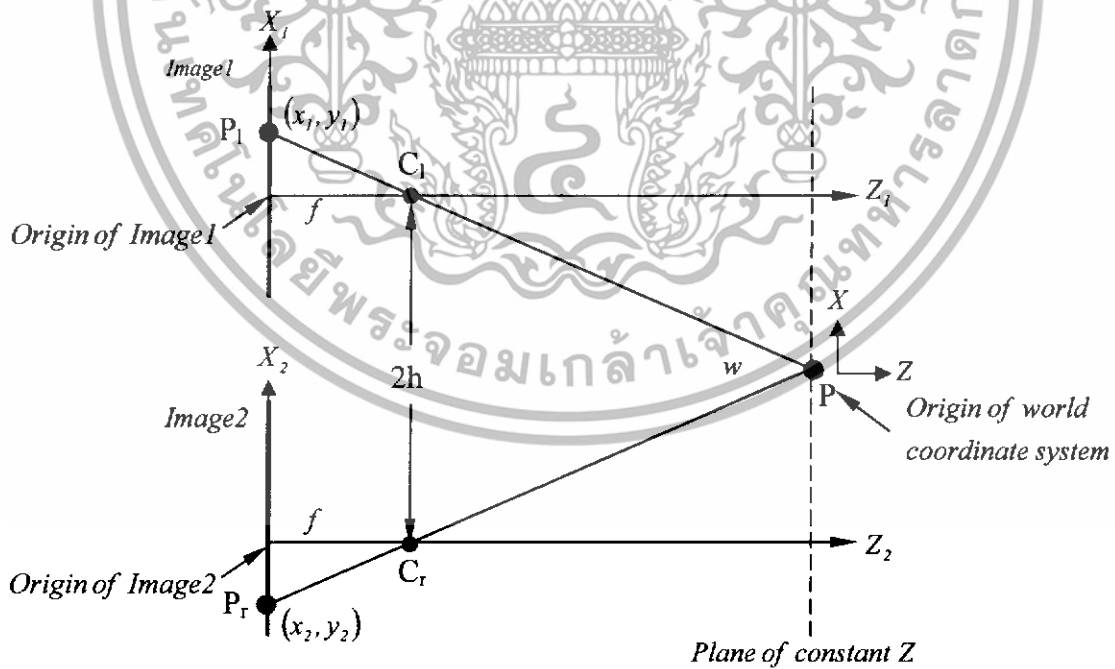
- ภาพสเตอริโอ วิธีการที่ง่ายที่สุดคือวางกล้อง 2 ตัวแยกกันในแนวแกน x มีระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางเลนส์ของกล้องทั้งสอง เท่ากับ $2h$ รูปทั้งสองต้องอยู่ในระนาบเดียวกันโดยระนาบที่ผ่านจุดกึ่งกลางกล้องและจุดที่มีลักษณะเหมือนกันในรูป เรียกว่า ระนาบอีพิโพล่า (Epipolar plane) และการซ้อนทับกันของระนาบอีพิโพล่ากับระนาบของรูป เรียกว่า เส้นอีพิโพล่า

(Epipolarline)



รูปที่ 2.10 การเกิดภาพสเตอริโอจากกล้อง 2 ตัว

จุดใดๆ ในรูปที่สามารถมองเห็นได้จากกล้องทั้งสองตัวจะถูกแสดงเป็นคู่ของรูป (A pair of image) เรียกว่า คู่คอนจูเกต (Conjugate pair) สำหรับแบบจำลองอย่างง่าย ทุกจุดในรูปที่หนึ่งจะอยู่ในแนวเดียวกันรูปที่สอง ซึ่งระยะห่างระหว่างจุดของคู่คอนจูเกต เรียกว่า ดิสพาริตี (Disparity)



รูปที่ 2.11 มุมมองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตว่า P_i, C_i และ P_r, C_r เป็นด้านที่ยาวที่สุดของสามเหลี่ยม และสังเกตอีกว่า h และ f จะมีค่าเป็นบวก z จะมีพิกัดเป็นบวก ส่วน x, P_i, P_r พิกัดสามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบ เราสามารถเขียนได้ว่า

$$\frac{P_i}{f} = -\frac{h+x}{z} \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

ในทำนองเดียวกันทางด้านขวาของรูปที่ 2 จะได้ว่า

$$\frac{P_r}{f} = -\frac{h+x}{z} \quad (\text{สมการที่ 2.7})$$

กำจัด x ออกไปจะได้ว่า

$$z(P_r - P_i) = 2hf \quad (\text{สมการที่ 2.8})$$

และจะได้

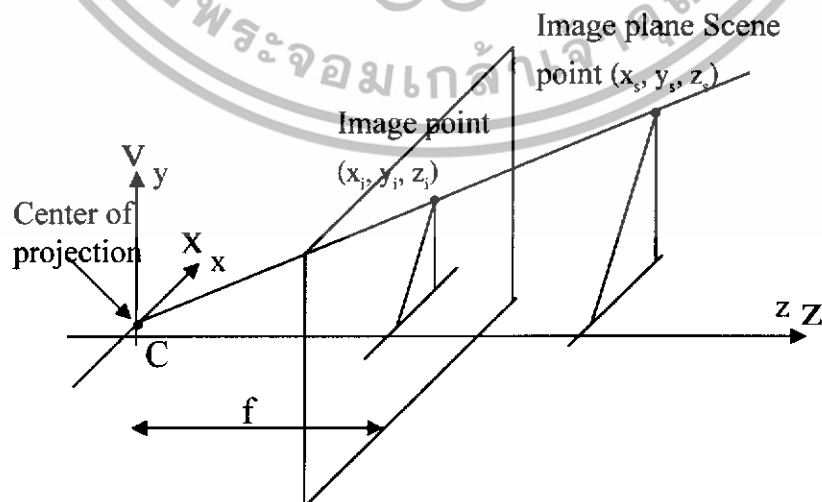
$$z = \frac{2hf}{P_r - P_i} \quad (\text{สมการที่ 2.9})$$

สังเกตในสมการจะเห็นว่า $P_r - P_i$ ไว้สำหรับป้องกันความไม่เหมือนกัน ในการมองเห็นจุด P เพราะถ้า $P_r - P_i = 0$ แล้ว $z = \infty$

2.1.9 เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ (Geometry for 3D Vision)

2.1.9.1 พื้นฐานของการโปรเจกชันแบบเพอร์สเปกทีฟของกล้อง (Basic of Perspective Camera)

ภาพ 2 มิติ โดยส่วนใหญ่แล้วนั้นได้มาจากการมองวัตถุ 3 มิติ ผ่านเลนส์ของตา หรือเลนส์ของกล้อง ขบวนการเกิดภาพสามารถจำลองได้ โดยการใช้เพอร์สเปกทีฟทรานส์ฟอร์มเมชัน (Perspective Transformation) รูปที่ 2.12 แสดงแบบจำลองง่าย ๆ ของการสร้างระบบ



รูปที่ 2.12 แบบจำลองของระบบสร้างภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เราแทนแกนระบบพิกัด โลก (World Coordinate System) ด้วยอักษรตัวใหญ่ (X, Y, Z) และแทนแกนของระบบพิกัดของกล้องด้วยอักษรตัวเล็ก (x, y, z) เราสมมติว่าพิกัดของโลกซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง แสงจากวัตถุใน 3 มิติส่องผ่านศูนย์กลางของการโปรเจกชันแล้วโปรเจกต์ลงบนภาพ ให้จุด (x_s, y_s, z_s) แทนจุดพิกัดของวัตถุ 3 มิติ ให้ (x_i, y_i) แทนจุดพิกัดของวัตถุในระนาบของภาพ เราสมมติว่าระนาบของภาพอยู่ f ห่างไปทางขวาของจุดกำเนิดของพิกัดกล้อง โดยที่ f คือความยาวโฟกัสของเลนส์ โดยการใช้สามเหลี่ยมคล้ายเราได้ว่า

$$x_i = f \frac{x_s}{z_s} \quad (\text{สมการที่ 2.10})$$

$$y_i = f \frac{y_s}{z_s} \quad (\text{สมการที่ 2.11})$$

เราสามารถเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.12})$$

ดังนั้นจะได้ว่า

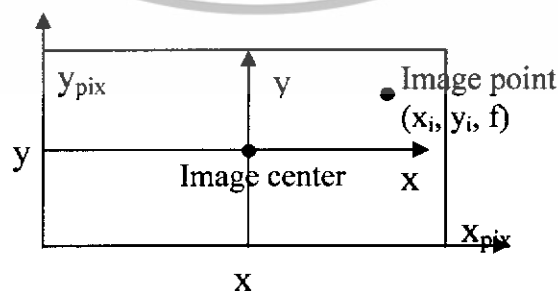
$$x_i = \frac{u}{w}, y_i = \frac{v}{w} \quad (\text{สมการที่ 2.13})$$

ดังนั้นจุดที่โปรเจกต์ (x_i, y_i) มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นกับจุดของวัตถุ (x_s, y_s, z_s) ความสัมพันธ์นี้สามารถมองเห็นได้ง่ายถ้าเราใช้ระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

2.1.9.2 การแปลงความยาวให้อยู่ในหน่วยพิกเซล

ตัวแปรที่จะใช้ในการเปลี่ยนคือ

- จุดกึ่งกลางของรูป (x_0, y_0)
- องค์ประกอบ (Factor) ของขนาด k_x และ k_y



รูปที่ 2.13 แสดงจุดศูนย์กลางของรูป

จากรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_{pix} = k_x x_i + s y_i + x_o$$

และ

$$y_{pix} = k_y y_i + y_o$$

จากสมการที่ 2.10, 2.11 จะได้ว่า

$$x_{pix} = k_x f \frac{x_s}{z_s} + s f \frac{y_s}{z_s} + x_o \quad (\text{สมการที่ 2.14})$$

$$y_{pix} = k_y f \frac{y_s}{z_s} + y_o \quad (\text{สมการที่ 2.15})$$

เราสามารถเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_x & s & x_o & 0 \\ 0 & \alpha_y & y_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.16})$$

ถ้า $\alpha_x = f k_x, \alpha_y = f k_y$ แล้ว

$$x_{pix} = \frac{u'}{w'} \quad (\text{สมการที่ 2.16})$$

$$y_{pix} = \frac{v'}{w'} \quad (\text{สมการที่ 2.17})$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_x & s & x_o & 0 \\ 0 & \alpha_y & y_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_x & s & x_o \\ 0 & \alpha_y & y_o \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = K [I_3 / 0_3] \quad (\text{สมการที่ 2.18})$$

โดยที่ α_x, α_y ความยาวโฟกัสของทิศ x และ y ในหน่วยพิกเซล

x_o, y_o พิกัดของจุดกึ่งกลางรูปในหน่วยพิกเซล

s เป็นพารามิเตอร์ของการเอียง

เมทริกซ์ K คือ แคลิเบรชันเมทริกซ์ (Calibration Matrix) ซึ่งมีขนาด 3×3 ซึ่งเป็นเมทริกซ์

ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ภายใน (Intrinsic Parameter) ที่สำคัญของกล้อง

เมทริกซ์ K นั้นจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมข้างบน (Upper Triangle)

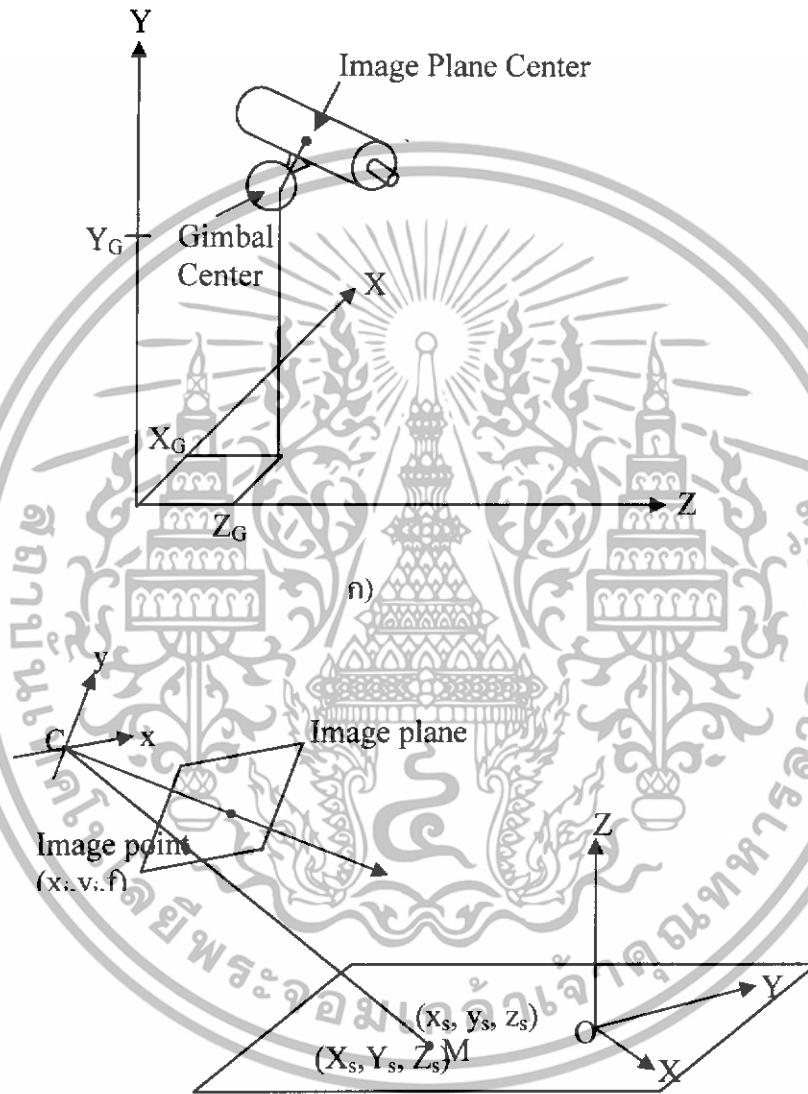
2.1.9.3 กรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง

รูปที่ 2.14ก) แสดงกล้องอิเล็กทรอนิกส์ในช่องว่างพิกัดของโลก (World Coordinate Space)

กล้องนี้ถูกยึดด้วยหัวยึดกล้อง (Gimbal) ที่สามารถหมุนสายทำมุม θ กับแนวนอน (Horizontal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเอียง (Tilt) ทำมุม ϕ แนวตั้ง จุดกึ่งกลางของหัวขีดกล้องอยู่ที่จุดพิกัด (X_G, Y_G, Z_G) เทียบกับระบบพิกัดอ้างอิงของโลก จุดกึ่งกลางของหัวขีดกล้องและจุดกึ่งกลางของการโปรเจ็คชันของระนาบภาพอยู่ห่างกันด้วยระยะ (X_o, Y_o, Z_o) รูป 2.14 ข แสดงระบบพิกัดโลกและระบบพิกัดกล้องที่ไม่ซ้อนทับกัน



ข)

รูปที่ 2.14 ก) แบบจำลองการเกิดภาพจากกล้อง ข) เรขาคณิตของการเกิดภาพ

กรณีที่จุดกึ่งกลางของการโปรเจ็คชันของกล้องถูกวางไว้ที่จุดกึ่งกลางของระบบพิกัดอ้างอิงของโลก ไม่มีการส่ายหรือเอียงทำมุมกับแกนอ้างอิง จุดกึ่งกลางของหัวขีดกล้องและของระนาบภาพอยู่ที่เดียวกัน แบบจำลองการเกิดภาพ (Imaging Model) ในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสนั้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tilde{w} = M\tilde{v} \quad (\text{สมการที่ 2.19})$$

โดยที่ \tilde{v} คือเวกเตอร์ของจุดบนวัตถุในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

\tilde{w} คือเวกเตอร์ของจุดบนระนาบภาพในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

และ M คือเมทริกซ์ของเพอสเปกทีฟทรานส์ฟอร์มเมชัน

ในกรณีนี้แบบจำลองการเกิดภาพจากกล้องสามารถหาได้ง่ายโดยการเปลี่ยนแปลง (Modify) สมการที่ 2.19

การที่ (หัวขีดยกกล้อง) กล้องอยู่ที่จุด (X_G, Y_G, Z_G) เทียบกับระบบพิกัดอ้างอิงของโลก ดังนั้นแบบจำลองใหม่ คือ

$$\tilde{w} = MT_G\tilde{v} \quad (\text{สมการที่ 2.20})$$

โดยที่

$$T_G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_G \\ 0 & 1 & 0 & -Y_G \\ 0 & 0 & 1 & -Z_G \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.21})$$

การส่ายหรือการเอียงสามารถถูกจำลองโดยใช้คูณด้วยเมทริกซ์การหมุน

$$\tilde{w} = MRT_G\tilde{v} \quad (\text{สมการที่ 2.22})$$

โดยที่ $R = R_\phi R_\theta$

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.23})$$

และ

$$R_\phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.24})$$

ท้ายสุดจุดกึ่งกลางของหัวขีดยกกล้องและจุดกึ่งกลางของการโปรเจกชันของระนาบภาพอยู่ห่างกันด้วยระยะ (X_0, Y_0, Z_0) ดังนั้นแบบจำลองของการเกิดภาพจากกล้องคือ

$$\tilde{w} = MT_cRT_G\tilde{v} \quad (\text{สมการที่ 2.25})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$T_C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_0 \\ 0 & 1 & 0 & -Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.26})$$

สมการที่ 2.25 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} I_3 & 0_3 \\ 0_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & -T \\ 0_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.27})$$

โดยที่ R แทนเมทริกซ์ที่เป็นผลรวมของการหมุนระบบพิกัด

T แทนเวกเตอร์ที่เป็นผลรวมของการย้ายระบบพิกัด

เรากล่าวว่ามีเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} R & -T \\ 0_3^T & 1 \end{bmatrix}$$

เป็นเมทริกซ์ที่รวมเอาพารามิเตอร์ภายนอก (Extrinsic Parameter) ของขบวนการปรับเทียบกล้อง เราสามารถเขียนสมการที่ 2.27 ในรูปแบบที่ง่ายได้เป็น

$$x = MX \quad (\text{สมการที่ 2.28})$$

โดยที่

$$M = [KR / -KRT] \quad (\text{สมการที่ 2.29})$$

2.1.9.4 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)

การปรับเทียบกล้องเป็นการประมาณเมทริกซ์ M จากจุดในฉาก 3 มิติ ที่รู้ตำแหน่งและภาพที่เกิดขึ้นของจุด จากนั้นทำการหาพารามิเตอร์ภายในและภายนอก พิจารณาการปรับเทียบโดยใช้กล้องตัวเดียว

ในการหาเมทริกซ์ M เราทำการหาจุดในฉากที่เราทราบพิกัด $X = [x, y, z]^T$ และจุดในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกัน $[u, v]^T$ ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.30})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \\ m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \\ m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34} \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 2.31})$$

ทำการนอร์มอลไลซ์ให้สมาชิกที่ 3 เป็น 1 เราจะได้สมการ

$$\begin{aligned} u(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) &= m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \\ v(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) &= m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 2.32})$$

ดังนั้นเราจะได้สมการเชิงเส้น 2 สมการสำหรับจุดในฉาก 3 มิติหนึ่งจุดและในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกัน ทำการเขียนสมการที่ 2.32 ใหม่ ในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz & -u \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -vz & -v \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ \vdots \\ m_{34} \end{bmatrix} = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.33})$$

จะเห็นว่าเรามีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 11 ตัวแปรแทนที่จะเป็น 12 ตัวแปร เนื่องจากองค์ประกอบย่อ/ขยาย ที่ไม่สามารถทราบค่าได้ ในการแก้สมการไฮโมจีเนียสเราต้องใช้อย่างน้อย 6 จุด ถ้ามีมากกว่า 6 จุด เราจะได้สมการ Over-determined ซึ่งสามารถแก้ได้โดยวิธี Least Square

เมื่อได้เมทริกซ์ M แล้วขั้นตอนต่อไป คือทำการแยกพารามิเตอร์ภายใน เนื่องจาก

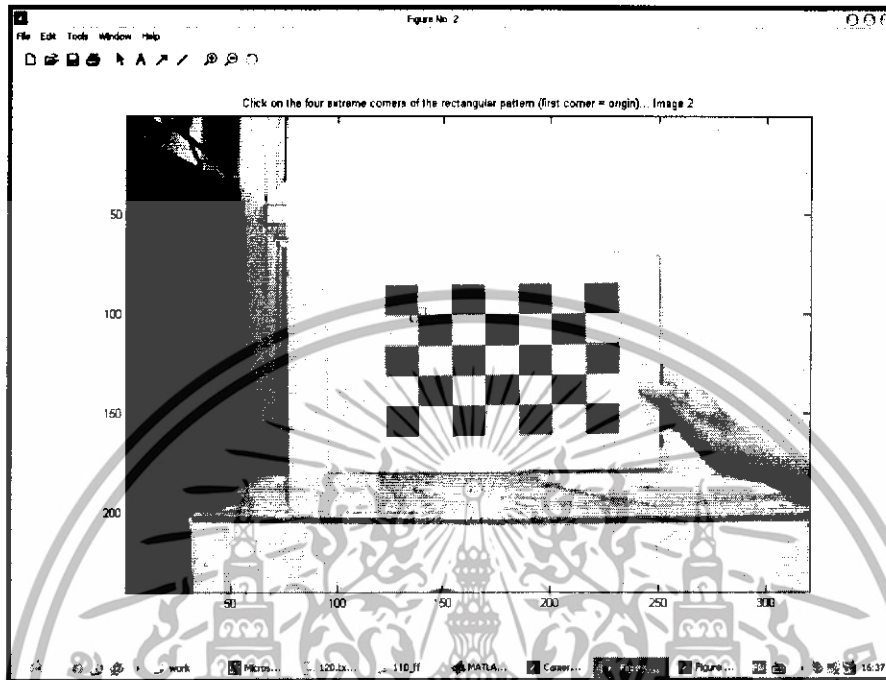
$$M = [KR / -KRT] = [A / B] \quad (\text{สมการที่ 2.34})$$

ดังนั้นเมทริกซ์ย่อย 3×3 แทนด้วย A เวกเตอร์คอลัมน์ขวามือสุดแทนด้วย b เวกเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ระยะเลื้อนที่สามารถแยกออกมาได้ง่ายโดย $t = -A^{-1}b$ เวกเตอร์ t ให้ข้อมูลที่บอกถึงตำแหน่งกึ่งกลางของอิมเมจเพลน

จากนั้นพิจารณา $A = KR$ โดยที่ K เป็นเมทริกซ์สามเหลี่ยมบน และเมทริกซ์ R เป็นเมทริกซ์ออร์โธกอนอล การแยกเมทริกซ์ K และ R สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคควาร์ตี่คอมพอสชัน (QR Decomposition) สำหรับเมทริกซ์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9.5 การหาพิกัด 3 มิติ ของจุดในฉากโดยใช้กล้อง 2 ตัว



รูปที่ 2.15 ภาพของตารางหมากรุกที่นำมาใช้ในการปรับเทียบกล้อง

กล้องที่จะนำมาใช้ในการหาพิกัด 3 มิติ นั้นจะต้องผ่านกระบวนการปรับเทียบกล้องดังกล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว ในขบวนการปรับเทียบกล้องเราจะให้กล้องทั้งสองถ่ายภาพวัตถุในฉาก 3 มิติที่เราทราบพิกัด ซึ่งอาจเป็นตารางหมากรุกที่เราทราบขนาดของแต่ละช่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.15 จากนั้นเราทำการหาพิกัดของจุดตัดของตารางในกล้องทั้งสอง ใช้สมการ 2.33 ทำการคำนวณเมทริกซ์ของเพอสเปกทีฟทรานส์ฟอร์มเมชัน M สำหรับแต่ละกล้องต่อไปทำการวางวัตถุที่เราต้องการหาพิกัดในฉาก ทำการหาจุดสอดคล้องของจุด ในฉาก 3 มิติของกล้องทั้งสองตัว กำหนดให้เมทริกซ์ของเพอสเปกทีฟทรานส์ฟอร์มเมชัน M ของกล้องที่ 1 และ 2 เป็น M และ M' ตามลำดับ เราแทนแต่ละแถวของเมทริกซ์ M ด้วย m_1^T, m_2^T, m_3^T ทำนองเดียวกันสำหรับกล้องที่ 2 เราแทนแต่ละแถวของเมทริกซ์ M' ด้วย $m_1'^T, m_2'^T, m_3'^T$ สำหรับกล้องที่ 1 เราได้

$$u = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = MX = \begin{bmatrix} m_1^T \\ m_2^T \\ m_3^T \end{bmatrix} X \quad (\text{สมการที่ 2.35})$$

และกล้องที่ 2 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u' = \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = M'X = \begin{bmatrix} m_1'^T \\ m_2'^T \\ m_3'^T \end{bmatrix} X \quad (\text{สมการที่ 2.36})$$

โดยที่ u และ u' แทนพิกัดในภาพของวัตถุในกล้อง 1 และ 2 ตามลำดับ ในการกำจัดค่าสเกลที่ไม่ทราบค่าเราทำการหาสัดส่วนระหว่างสามแถวในเมทริกซ์เพอสเปกทีฟ-ทรานส์ฟอร์มเมชัน M

$$u : v : w = m_1^T X : m_2^T X : m_3^T X \quad (\text{สมการที่ 2.37})$$

$$u' : v' : w' = m_1'^T X : m_2'^T X : m_3'^T X$$

ดังนั้นเราได้สมการสำหรับกล้องที่ 1 และกล้องที่ 2

$$\begin{aligned} um_2^T X &= vm_1^T X & u'm_2'^T X &= v'm_1'^T X \\ um_3^T X &= vm_1^T X & u'm_3'^T X &= v'm_1'^T X \\ um_3^T X &= vm_2^T X & u'm_3'^T X &= v'm_2'^T X \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 2.38})$$

สมการที่ 2.38 สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{bmatrix} um_2^T - vm_1^T \\ um_3^T - vm_1^T \\ vm_3^T - vm_2^T \end{bmatrix} X = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.39ก})$$

$$\begin{bmatrix} u'm_2'^T - v'm_1'^T \\ u'm_3'^T - v'm_1'^T \\ v'm_3'^T - w'm_2'^T \end{bmatrix} X = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.39ข})$$

ทำการคูณแถวแรกของสมการที่ 2.39ก ด้วย w แถวที่สองด้วย $-v$ แล้วทำการบวกได้

$$(uwm_2^T - vwm_1^T - uvm_3^T + vwm_1^T)X = (uwm_2^T - uvm_3^T)X = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.40})$$

จะเห็นว่าสมการที่ 2.38 มีคุณสมบัติเชิงเส้นขึ้น (Linearly Dependent) กับแถวที่สามของสมการที่ 2.39ก ดังนั้นแต่ละกล้องเราใช้ได้เพียง 2 สมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} um_3^T - vm_1^T \\ vm_3^T - vm_2^T \end{bmatrix} X = 0 \quad \text{และ} \quad \begin{bmatrix} u'm_3'^T - v'm_1'^T \\ v'm_3'^T - w'm_2'^T \end{bmatrix} X = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.41})$$

เขียนสมการที่ 2.40 ใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

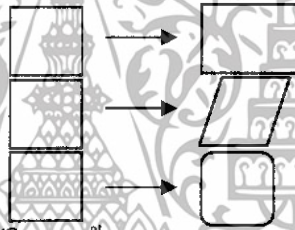
$$\begin{bmatrix} um_3^T - wm_1^T \\ vm_3^T - wm_2^T \\ u'm_3'^T - w'm_1'^T \\ v'm_3'^T - w'm_2'^T \end{bmatrix} X = AX = 0 \quad (\text{สมการที่ 2.42})$$

ทำการแก้สมการโฮโมจีเนียส (สมการที่ 2.42) สำหรับพิกัด 3 มิติ X โคนเราสนใจเฉพาะคำตอบประเภทนอนทริวอล (Non-Trivial) หรือกรณี $\det(A) = 0$

2.1.10 การหาตัวแปรของคุณสมบัติกล้อง

โดยที่ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อกระบวนการทางอิมเมจ (Image Process) ตัวแปรเหล่านั้น อาทิเช่น

- จุดศูนย์กลางของภาพ ซึ่งไม่สามารถหาได้จาก การนำความสูงหารด้วยสอง หรือความกว้างหารด้วยสอง
 - ความยาวโฟกัส
 - ปัจจัยขนาดของพิกเซลไม่เท่ากัน
 - ปัจจัยเนื่องจากความเอียง
 - การบิดเบือนของเลนส์
- กระบวนการหาตัวแปรของคุณสมบัติของกล้อง



2.1.10.1 ตัวแปรภายในกล้อง (Intrinsic camera parameters) ตัวแปรของกล้องมีดังนี้

ความยาวโฟกัส (Focal length) f : ระยะจากกลางของรูปที่สังเกตเห็น (Optical center) ถึงระนาบของรูป
จุดศูนย์กลางรูป (Principle Point) cc : จุดกลางของรูปที่สังเกตเห็น
สัมประสิทธิ์ของการเอียง (Skew coefficient) α_c : จะขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแกน x และแกน y
ความผิดเพี้ยนของรูป (Distortion) kc : ใช้แบบจำลองทางความเพี้ยนในอัตราส่วนของกล้อง

2.1.10.2 การหาจุดกึ่งกลางของกล้อง

เนื่องจากระบบพิกัดอันดับของอาร์เรย์ของรูปมีจุดเริ่มต้นที่พิกเซลบนซ้าย เราสามารถเปลี่ยนพิกัดอันดับรูปไปเป็นพิกัดอันดับของกล้องได้ โดยใช้รูปแบบเรขาคณิตของกล้อง (geometry of the camera) อนุमानว่า แกนหลัก (Principal axis) ซ้อนทับกับระนาบของพิกเซลที่จุดกึ่งกลางของอาร์เรย์ของกล้อง

ถ้าอาร์เรย์ของกล้องมี n แถว (row) และ m หลัก (column) แล้ว จุดกึ่งกลางคือ

$$c'_x = (m-1)/2$$

$$c'_y = (n-1)/2$$

การแปลงจากพิกัดอันดับรูป $[i, j]$ ไปเป็นพิกัดอันดับของกล้อง (x', y') ได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x' = j + (m - 1) / 2 \qquad y' = i + (n - 1) / 2 \qquad (\text{สมการที่ 2.43})$$

2.2 ส่วนซอฟต์แวร์

2.2.1 การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C#

2.2.1.1 Microsoft .NET

ภาษา C# เป็นภาษาที่บริษัท ไมโครซอฟท์สร้างขึ้นเพื่อทำงานกับแพลตฟอร์มที่เรียกว่า .NET ซึ่งไมโครซอฟท์เคยให้นิยาม .NET ว่าเป็นรูปแบบใหม่ของระบบคอมพิวเตอร์ที่จะผสมผสานคอมพิวเตอร์ให้เข้ากับอินเทอร์เน็ตอย่างสมบูรณ์ที่สุดทำให้สามารถสร้างโปรแกรมที่ทำงานทางด้านอินเทอร์เน็ต, ฐานข้อมูล, ระบบ distributed system ได้ง่ายขึ้น รวมทั้งมีข้อดีในเรื่องของการทำงานข้ามภาษา (programming language) ซึ่งจะทำให้โปรแกรมไม่ถูกจำกัดด้วยภาษาใดภาษาเดียวหรือระบบใดระบบเดียวอีกต่อไป

2.2.1.2 ภาษา C#

C# เกิดจากการพัฒนา Microsoft.NET โดยได้รวบรวมจุดเด่นและความสามารถของภาษาดั้งเดิมหลายๆภาษาเข้าด้วยกัน เช่น VB, C++ และ Java ซึ่ง C# เป็นภาษาที่มีโครงสร้างคล้ายภาษา Java โดยเฉพาะความเป็น Object ของภาษาซึ่งนอกจากจะรวมเอาจุดเด่นของภาษาดังกล่าวมาผสมผสานกันแล้ว ภาษา C# ยังสร้างจุดเด่นของตัวเองขึ้นมาดังนี้

- เขียนง่าย ซึ่งรูปแบบการเขียนโปรแกรมเป็นแบบ Visual programming เหมือนกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic หรือ Delphi
- เป็น Object เนื่องจากภาษา C# มีโครงสร้างคล้ายภาษา Java ดังนั้น โครงสร้างของภาษาจึงเป็นแบบ Object ที่ครบถ้วนสมบูรณ์และมีรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่เป็นระบบทำให้พัฒนา application ได้ง่าย
- ประสิทธิภาพสูง นอกจากความเป็น Object เต็มรูปแบบแล้ว C# ยังเป็นภาษาที่พัฒนาขึ้นมาภายใต้ .NET Framework นั่นก็คือสามารถทำงานภายใต้เทคโนโลยี .NET ได้อย่างสมบูรณ์
- สามารถทำงานระดับลึก ภาษา C# มีความสามารถเกี่ยวกับหน่วยความจำรวมถึงระบบคอมพิวเตอร์ในระดับลึก (ซึ่งแตกต่างจาก Java)
- ทำงานแบบ Multi-thread ซึ่งจะช่วยให้โปรแกรมที่เขียนด้วย C# สามารถทำงานได้หลายงานในเวลาเดียวกัน

2.2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล คือการนำภาพดิจิทัลมากระทำการใดๆ เพื่อบรรลุ

วัตถุประสงค์คือ เพื่อให้สามารถอธิบายความหมายของภาพได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังรวมถึงการเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกภาพ(Storage) และการนำภาพออกมาแสดง (Representation) ดังนั้น การประมวลผลภาพ จึงครอบคลุมเทคนิคการประมวลผลภาพต่างๆ ได้แก่ การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) การแยกส่วนภาพ (Segmentation) การหาวัตถุในภาพ (Object Recognition) การกำจัดสิ่งรบกวนในภาพ (Restoration) การบีบอัดภาพ (Compression) เป็นต้น

2.2.2.1 การทำเป็นภาพขาว-ดำ (Grayscale)

ในหนึ่งพิกเซลนั้นจะมีองค์ประกอบของสีอยู่ด้วยกัน 3 สี คือ สีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งประกอบกันเป็น โมเดลสีดังนี้

โมเดลของสีแบบ RGB

ในโมเดลของสีแบบ RGB นั้น แต่ละสีมีองค์ประกอบ คือสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งโมเดลนี้จะอยู่ในพิกัด Cartesian สีที่เราสนใจนั้นจะอยู่ในลักษณะลูกบาศก์ แสดงในรูป ที่ 2.16



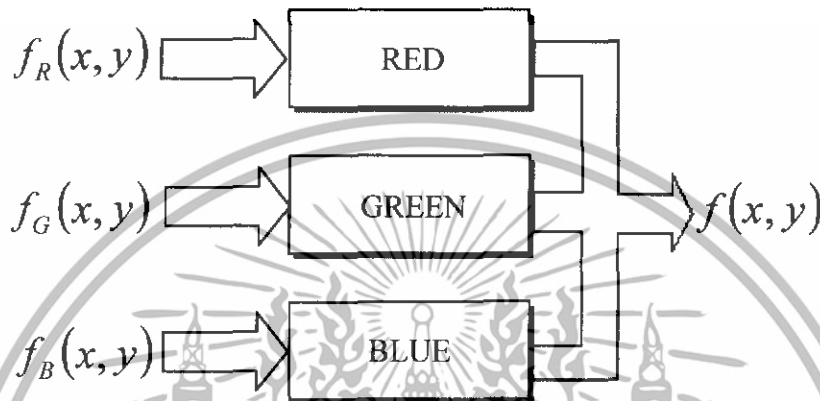
รูปที่ 2.16 แสดงจุดสี RGB ในมุมมอง 3 มิติและ Gray scale ตั้งแต่สีดำ (จุดเริ่มต้น) ถึงสีขาว (1, 1, 1)

โดยในค่าของสีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงินนั้นจะอยู่ที่มุมทั้งสาม ส่วนค่าของสีน้ำเงินปนเขียวสีม่วงแดง และสีเหลืองอยู่ที่มุมอีก 3 มุมที่เหลือ ค่าของสีดำนั้นจะอยู่ที่จุดกำเนิด และค่าของสีขาวจะอยู่ที่มุมที่ไกลจุดกำเนิดมากที่สุด สำหรับใน โมเดลนี้ Gray scale จะอยู่ระหว่างสีดำถึงสีขาว สำหรับสีอื่น ๆ นั้นจะเป็นจุดที่อยู่ด้านในของลูกบาศก์ โดยหาได้จากเวกเตอร์ที่พุ่งออกจากจุดกำเนิด เพื่อความสะดวกเราจะกำหนดให้ทุกจุดทำให้เป็นปกติ ดังนั้นลูกบาศก์ในรูปที่ 2.16 นั้นจะเป็นลูกบาศก์หนึ่งหน่วย และค่าของสีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงินจะอยู่ในช่วง $[0, 1]$

รูปภาพที่แสดงใน โมเดลของสี RGB นั้น จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ซึ่งรวมเป็นสีปฐมภูมิ จำนวนของบิตที่ใช้แทนแต่ละพิกเซลในที่ว่างของ RGB นั้นจะเรียกว่า “ความลึกของพิกเซล”

วิธีการทำภาพสีให้เป็นภาพขาว-ดำนั้น คือ เราจะนำค่าสีแต่ละสีในหนึ่งพิกเซลมาบวกกัน แล้วหารด้วยสาม ดังสมการ

$$f(x, y) = \frac{f_R(x, y) + f_G(x, y) + f_B(x, y)}{3} \quad (\text{สมการที่ 2.44})$$



รูปที่ 2.17 รูปบล็อกโคโอะแกรมแสดงการแปลงจากสี RGB ไปเป็นสีขาว-ดำ

2.2.2.2 การลบภาพ (Image Subtraction)

ในการประยุกต์ใช้งาน ในการประมวลผลภาพบางครั้งเราอาจต้องการที่จะเปรียบเทียบ 2 ภาพว่ามีจุดใดบ้างที่แตกต่าง เราจึงสามารถหาความแตกต่างของภาพได้ดังสมการ

$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y) \quad (\text{สมการที่ 2.45})$$

โดยจะคำนวณความแตกต่างของภาพในแต่ละจุดพิกเซลของ f และ h สิ่งสำคัญของการลบภาพ คือ การเพิ่มความแตกต่างของภาพ

2.2.2.3 การทำเทมเพลตแมตชิ่ง (Template Matching)

เป็นการจับคู่ภาพ โดยนำส่วนเล็กๆ ที่เป็นภาพตัวอย่างมาทำการค้นหาในภาพใหญ่ ภาพตัวอย่างนี้ควรที่จะมีขนาดเล็กมากหรือไม่เช่นนั้นก็ควรที่จะสามารถแสดงวัตถุทั้งหมดที่เราสนใจได้ขณะที่เราทำการจับคู่ภาพนั้น โดยส่วนมากแล้วเราจะนิยมนำภาพสีมาทำเป็นภาพขาว-ดำ บางครั้งภาพที่เราจะนำมาหาภาพตัวอย่างนั้นอาจจะไม่ชัด สาเหตุอันเนื่องมาจากเกิดการบิดเบี้ยวทางเรขาคณิตของภาพ หรือมีสิ่งรบกวนอื่นๆ (Noise) เพราะฉะนั้นเราต้องหาตำแหน่งที่ภาพตัวอย่างและภาพที่ต้องการหาเหมือนกันมากที่สุด โดยเราอาจจะอาศัยวิธีการหมุนภาพตัวอย่าง แต่ภาพที่เราจะนำมาหาภาพตัวอย่างนั้นจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าภาพตัวอย่าง

การจับคู่ภาพที่เป็นไปได้ระหว่างภาพที่ต้องการจะหาภาพตัวอย่างกับภาพตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นดังสมการ

$$C_1(u, v) = \frac{1}{\max_{(i,j) \in V} |f(i+u, j+v) - h(i, j)|} \quad (\text{สมการที่ 2.46})$$

$$C_2(u, v) = \frac{1}{\sum_{(i,j) \in V} |f(i+u, j+v) - h(i, j)|} \quad (\text{สมการที่ 2.47})$$

$$C_3(u, v) = \frac{1}{\sum_{(i,j) \in V} [f(i+u, j+v) - h(i, j)]^2} \quad (\text{สมการที่ 2.48})$$

- โดยที่ f คือ ภาพที่เราต้องการจะนำมาหาภาพตัวอย่าง
 h คือ ภาพตัวอย่าง
 V คือ เซตของจำนวนพิกเซลของภาพที่จะนำมาหาภาพตัวอย่าง

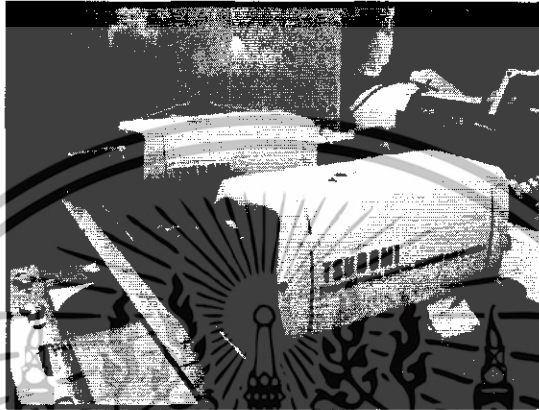


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบฮาร์ดแวร์

3.1 กล้องวิดีโอดิจิทัล CCD



รูปที่ 3.1 ภาพกล้องวิดีโอดิจิทัล CCD

กล้องวิดีโอดิจิทัล CCD (รุ่น TSUBOMI) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

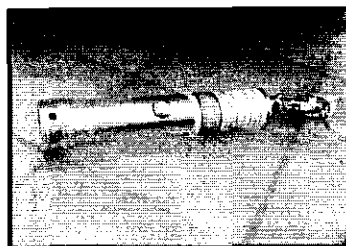
1. ภาพที่ได้เป็นภาพสี
2. เลนส์ของกล้องที่ใช้เป็นเลนส์ 6 มิลลิเมตร
3. ใช้ไฟเลี้ยงเป็นไฟกระแสตรง 12 โวลต์

3.2 การ์ดทีวี (Card TV)

การ์ดทีวี จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณจากกล้องวิดีโอดิจิทัล CCD ทางวิดีโออิน (Video In) เข้าไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

3.3 เลเซอร์

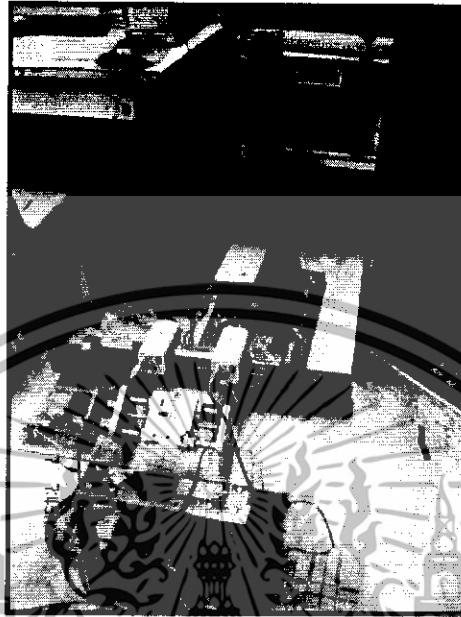
เราจะใช้เลเซอร์เป็นตัวเลือกตำแหน่งที่เราต้องการพิจารณา โดยเลเซอร์ที่ใช้ในโครงการนี้จะใช้ไฟเลี้ยงกระแสตรง 3 โวลต์



รูปที่ 3.2 ภาพเลเซอร์ที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

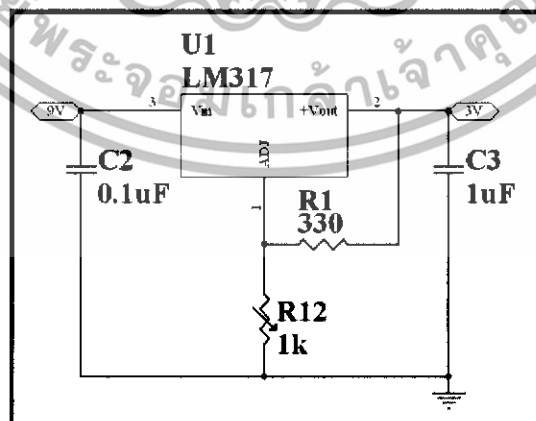
3.4 ตำแหน่งของกล่องและเลเซอร์



รูปที่ 3.3 ภาพตำแหน่งของกล่องและเลเซอร์

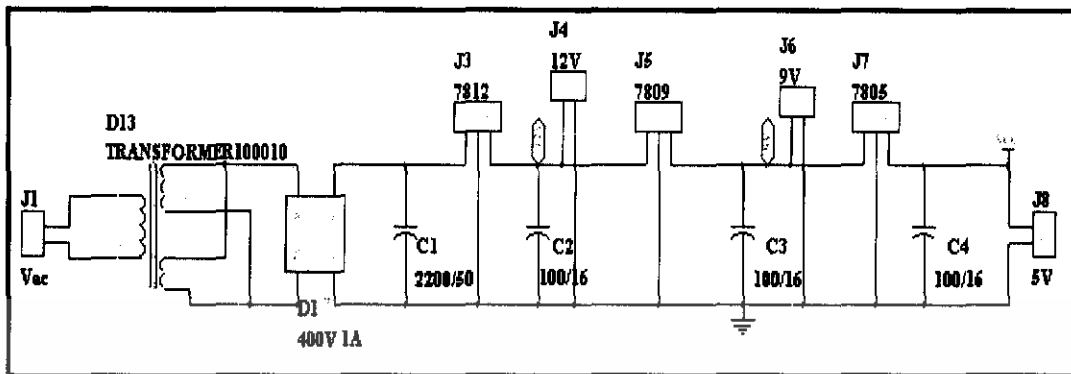
จากรูป เราจะวางกล่องทั้งสองตัวในระนาบเดียวกันบนรางเลื่อน และจะมีแท่นสำหรับวางเลเซอร์โดยจะติดมอเตอร์เพื่อสำหรับเลื่อนเลเซอร์อยู่ด้านหลังของกล่อง

3.5 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง



รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง 3 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



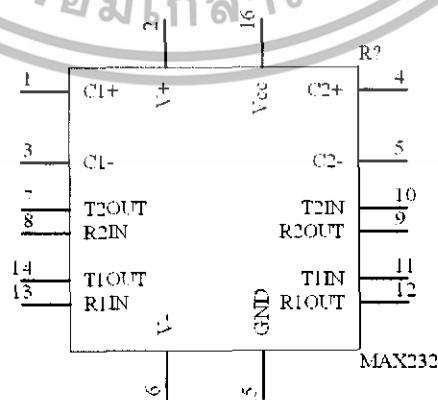
รูปที่ 3.5 วงจรจ่ายแรงดันไฟตรง 5 โวลต์, 9 โวลต์ และ 12 โวลต์

สำหรับวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงนี้ จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ โดยได้จากไฟกระแสตรงที่ผ่านวงจรบริดจ์แล้วมาเข้า LM7812 เพื่อสร้างแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ และวงจรแรงดันไฟตรง 9 โวลต์ จะได้จากเอาที่พุทของแรงดันไฟตรง 12 โวลต์มาเข้า LM7809 เพื่อสร้างแรงดันคงที่ 9 โวลต์และวงจรแรงดันไฟตรง 5 โวลต์ จะได้จากเอาที่พุทของแรงดันไฟตรง 9 โวลต์มาเข้า LM7805 เพื่อสร้างแรงดันคงที่ 5 โวลต์ซึ่งจะนำไปใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับไอซี AT89C2051 และ MAX232 และวงจรจ่ายแรงดันไฟตรง 3 โวลต์ที่ใช้ไอซี LM317 เป็นตัวสร้างแรงดัน เพื่อนำไปใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับรีเลย์ต่อไป

3.6 วงจรที่ใช้ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง AT89C2051

ในวงจรนี้จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ

3.6.1 ไอซี MAX232 เราจะใช้ไอซี MAX232 เป็นตัวรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไอซี MAX232 มีความเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 120 กิโลบิตต่อวินาที (kbps)



รูปที่ 3.6 แสดงขาของไอซี MAX232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงหน้าที่การทำงานของขาต่างๆของ MAX232

ขา	ชื่อ	รายละเอียด
1,3	C1+,C1-	Terminals for positive charge-pump capacitor
2	V+	+2VCC voltage generated by the charge pump
4,5	C2+,C2-	Terminals for negative charge-pump capacitor
6	V-	-2VCC voltage generated by the charge pump
7,14	T2OUT,T1OUT	RS-232 Driver Outputs
8,13	R2IN,R1IN	RS-232 Receiver Inputs
9,12	R2OUT,R1OUT	RS-232 Receiver Outputs
10,11	T2IN, T1IN	RS-232 Driver Inputs
15	GND	Ground
16	VCC	+4.5V to +5.5V Supply - Voltage Input

3.6.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เราจะใช้เป็น AT89C2051 ซึ่งมีพอร์ตใช้งาน 2 พอร์ตคือ พอร์ต 1 และพอร์ต 3 โดยที่พอร์ต 3 นั้นนอกจากจะเป็นอินพุต / เอาท์พุทพอร์ต (I/O Port) แล้วยังมีคุณสมบัติพิเศษดังนี้

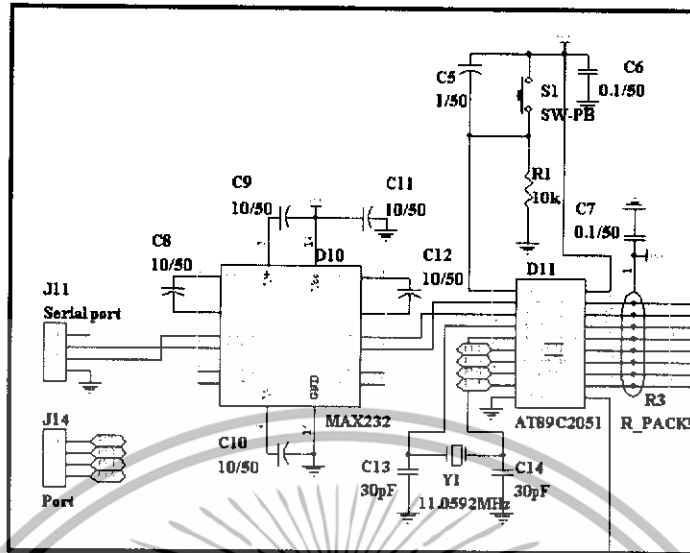
RSTAVPP	<input type="checkbox"/>	1	20	<input type="checkbox"/>	VCC
(RXD) P3.0	<input type="checkbox"/>	2	19	<input type="checkbox"/>	P1.7
(TXD) P3.1	<input type="checkbox"/>	3	18	<input type="checkbox"/>	P1.5
XTAL2	<input type="checkbox"/>	4	17	<input type="checkbox"/>	P1.5
XTAL1	<input type="checkbox"/>	5	16	<input type="checkbox"/>	P1.4
(INT0) P3.2	<input type="checkbox"/>	6	15	<input type="checkbox"/>	P1.3
(INT1) P3.3	<input type="checkbox"/>	7	14	<input type="checkbox"/>	P1.2
(T0) P3.4	<input type="checkbox"/>	8	13	<input type="checkbox"/>	P1.1 (AIN1)
(T1) P3.5	<input type="checkbox"/>	9	12	<input type="checkbox"/>	P1.0 (AIN0)
GND	<input type="checkbox"/>	10	11	<input type="checkbox"/>	P3.7

รูปที่ 3.7 แสดงขาของ AT89C2051

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงคุณสมบัติพิเศษของพอร์ต 3 ของ AT89C2051

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

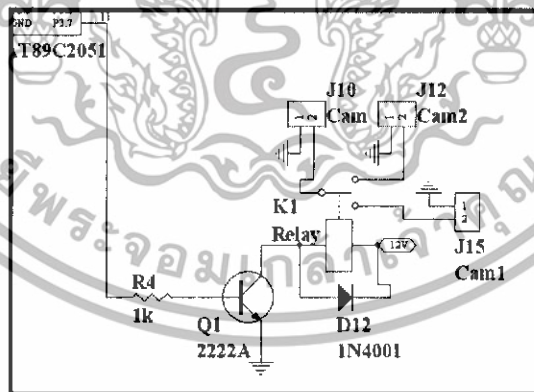
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรที่ใช้ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 3.8 ไอซี MAX232 จะเป็นตัวรับข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมเข้ามาทางขา T2OUT และ R2IN และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051 ทางขา T2IN และ R2OUT

3.7 วงจรที่ใช้ในการสลับการใช้งานของกล้อง 2 ตัว



รูปที่ 3.9 วงจรที่ใช้ในการสลับการใช้งานของกล้อง 2 ตัว

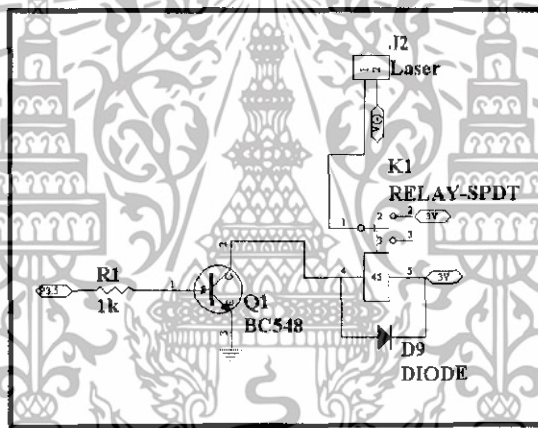
จากรูปที่ 3.9 เราจะใช้รีเลย์ในการสลับการใช้งานของกล้อง 2 ตัว โดยมีหลักการทำงานคือ เราจะควบคุมการทำงานของรีเลย์โดยใช้พอร์ต 3.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ซึ่งเราจะต่อขาสัญญาณเอาต์พุตของกล้องที่จะนำไปใช้งานไว้ที่ขาคอมมอน (Common) ของรีเลย์ และต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาสัญญาณของกล่องตัวที่ 1 ไว้ที่ขา NC ของรีเลย์ และต่อขาสัญญาณของกล่องตัวที่ 2 ไว้ที่ขา NO ของรีเลย์ ดังรูป

จากนั้นเมื่อเราต้องการใช้งานกล่องตัวที่ 1 เราจะส่งลอจิก 0 จากพอร์ต 3.7 ไปยังทรานซิสเตอร์ 2N2222A ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน (Cut-off) มีผลทำให้รีเลย์ไม่ทำงานด้วย ดังนั้นขารีเลย์จะอยู่ที่ขา NC ของรีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับสายสัญญาณของกล่องตัวที่ 1 หรือเมื่อเราต้องการใช้งานกล่องตัวที่ 2 เราจะส่งลอจิก 1 จากพอร์ต 3.7 ไปยังทรานซิสเตอร์ 2N2222A ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (On) มีผลทำให้รีเลย์ทำงานด้วย ดังนั้นขารีเลย์จะย้ายไปอยู่ที่ขา NO ของรีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับสายสัญญาณของกล่องตัวที่ 2

3.8 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์



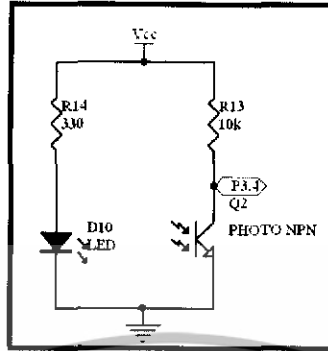
รูปที่ 3.10 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์

จากรูปที่ 3.10 เราจะใช้รีเลย์ในการสลับการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์ โดยมีหลักการทำงานคือ เราจะควบคุมการทำงานของรีเลย์โดยใช้พอร์ต 3.5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ซึ่งเราจะต่อขาไฟบวกของเลเซอร์ไว้ที่ขาคอมมอน (Common) ของรีเลย์ และที่ขา NC ของรีเลย์ เราจะต่อแรงดันไฟตรง 3 โวลต์ ส่วนที่ขา NO ของรีเลย์ เราจะปล่อยลอยไว้ ดังรูป

จากนั้นเมื่อเราต้องการให้เลเซอร์ทำงาน เราจะส่งลอจิก 1 จากพอร์ต 3.5 ไปยังทรานซิสเตอร์ BC548 ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (On) มีผลทำให้รีเลย์ทำงาน ดังนั้นขารีเลย์จะย้ายไปอยู่ที่ขา NO ของรีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับแรงดันไฟตรง 3 โวลต์ หรือเมื่อเราไม่ต้องการใช้งานเลเซอร์ เราจะส่งลอจิก 0 จากพอร์ต 3.5 ไปยังทรานซิสเตอร์ BC548 ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน (Cut-off) มีผลทำให้รีเลย์ไม่ทำงานด้วย ดังนั้นขารีเลย์จะอยู่ที่ขา NC ของรีเลย์ซึ่งเป็นขาที่ปล่อยลอยไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วงจรอินฟราเรด

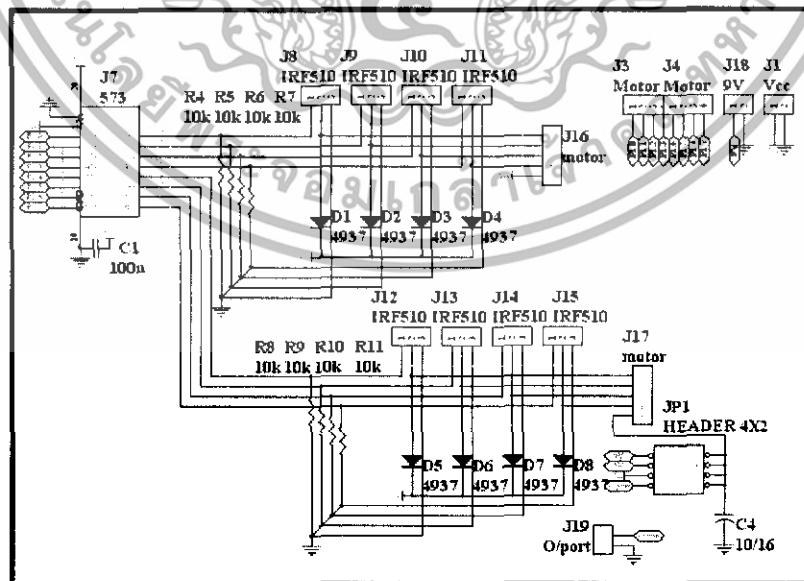


รูปที่ 3.11 วงจรอินฟราเรด

เมื่อเราเริ่มต้นระบบ เราจะใช้อินฟราเรดในการตรวจสอบตำแหน่งของเลเซอร์ที่วางอยู่บนมอเตอร์ว่า อยู่ที่จุดเริ่มต้นหรือไม่ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะคอยตรวจสอบค่าลอจิกที่พอร์ต 3.4 ว่ามีค่าลอจิก 0 หรือ 5 โดยถ้าเลเซอร์ไม่อยู่ที่จุดเริ่มต้น ที่พอร์ต 3.4 จะมีค่าลอจิก 0 จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์หมุนกลับมาที่จุดเริ่มต้น

3.10 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

วงจรขับมอเตอร์ ในโครงการนี้ได้ใช้ไอซี 74HC573 คู่ร่วมกับมอสเฟต IRF510 4 ตัว เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสได้มากขึ้น ซึ่ง IRF510 สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ถึง 5.6A ในการขับมอเตอร์กระแสตรง 1 ตัว



รูปที่ 3.12 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 แสดงวงจรขับมอเตอร์ โดยอินพุทจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าขาอินพุทของ 74HC573 จากนั้นขาเอาต์พุทของ 74HC573 จำนวน 4 เอาต์พุท จะนำมาต่อที่ขาเกตของ IRF510 แต่ละตัว และนำเอาท์พุทจากขาเดรนของ IRF510 แต่ละตัวไปต่อที่ขาของมอเตอร์ โดยที่ขาเดรนจะมีการต่อไดโอดเบอร์ 1N4937 ซึ่งเป็นแบบ Fast Recovery Rectifier ที่ต่ออยู่ระหว่างมอเตอร์กับไฟเลี้ยง ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ และที่ขาซอสของ IRF510 แต่ละตัวจะต่อลงกราวนด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมนั้น จะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ โปรแกรมในการควบคุมการสลับการใช้งานของกล้อง และโปรแกรมในส่วนการประมวลผลภาพ

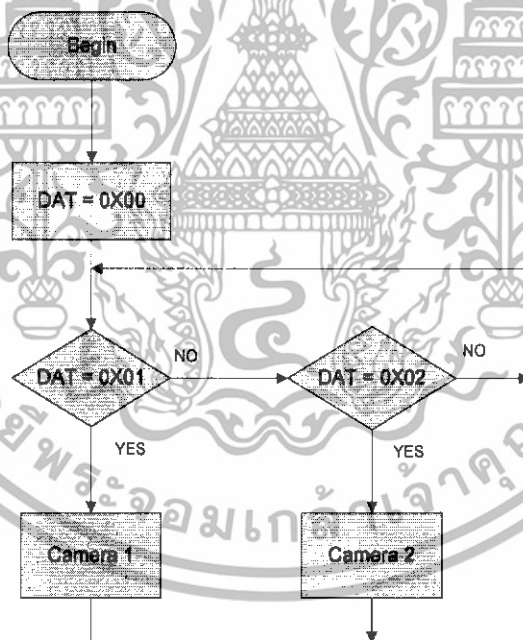
4.1 โปรแกรมในการควบคุมการสลับการใช้งานของกล้อง

4.1.1 การส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งคำสั่งที่คอมพิวเตอร์ส่งมาควบคุมการสลับการทำงานของกล้องจะมีอยู่ 2 คำสั่งคือ

0X01 สำหรับการใช้งานกล้องตัวที่ 1

0X02 สำหรับการใช้งานกล้องตัวที่ 2

4.1.2 การรับคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีการทำงานเป็นขั้นตอนตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 Flow Chart ของโปรแกรมบน AT89C2051 ส่วนการสลับการใช้งานของกล้อง

จากรูปที่ 4.1 เราจะตรวจสอบค่า DAT ว่ามีค่าเป็น 0X01 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 0X01 แสดงว่าคอมพิวเตอร์สั่งให้เลือกการใช้งานกล้องตัวที่ 1 แต่ถ้าค่าที่ตรวจสอบได้ไม่ได้มีค่าเป็น 0X01 ก็ให้ทำการตรวจสอบต่อไปว่ามีค่าเป็น 0X02 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 0X02 แสดงว่าคอมพิวเตอร์สั่งให้เลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานกล้องตัวที่ 2 แต่ถ้าค่าที่ตรวจสอบได้ไม่ได้มีค่าเป็น 0X02 แสดงว่าไม่มีการส่งคำสั่งใดๆ มา จากนั้นจะทำการตรวจสอบค่า DAT ต่อไปเรื่อยๆ

4.2 โปรแกรมในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์

4.2.1 การตั้งค่าตั้งจากคอมพิวเตอร์ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งคำสั่งที่คอมพิวเตอร์ส่งมาควบคุมการหมุนของมอเตอร์จะมีอยู่ 2 คำสั่งคือ

0X03 สำหรับให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย

0X04 สำหรับให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา

4.2.2 การรับคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีการทำงานเป็นขั้นตอนตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Flow Chart ของโปรแกรมบน AT89C2051 ส่วนการควบคุมการหมุนของมอเตอร์

จากรูปที่ 4.2 เราจะตรวจสอบค่า DAT ว่ามีค่าเป็น 0X03 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 0X03 แสดงว่าคอมพิวเตอร์สั่งให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย แต่ถ้าค่าที่ตรวจสอบได้ไม่ได้มีค่าเป็น 0X03 ก็ให้ทำการตรวจสอบต่อไปว่ามีค่าเป็น 0X04 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 0X04 แสดงว่าคอมพิวเตอร์สั่งให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา แต่ถ้าค่าที่ตรวจสอบได้ไม่ได้มีค่าเป็น 0X04 แสดงว่าไม่มีการส่งคำสั่งใดๆ มา

จากนั้นจะทำการตรวจสอบค่า DAT ต่อไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

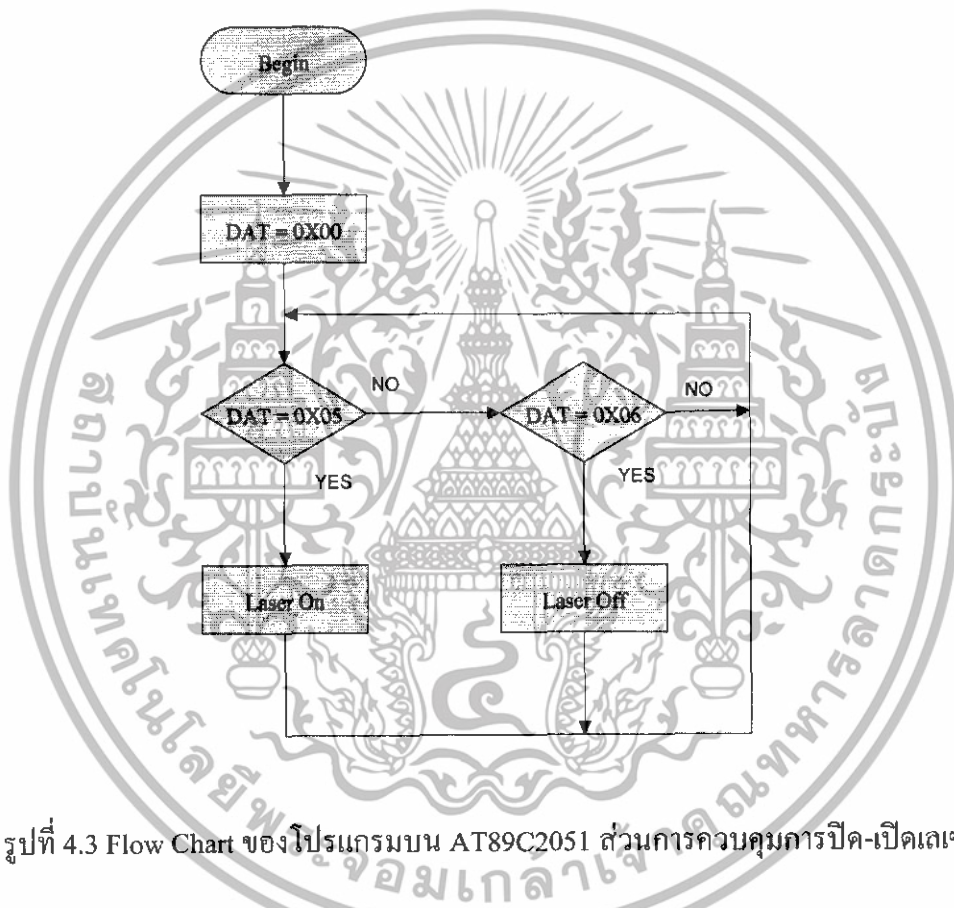
4.3 โปรแกรมในการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์

4.3.1 การส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งคำสั่งที่คอมพิวเตอร์ส่งมาควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์จะมีอยู่ 2 คำสั่งคือ

0X05 สำหรับการควบคุมให้เลเซอร์ทำงาน

0X06 สำหรับการควบคุมให้เลเซอร์หยุดทำงาน

4.3.2 การรับคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีการทำงานเป็นขั้นตอนตามรูปที่ 4.3

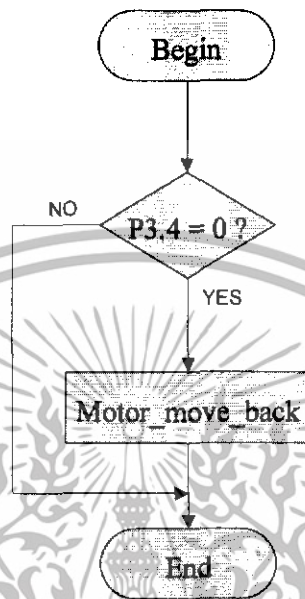


รูปที่ 4.3 Flow Chart ของโปรแกรมบน AT89C2051 ส่วนการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์

จากรูปที่ 4.3 เราจะตรวจสอบค่า DAT ว่ามีค่าเป็น 0X05 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 0X05 แสดงว่าคอมพิวเตอร์สั่งให้เลเซอร์ทำงาน แต่ถ้าค่าที่ตรวจสอบได้ไม่ได้มีค่าเป็น 0X05 ก็ให้ทำการตรวจสอบต่อไปว่ามีค่าเป็น 0X06 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 0X06 แสดงว่าคอมพิวเตอร์สั่งให้เลเซอร์หยุดทำงาน แต่ถ้าค่าที่ตรวจสอบได้ไม่ได้มีค่าเป็น 0X06 แสดงว่าไม่มีการส่งคำสั่งใดๆมา จากนั้นจะทำการวนตรวจสอบค่า DAT ต่อไปเรื่อยๆ

4.4 โปรแกรมในการตรวจสอบตำแหน่งเลเซอร์เมื่อเริ่มต้นการทำงาน

4.4.1 การตรวจสอบสถานะลอจิกของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.4 Flow Chart ในส่วนการตรวจสอบตำแหน่งเลเซอร์เมื่อเริ่มต้นการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 4.4 เราจะตรวจสอบค่าลอจิกของพอร์ต 3.4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหากที่พอร์ต 3.4 มีค่าลอจิกเป็น 0 แสดงว่าเลเซอร์ไม่ได้อยู่ที่จุดเริ่มต้น ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งคำสั่งให้มอเตอร์หมุนกลับมายังจุดเริ่มต้น

4.5 โปรแกรมในส่วนการประมวลผลภาพ

จะใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio.NET โดยใช้ภาษา C# เป็นตัวประมวลผล มีหลักการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 การจับภาพของกล้อง



รูปที่ 4.5 ภาพการจับภาพของกล้อง

ในการจับภาพจากกล้อง เราจะใช้ภาพขนาด 320×240 พิกเซล โดยจะจับเป็นภาพต่อเนื่อง แล้วนำภาพในแต่ละเฟรมนั้น ไปประมวลผล

4.5.2 การประมวลผลภาพ

4.5.2.1 หน้าต่างของโปรแกรม



รูปที่ 4.6 หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างของโปรแกรมจะประกอบด้วย

- ปุ่ม CAMERA 1 / ปุ่ม CAMERA 2 เป็นปุ่มที่ให้เลือกการใช้งานกล้องตัวที่ 1 หรือกล้องตัวที่ 2

- หน้าต่างวิดีโอ (VIDEO) เป็นภาพต่อเนื่องที่ได้จากกล้องตัวที่ 1 หรือกล้องตัวที่ 2

- หน้าต่าง CAMERA 1 จะแสดงภาพที่ได้จากการกดปุ่ม Snapshot เมื่อเราเลือกการใช้งานกล้องตัวที่ 1

- หน้าต่าง CAMERA 2 จะแสดงภาพที่ได้จากการกดปุ่ม Snapshot เมื่อเราเลือกการใช้งานกล้องตัวที่ 2

- หน้าต่าง Detect Laser Camera 1 จะแสดงตำแหน่งเลเซอร์ที่ตรวจหาได้จากกล้องตัวที่ 1

- หน้าต่าง Detect Laser Camera 2 จะแสดงตำแหน่งเลเซอร์ที่ตรวจหาได้จากกล้องตัวที่ 2

- หน้าต่าง Plot (X, Y) จะแสดงภาพที่นำจุด (X, Y, Z) ที่คำนวณได้ มาสร้างเป็นภาพ

- ปุ่ม Laser เป็นปุ่มที่ใช้กดเมื่อต้องการใช้งานเลเซอร์

- ปุ่ม Up เป็นปุ่มที่ใช้สั่งให้มอเตอร์เลื่อนขึ้น

- ปุ่ม Down เป็นปุ่มที่ใช้สั่งให้มอเตอร์เลื่อนลง

- ปุ่ม Left เป็นปุ่มที่ใช้สั่งให้มอเตอร์เลื่อนไปทางซ้าย

- ปุ่ม Right เป็นปุ่มที่ใช้สั่งให้มอเตอร์เลื่อนไปทางขวา

- ปุ่ม Snapshot เป็นปุ่มที่ใช้กดเมื่อต้องการภาพที่ได้จากกล้องในหน้าต่างวิดีโอ มาเพื่อทำ

การประมวลผล

- ปุ่ม Calculate เป็นปุ่มที่นำค่า (x1, y1) และ (x2, y2) มาคำนวณหาพิกัด 3 มิติของ

วัตถุ (X, Y, Z)

- ปุ่ม Plot เมื่อกดปุ่มนี้ จะนำพิกัด 3 มิติ (X, Y, Z) ของวัตถุมาสร้างเป็นภาพ

- ปุ่ม Clear เป็นปุ่มที่ใช้ลบค่าที่แสดงบนหน้าต่างโปรแกรม

- ปุ่ม Auto เป็นปุ่มที่สั่งให้การทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ

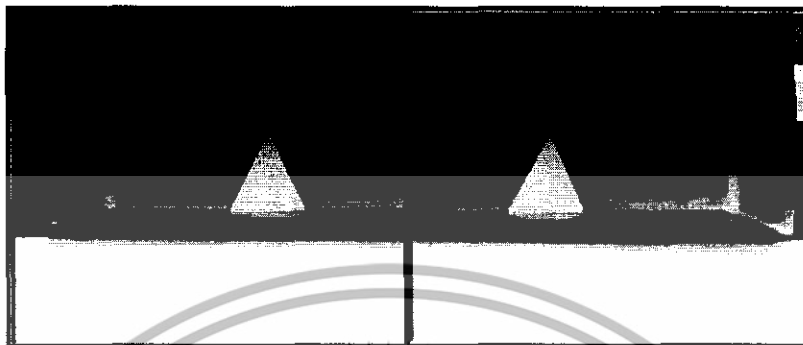
- ปุ่ม W เป็นปุ่มที่ให้สร้างไฟล์ที่เป็น.txt เพื่อแสดงค่าพิกัด 3 มิติของวัตถุ

- (x1, y1) และ(x2, y2) เป็นค่าพิกัดของตำแหน่งเลเซอร์ของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.2 หลักการของการประมวลผลภาพ สามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

4.5.2.2.1 ขั้นตอนการตรวจหาค่าแห่งเลเซอร์



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายเมื่อนำเลเซอร์ชี้ที่วัตถุของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ตามลำดับ

เมื่อเราได้ภาพจากกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 แล้ว เราจะนำภาพทั้งสองมาทำการประมวลผลภาพ โดยเราจะถ่ายภาพต้นแบบของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ขณะที่ยังไม่มีเลเซอร์เพื่อเก็บเป็นภาพต้นแบบไว้ จากนั้นเราจะนำภาพต้นแบบและภาพที่มีเลเซอร์ของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 มาทำเป็นภาพขาวดำ (Grayscale) เมื่อได้ภาพขาวดำแล้ว ค่าสี R,G,B ของแต่ละพิกเซลจะมีค่าเท่ากัน จากนั้นเราจะนำภาพต้นแบบมาลบกับภาพถ่ายที่มีเลเซอร์

โดยหลักการลบภาพ เราจะนำค่าสี R, G หรือ B ของภาพต้นแบบที่เป็นภาพขาวดำตำแหน่งที่ (i, j) มาลบกับค่าสี R,G หรือ B ของภาพที่มีเลเซอร์ที่เป็นภาพขาวดำตำแหน่งที่ (i, j) ตามสมการ

$$R_{(i, j)DIFF1} = |R_{(i, j)ORIGINAL1} - R_{(i, j)CAMERA1}| \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

$$R_{(i, j)DIFF2} = |R_{(i, j)ORIGINAL2} - R_{(i, j)CAMERA2}| \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

โดยที่

$$R_{(i, j)ORIGINAL1} = \text{ค่าสีแดงที่อยู่ในพิกเซล (i, j) ของภาพต้นแบบของกล้องตัวที่ 1}$$

$$R_{(i, j)ORIGINAL2} = \text{ค่าสีแดงที่อยู่ในพิกเซล (i, j) ของภาพต้นแบบของกล้องตัวที่ 2}$$

$$R_{(i, j)CAMERA1} = \text{ค่าสีแดงที่อยู่ในพิกเซล (i, j) ของภาพที่มีเลเซอร์ของกล้องตัวที่ 1}$$

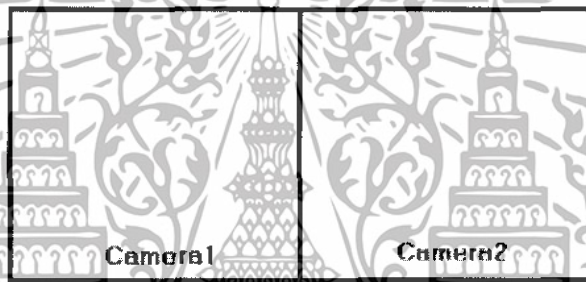
$$R_{(i, j)CAMERA2} = \text{ค่าสีแดงที่อยู่ในพิกเซล (i, j) ของภาพที่มีเลเซอร์ของกล้องตัวที่ 2}$$

$$R_{(i, j)DIFF1} = \text{ค่าผลต่างสีแดงที่อยู่ในพิกเซล (i, j) ของภาพต้นแบบของกล้อง$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{(i,j)DIFF2} = \begin{matrix} \text{ตัวที่ 1} & \text{กับภาพที่มีเลขเซอร์ของกล้องตัวที่ 1} \\ \text{ค่าผลต่างสีแดงที่อยู่ในพิกเซล (i, j) ของภาพต้นแบบของกล้อง} \\ \text{ตัวที่ 2} & \text{กับภาพที่มีเลขเซอร์ของกล้องตัวที่ 2} \end{matrix}$$

เมื่อเราได้ ภาพที่ได้จากการลบกันของภาพต้นแบบกับภาพที่มีเลขเซอร์แล้ว ขั้นตอนต่อไป เราจะใช้หลักการของเทมเพลตแมชชีน (Template Matching) เพื่อตรวจหาพิกัดของตำแหน่งเลขเซอร์ โดยเราจะสร้างรูปที่มีขนาด 2*2 พิกเซล ที่มีสีขาวเอาไว้ จากนั้นจะเริ่มนำภาพที่สร้างไปสแกนบน รูปที่ได้จากการลบกันของภาพต้นแบบกับภาพที่มีเลขเซอร์ เพื่อหาว่าพิกัดใดมีค่าสีใกล้เคียงกับภาพที่เราสร้างขึ้นมากที่สุด



รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของเลขเซอร์ของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ตามลำดับ

4.5.2.2.2 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุ

เมื่อเราสามารถตรวจหาตำแหน่งของเลขเซอร์ของทั้งสองกล้องได้แล้ว เราจะได้ค่า (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) จากนั้นเราจะนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$Z = \frac{|(2 * h * f) / (x_2 - x_1)|}{2}$$

$$X = \frac{|((Z * x_1) / f) - h|}{2}$$

$$Y = \frac{|((Z * y_1) / f) - h|}{2}$$

โดยที่ $x_1, y_1 =$ พิกัดของเลขเซอร์ของกล้องตัวที่ 1

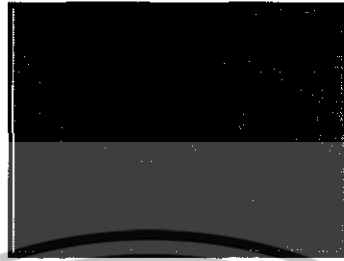
$x_2, y_2 =$ พิกัดของเลขเซอร์ของกล้องตัวที่ 2

$h =$ ครึ่งหนึ่งของระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของกล้องตัวที่ 1 ถึงจุดกึ่งกลางของกล้องตัวที่ 2

$f =$ ความยาวโฟกัสของเลนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเมื่อเราสามารถคำนวณหาค่าพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุครบทุกจุดที่เราต้องการแล้ว เราจะนำจุดไปพล็อตเป็นรูป

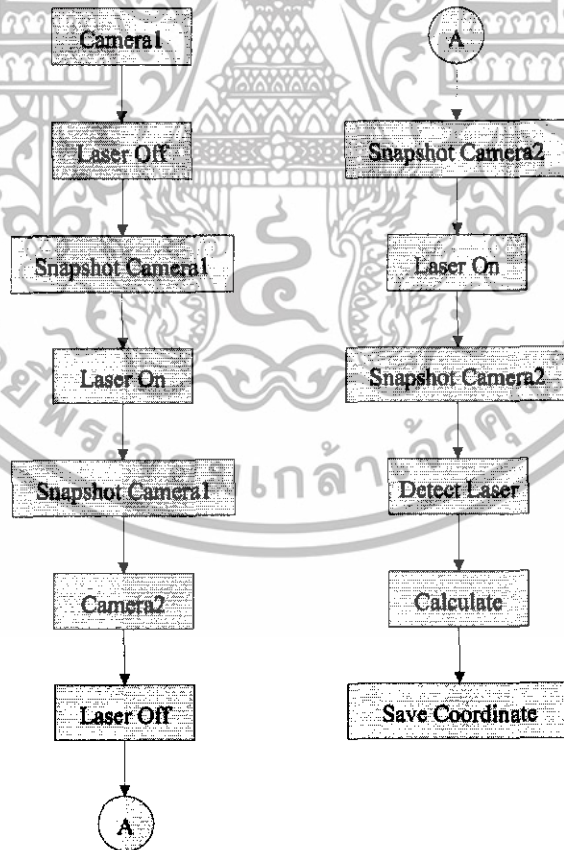


รูปที่ 4.9 ภาพที่ได้จากการนำพิกัด(X, Y, Z) ที่คำนวณได้มาพล็อตในรูป 2 มิติ

4.6 การทำงานแบบอัตโนมัติในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ

4.6.1 โปรแกรมย่อยในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ 1 จุดแบบอัตโนมัติ

(Original_Snaptshot)

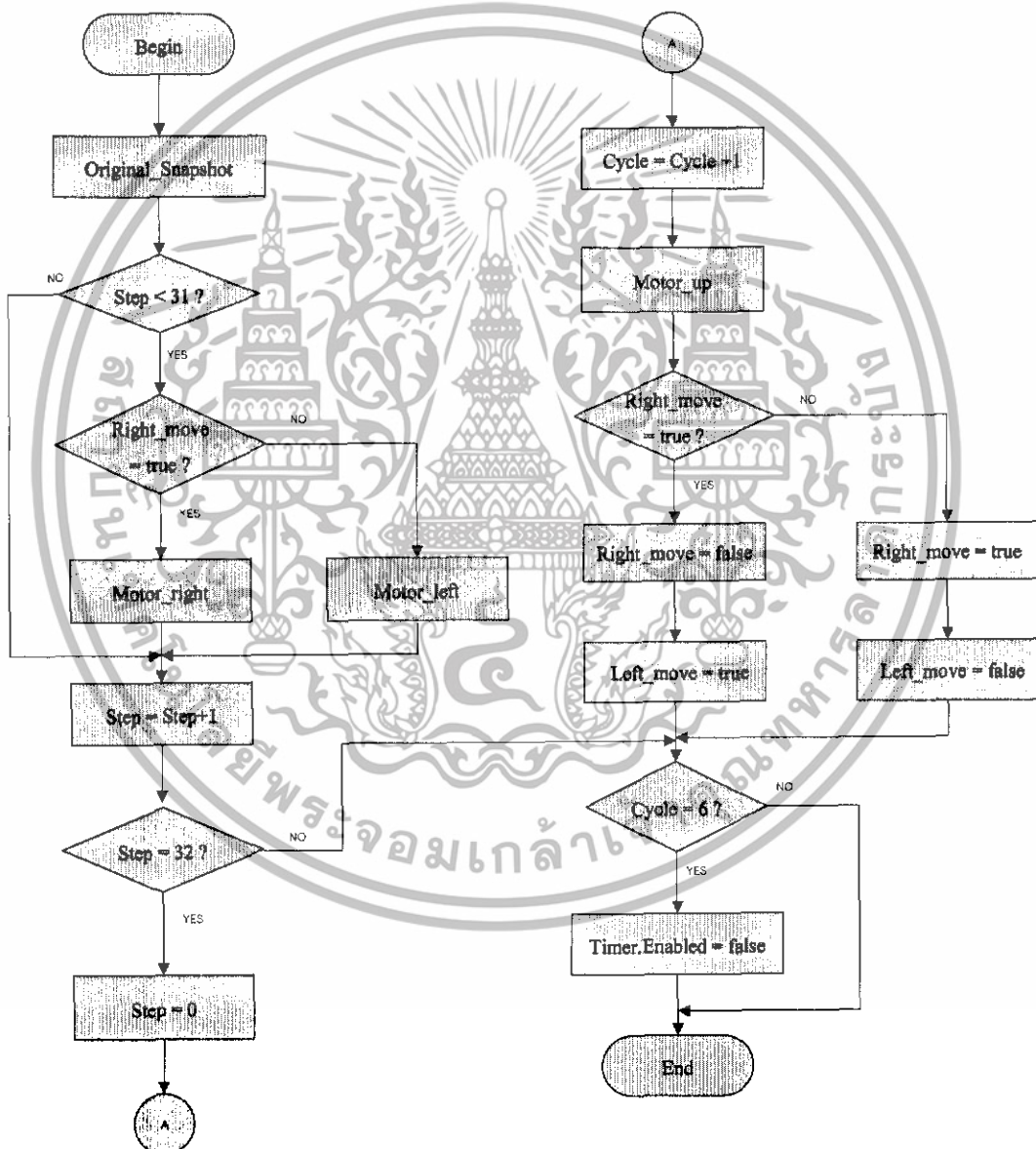


รูปที่ 4.10 Flow Chart โปรแกรมย่อยในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ 1 จุดแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 จะแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยโดยเริ่มจากการถ่ายภาพต้นแบบจากกล้องที่ 1 และกล้องที่ 2 ขณะไม่มีเลเซอร์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาพถ่ายของกล้องที่ 1 และกล้องที่ 2 ขณะมีเลเซอร์ เมื่อหาพิกัดของเลเซอร์ได้แล้วจะนำพิกัดทั้งสองนั้นไปคำนวณหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ จากนั้นจะทำการเก็บพิกัด 3 มิติที่คำนวณได้

4.6.2 โปรแกรมย่อย Timer1_Tick

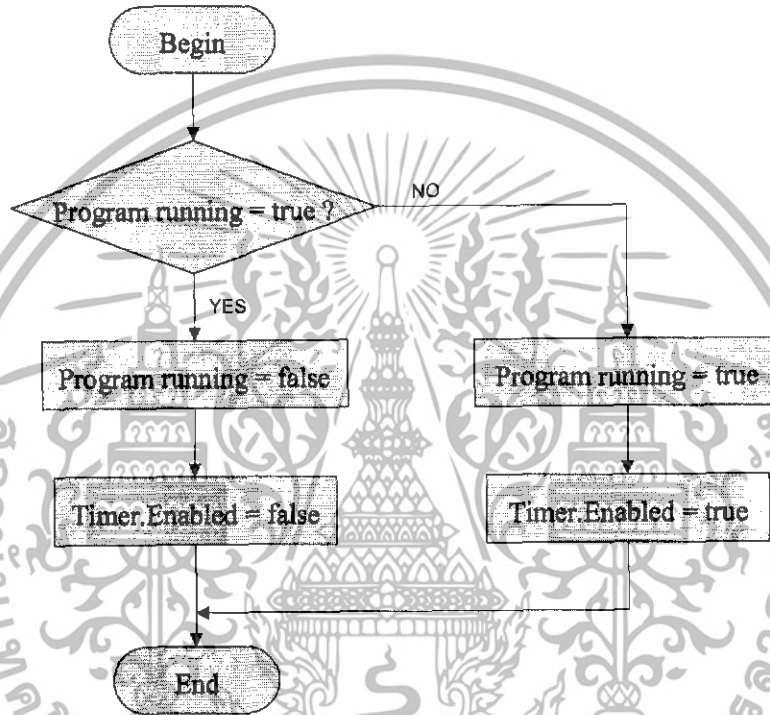


รูปที่ 4.11 Flow Chart โปรแกรมย่อย Timer1_Tick

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 เป็นโปรแกรมย่อยในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ ซึ่งในโครงการนี้เราจะทำการสแกนวัตถุครั้งละ 6 แถว แถวละ 32 จุด โดยจะใช้ timer เป็นตัวนับเวลาในการหาพิกัดที่ละจุด ซึ่ง timer ที่ตั้งไว้มีค่าเท่ากับ 13 วินาที

4.6.3 โปรแกรมหลักในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 4.12 Flow Chart ของ โปรแกรมหลักของการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ

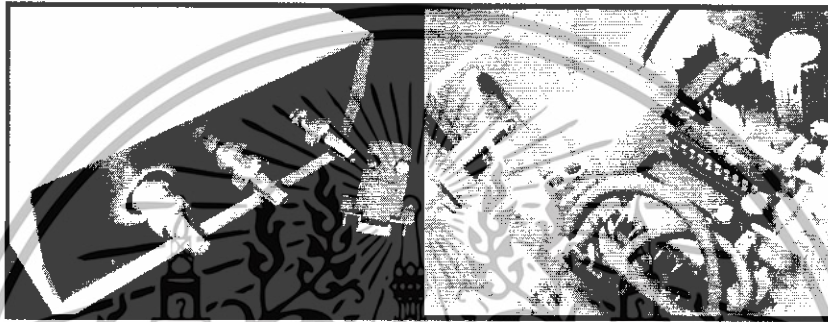
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง

5.1 การทดลองส่วนฮาร์ดแวร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

5.1.1 การทดลองส่วนของการจัดการใช้งานของกล้อง



รูปที่ 5.1 ภาพส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์

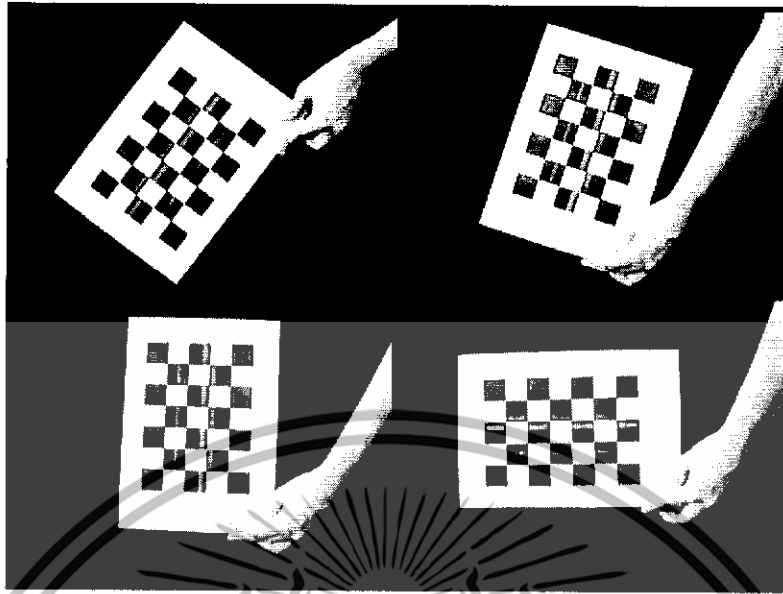
จากการทดลองส่วนฮาร์ดแวร์ พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมจากคอมพิวเตอร์ได้ และสามารถสลับการใช้งานของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ได้อย่างดี

5.1.2 การทดลองส่วนของกล้อง

5.1.2.1 การหาความยาวโฟกัสของกล้อง

เราต้องการหาความยาวโฟกัสเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ เราจึงทดลองถ่ายภาพตารางหมากรุกในลักษณะที่ต่างกัน เพื่อนำภาพที่ถ่ายได้ไปคำนวณหาค่าความยาวโฟกัส โดยใช้โปรแกรม Camera Calibration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายของตารางหมากรุกที่จะนำไปคำนวณหาความยาวโฟกัส

ซึ่งในการทดลองนี้เราจะทดลองหาความยาวโฟกัสที่ 3 ระยะคือ 90, 110 และ 130 เซนติเมตร โดยจะทดลองทั้งหมด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละระยะ เพื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปใช้ในการคำนวณต่อไป

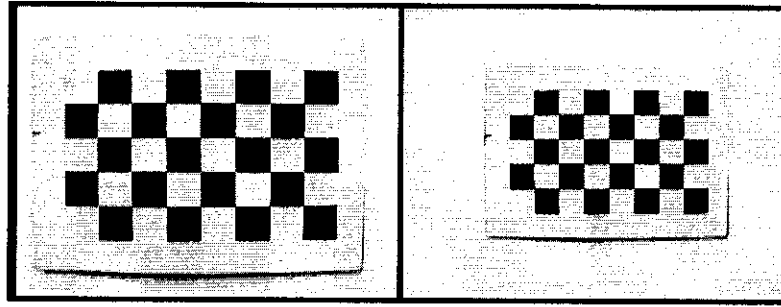
ตารางที่ 5.1 ความยาวโฟกัสที่ระยะต่างๆ

ระยะห่างจากกล้องถึงวัตถุ	ความยาวโฟกัส (พิกเซล)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
90 เซนติเมตร	602.6004	569.401	548.763	573.588
110 เซนติเมตร	649.5581	534.77597	544.2907	576.208
130 เซนติเมตร	654.263	541.52	539.294	578.359

5.1.2.2 การแปลงจากหน่วยเซนติเมตรให้เป็นหน่วยพิกเซล

เนื่องจากการประมวลผลภาพ จะมีหน่วยเป็นพิกเซล ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องแปลงระยะจากหน่วยเซนติเมตรให้เป็นหน่วยพิกเซล เราจึงทำการทดลองถ่ายภาพตารางหมากรุกซึ่งมีขนาดของแต่ละช่องเท่ากับ 3*3 เซนติเมตร ที่ระยะต่างๆ แล้วเราจะคำนวณหาความสัมพันธ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

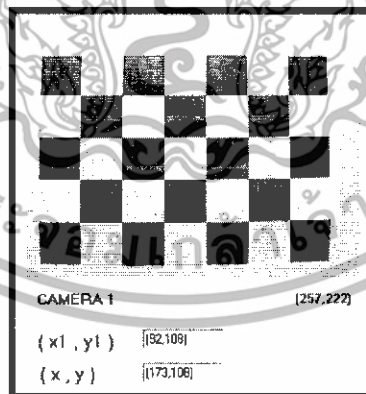


รูปที่ 5.3 ตัวอย่างภาพถ่ายตารางหมากรุกที่ระยะต่างๆ

วิธีการแปลงจากหน่วยเซนติเมตรให้เป็นหน่วยพิกเซล สามารถทำได้โดยใช้เมาส์คลิกที่ภาพ โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้น เราจะได้ค่า (x_1, y_1) และจุดสุดท้ายของภาพ (x, y) ในแนวเดียวกัน แล้วนำค่าพิกัดที่ได้มาคำนวณตามสมการ

$$\text{ค่าพิกเซล/เซนติเมตร} = \frac{(x - x_1)}{r} \quad (\text{สมการที่ 5.1})$$

โดยที่ x = พิกัดในแนวแกน x ของจุดสุดท้ายของภาพที่เราพิจารณา
 x_1 = พิกัดในแนวแกน x ของจุดเริ่มต้นของภาพที่เราพิจารณา
 r = ระยะห่างของจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายของตารางหมากรุกที่เราพิจารณา (เซนติเมตร)



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างภาพถ่ายตารางหมากรุกที่นำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ พร้อมแสดงพิกัดของจุดเริ่มต้น (x_1, y_1) และจุดสุดท้าย (x, y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของการแปลงจากหน่วยเซนติเมตรให้เป็นหน่วยฟิกเชด

ระยะห่างจากกล้องถึงวัตถุ (เซนติเมตร)	ค่าฟิกเชด / เซนติเมตร
60	9.16
70	8.5
80	6.83
90	6.16
100	5.66
110	4.83
120	4.64
130	4.33

5.1.3 การทดลองส่วนการควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์และส่วนของมอเตอร์



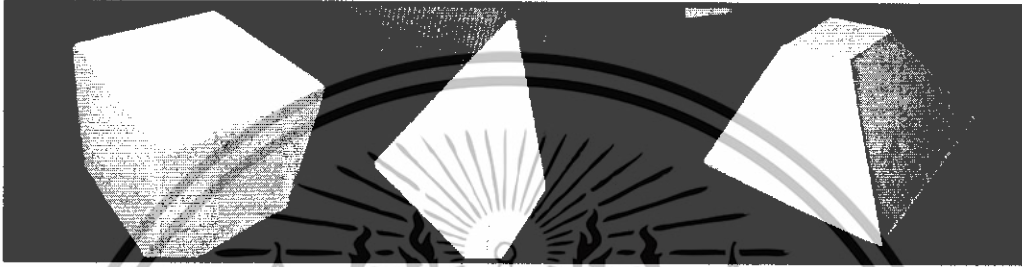
รูปที่ 5.5 ภาพวงจรที่ใช้ควบคุมการปิด-เปิดเลเซอร์และส่วนของมอเตอร์

จากการทดลองในส่วนนี้พบว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมจากคอมพิวเตอร์ได้ และสามารถควบคุมการปิด-เปิดของเลเซอร์ได้เป็นอย่างดี และสำหรับในส่วนของมอเตอร์นั้นพบว่า สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้และมอเตอร์สามารถหมุนได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองส่วนโปรแกรม

ในส่วนของการทดลองนี้ เราต้องการทดสอบว่าโปรแกรมสามารถตรวจหาตำแหน่งพิกัดของเลเซอร์ได้ และนำค่าพิกัดที่ตรวจหาได้ไปคำนวณเพื่อหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ แล้วนำพิกัดที่คำนวณได้ไปสร้างเป็นรูปใน 2 มิติได้ ซึ่งจะทดลองที่ระยะต่างๆกัน 3 ระยะคือ 90 , 110 และ 130 เซนติเมตร และทดลองเปลี่ยนวัตถุที่ระยะนั้นๆ



รูปที่ 5.6 ภาพวัตถุรูปทรงต่างๆ ที่นำมาทดลอง

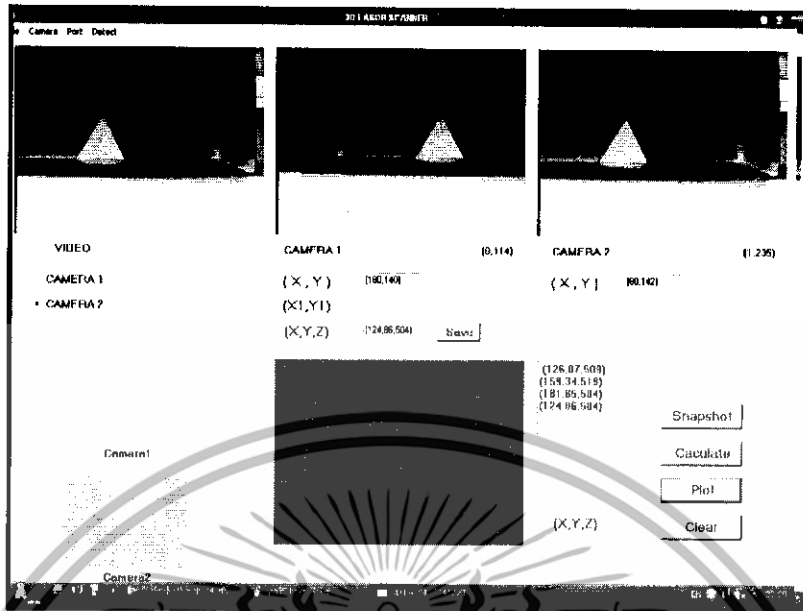


รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการวัดวัตถุห่างจากกล้องเพื่อทำการทดลอง

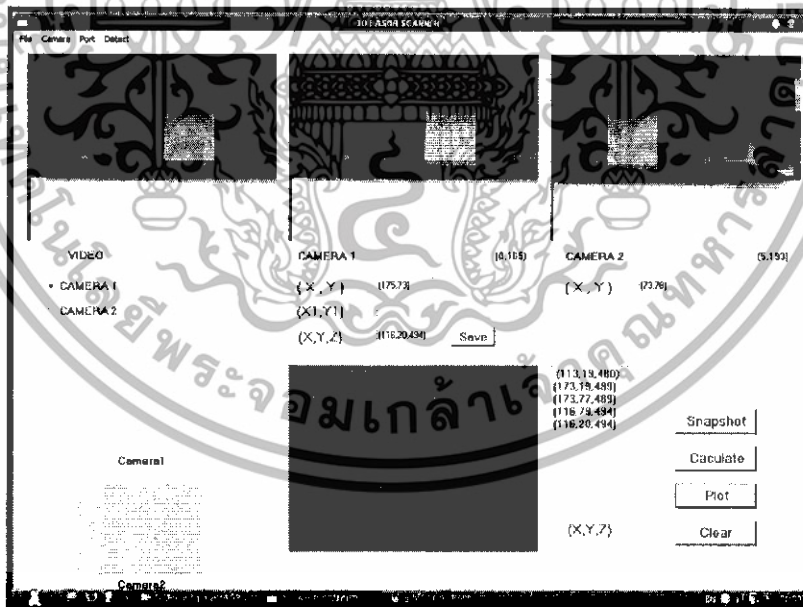
การทดลองที่ 5.2.1 ทดลองวางวัตถุห่างจากกล้องเป็นระยะ 90 เซนติเมตร และทดลองเปลี่ยนวัตถุ

ในการทดลองนี้ตำแหน่งของกล้อง 2 ตัวจะวางห่างกัน 20 เซนติเมตร ดังนั้นระยะ h จะเท่ากับ 10 เซนติเมตร เมื่อทำเป็นหน่วยพิกเซลจะเท่ากับ 61 พิกเซล และมีความยาวโฟกัสเท่ากับ 573 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

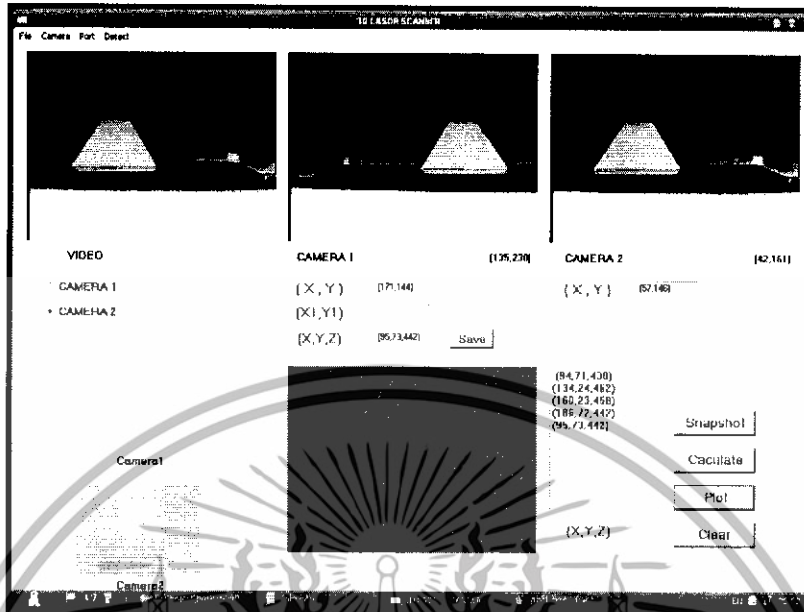


รูปที่ 5.8 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 90 เซนติเมตร

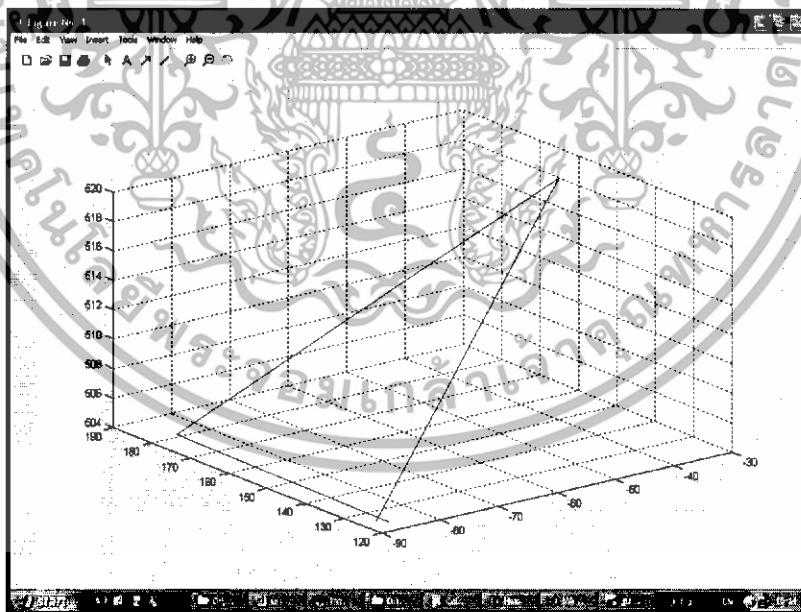


รูปที่ 5.9 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

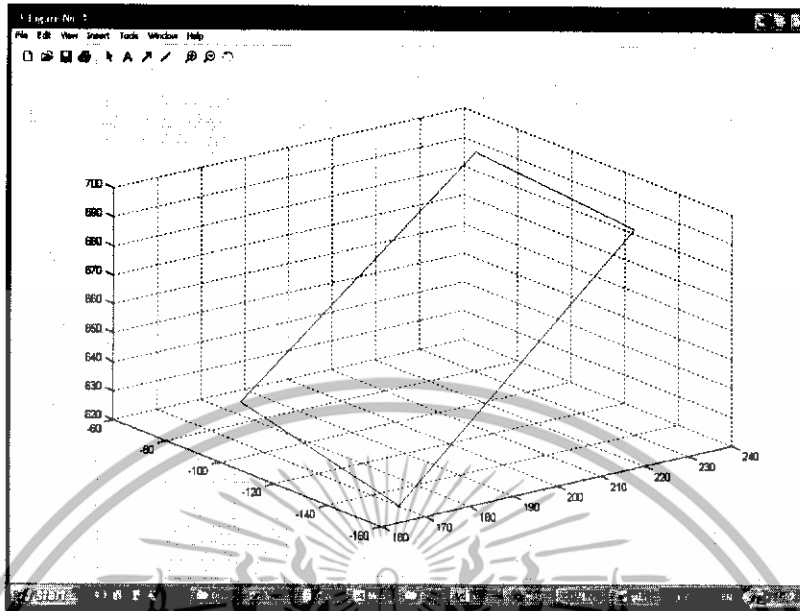


รูปที่ 5.10 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติที่ระยะ 90 เซนติเมตร

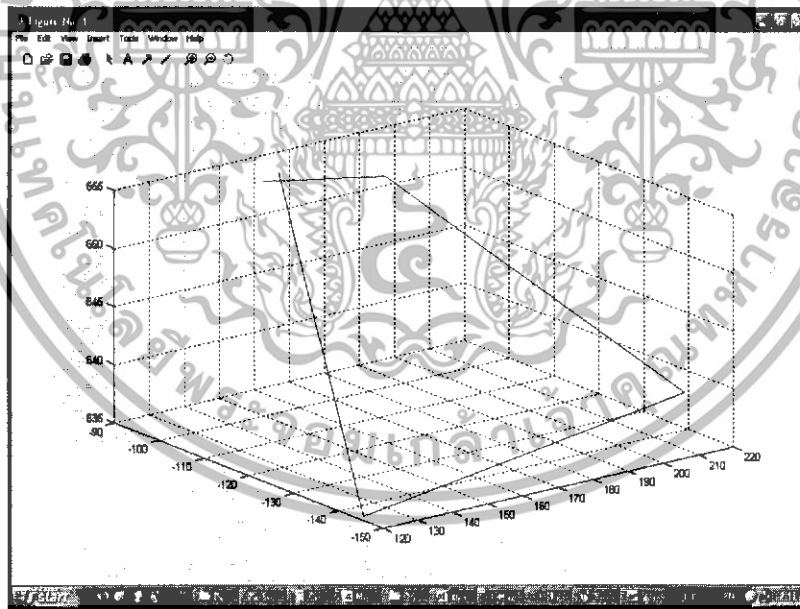


รูปที่ 5.11 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติที่ระยะ 90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 90 เซนติเมตร



รูปที่ 5.13 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติที่ระยะ 90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองของรูปสามเหลี่ยม ที่ระยะ 90 เซนติเมตร โดยที่รูปสามเหลี่ยมมีความกว้างฐาน 10 เซนติเมตร และมีความลึกหน้าตัด 3 เซนติเมตร

การทดลอง	ความกว้างฐาน	% ความผิดพลาด	ความลึกหน้าตัด	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	10.06	0.65	2.24	25.33	89.12	0.97
ครั้งที่ 2	10.06	0.65	3.24	8.22	89.12	0.97
ครั้งที่ 3	10.22	2.27	2.43	18.83	90.53	0.58

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ที่ระยะ 90 เซนติเมตร โดยที่รูปสี่เหลี่ยมมีความสูง 10 เซนติเมตร และมีความลึกวัตถุ 7 เซนติเมตร

การทดลอง	ความสูงวัตถุ	% ความผิดพลาด	ความลึกวัตถุ	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	9.9	0.97	7.46	6.67	89.12	0.97
ครั้งที่ 2	10.18	1.8	7.37	5.28	89.82	0.19
ครั้งที่ 3	10.18	1.8	7.79	11.31	90.53	0.58

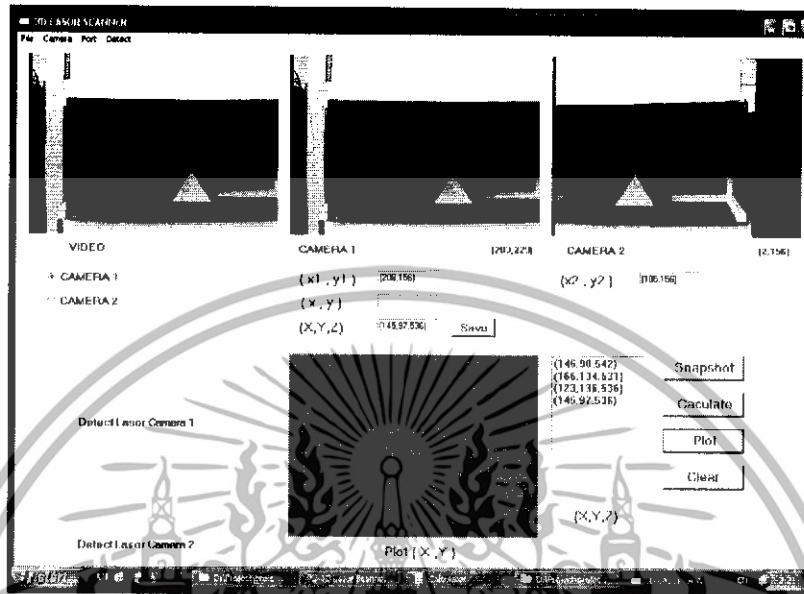
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ระยะ 90 เซนติเมตร โดยที่รูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีความกว้างฐาน 15 เซนติเมตร และมีความลึกหน้าตัด 5 เซนติเมตร

การทดลอง	ความกว้างฐาน	% ความผิดพลาด	ความลึกหน้าตัด	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	14.93	0.43	4.38	12.33	91.95	2.17
ครั้งที่ 2	15.09	0.64	5.03	0.64	90.53	0.58
ครั้งที่ 3	14.93	0.43	5.03	0.64	89.82	0.19

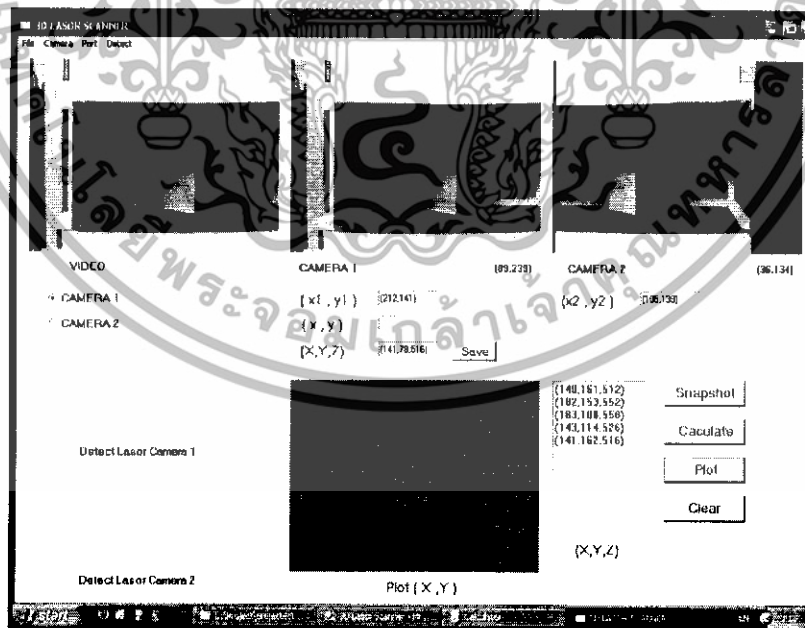
การทดลองที่ 5.2.2 ทดลองวางวัตถุห่างจากกล้องเป็นระยะ 110 เซนติเมตร และทดลองเปลี่ยนวัตถุในการทดลองนี้ตำแหน่งของกล้อง 2 ตัวจะวางห่างกัน 20 เซนติเมตร ดังนั้นระยะ h จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 10 เซนติเมตร เมื่อทำเป็นหน่วยพิกเซลจะเท่ากับ 48 พิกเซล และมีความยาวโฟกัสเท่ากับ 576 พิกเซล

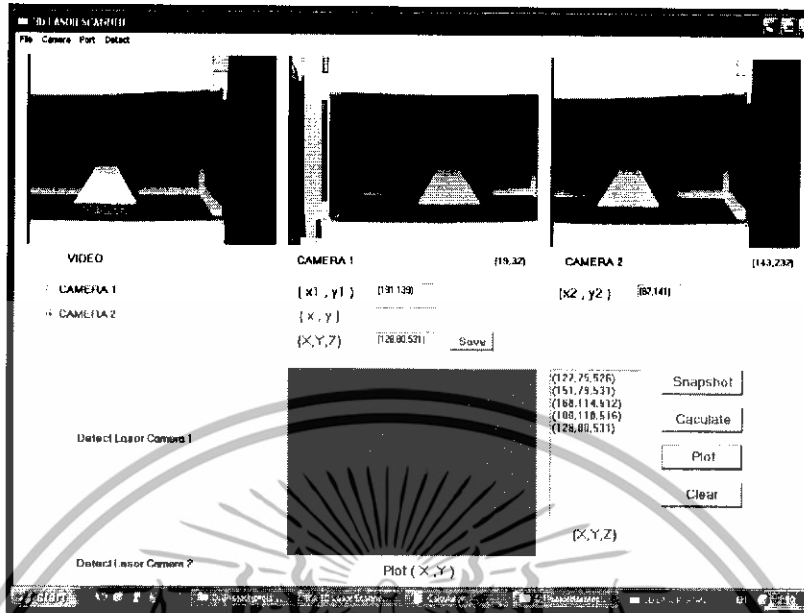


รูปที่ 5.14 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร

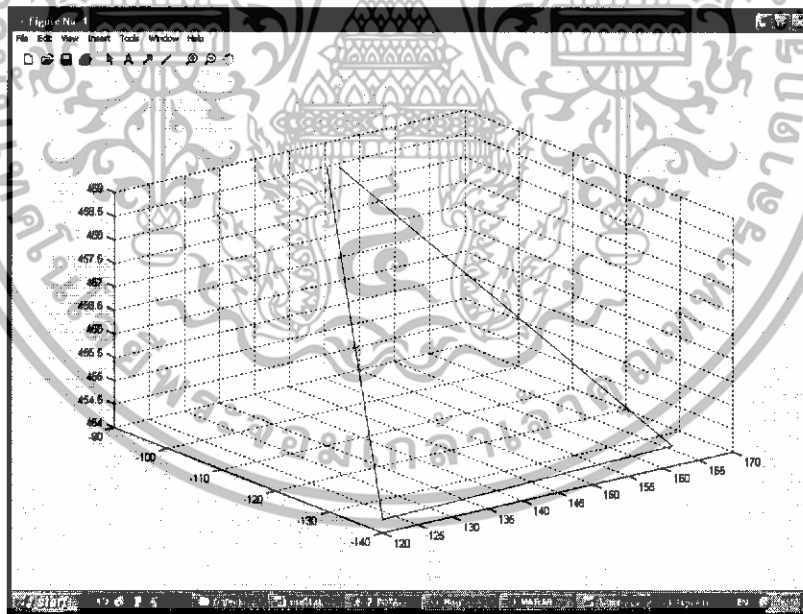


รูปที่ 5.15 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

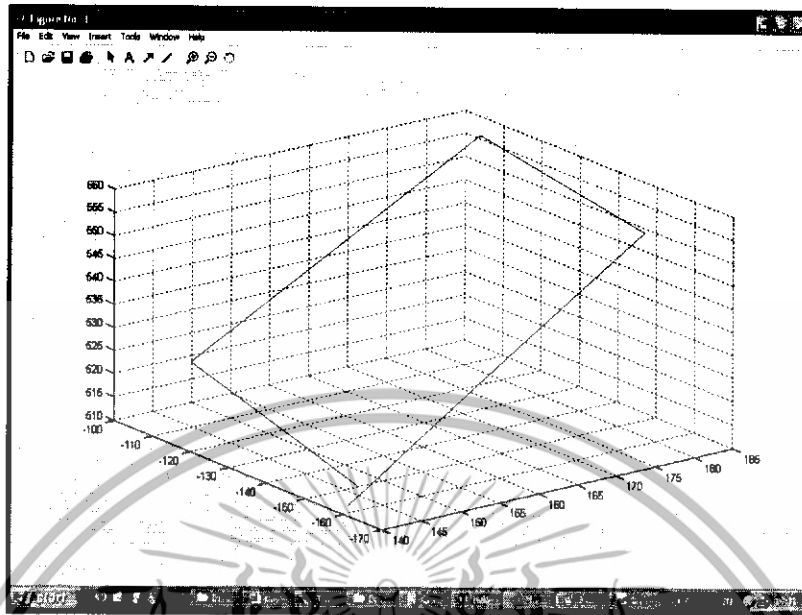


รูปที่ 5.16 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร

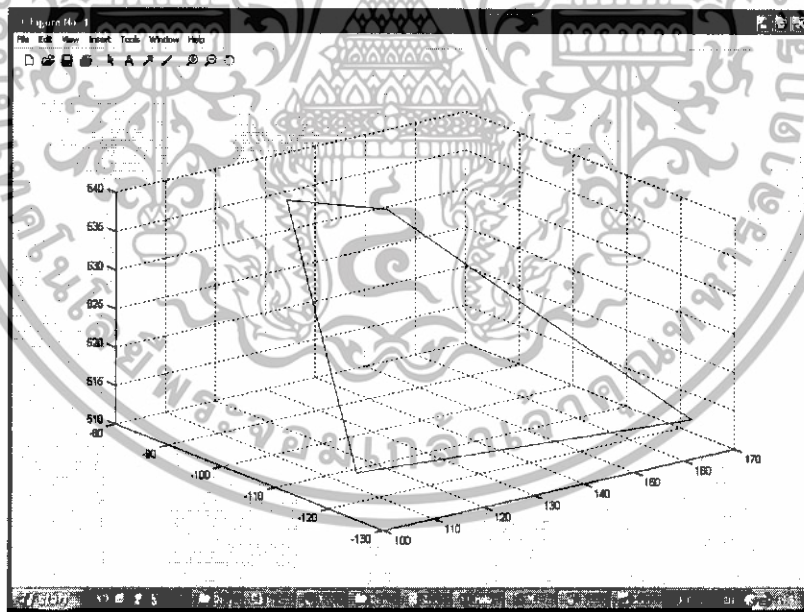


รูปที่ 5.17 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 110 เซนติเมตร



รูปที่ 5.19 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติที่ระยะ 110 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองของรูปตามเหลี่ยม ที่ระยะ 110 เซนติเมตร โดยที่รูป
สามเหลี่ยมมีความกว้างฐาน 10 เซนติเมตร และมีความลึกหน้าตัด 3 เซนติเมตร

การทดลอง	ความกว้างฐาน (cm)	% ความผิดพลาด	ความลึกหน้าตัด(cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง (cm)	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	9.7	2.69	2.07	30.98	108.9	1
ครั้งที่ 2	8.48	15.11	3.31	10.33	108.9	1
ครั้งที่ 3	8.9	10.97	2.27	24.08	109.9	0.05

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ที่ระยะ 110 เซนติเมตร โดยที่รูปสี่เหลี่ยมมี
ความสูง 10 เซนติเมตร และมีความลึกวัตถุ 7 เซนติเมตร

การทดลอง	ความสูงวัตถุ (cm)	% ความผิดพลาด	ความลึกวัตถุ (cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง(cm)	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	8.9	10.97	7.94	13.42	104.96	4.57
ครั้งที่ 2	9.73	2.7	8.28	18.3	106	3.63
ครั้งที่ 3	9.8	2	7.6	9.43	106.83	2.87

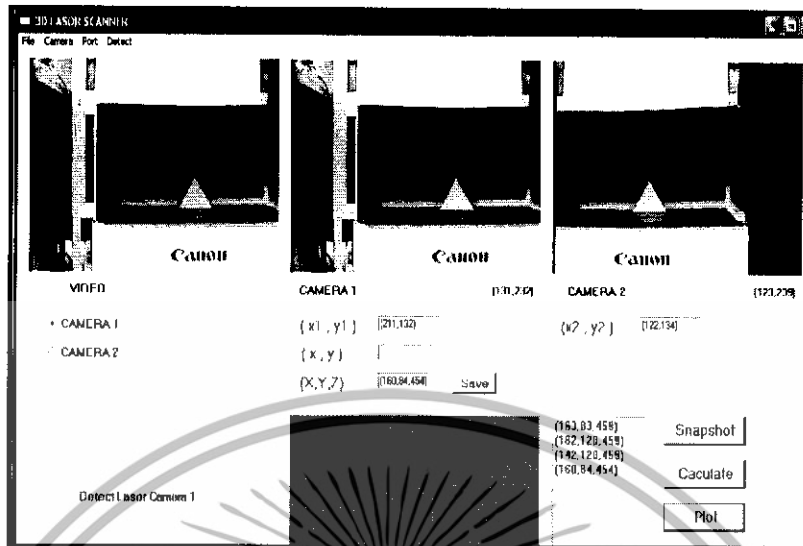
ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ระยะ 110 เซนติเมตร โดยที่รูป
สี่เหลี่ยมคางหมู มีความกว้างฐาน 15 เซนติเมตร และมีความลึกหน้าตัด 5 เซนติเมตร

การทดลอง	ความกว้างฐาน (cm)	% ความผิดพลาด	ความลึกหน้าตัด(cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง(cm)	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	14.28	4.76	3.93	21.32	106	3.63
ครั้งที่ 2	14.28	4.76	3.93	21.32	106.83	2.87
ครั้งที่ 3	14.07	6.14	3.1	37.88	106	3.63

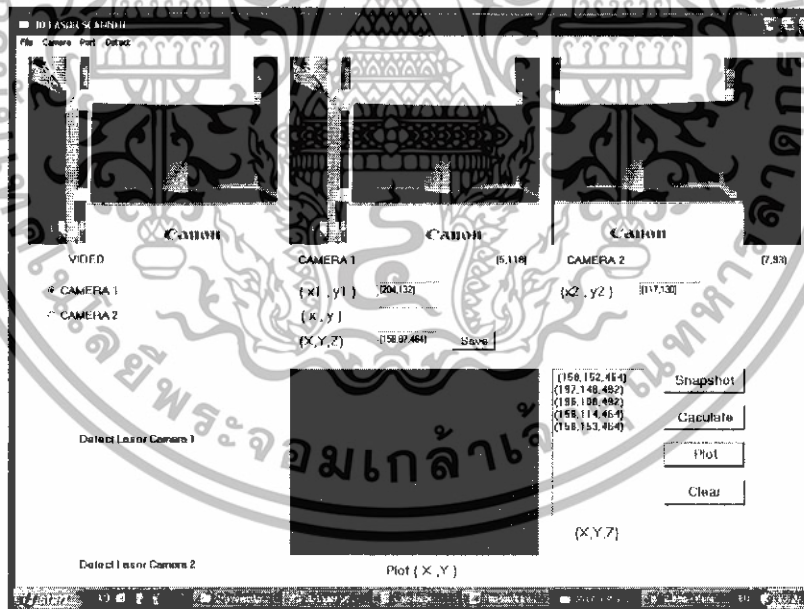
การทดลองที่ 5.2.3 ทดลองวางวัตถุห่างจากห้องเป็นระยะ 130 เซนติเมตร และทดลองเปลี่ยนวัตถุ

ในการทดลองนี้ตำแหน่งของกล้อง 2 ตัวจะวางห่างกัน 20 เซนติเมตร ดังนั้นระยะ h จะเท่ากับ 10 เซนติเมตร เมื่อทำเป็นหน่วยพิกเซลจะเท่ากับ 43 พิกเซล และมีความยาวโฟกัสเท่ากับ 578 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

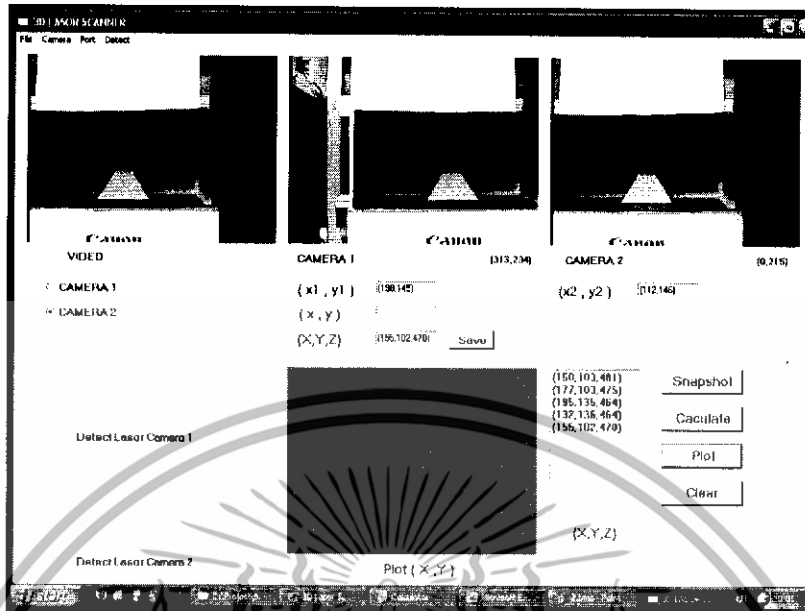


รูปที่ 5.20 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร

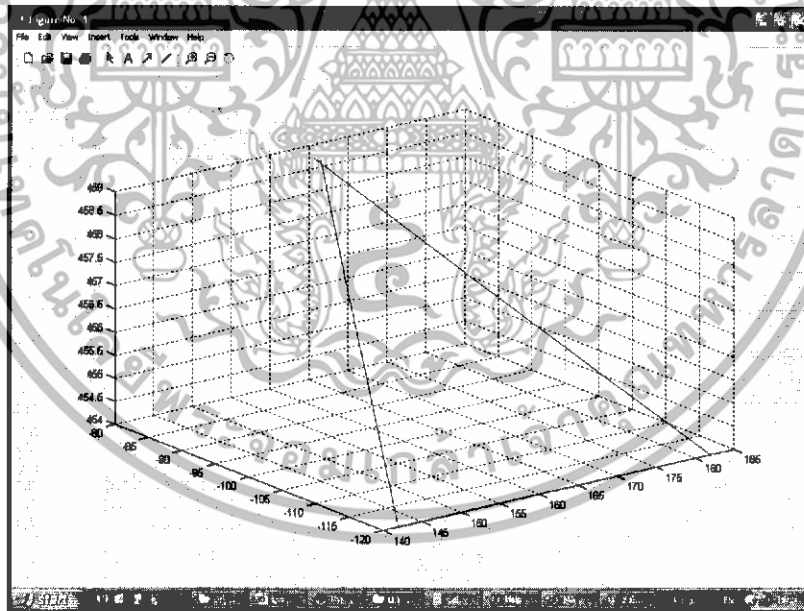


รูปที่ 5.21 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

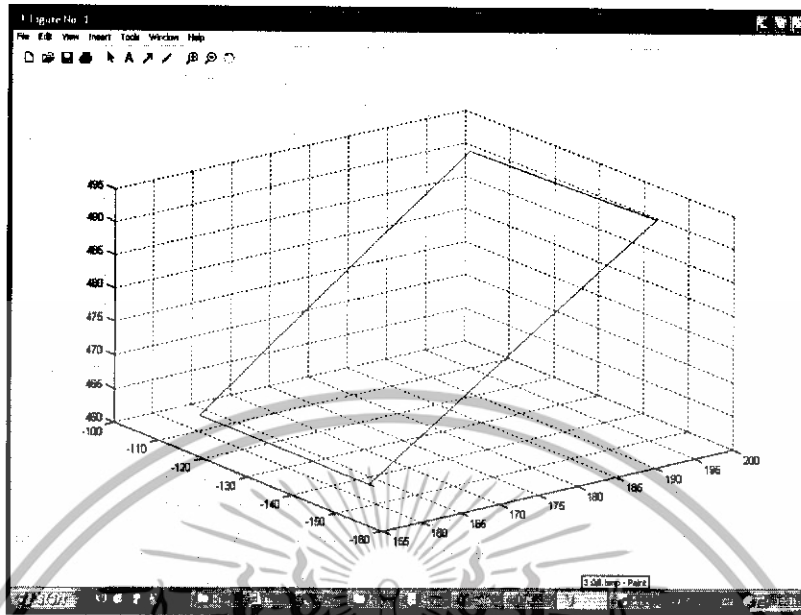


รูปที่ 5.22 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 2 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร

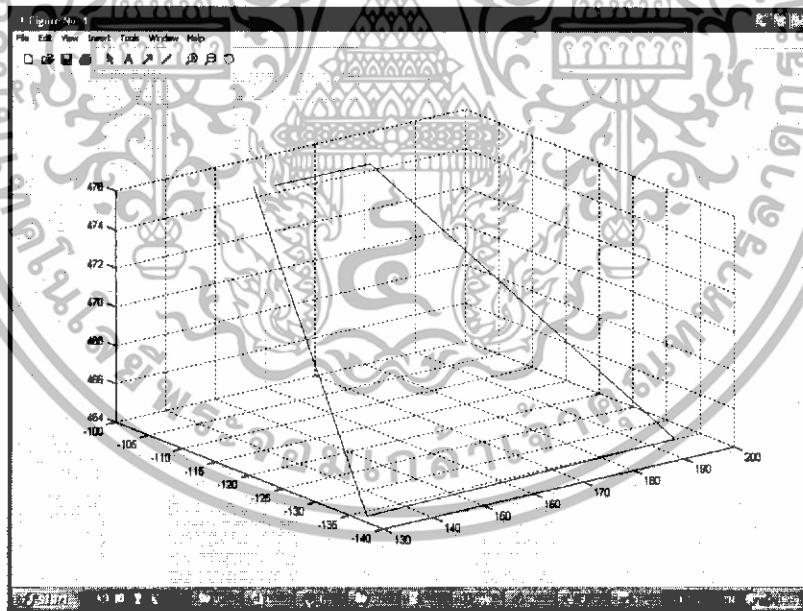


รูปที่ 5.23 ภาพสามเหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 ภาพสี่เหลี่ยมที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติ ที่ระยะ 130 เซนติเมตร



รูปที่ 5.25 ภาพสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการนำพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุที่คำนวณได้มาสร้างในรูป 3 มิติที่ระยะ 130 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองของรูปสามเหลี่ยม ที่ระยะ 130 เซนติเมตร โดยที่รูปสามเหลี่ยม มีความกว้างฐาน 10 เซนติเมตร และมีความลึกหน้าตัด 3 เซนติเมตร

การทดลอง	ความกว้างฐาน (cm)	% ความผิดพลาด	ความลึกหน้าตัด (cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง (cm)	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	9.69	3	3.92	30.66	133.95	3.04
ครั้งที่ 2	9.23	7.62	1.15	61.66	130.69	0.53
ครั้งที่ 3	8.31	16.85	3.69	23.17	130.39	0.53

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ที่ระยะ 130 เซนติเมตร โดยที่รูปสี่เหลี่ยมมีความสูง 10 เซนติเมตร และมีความลึกวัตถุ 7 เซนติเมตร

การทดลอง	ความสูงวัตถุ (cm)	% ความผิดพลาด	ความลึกวัตถุ (cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง (cm)	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	9.63	3	6.23	10.92	130.93	0.71
ครั้งที่ 2	8.77	12.24	6.23	10.92	130.93	0.71
ครั้งที่ 3	9	9.93	6.46	7.62	132.32	1.78

ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ระยะ 130 เซนติเมตร โดยที่รูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีความกว้างฐาน 15 เซนติเมตร และมีความลึกหน้าตัด 5 เซนติเมตร

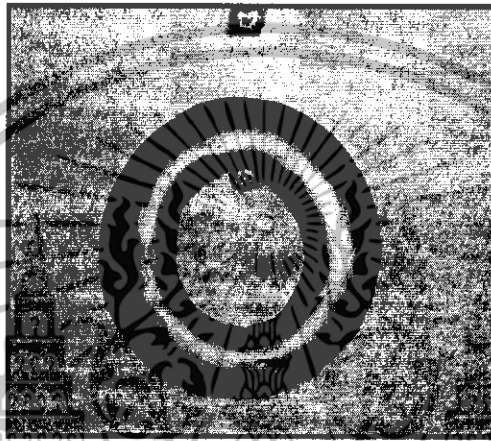
การทดลอง	ความกว้างฐาน (cm)	% ความผิดพลาด	ความลึกหน้าตัด (cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง (cm)	% ความผิดพลาด
ครั้งที่ 1	14.31	4.54	3.92	22.98	132.32	1.78
ครั้งที่ 2	15.01	0.07	5.08	1.61	130.93	0.71
ครั้งที่ 3	14.54	3	2.54	49.2	132.32	1.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

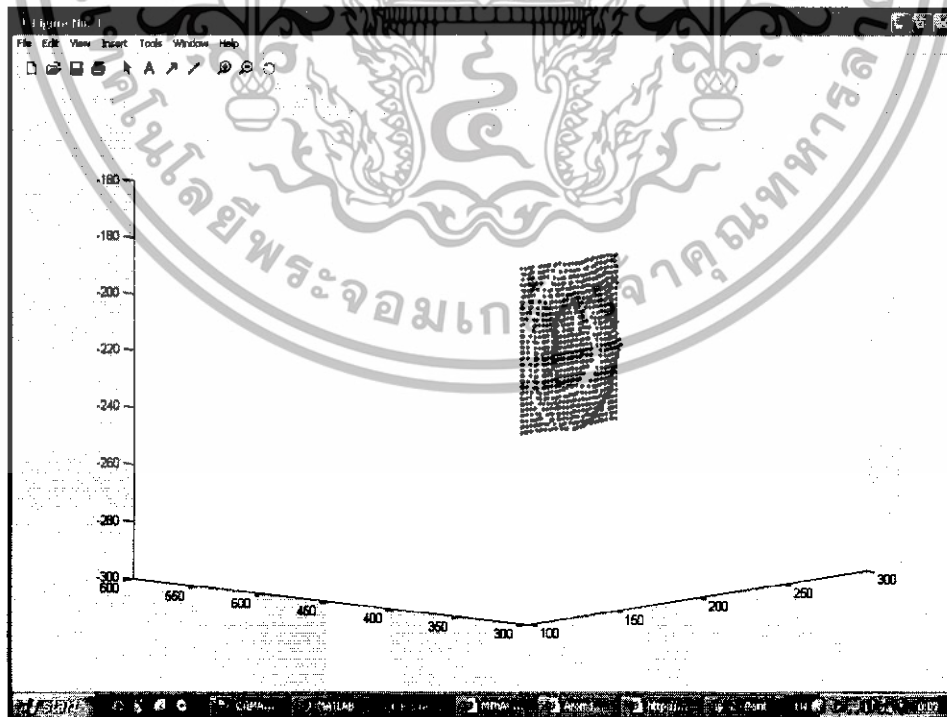
การทดลองที่ 5.2.4 ทดลองวางวัตถุห่างจากกล้องเป็นระยะ 33 เซนติเมตร และทดลองเปลี่ยนวัตถุ

ในการทดลองนี้เราจะวางวัตถุห่างจากกล้องเป็นระยะ 33 เซนติเมตร และจะทำการสแกนวัตถุทั้งวัตถุ ซึ่งเราจะวางกล้องห่างกันเป็นระยะ 7 เซนติเมตร และมีความยาวโฟกัสเป็น 375 พิกเซล

การทดลองที่ 5.2.4.1 ใช้วัตถุรูปโดนัทในการทดลอง โดยมีพิกัด 3 มิติของวัตถุ (X, Y, Z) เป็นดังนี้

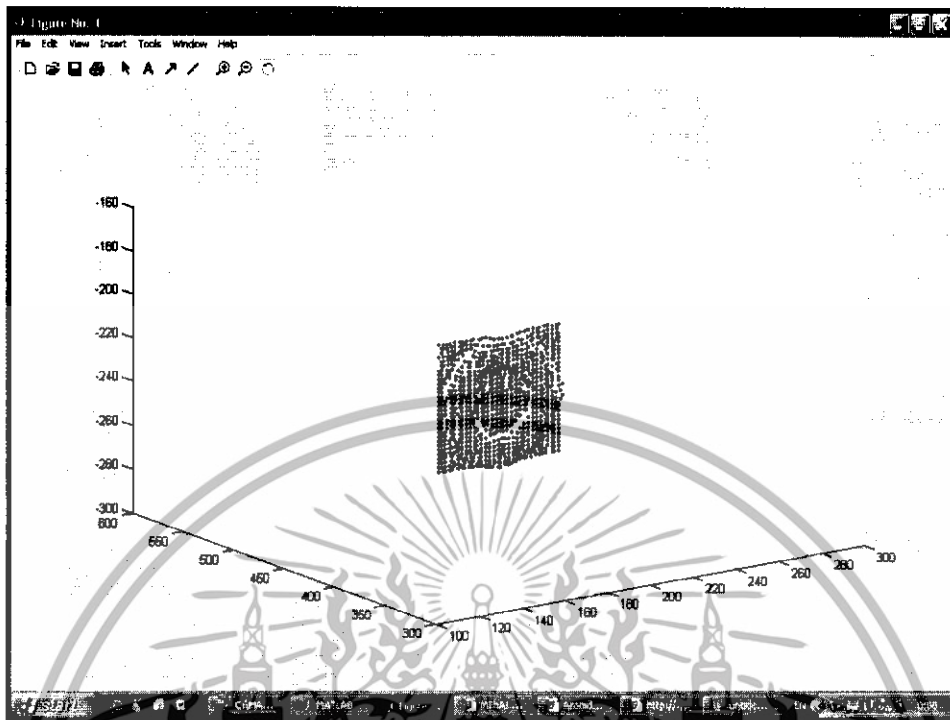


รูปที่ 5.26 ภาพวัตถุรูปโดนัทที่นำมาสแกน

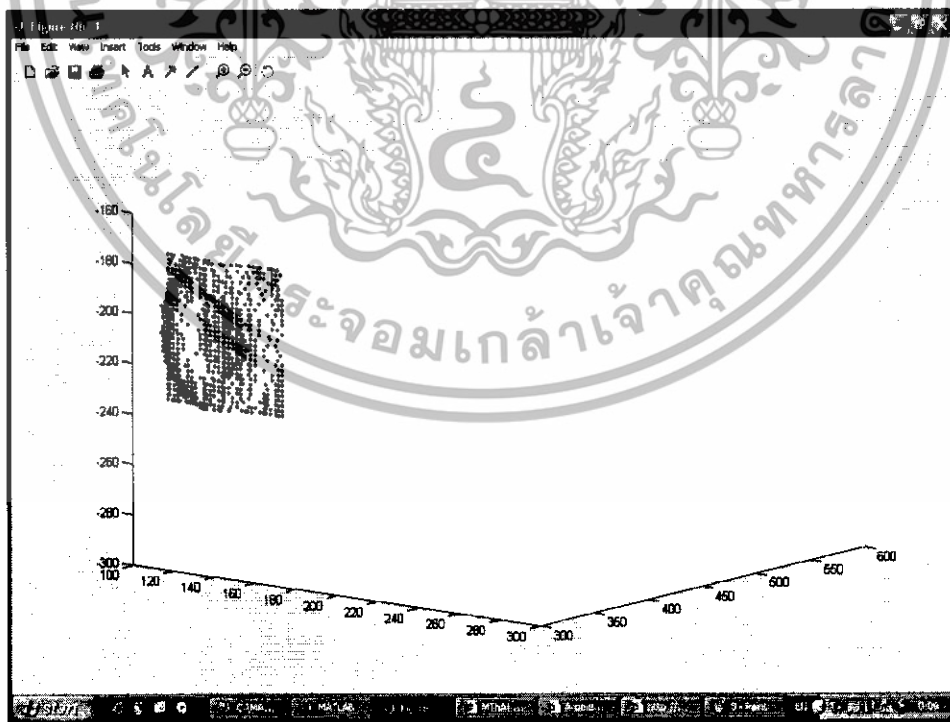


รูปที่ 5.27 ภาพโดนัทที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 ภาพโดนัทที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (2)



รูปที่ 5.29 ภาพโดนัทที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (3)

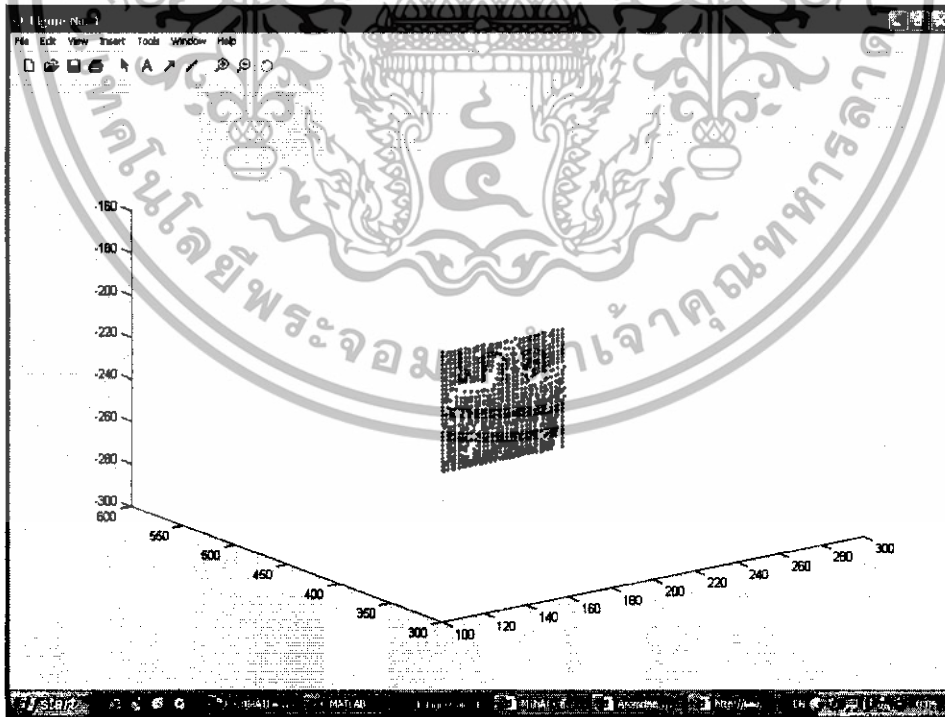
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คังนั

การทดลองที่ 5.2.4.2 ใช้วัตถุรูปดาวในการทดลอง โดยมีพิกัด 3 มิติของวัตถุ (X, Y, Z) เป็น

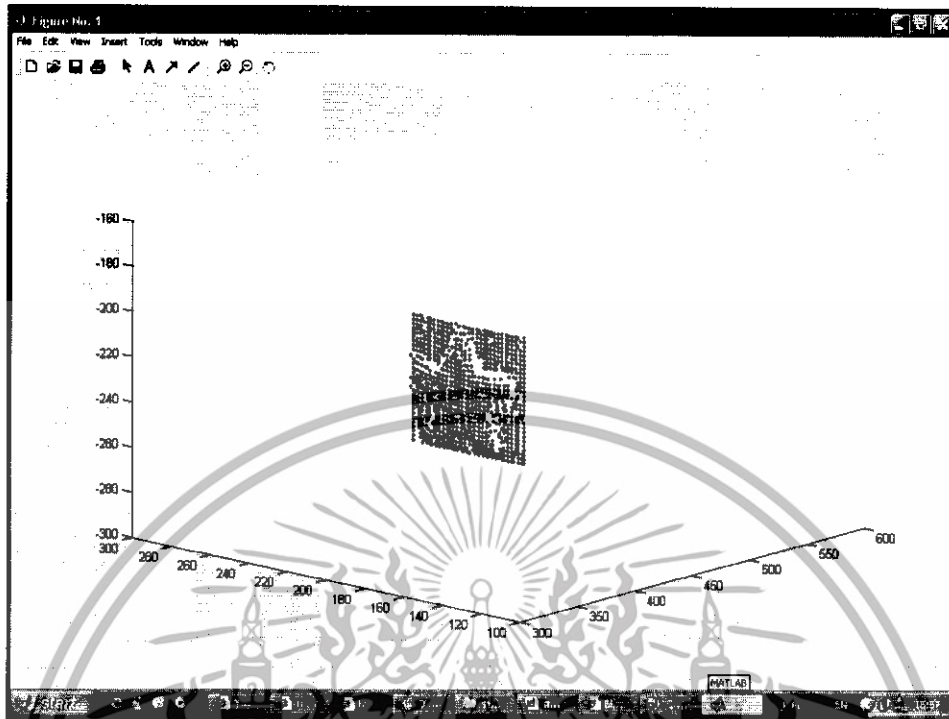


รูปที่ 5.30 ภาพวัตถุรูปดาวที่นำมาสแกน

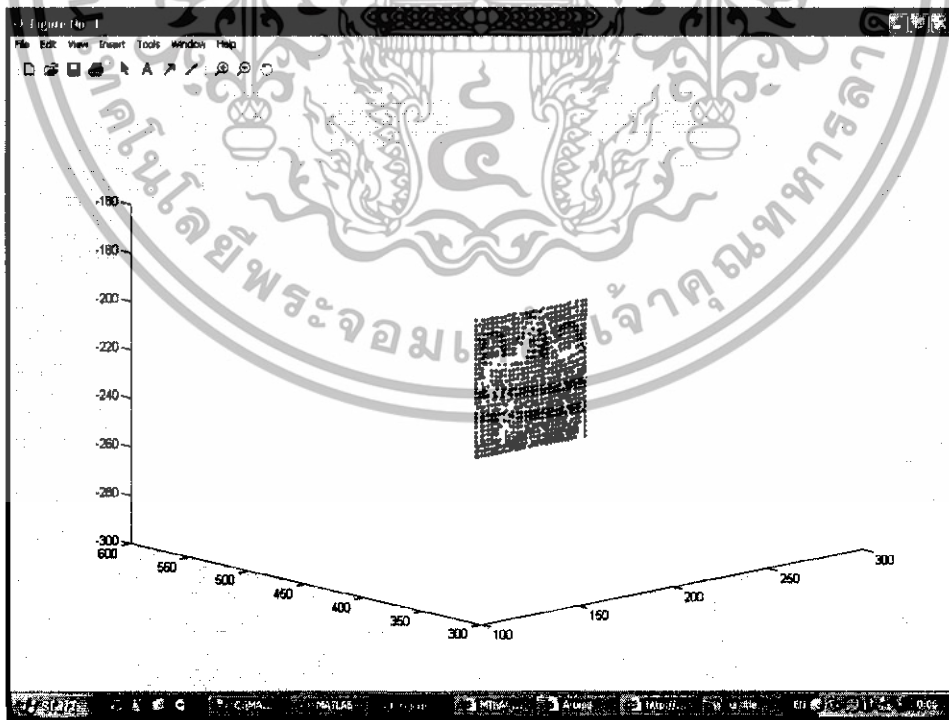


รูปที่ 5.31 ภาพดาวที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 ภาพดาวที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (2)

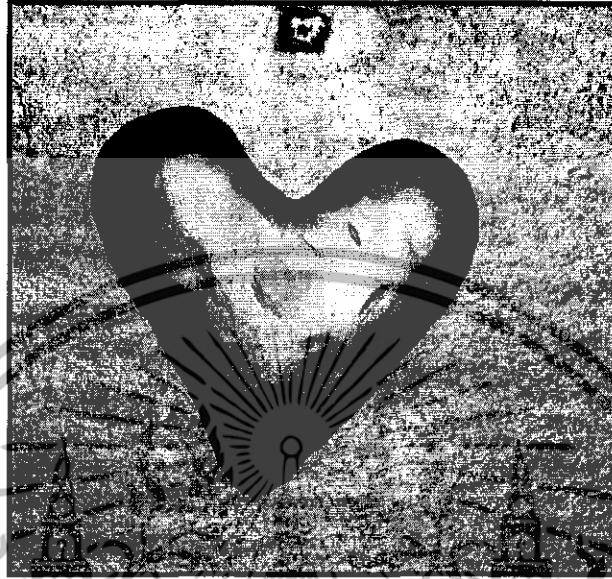


รูปที่ 5.33 ภาพดาวที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (3)

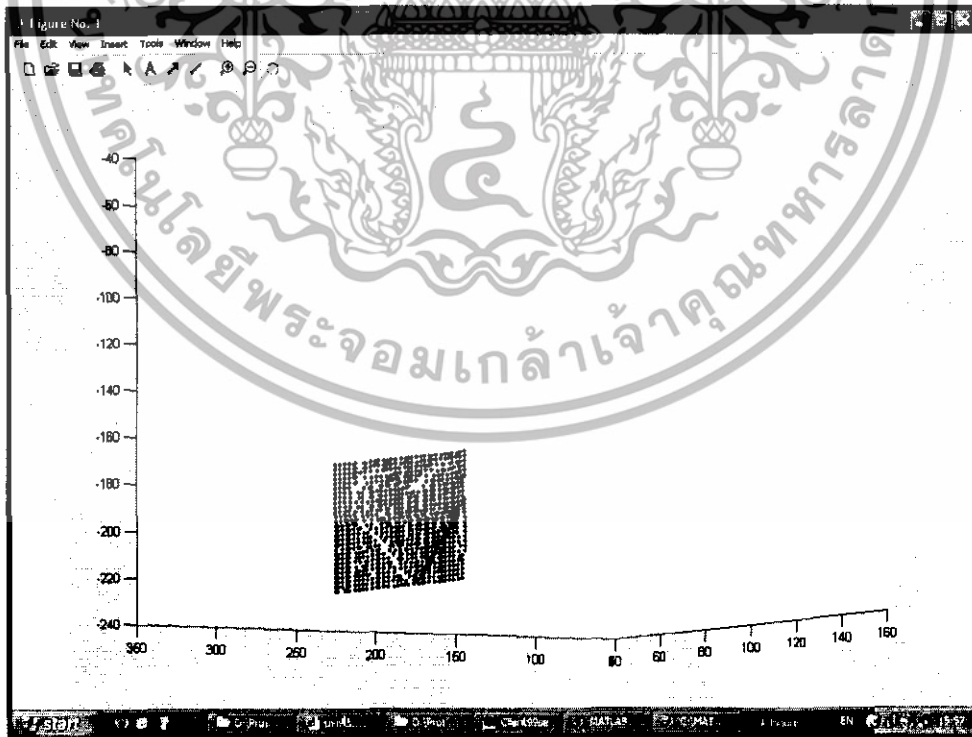
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนี้

การทดลองที่ 5.2.4.3 ใช้วัตถุรูปหัวใจในการทดลอง โดยมีพิกัด 3 มิติของวัตถุ(X, Y, Z) เป็น

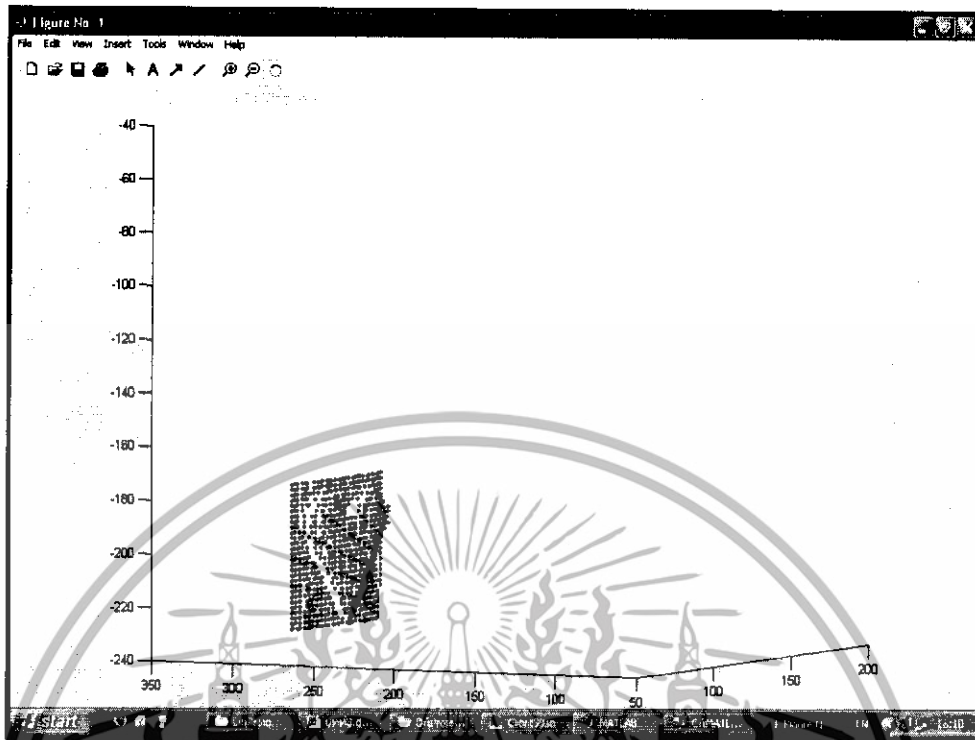


รูปที่ 5.34 ภาพวัตถุรูปหัวใจที่นำมาสแกน

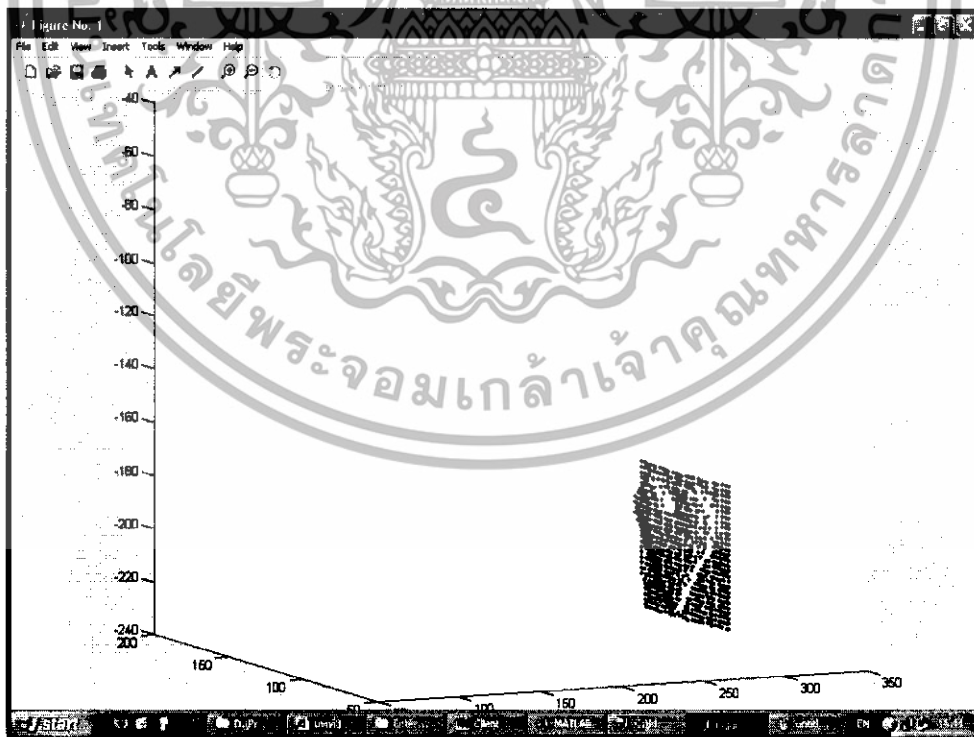


รูปที่ 5.35 ภาพหัวใจที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



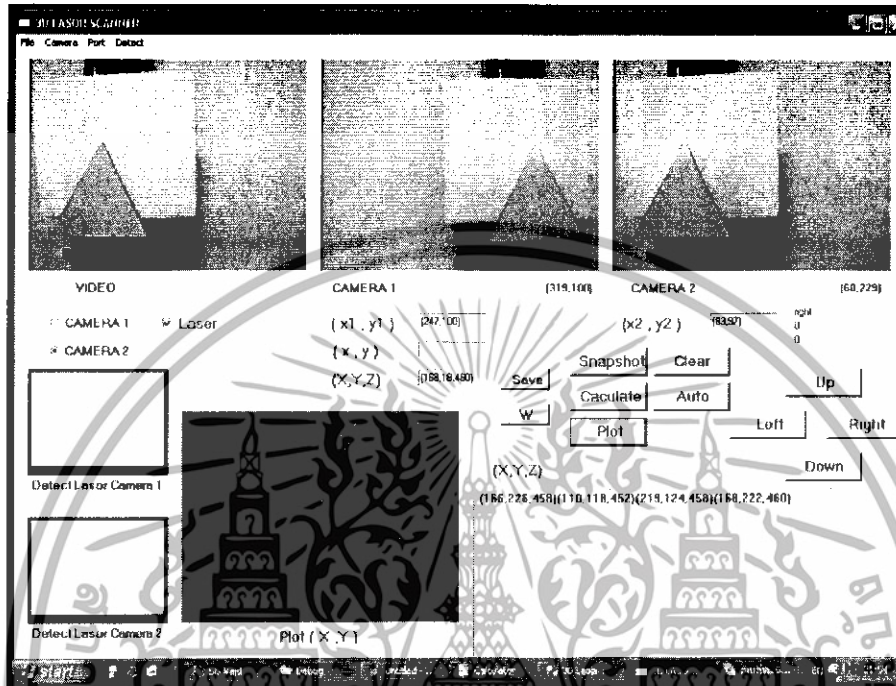
รูปที่ 5.36 ภาพหัวใจที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (2)



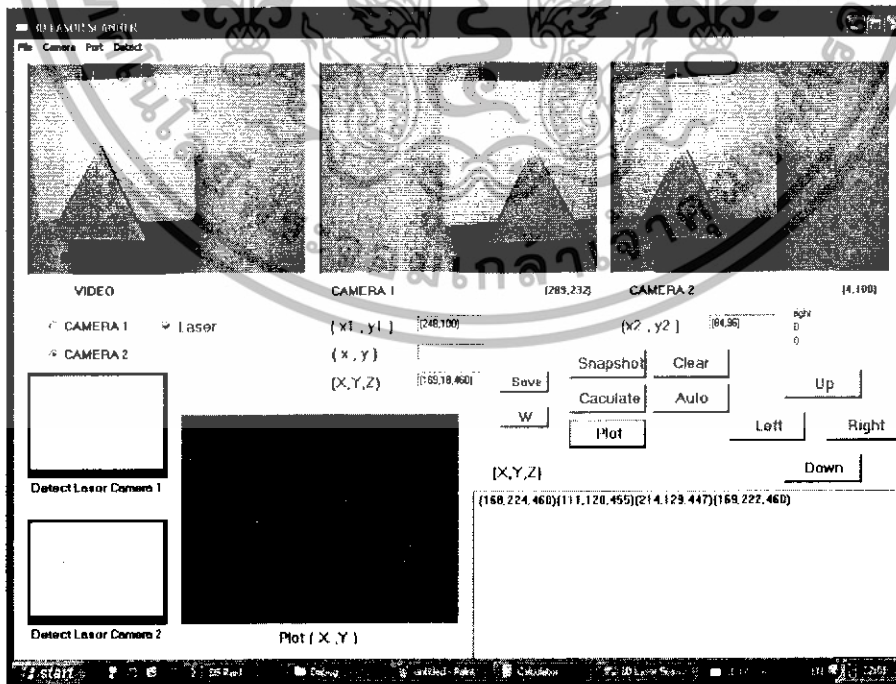
รูปที่ 5.37 ภาพหัวใจที่สแกนได้เมื่อนำมาสร้างใหม่ในรูป 3 มิติ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5.2.5 ทดลองเปลี่ยนระยะของเลเซอร์ และวางวัตถุห่างจากห้องเป็นระยะ
38 เซนติเมตร

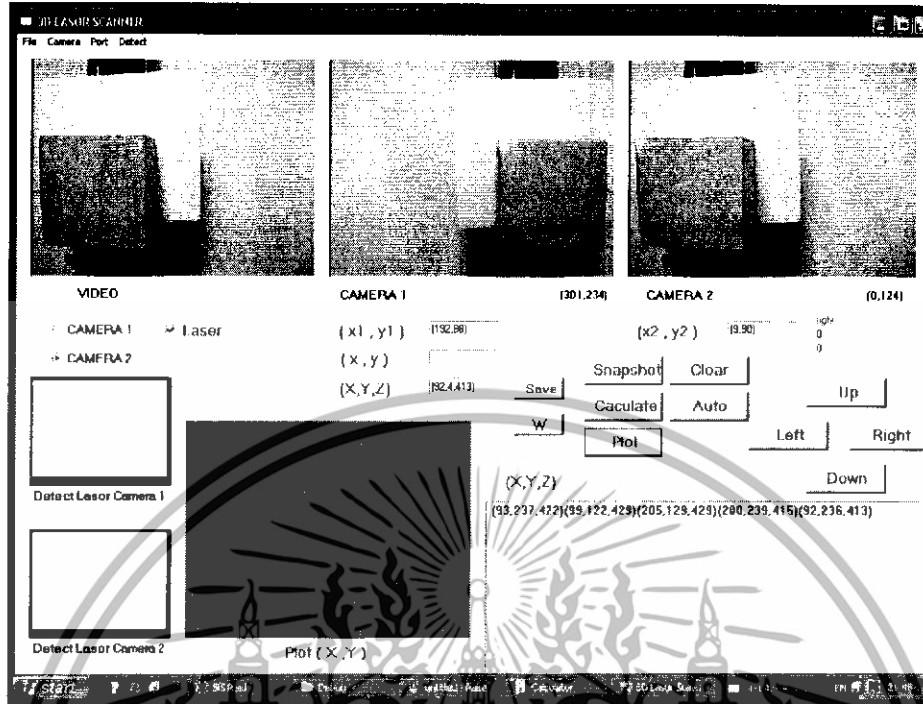


รูปที่ 5.38 ภาพรูปสามเหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 60 เซนติเมตร

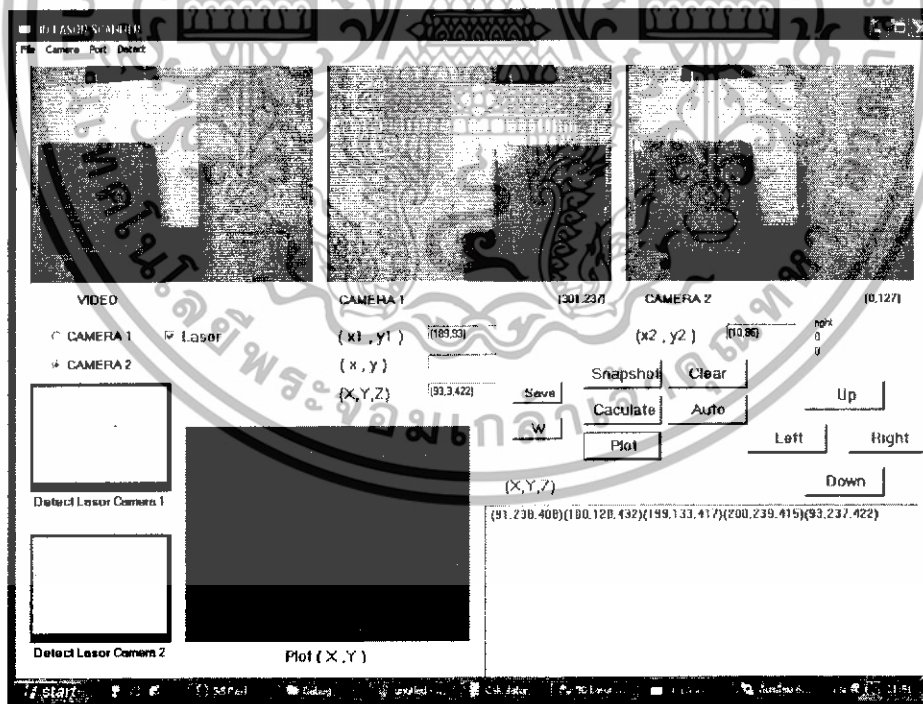


รูปที่ 5.39 ภาพรูปสามเหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.40 ภาพรูปสี่เหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 60 เซนติเมตร



รูปที่ 5.41 ภาพรูปสี่เหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะ 90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองของรูปสามเหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะต่างๆ โดยที่รูปสามเหลี่ยมมีความกว้างฐาน 10 เซนติเมตร และมีความลึกหน้าตัด 3 เซนติเมตร และวางวัตถุห่างจากกล้อง 38 เซนติเมตร

ตำแหน่งของเลเซอร์	ความกว้างฐาน (cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง (cm)	% ความผิดพลาด
60 เซนติเมตร	9.58	4.2	37.66	0.87
90 เซนติเมตร	9.49	5.1	37.25	1.97

ตารางที่ 5.13 ผลการทดลองของรูปสี่เหลี่ยม ขณะที่เลเซอร์อยู่ที่ระยะต่างๆ โดยที่รูปสี่เหลี่ยมมีความสูง 10 เซนติเมตร และมีความลึกวัตถุ 7 เซนติเมตร และวางวัตถุห่างจากกล้อง 38 เซนติเมตร

ตำแหน่งของเลเซอร์	ความสูงวัตถุ (cm)	% ความผิดพลาด	ระยะจากวัตถุถึงกล้อง (cm)	% ความผิดพลาด
60 เซนติเมตร	9.58	4.2	35.75	5.92
90 เซนติเมตร	9.83	1.7	36	5.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เราสามารถใช้โปรแกรมในการประมวลผลภาพเพื่อหาพิกัด 3 มิติของวัตถุได้เป็นอย่างดี ประกอบกับในส่วนฮาร์ดแวร์สามารถทำงานตามคำสั่งได้อย่างถูกต้อง และเมื่อพิจารณาถึงค่า Z พบว่าในส่วนที่อยู่ลึกที่สุดจะมีค่า Z มากที่สุด และในส่วนที่ื้นที่สุดจะมีค่า Z น้อยที่สุด และเมื่อเปลี่ยนเลขเซอร์ในระยะต่างกัน พบว่าระยะค่า Z ของวัตถุยังคงมีค่าใกล้เคียงค่าเดิม แต่ในการทำงานของระบบจะมีข้อจำกัดทางด้านความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ รวมทั้งความเร็วในการประมวลผลภาพ นอกจากนี้ ต้องมีการควบคุมความสว่างให้คงที่ด้วย

6.2 ปัญหาในการดำเนินงาน

1. เนื่องจากแสงภายนอกมีผลกระทบต่อการทำงานของตำแหน่งเลเซอร์ ซึ่งถ้ามีแสงสว่างเกินไปจะไม่สามารถตรวจหาเลเซอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องสร้างกล่องสีดำมาครอบวัตถุไว้ ขณะทำการสแกนวัตถุ
2. ใช้เวลานานมากในการสแกนวัตถุแต่ละชิ้น เนื่องจากต้องรอการประมวลผลภาพแต่ละจุด ประกอบกับความเร็วของมอเตอร์มีค่าจำกัด

6.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

1. ปรับปรุงเทคนิคที่ใช้ในการประมวลผล เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถประมวลผลได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. นคร ภักดีชาติ, ธีรบูลย์ หล่อวิเชียรรุ่ง, ชัยวัฒน์ ลิมพรจิตรวิไล, “ปฏิบัติการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษาซี”, หน้า 199-201.
2. นิรันดร์ ประวิทย์ธนา, “เก่ง C# ให้ครบสูตร ฉบับเริ่มต้น”, หน้า 21, 33-36, 479.
3. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing”, pp.110-112, pp.289-290
4. R. Hartley and A. Zisserman, “Multiple View Geometry in Computer Vision”, Cambridge University Press, 2000, pp. 138-183
5. O. Faugeras, “Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric Approach”, MIT Press, 1996, pp.33-68
6. R.Y. Tsai, “A Versatile Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision”, IEEE J. Robotics & Automation, RA-3, No. 4, August 1987, pp.323-344



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

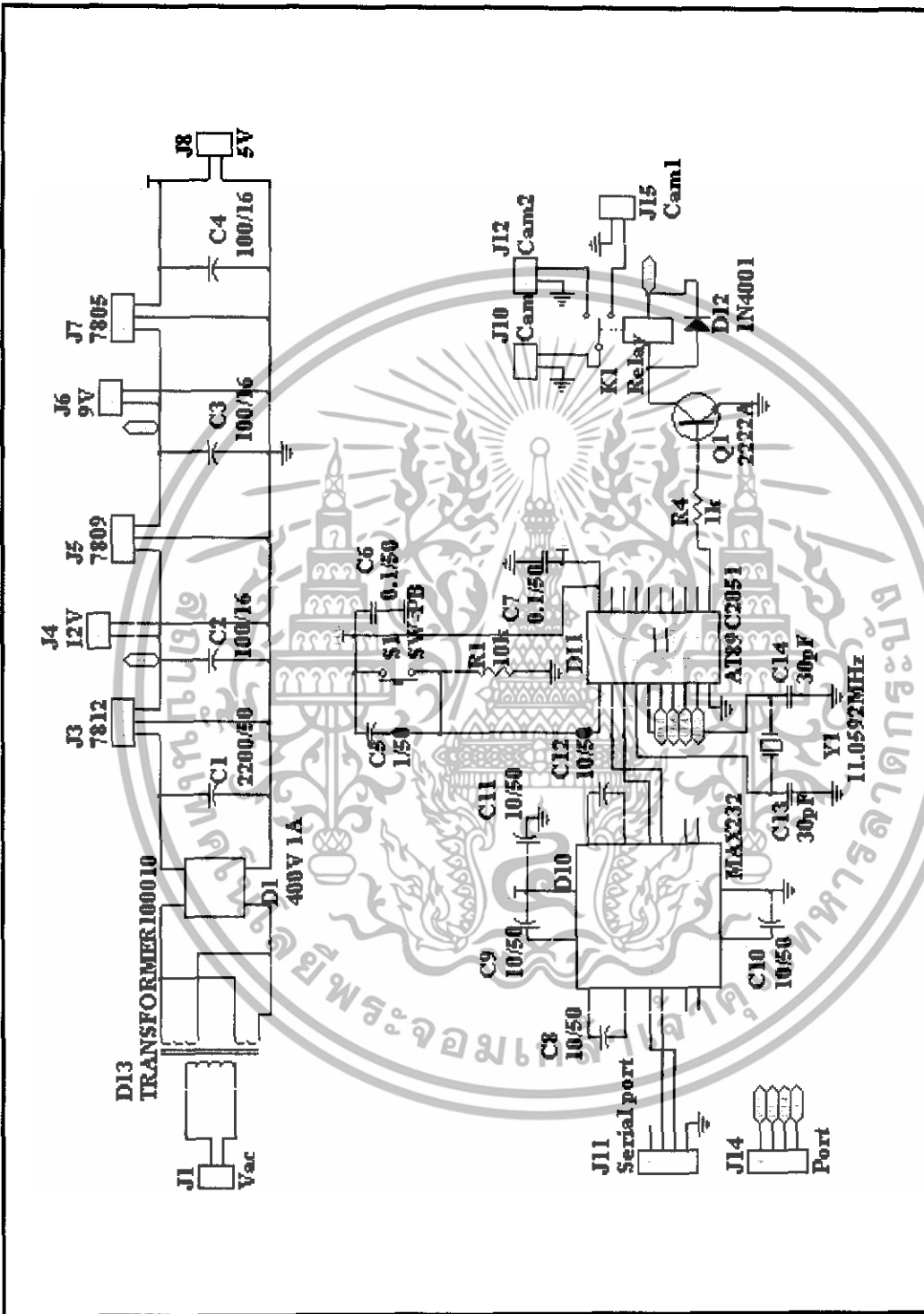


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



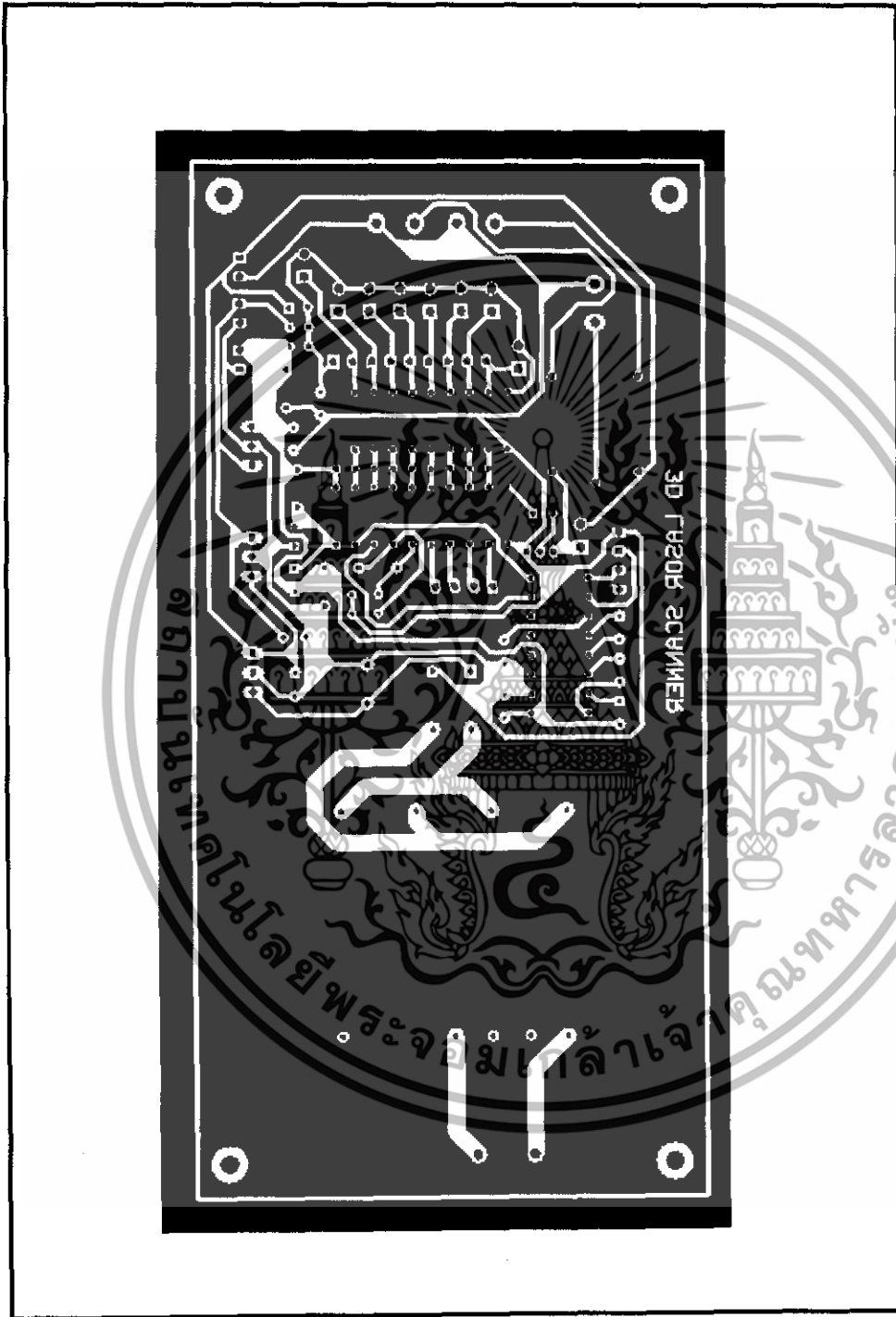
รูปที่ 1 หน้าต่างโปรแกรมการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



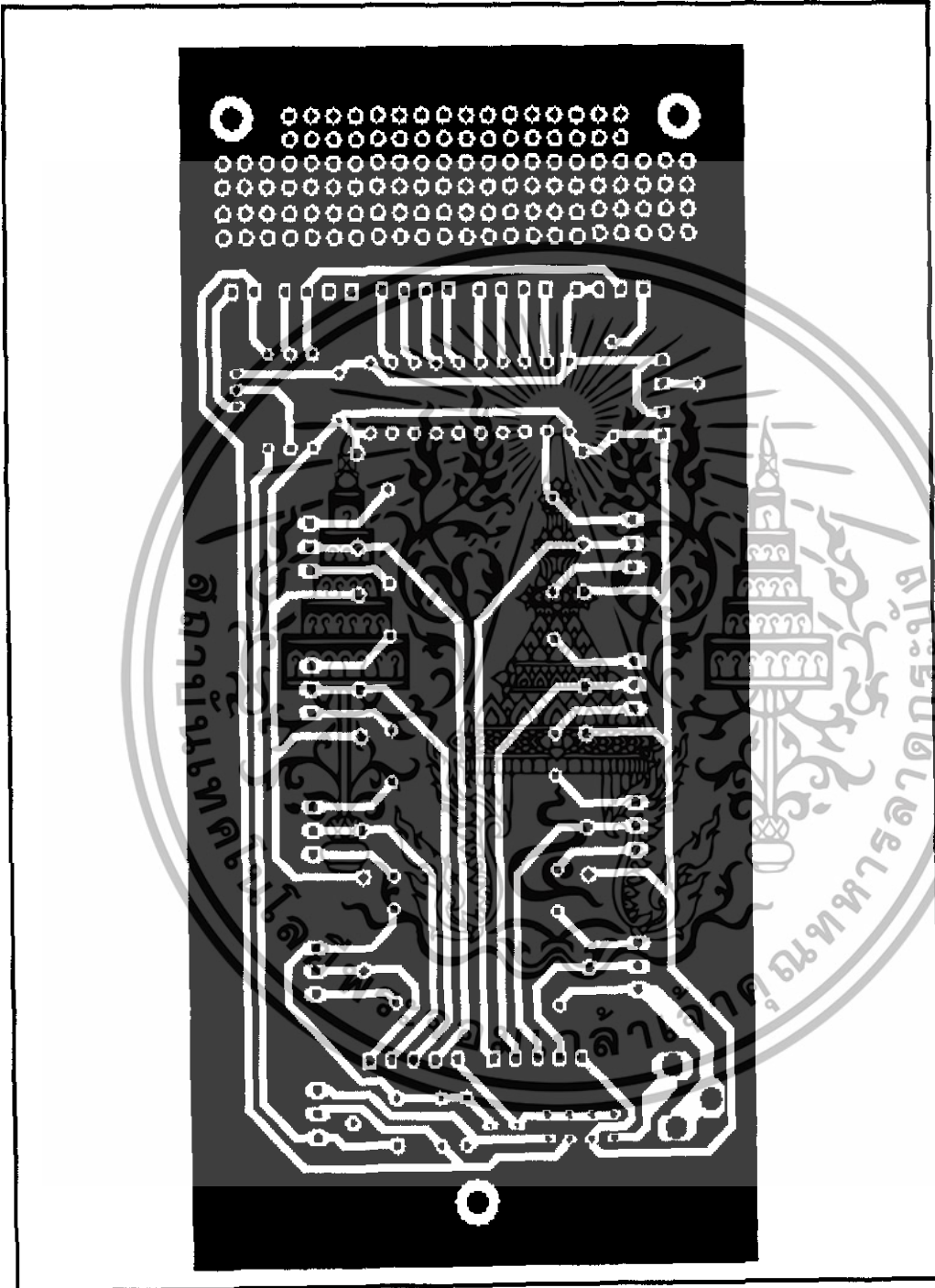
รูปที่ 2 ภาพ Schematic ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน ไฟและส่วนสลับการ ใช้งานของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ภาพ PCB ของวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟและส่วนสตาร์ทการใช้งานของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ภาพ PCB ของวงจรถ่วงส่วนขั้วมอเตอร์, ส่วนควบคุมการเปิดเลเซอร์ และส่วนอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ภาพถ่ายดาวเทียม (กล้องและเลนเซอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CODE

```
using System;
using System.Drawing;
using System.Collections;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
using System.Data;
using JH.CommBase;
using DirectX.Capture;
using DShowNET;
using System.IO;
using System.Drawing.Drawing2D;
using rtwmatrix;
using System.Threading;
namespace _3D_Lasor_Scanner
{
    /// <summary>
    /// Summary description for Form1.
    /// </summary>
    public class Form1 : System.Windows.Forms.Form
    {
        private System.Windows.Forms.MainMenu mainMenu1;
        private System.Windows.Forms.OpenFileDialog
openFileDialog1;
        private System.Windows.Forms.SaveFileDialog
saveFileDialog1;
        private System.Windows.Forms.MenuItem menuItem1;
        private System.Windows.Forms.MenuItem FILE;
        private System.Windows.Forms.MenuItem Item1;
        private System.Windows.Forms.MenuItem Exit;
        private System.Windows.Forms.MenuItem Camera;
        private System.Windows.Forms.MenuItem Preview;
        private System.Windows.Forms.MenuItem port;
        private System.Windows.Forms.MenuItem openport;
        private System.Windows.Forms.Label label1;
        private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox1;
        private System.Windows.Forms.Label label2;
        private System.Windows.Forms.MenuItem Load1;
        private System.Windows.Forms.MenuItem Capture1;
        private Capture capture = null;
        private Filters filters = new Filters();
        private System.Windows.Forms.Label label3;
        private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox2;
        string imagePath;
        private System.Windows.Forms.RadioButton radioButton1;
        private System.Windows.Forms.RadioButton radioButton2;
        bool o = false;
        private System.Windows.Forms.TextBox textbox1;
        int
MDX,MDY,MUX,MUY,MDX2,MDY2,MUX2,MUY2,f,x1,x2,y1,X,Y,Z,h,a,b;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int          RX=160;
int          RY=120;
int          LX=160;
int          LY=120;
RtwMatrix Xn = new RtwMatrix(6,32);
RtwMatrix Yn = new RtwMatrix(6,32);
RtwMatrix Zn = new RtwMatrix(6,32);
private System.Windows.Forms.Label label5;
private System.Windows.Forms.Label label6;
private System.Windows.Forms.TextBox textbox3;
private System.Windows.Forms.Button button2;
bool  Snapshot1 = false;
bool  Snapshot2 = false;
private System.Windows.Forms.Label label4;
private System.Windows.Forms.Button Calib;
private System.Windows.Forms.TextBox textbox2;
private System.Windows.Forms.Button Clear;
private System.Windows.Forms.Label label17;
private System.Windows.Forms.TextBox textBox14;
private System.Windows.Forms.Splitter splitter1;
private System.Windows.Forms.MenuItem menuItem3;
private System.Windows.Forms.MenuItem menuItem4;
private System.Windows.Forms.MenuItem menuItem2;
private System.Windows.Forms.MenuItem menuItem5;
private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox4;
private System.Windows.Forms.Button Plot;
private System.Windows.Forms.TextBox textbox4;
private System.Windows.Forms.Button Save;
private System.Windows.Forms.Label label7;
private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox5;
private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox6;
Bitmap
pic1,pic2,bmp1,bmp2,bmp3,Lasor1,Lasor2,Graypic1,Graypic2,bmp4,bmp5,bmp6
,bmp7,Lasorpoint1,Lasorpoint2;
private System.Windows.Forms.Label label18;
private System.Windows.Forms.Label label19;
private System.Windows.Forms.MenuItem menuItem6;
private System.Windows.Forms.Label label10;
private System.Windows.Forms.Label label11;
private System.Windows.Forms.MenuItem Lasor;
Point point1 = new Point(0,0);
Point point2 = new Point(0,0);
private System.Windows.Forms.Panel panel1;
private int piccount1 = 1;
private int piccount2 = 1;
private int piccount1_ls = 1;
private int piccount2_ls = 1;
private System.Windows.Forms.Label label12;
char A,B,C,D,E;
private System.Windows.Forms.Button Left;
private System.Windows.Forms.Button Right;
private System.Windows.Forms.CheckBox Laser;
private System.Windows.Forms.Button button3;
private System.Windows.Forms.Button button4;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

private System.Windows.Forms.Button auto;
private System.Windows.Forms.Button button1;
private System.ComponentModel.IContainer components;
//private System.Windows.Forms.Timer timer1 = new Timer();
//private int timer_count = 0;
private System.Windows.Forms.Timer timer1 = new
System.Windows.Forms.Timer();
private bool running = false;
private bool right_move = true;
private bool left_move = false;
private int step,m;
private System.Windows.Forms.Label dir_label;
private System.Windows.Forms.Label row_label;
private System.Windows.Forms.Label step_label;
private int xold,yold,zold;
private bool notfirsttime = false;

public Form1()
{
    //
    // Required for Windows Form Designer support
    //
    InitializeComponent();
    //timer1.Interval = 1000;
    picbox1.MouseMove += new
MouseEventHandler(picbox1_MouseMove);
    picbox2.MouseMove += new
MouseEventHandler(picbox2_MouseMove);
    picbox1.MouseDown += new
MouseEventHandler(picbox1_MouseDown);
    //picbox1.MouseUp += new
MouseEventHandler(picbox1_MouseUp);
    picbox2.MouseDown += new
MouseEventHandler(picbox2_MouseDown);
    //this.timer1.Tick += new EventHandler(StopTimer);
    //picbox2.MouseUp += new
MouseEventHandler(picbox2_MouseUp);
    //
    // TODO: Add any constructor code after
InitializeComponent call
    //
    timer1.Interval = 13000;
    //timer1.Interval = 500;
    this.timer1.Tick += new EventHandler(timer1_Tick);
}

/// <summary>
/// Clean up any resources being used.
/// </summary>
protected override void Dispose( bool disposing )
{
    if( disposing )
    {
        SerialClass.serial.Close();
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if (components != null)
        {
            components.Dispose();
        }
    }
    base.Dispose( disposing );
}

#region Windows Form Designer generated code
/// <summary>
/// Required method for Designer support - do not modify
/// the contents of this method with the code editor.
/// </summary>

#endregion

/// <summary>
/// The main entry point for the application.
/// </summary>
[STAThread]
static void Main()
{
    Application.Run(new Form1());
}

private void Form1_Load(object sender, System.EventArgs e)
{
    Form2 form2 = new Form2();
    form2.MdiParent = this;
    form2.Show();
}

private void updateMenu()
{
    MenuItem m;
    Filter f;
    Control oldPreviewWindow = null;
    // Disable preview to avoid additional flashes
(optional) if ( capture != null )
    {
        oldPreviewWindow = capture.PreviewWindow;
        capture.PreviewWindow = null;
    }

    // Load video devices
    Filter videoDevice = null;
    if ( capture != null )
        videoDevice = capture.VideoDevice;
    Camera.MenuItems.Clear();
    m = new MenuItem( "(None)", new
EventHandler(Camera_Click) );
    m.Checked = ( videoDevice == null );
    Camera.MenuItems.Add( m );
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        for ( int c = 0; c < filters.VideoInputDevices.Count;
c++ )
        {
            f = filters.VideoInputDevices[c];
            m = new MenuItem( f.Name, new
EventHandler(Camera_Click) );
            m.Checked = ( videoDevice == f );
            Camera.MenuItems.Add( m );
        }
        Camera.Enabled = ( filters.VideoInputDevices.Count >
0 );

        // Check Preview menu option
        Preview.Checked = ( oldPreviewWindow != null );
        Preview.Enabled = ( capture != null );

        // Reenable preview if it was enabled before
        if ( capture != null )
            capture.PreviewWindow = oldPreviewWindow;
    }

private void Exit_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    if ( capture != null ) capture.Stop();
    Application.Exit();
}

private void Camera_Click(object sender, System.EventArgs
e)
{
    try
    {
        // Get current devices and dispose of capture
        // because the video and audio device can only
        // be changed
        // by creating a new Capture object.
        Filter videoDevice = null;
        Filter audioDevice = null;
        if ( capture != null )
        {
            videoDevice = capture.VideoDevice;
            capture.Dispose();
            capture = null;
        }

        // Get new video device
        MenuItem m = sender as MenuItem;
        videoDevice = ( m.Index>0 ?
filters.VideoInputDevices[m.Index-1] : null );

        // Create capture object
        if ( videoDevice != null )

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        {
            capture = new Capture( videoDevice,
audioDevice );
        }

        // Update the menu
        updateMenu();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show( "Video device not
supported.\n\n" + ex.Message + "\n\n" + ex.ToString() );
    }
}

private void Preview_Click(object sender, System.EventArgs
e)
{
    //
    Panel Video = new Panel();
    try
    {
        if ( capture.PreviewWindow == null )
        {
            //capture.PreviewWindow = Video;
            capture.PreviewWindow = panell;
            Preview.Checked = true;
        }
        else
        {
            capture.PreviewWindow = null;
            Preview.Checked = false;
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show( "Unable to enable/disable
preview. Please submit a bug report.\n\n" + ex.Message + "\n\n" +
ex.ToString() );
    }
    Capture1.Enabled = true;
}

private void openport_Click(object sender, System.EventArgs
e)
{
    SerialClass.settings.SetStandard("COM1:", 9600, CommBase.Handshake.
none);
    if (SerialClass.serial.Open())
    {
        o = true;
    }
    else
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        MessageBox.Show("FAIL");
    }
}

// CHECK CAMERA1 OR CAMERA2
private void radioButton1_CheckedChanged(object sender,
System.EventArgs e)
{
    if (o == true)
    {
        SerialClass.serial.SendByte(0x01);
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("FAIL");
    }
}

private void radioButton2_CheckedChanged(object sender,
System.EventArgs e)
{
    if (o == true)
    {
        SerialClass.serial.SendByte(0x02);
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("FAIL");
    }
}

// MOUSEMOVE
private void picbox1_MouseMove(object
sender, System.Windows.Forms.MouseEventArgs e)
{
    label10.Text = "(" + e.X.ToString() + "," +
e.Y.ToString() + ")";
}

private void picbox2_MouseMove(object
sender, System.Windows.Forms.MouseEventArgs e)
{
    label11.Text = "(" + e.X.ToString() + "," +
e.Y.ToString() + ")";
}

// SNAPSHOT
private void button2_Click(object sender, System.EventArgs
e)
{
    if (radioButton1.Checked == true)
    {
        Snapshot1 = true;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        else
        {
            Snapshot2 = true;
        }
    }

    private void Capture1_Click(object sender, System.EventArgs
e)
    {
        Capture1.Checked = true;
        capture.FrameEvent2 += new
Capture.HeFrame(CaptureDone);
        capture.GrapImg();
    }

    private void CaptureDone(System.Drawing.Bitmap e)
    {
        if (Snapshot1)
        {
            Snapshot1 = false;
            if (!Laser.Checked)
            {
                e.Save("original1_"+piccount1_ls.ToString()+".bmp");
                pic1 = new
Bitmap(Image.FromFile("original1_"+piccount1_ls.ToString()+".bmp"));
                picbox1.Image = pic1;
                piccount1_ls++;
            }
            else
            {
                e.Save("cameral_"+piccount1.ToString()+".bmp");
                pic1 = new
Bitmap(Image.FromFile("cameral_"+piccount1.ToString()+".bmp"));
                picbox1.Image = pic1;
                piccount1++;
            }
        }
        if (Snapshot2)
        {
            Snapshot2 = false;
            if (!Laser.Checked)
            {
                e.Save("original2_"+piccount2_ls.ToString()+".bmp");
                pic2 = new
Bitmap(Image.FromFile("original2_"+piccount2_ls.ToString()+".bmp"));
                picbox2.Image = pic2;
                piccount2_ls++;
            }
            else
            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        e.Save("camera2_"+piccount2.ToString()+".bmp");
                pic2 = new
Bitmap(Image.FromFile("camera2_"+piccount2.ToString()+".bmp"));
                picbox2.Image = pic2;
                piccount2++;
        }
    }

    // SAVE PICTURE OF CAMERA1
    private void menuItem2_Click(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        if (saveFileDialog1.ShowDialog()== DialogResult.OK)
        {
            string strPath;
            strPath=saveFileDialog1.FileName;
            picbox1.Image.Save(strPath);
        }
    }

    // SAVE PICTURE OF CAMERA2
    private void menuItem5_Click(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        if (saveFileDialog1.ShowDialog()== DialogResult.OK)
        {
            string strPath;
            strPath=saveFileDialog1.FileName;
            picbox2.Image.Save(strPath);
        }
    }

    // LOAD PICTURE FOR CAMERA1
    private void menuItem3_Click(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        Clearbit();
        menuItem3.Checked= true;
        if (openFileDialog1.ShowDialog()== DialogResult.OK)
        {
            ImagePath=openFileDialog1.FileName;
            bmp1=new Bitmap(Image.FromFile(ImagePath));
            picbox1.Image=bmp1;
            pic1 = bmp1;
        }
    }

    // LOAD PICTURE FOR CAMERA2
    private void menuItem4_Click(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        Clearbit();
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

menuItem4.Checked = true;
if (openFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{
    ImagePath=openFileDialog1.FileName;
    bmp2=new Bitmap(Image.FromFile(ImagePath));
    picbox2.Image=bmp2;
    pic2 = bmp2;
}
}

// CALCULATE THE COORDINATES (X,Y,Z)
private void Calib_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    calculate();
}

private void Clear_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    textbox1.Text = " ";
    textbox2.Text = " ";
    textbox3.Text = " ";
    textbox4.Text = " ";
    textBox14.Text = " ";
    a=0;
    picbox4.Image = new Bitmap(320,240);
    picbox5.Image = new Bitmap(160,120);
    picbox6.Image = new Bitmap(160,120);
}

private void Clearbit()
{
    menuItem3.Checked = false;
    menuItem4.Checked = false;
}

// SAVE THE COORDINATES (X,Y,Z)
private void Save_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    save_coordinate();
}

private void Plot_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    plot();
}

private void Lasor_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    laser();
}

private void Left_Click(object sender,
System.Windows.Forms.MouseEventHandler e)
{
    motor_left();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    private void Left_UnClick(object sender,
System.Windows.Forms.MouseEventArgs e)
    {
        motor_stop();
    }

    private void Right_Click(object sender,
System.Windows.Forms.MouseEventArgs e)
    {
        motor_right();
    }

    private void Right_UnClick(object sender,
System.Windows.Forms.MouseEventArgs e)
    {
        motor_stop();
    }

    private void Laser_CheckedChanged(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        if (o == true)
        {
            if (Laser.Checked)
                SerialClass.serial.SendByte(0x05);
            else
                SerialClass.serial.SendByte(0x06);
        }
        else
        {
            MessageBox.Show("FAIL");
        }
    }

    private void button3_Click(object sender, System.EventArgs
e)
    {
        motor_up();
    }

    private void button4_Click(object sender, System.EventArgs
e)
    {
        motor_down();
    }

    /// <summary>
    ///
    //////////////////////////////////////
    //////////////////////////////////////
    /// </summary>
    private void camera1()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        SerialClass.serial.SendByte(0x01);
    }

private void camera2()
{
    SerialClass.serial.SendByte(0x02);
}

private void snapshot1()
{
    Snapshot1 = true;
}

private void snapshot2()
{
    Snapshot2 = true;
}

private void calculate()
{
    f = 375;
    h = 67;//75cm=>1cm=5.5;80cm=>1cm=5 (แล้ว
6mm);47cm=>1cm=8.33;40cm=>1cm=9.5;35cm=>1cm=12;
    x1 = MDX ;
    x2 = MDX2;
    y1 = MDY ;
    Z = Math.Abs(2*h*f/(x2-x1));
    X = Math.Abs((Z*x1)/f -h);
    Y = Math.Abs((Z*y1)/f -h);
    if (notfirsttime)
    {
        if (Math.Abs(Z-zold) > 15)
        {
            Z = zold;
        }
        if (Math.Abs(X-xold) > 3)
        {
            if(right_move)
            {
                X = xold+1;
            }
            else
            {
                X = xold-1;
            }
        }
    }
    }

    textbox2.Text = "(" +
X.ToString()+", "+Y.ToString()+", "+Z.ToString()+")";
    xold = X;
    zold = Z;
    notfirsttime = true;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

private void save_coordinate()
{
    double y2;
    Xn[a,b] = X;
    Y = 240-Y;
    Yn[a,b] = Y;
    Zn[a,b] = Z;
    y2 = Yn[0,0] + a + a;
    textbox4.Text += "(" + Xn[a,b].ToString() + "," +
y2.ToString() + "," + Zn[a,b].ToString() + ")" + "\n";
    b=b+1;
    if (b==32)
    {
        a=a+1;
        b=0;
    }
}

private void plot()
{
    /*this.Hide();
    Form2 form2 = new Form2();
    form2.Show();*/
    Graphics g = Graphics.FromHwnd(picbox4.Handle);
    Pen pn = new Pen(Color.Blue,2);
    pn.DashStyle = DashStyle.Solid;
    int i,j;
    for(i=0;i<6;i++)
        for(j=0;j<31;j++)
        {
            PointF p0 = new
PointF(Xn[i,j],(Zn[i,j]+(i*5))/3);
            PointF p1 = new
PointF(Xn[i,j+1],(Zn[i,j+1]+(i*5))/3);
            g.DrawLine(pn,p0,p1);
        }
    pn.Dispose();
    g.Dispose();
}

private void laser()
{
    int
i,j,ii,k,l,Color1,Color2,Color3,Color4,Grayimage1,Grayimage2,Grayimage3
,Grayimage4,Grayimage5,Grayimage6;
    Lasor1 = new Bitmap(pic1.Width,pic1.Height);
    Lasor2 = new Bitmap(pic2.Width,pic2.Height);
    Lasorpoint1 = new Bitmap(Lasor1.Width,Lasor1.Height);
    Lasorpoint2 = new Bitmap(Lasor1.Width,Lasor1.Height);
    int piccount1_ls_buf = piccount1_ls - 1;
    int piccount2_ls_buf = piccount2_ls - 1;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        bmp3 = new
Bitmap(Image.FromFile("D:\\Project\\project4c\\Program\\C#\\3D Lasor
Scanner_new4\\3D Lasor
Scanner\\bin\\Debug\\original1_"+piccount1_ls_buf.ToString()+".bmp"));
        bmp4 = new
Bitmap(Image.FromFile("D:\\Project\\project4c\\Program\\C#\\3D Lasor
Scanner_new4\\3D Lasor Scanner\\bin\\Debug\\Lasor.bmp"));
        bmp5 = new
Bitmap(Image.FromFile("D:\\Project\\project4c\\Program\\C#\\3D Lasor
Scanner_new4\\3D Lasor
Scanner\\bin\\Debug\\original2_"+piccount2_ls_buf.ToString()+".bmp"));
        bmp6 = new
Bitmap(Lasorpoint1.Width/2,Lasorpoint1.Height/2);
        bmp7 = new
Bitmap(Lasorpoint2.Width/2,Lasorpoint2.Height/2);
        Graypic1 = new Bitmap(picbox1.Image);
        Graypic2 = new Bitmap(picbox2.Image);

        // Original1_Grayscale
        for(i=0;i<bmp3.Width;i++)
            for(j=0;j<bmp3.Height;j++)
            {
                Grayimage3 =
Math.Abs((bmp3.GetPixel(i,j).R + bmp3.GetPixel(i,j).G +
bmp3.GetPixel(i,j).B)/3);
                bmp3.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Grayimage3,Grayimage3,Grayimage3
));
            }

        // Pic1_Grayscale
        for(i=0;i<Graypic1.Width;i++)
            for(j=0;j<Graypic1.Height;j++)
            {
                Grayimage1 =
Math.Abs((Graypic1.GetPixel(i,j).R + Graypic1.GetPixel(i,j).G +
Graypic1.GetPixel(i,j).B)/3);
                Graypic1.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Grayimage1,Grayimage1,Grayim
age1));
            }

        // Original1-Pic1
        for(i=0;i<bmp3.Width;i++)
            for(j=0;j<bmp3.Height;j++)
            {
                Grayimage4 =
Math.Abs((bmp3.GetPixel(i,j).R - Graypic1.GetPixel(i,j).R));
                Lasor1.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Grayimage4,Grayimage4,Grayimag
e4));
            }

        // Detect Coordinate_picbox1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ii=255;
for(j=30;j<60;j++)
    for(i=170;i<310;i++)
    {
        k=0;l=0;
        Color1 = Math.Abs(((bmp4.GetPixel(k,l).R
- Lasor1.GetPixel(i,j).R)+(bmp4.GetPixel(k,l+1).R -
Lasor1.GetPixel(i,j+1).R)+(bmp4.GetPixel(k+1,l).R -
Lasor1.GetPixel(i+1,j).R)+(bmp4.GetPixel(k+1,l+1).R -
Lasor1.GetPixel(i+1,j+1).R))/4);
        if( ii > Color1)
        {
            ii = Color1;
            point1.X = i;
            MDX = point1.X;
            point1.Y = j;
            MDY = point1.Y;
        }
        Lasorpoint1.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Color1,Color1,Color1));
    }
    i=0;j=0;
    for(i=0;i<(Lasorpoint1.Width)/2;i++)
        for(j=0;j<(Lasorpoint1.Height)/2;j++)
        {
            Color3 = Lasorpoint1.GetPixel(2*i,2*j).R;
            bmp6.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Color3,Color3,Color3));
        }
        pictureBox5.Image = bmp6;
        textbox1.Text = "(" + point1.X.ToString() + "," +
point1.Y.ToString() + ")";

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
// Original2_Grayscale
for(i=0;i<bmp5.Width;i++)
    for(j=0;j<bmp5.Height;j++)
    {
        Grayimage6 =
Math.Abs((bmp5.GetPixel(i,j).R + bmp5.GetPixel(i,j).G +
bmp5.GetPixel(i,j).B)/3);

        bmp5.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Grayimage6,Grayimage6,Grayimage6
));
    }

// Pic2_Grayscale
for(i=0;i<Graypic2.Width;i++)
    for(j=0;j<Graypic2.Height;j++)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Grayimage2 =
Math.Abs((Graypic2.GetPixel(i,j).R + Graypic2.GetPixel(i,j).G +
Graypic2.GetPixel(i,j).B)/3);

        Graypic2.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Grayimage2,Grayimage2,Grayim
age2));
    }

    // Original2-Pic2
    for(i=0;i<bmp3.Width;i++)
        for(j=0;j<bmp3.Height;j++)
        {
            Grayimage5 =
Math.Abs((bmp5.GetPixel(i,j).R - Graypic2.GetPixel(i,j).R));

            Lasor2.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Grayimage5,Grayimage5,Grayimag
e5));
        }

    // Detect Coordinate picbox2
    ii=255;
    for(j=30;j<60;j++)
        for(i=10;i<150;i++)
        {
            k=0;l=0;
            Color2 = Math.Abs(((bmp4.GetPixel(k,l).R
- Lasor2.GetPixel(i,j).R)+(bmp4.GetPixel(k,l+1).R -
Lasor2.GetPixel(i,j+1).R)+(bmp4.GetPixel(k+1,l).R +
Lasor2.GetPixel(i+1,j).R)+(bmp4.GetPixel(k+1,l+1).R -
Lasor2.GetPixel(i+1,j+1).R))/4);
            if( ii > Color2)
            {
                ii = Color2;
                point2.X = i;
                MDX2 = point2.X;
                point2.Y = j;
                MDY2 = point2.Y;
            }

            Lasorpoint2.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Color2,Color2,Color2));
        }
    i=0;j=0;
    for(i=0;i<(Lasorpoint2.Width)/2;i++)
        for(j=0;j<(Lasorpoint2.Height)/2;j++)
        {
            Color4 = Lasorpoint2.GetPixel(2*i,2*j).R;

            bmp7.SetPixel(i,j,Color.FromArgb(Color4,Color4,Color4));
        }
    picbox6.Image = bmp7;
    textbox3.Text = "(" + point2.X.ToString() + "," +
point2.Y.ToString() + ")";
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

private void motor_left()
{
    SerialClass.serial.SendByte(0x03);
}

private void motor_right()
{
    SerialClass.serial.SendByte(0x04);
}

private void motor_stop()
{
    SerialClass.serial.SendByte(0x00);
}

private void laser_on()
{
    SerialClass.serial.SendByte(0x05);
}

private void laser_off()
{
    SerialClass.serial.SendByte(0x06);
}

private void motor_up()
{
    //MSComm1.Output = "@u120000"
    byte[] cmd_up =
{0x40,0x75,0x6c,0x32,0x30,0x30,0x30,0x30};
    byte i;
    for (i = 0; i < 8; i++)
        SerialClass.serial.SendByte(cmd_up[i]);
}

private void motor_down()
{
    //MSComm1.Output = "@d120000"
    byte[] cmd_dw =
{0x40,0x64,0x6c,0x32,0x30,0x30,0x30,0x30};
    byte i;
    for (i = 0; i < 8; i++)
        SerialClass.serial.SendByte(cmd_dw[i]);
}

private void delay(int delay_100ms)
{
    Thread.Sleep(100*delay_100ms);
}

private void original_snapshot()
{
    cameral();
    delay(5);
    Laser.Checked = false;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        laser_off();
        delay(5);
        snapshot1();
        delay(5);
        this.Update();
        Laser.Checked = true;
        laser_on();
        delay(5);
        snapshot1();
        delay(5);
        this.Update();

        camera2();
        delay(5);
        Laser.Checked = false;
        laser_off();
        delay(5);
        snapshot2();
        delay(5);
        this.Update();
        Laser.Checked = true;
        laser_on();
        delay(5);
        snapshot2();
        delay(5);
        this.Update();
        laser();
        calculate();
        save_coordinate();
        delay(5);
        this.Update();
        delay(3);
    }
}

private void auto_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    if (running)
    {
        running = false;
        timer1.Enabled = false;
        auto.Text = "Auto";
    }
    else
    {
        running = true;
        timer1.Enabled = true;
        auto.Text = "Stop";
    }
}

private void button1_Click(object sender, System.EventArgs
e)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        StreamWriter txtfile = new StreamWriter("result.txt");
        txtfile.WriteLine("3D Laser Scanner Project");
        txtfile.WriteLine("By Jutarat & Thikhamporn 4C");
        txtfile.WriteLine("Faculty of Electronic KMITL");
        txtfile.WriteLine("Xn = [ " + Xn.ToString()+" ];");
        txtfile.WriteLine("Yn = [ " + Yn.ToString()+" ];");
        txtfile.WriteLine("Zn = [ " + Zn.ToString()+" ];");
        txtfile.WriteLine("Created at " + DateTime.Now);
        txtfile.Close();
    }

    private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
    {
        original_snapshot();
        if (step < 31)
        {
            if (right_move)
            {
                motor_right();
                dir_label.Text = "right";
            }
            if (left_move)
            {
                motor_left();
                dir_label.Text = "left";
            }
        }
        step_label.Text = step.ToString();
        row_label.Text = m.ToString();
        step++;
        if (step == 32)
        {
            step = 0;
            m++;
            motor_up();
            if (right_move)
            {
                right_move = false;
                left_move = true;
            }
            else
            {
                right_move = true;
                left_move = false;
            }
        }
    }
    if (m == 6)
    {
        timer1.Enabled = false;
        auto.Text = "Auto";
        MessageBox.Show("Finish");
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



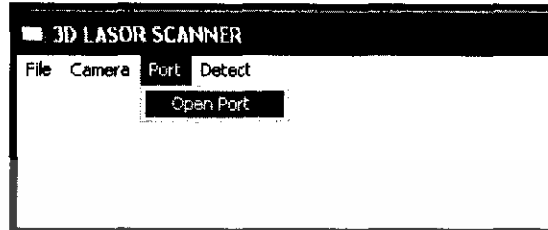
ภาคผนวก ค

วิธีการใช้งานโปรแกรมการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

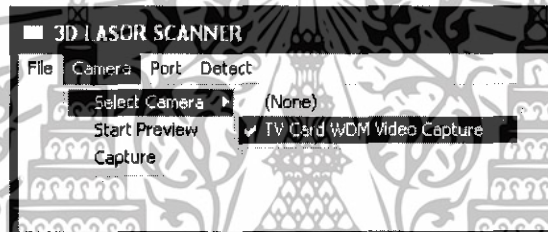
วิธีการใช้งานโปรแกรม

1. ใช้ฟังก์ชัน Port -> Open Port เพื่อเรียกการใช้งานพอร์ตคอมพิวเตอร์



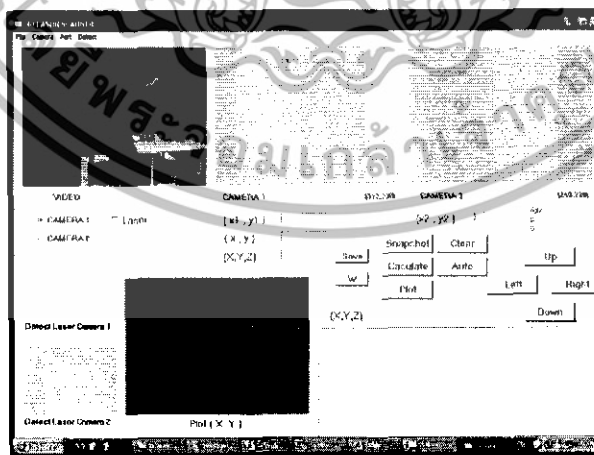
รูปที่ 1 การเรียกการใช้งานพอร์ตคอมพิวเตอร์

2. ใช้ฟังก์ชัน Camera -> Select Camera -> TV Card WDM Video Capture เพื่อเรียกใช้งานกล้อง



รูปที่ 2 การเรียกใช้งานกล้อง

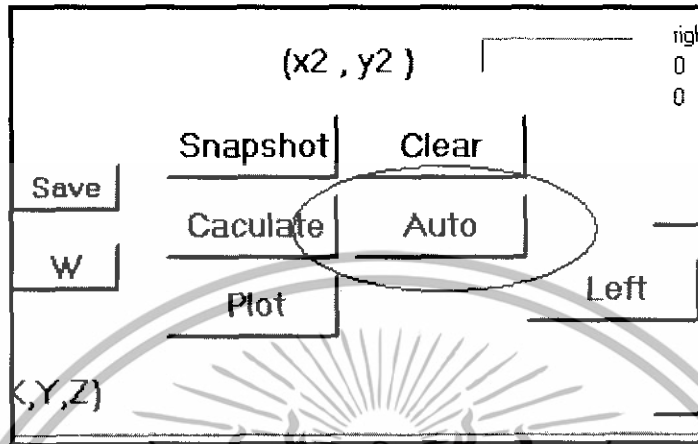
3. ใช้ฟังก์ชัน Camera -> Start Preview เพื่อให้แสดงภาพที่กล้องจับได้ โดยโปรแกรมจะตั้งการใช้งานเริ่มต้นไว้ที่กล้องตัวที่ 1



รูปที่ 3 แสดงภาพที่กล้องจับได้

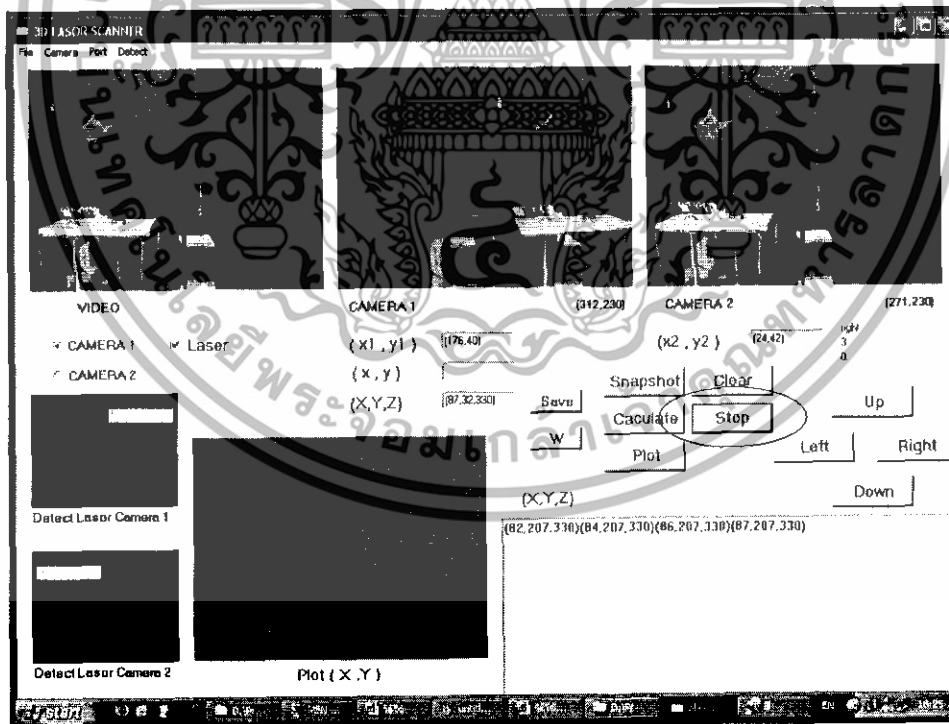
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อต้องการใช้งาน โปรแกรมสามารถทำได้โดยกดปุ่ม Auto เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม โดยโปรแกรมจะทำการสแกนวัตถุครั้งละ 6 แถว แถวละ 32 จุด



รูปที่ 4 แสดงปุ่ม Auto ที่ใช้เริ่มต้นการทำงาน

5. เมื่อต้องการหยุดการทำงาน โปรแกรมสามารถทำได้โดยการกดปุ่ม Stop



รูปที่ 5 แสดงปุ่ม Stop เมื่อต้องการหยุดการทำงาน โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราสามารถดูภาพที่นำมาพล็อตใน 2 มิติ ได้โดยการกดปุ่ม Plot



รูปที่ 6 แสดงปุ่ม Plot และภาพที่สร้างได้ในรูป 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

74HC573; 74HCT573

Octal D-type transparent latch; 3-state

Rev. 03 — 17 January 2006

Product data sheet

1. General description

The 74HC573; 74HCT573 is a high-speed Si-gate CMOS device and is pin compatible with Low-power Schottky TTL (LSTTL).

The 74HC573; 74HCT573 has octal D-type transparent latches featuring separate D-type inputs for each latch and 3-state true outputs for bus oriented applications. A latch enable (LE) input and an output enable (\overline{OE}) input are common to all latches.

When LE is HIGH, data at the Dn inputs enter the latches. In this condition the latches are transparent, i.e. a latch output will change state each time its corresponding D input changes.

When LE is LOW the latches store the information that was present at the D-inputs a set-up time preceding the HIGH-to-LOW transition of LE. When \overline{OE} is LOW, the contents of the 8 latches are available at the outputs. When \overline{OE} is HIGH, the outputs go to the high-impedance OFF-state. Operation of the \overline{OE} input does not affect the state of the latches.

The 74HC573; 74HCT573 is functionally identical to:

- 74HC563; 74HCT563, but inverted outputs
- 74HC373; 74HCT373, but different pin arrangement

2. Features

- Inputs and outputs on opposite sides of package allowing easy interface with microprocessors
- Useful as input or output port for microprocessors and microcomputers
- 3-state non-inverting outputs for bus oriented applications
- Common 3-state output enable input
- Functionally identical to 74HC563; 74HCT563 and 74HC373; 74HCT373
- Complies with JEDEC standard no. 7A
- ESD protection:
 - ◆ HBM EIA/JESD22-A114-C exceeds 2000 V
 - ◆ MM EIA/JESD22-A115-A exceeds 200 V
- Specified from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ and from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$

PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Quick reference data

Table 1: Quick reference data
 GND = 0 V; T_{amb} = 25 °C; t_r = t_f = 6 ns

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
74HC573						
t _{PHL}	propagation delay	V _{CC} = 5 V; C _L = 15 pF				
t _{PLH}	Dn to Qn		-	14	-	ns
	LE to Qn		-	15	-	ns
C _i	input capacitance		-	3.5	-	pF
C _{PD}	power dissipation capacitance	per latch; V _i = GND to V _{CC}	[1]	26	-	pF
74HCT573						
t _{PHL}	propagation delay	V _{CC} = 5 V; C _L = 15 pF				
t _{PLH}	Dn to Qn		-	17	-	ns
	LE to Qn		-	15	-	ns
C _i	input capacitance		-	3.5	-	pF
C _{PD}	power dissipation capacitance	per latch; V _i = GND to (V _{CC} - 1.5 V)	[1]	26	-	pF

[1] C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW).

$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i \times N + \sum(C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ where:

f_i = input frequency in MHz;

f_o = output frequency in MHz;

C_L = output load capacitance in pF;

V_{CC} = supply voltage in V;

N = number of inputs switching;

$\sum(C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ = sum of outputs.

4. Ordering information

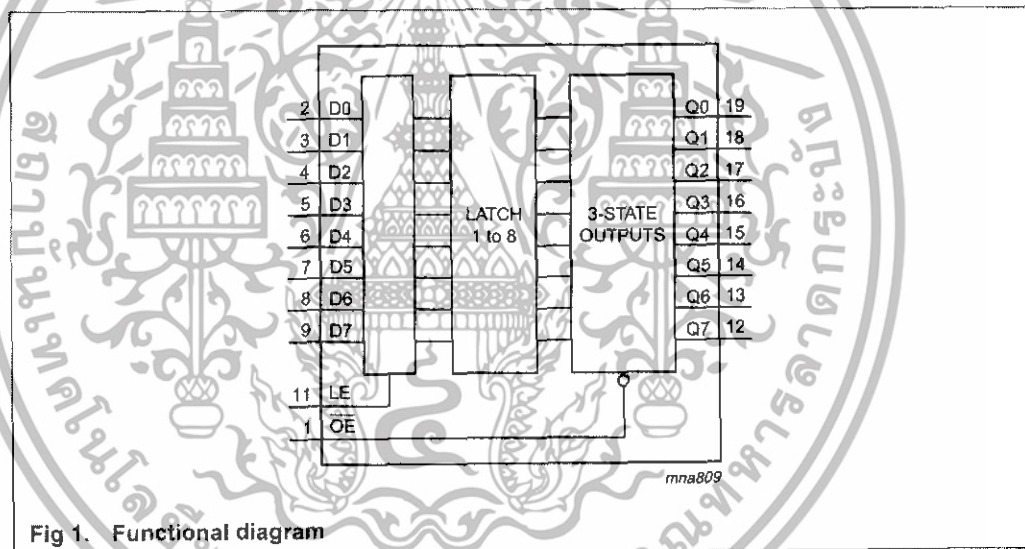
Table 2: Ordering information

Type number	Package			Version
	Temperature range	Name	Description	
74HC573				
74HC573N	-40 °C to +125 °C	DIP20	plastic dual in-line package; 20 leads (300 mil)	SOT146-1
74HC573D	-40 °C to +125 °C	SO20	plastic small outline package; 20 leads; body width 7.5 mm	SOT163-1
74HC573DB	-40 °C to +125 °C	SSOP20	plastic small outline package; 20 leads; body width 5.3 mm	SOT339-1
74HC573PW	-40 °C to +125 °C	TSSOP20	plastic small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT360-1
74HC573BQ	-40 °C to +125 °C	DHVQFN20	plastic dual in-line compatible thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 20 terminals; body 2.5 × 4.5 × 0.85 mm	SOT764-1

Table 2: Ordering information ...continued

Type number	Package			
	Temperature range	Name	Description	Version
74HCT573				
74HCT573N	-40 °C to +125 °C	DIP20	plastic dual in-line package; 20 leads (300 mil)	SOT146-1
74HCT573D	-40 °C to +125 °C	SO20	plastic small outline package; 20 leads; body width 7.5 mm	SOT163-1
74HCT573DB	-40 °C to +125 °C	SSOP20	plastic small outline package; 20 leads; body width 5.3 mm	SOT339-1
74HCT573PW	-40 °C to +125 °C	TSSOP20	plastic small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT360-1
74HCT573BQ	-40 °C to +125 °C	DHVQFN20	plastic dual in-line compatible thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 20 terminals; body 2.5 × 4.5 × 0.85 mm	SOT764-1

5. Functional diagram



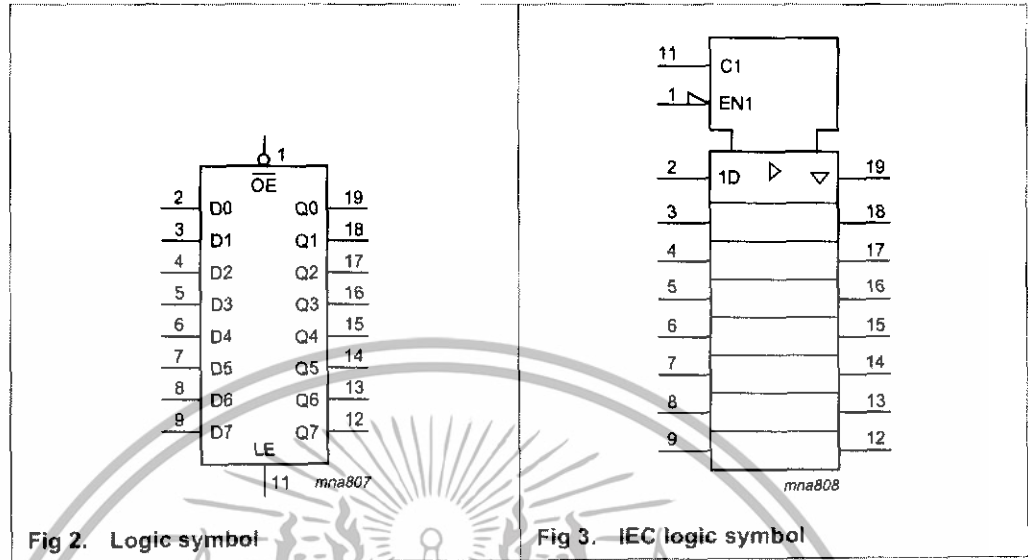


Fig 2. Logic symbol

Fig 3. IEC logic symbol

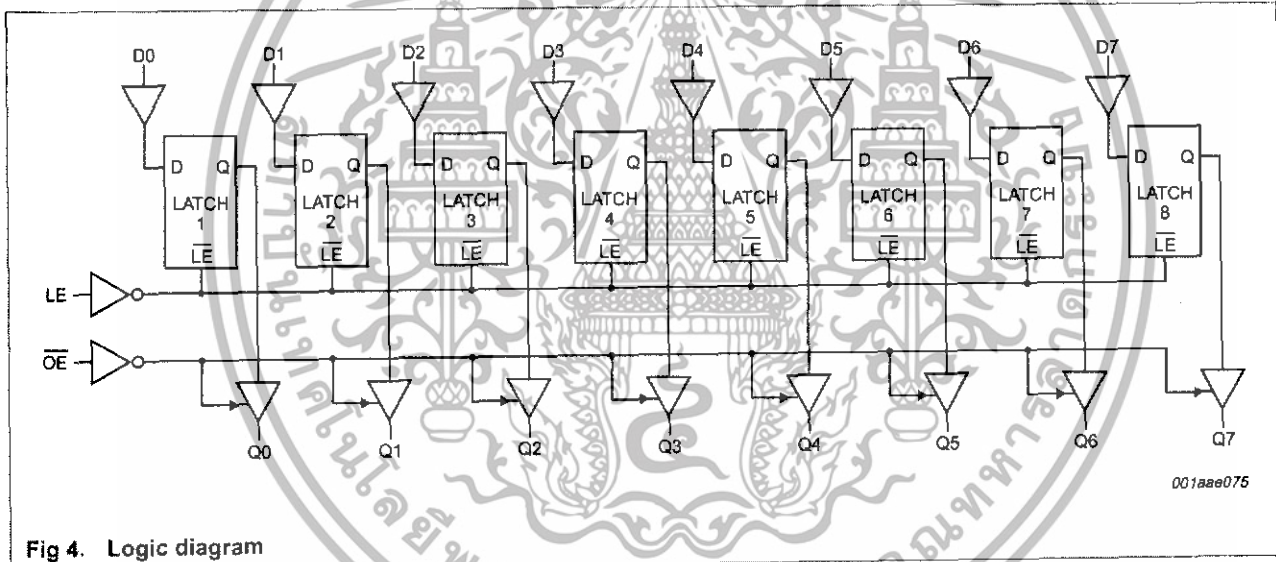


Fig 4. Logic diagram

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-chip Analog Comparator
- Low-power Idle and Power-down Modes

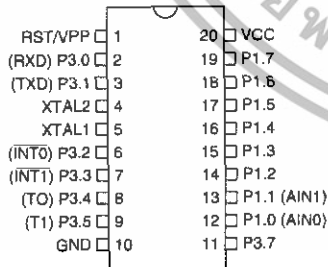
Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration

PDIP/SOIC



8-bit
Microcontroller
with 2K Bytes
Flash

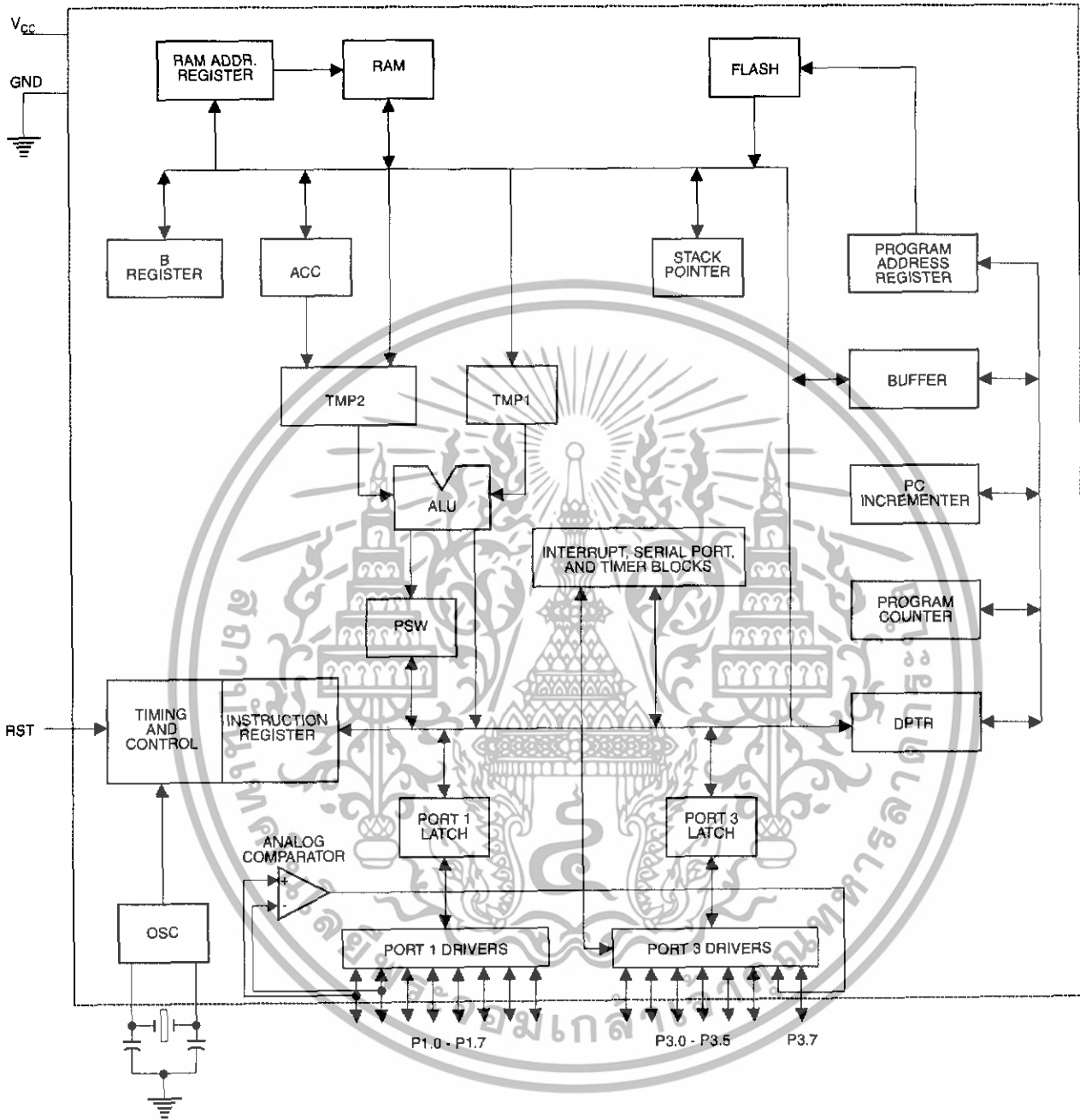
AT89C2051

Rev. 0368E-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bi-directional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

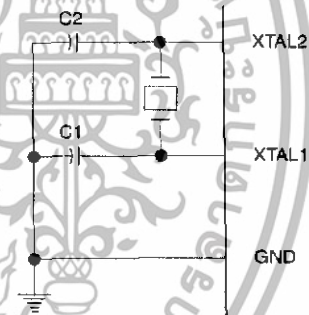
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

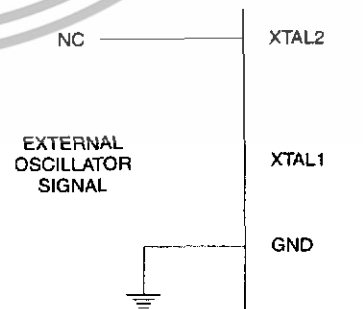
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF \pm 10 pF for Crystals
= 40 pF \pm 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration





Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return

random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H								0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XXX00000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0XX00000							0AFH
0A0H								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H		SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

1. Branching Instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

2. MOVX-related Instructions, Data Memory:

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features.
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.

It should be noted that when Idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Power-down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.



5.6A, 100V, 0.540 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF510	TO-220AB	IRF510

NOTE: When ordering, include the entire part number.

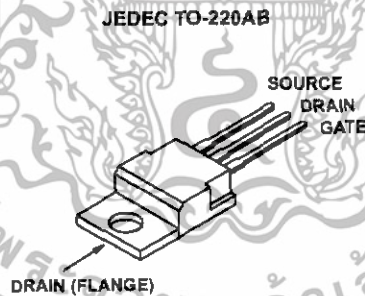
Features

- 5.6A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.540\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRF510

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRF510	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	100 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	100 V
Continuous Drain Current	I_D	5.6 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	4 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	20 A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Maximum Power Dissipation	P_D	43 W
Linear Derating Factor		0.29 $\text{W}/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	19 mJ
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to 175 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	T_L	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260 $^\circ\text{C}$

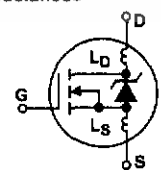
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS		
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0\text{V}, I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	100	-	-	V		
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V		
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	25	μA		
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA		
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 7)	5.6	-	-	A		
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA		
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 3.4\text{A}$ (Figures 8, 9)	-	0.4	0.54	Ω		
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{GS} = 50\text{V}, I_D = 3.4\text{A}$ (Figure 12)	1.3	2.0	-	S		
Turn-On Delay Time	$t_d(ON)$	$I_D = 5.6\text{A}, R_{GS} = 24\Omega, V_{DD} = 50\text{V}, R_L = 9\Omega,$ $V_{DD} = 50\text{V}, V_{GS} = 10\text{V}$	-	8	11	ns		
Rise Time	t_r	MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature	-	25	36	ns		
Turn-Off Delay Time	$t_d(OFF)$		-	15	21	ns		
Fall Time	t_f		-	12	21	ns		
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(\text{TOT})$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 5.6\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS},$ $I_{G(\text{REF})} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14)	-	5.0	7.7	nC		
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate charge is essentially independent of operating temperature.	-	2.0	-	nC		
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	3.0	-	nC		
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{GS} = 0\text{V}, V_{DS} = 25\text{V}, f = 1.0\text{MHz}$ (Figure 11)	-	135	-	pF		
Output Capacitance	C_{OSS}		-	80	-	pF		
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	20	-	pF		
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances		-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die			-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad			-	7.5	-	nH
Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$		
Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	-	-	80	$^\circ\text{C}/\text{W}$		



IRF510

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	Test Conditions	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	5.6	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	20	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	4.6	96	200	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	0.17	0.4	0.83	μC

NOTES:

2. Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: pulse width limited by max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 25\text{V}$, start $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 910\mu\text{H}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 5.6\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

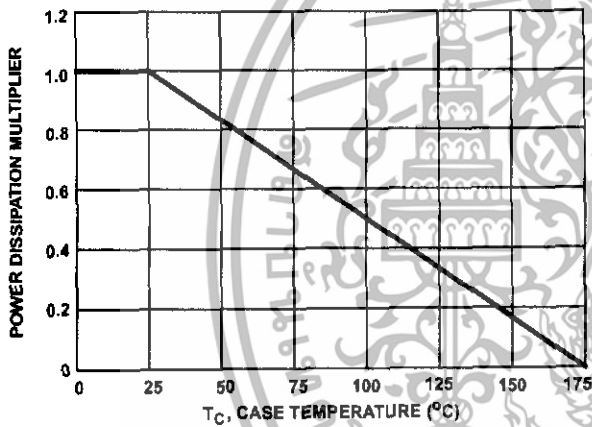


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

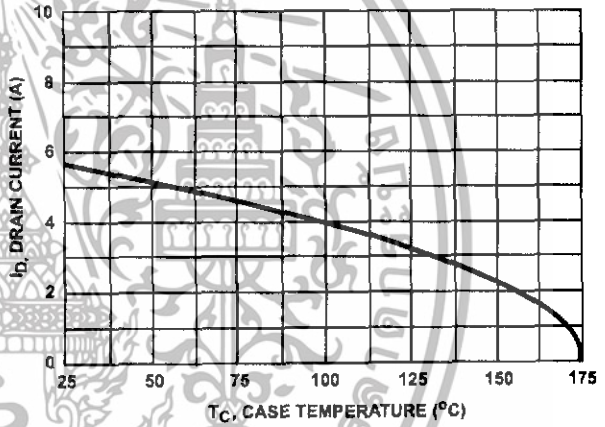


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

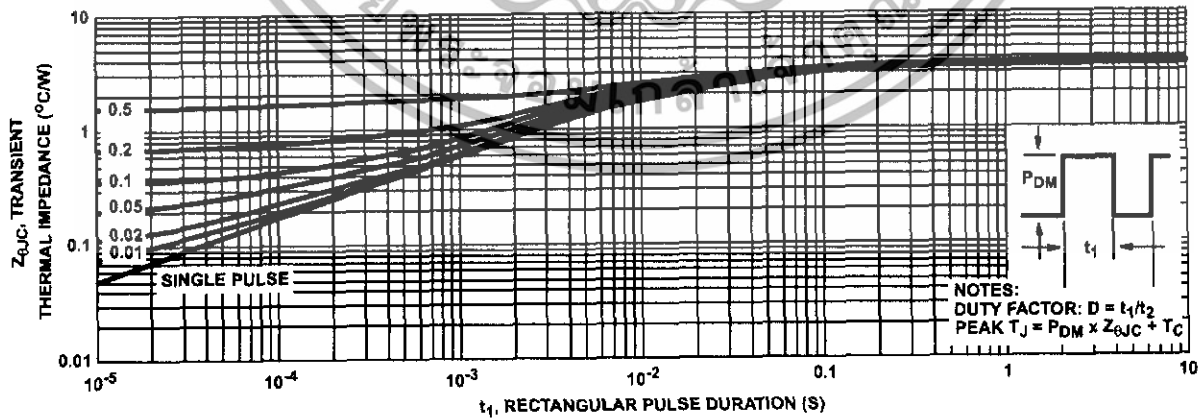


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

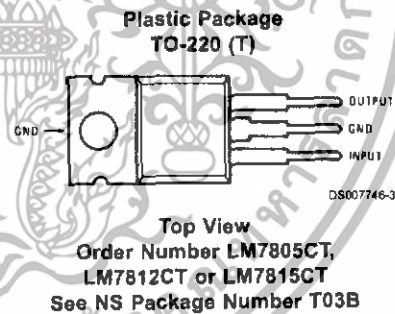
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

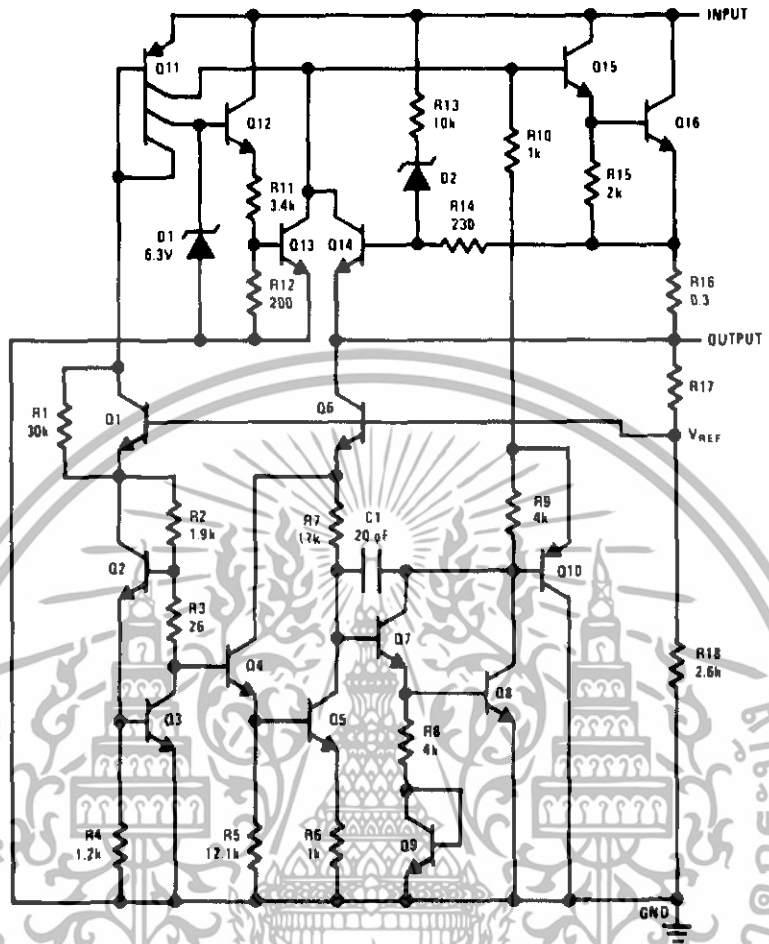
Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Connection Diagrams



Schematic



DS00748-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 3)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Input Voltage ($V_O = 5V, 12V$ and $15V$)	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)	Internally Limited
Operating Temperature Range (T_A)	0°C to $+70^\circ\text{C}$

Maximum Junction Temperature

(K Package)	150°C
(T Package)	150°C
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	
TO-3 Package K	300°C
TO-220 Package T	230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

		Output Voltage			5V			12V			15V			Units
		Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
		$P_D \leq 15\text{ W}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$		4.75		5.25	11.4		12.6	4.25		15.75	V	
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$		(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(14.5 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V	
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3		50	4		120	4		150	mV	
			ΔV_{IN}	(7 $\leq V_{IN} \leq 25$)			14.5 $\leq V_{IN} \leq 30$			(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V	
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$				50		120		150		150	mV	
			ΔV_{IN}	(8 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(15 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(18.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V	
		$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			50		120		150		150	mV	
			ΔV_{IN}	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(14.6 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.7 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V	
$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$				25		60		75		75	mV			
	ΔV_{IN}	(8 $\leq V_{IN} \leq 12$)			(16 $\leq V_{IN} \leq 22$)			(20 $\leq V_{IN} \leq 26$)			V			
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$		10	50		12	120		12	150	mV	
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$			25		60		75		75	mV	
		$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50		120		150		150	mV		
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		8			8			8	mA		
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			8.5		8.5		8.5		8.5	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$			0.5			0.5			0.5	mA		
		$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$	$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			1.0		1.0		1.0		1.0	mA	
				ΔV_{IN}	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(14.8 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
$I_O \leq 500\text{ mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			1.0		1.0		1.0		1.0		1.0	mA		
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(7 $\leq V_{IN} \leq 25$)		(14.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)		(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V		
V_N	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$			40			75			90	μV		
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$	$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$ or $I_O \leq 500\text{ mA}$ $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	62	80		55	72		54	70		dB	
				62		55		54				dB		
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(8 $\leq V_{IN} \leq 18$)		(15 $\leq V_{IN} \leq 25$)		(18.5 $\leq V_{IN} \leq 28.5$)				V	
R_O	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{OUT} = 1\text{ A}$			2.0			2.0			2.0	V		
	Output Resistance	$f = 1\text{ kHz}$			8			18			19	$\text{m}\Omega$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) (Continued)

0°C ≤ T_j ≤ 125°C unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Short-Circuit Current	T _j = 25°C		2.1			1.5			1.2		A
	Peak Output Current	T _j = 25°C		2.4			2.4			2.4		A
	Average TC of V _{OUT}	0°C ≤ T _j ≤ +125°C, I _O = 5 mA		0.6			1.5			1.8		mV/°C
V _{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T _j = 25°C, I _O ≤ 1A		7.5			14.6			17.7		V

Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of 0.22 μF, and a capacitor across the output of 0.1 μF. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_w ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Note 3: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM317

3-terminal positive adjustable regulator

Features

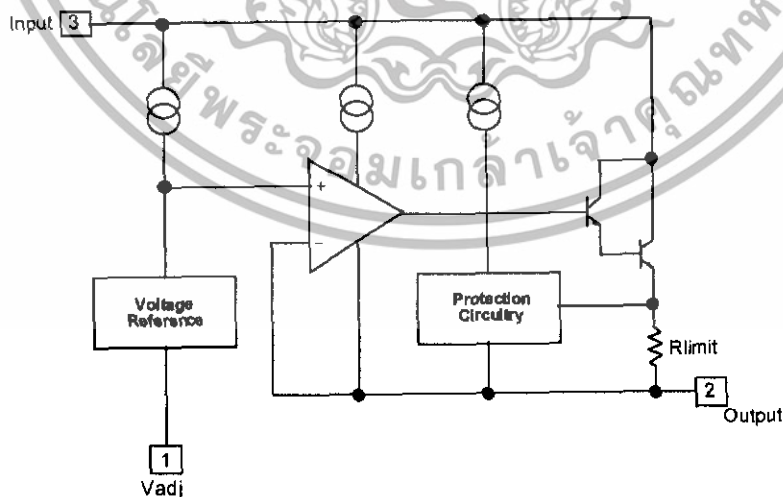
- Output Current In Excess of 1.5A
- Output Adjustable Between 1.2V and 37V
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current-Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- TO-220 Package

Description

This monolithic integrated circuit is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V. It employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area compensation.



Internal Block Diagram



Rev. 5.0

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	V
Lead Temperature	T_{LEAD}	230	°C
Power Dissipation	P_D	Internally limited	W
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +125	°C
Temperature Coefficient of Output Voltage	$\Delta V_O / \Delta T$	±0.02	%/°C

Electrical Characteristics

($V_I - V_O = 5V$, $I_O = 0.5A$, $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$, $I_{MAX} = 1.5A$, $P_{MAX} = 20W$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit
Line Regulation	R_{line}	$T_A = +25^\circ C$ $3V \leq V_I - V_O \leq 40V$	-	0.01	0.04	%/V
		$3V \leq V_I - V_O \leq 40V$	-	0.02	0.07	%/V
Load Regulation	R_{load}	$T_A = +25^\circ C$, $10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $V_O < 5V$ $V_O \geq 5V$	-	18 0.4	25 0.5	mV %/V _O
		$10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $V_O < 5V$ $V_O \geq 5V$	-	40 0.8	70 1.5	mV %/V _O
Adjustable Pin Current	I_{ADJ}	-	-	46	100	µA
Adjustable Pin Current Change	ΔI_{ADJ}	$3V \leq V_I - V_O \leq 40V$ $10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	-	2.0	5	µA
Reference Voltage	V_{REF}	$3V \leq V_{IN} - V_O \leq 40V$ $10mA \leq I_O \leq I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	1.20	1.25	1.30	V
Temperature Stability	ST_T	-	-	0.7	-	%/V _O
Minimum Load Current to Maintain Regulation	$I_{L(MIN)}$	$V_I - V_O = 40V$	-	3.5	12	mA
Maximum Output Current	$I_{O(MAX)}$	$V_I - V_O \leq 15V$, $P_D \leq P_{MAX}$ $V_I - V_O \leq 40V$, $P_D \leq P_{MAX}$ $T_A = 25^\circ C$	1.0	2.2 0.3	-	A
RMS Noise, % of V_{OUT}	e_N	$T_A = +25^\circ C$, $10Hz \leq f \leq 10KHz$	-	0.003	0.01	%/V _O
Ripple Rejection	RR	$V_O = 10V$, $f = 120Hz$ without C_{ADJ} $C_{ADJ} = 10\mu F$	66	60 75	-	dB
Long-Term Stability, $T_J = T_{HIGH}$	ST	$T_A = +25^\circ C$ for end point measurements, 1000HR	-	0.3	1	%
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$	-	-	5	-	°C/W

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_D due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used. ($P_{MAX} = 20W$)

2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

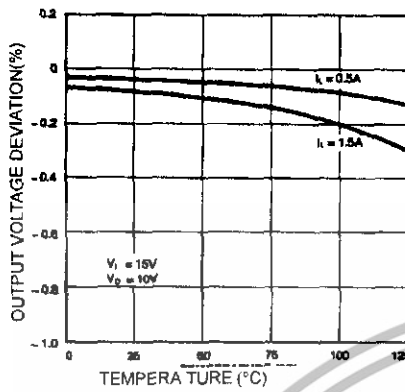


Figure 1. Load Regulation

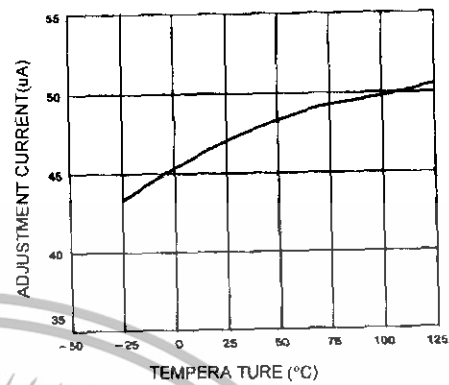


Figure 2. Adjustment Current

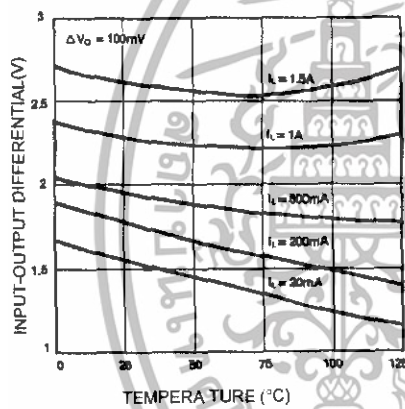


Figure 3. Dropout Voltage

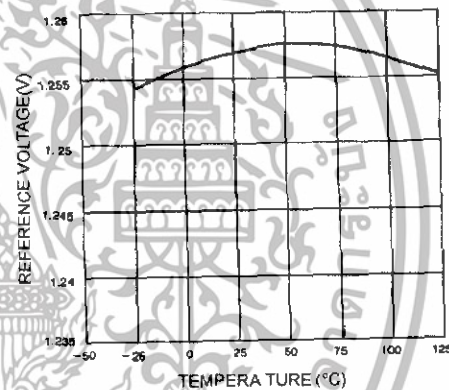


Figure 4. Reference Voltage

MAXIM**+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers****General Description**

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5 μ W. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multidrop RS-232 Networks

Features**Superior to Bipolar**

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.
*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μ F)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

MAX220-MAX249**MAXIM**

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-244

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V _{CC})	-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	696mW
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
R _{IN} (Except MAX220)	±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
R _{IN} (MAX220)	±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
T _{OUT} (Except MAX220) (Note 1)	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	640mW
T _{OUT} (MAX220)	±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW
T _{OUT}	±15V	Operating Temperature Ranges	
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX2_AC, MAX2_C	0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_AE, MAX2_E	-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX2_AM, MAX2_M	-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW	Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, SHDN or V_{CC} = 0V.

Note 2: For the MAX220, V+ and V- can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V_{CC} = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1μF, MAX220, C1 = 0.047μF, C2-C4 = 0.33μF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND	±5	±8		V	
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V	
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220	2	1.4		V	
	MAX220, V _{CC} = 5.0V	2.4				
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation		5	40	μA	
	SHDN = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220		±0.01	±1		
Output Leakage Current	V _{CC} = 5.5V, SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V, MAX222/242		±0.01	±10	μA	
	V _{CC} = SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V		±0.01	±10		
Data Rate			200	116	kb/s	
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V+ = V- = 0V, V _{OUT} = ±2V	300	10M		Ω	
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V	±7	±22		mA	
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range				±30	V	
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}	0.8	1.3	V	
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}		1.8	2.4	V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V _{CC} = 5V, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance		3	5	7	kΩ	
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA		0.2	0.4	V	
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA	3.5	V _{CC} - 0.2		V	
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND	-2	-10		mA	
	Sinking V _{OUT} = V _{CC}	10	30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V_{CC} = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1μF, MAX220, C1 = 0.047μF, C2-C4 = 0.33μF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = V _{CC} or EN = V _{CC} (SHDN = 0V for MAX222), 0V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}			±0.05	±10	μA
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current (SHDN = V _{CC}), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T _A = +25°C		0.1	10	μA
		T _A = 0°C to +70°C		2	50	
		T _A = -40°C to +85°C		2	50	
		T _A = -55°C to +125°C		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				±1	μA
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slow Rate	C _L = 50pF to 2500pF, R _L = 3kΩ to 7kΩ, V _{CC} = 5V, T _A = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/μs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t _{PHLT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	μs
		MAX220		4	10	
		MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	μs
		MAX220		0.6	3	
		MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	10	μs
		MAX220		2.5	10	
		MAX222/232A/233A/242/243		0.8	3	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t _{ER}	MAX242		125	500	ns
		MAX242		160	500	
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t _{DR}	MAX242		125	500	ns
		MAX242		160	500	
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t _{ET}	MAX222/242, 0.1μF caps (includes charge-pump start-up)		250		μs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t _{DT}	MAX222/242, 0.1μF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLT} - t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLR} - t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

Note 3: MAX243 R2_{OUT} is guaranteed to be low when R2_{IN} is ≥ 0V or is floating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้