

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบควบคุมกล้อง Flir Photon 320

เพื่อเปรียบเทียบสีจากกล้องกับอุณหภูมิที่ตรวจวัด

SOFTWARE DEVELOPMENT OF CONTROL FLIR

PHOTON 320 CAMERA TO COMPARE THE COLOR FROM

CAMERA WITH TEMPERATURE MEASUREMENT



นายศรณย์

คงเหมือน

นายหัตถ์ชัย

แสงรอด

นายอัฐพงษ์

พุดิเมธางกูร

นายอนุภาพ

เจิมขุนทด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

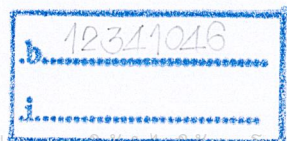
ปีการศึกษา 2553

เลขหมู่.....

117491

เลขทะเบียน.....
- 5 ต.ค. 2554

วันเดือนปี.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารของห้องสมุดฯ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือจำหน่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SOFTWARE DEVELOPMENT OF CONTROL FLIR
PHOTON 320 CAMERA TO COMPARE THE COLOR FROM
CAMERA WITH TEMPERATURE MEASUREMENT**

SARON

KONGMUEN

HATSANAI

SAENGRD

ATTAPHONG

PUTHTIMATHANGKOOL

ANUPARB

JERMKHUNTOD

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN DEPARTMENT OF ELECTRONICS

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADENIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบควบคุมกล้อง Flir Photon 320

เพื่อเปรียบเทียบสีจากกล้องกับอุณหภูมิที่ตรวจวัด

SOFTWARE DEVELOPMENT OF CONTROL FLIR
PHOTON 320 CAMERA TO COMPARE THE COLOR FROM
CAMERA WITH TEMPERATURE MEASUREMENT



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการเรื่อง(ภาษาไทย)

การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบควบคุมกล้อง Flir Photon 320

เพื่อเปรียบเทียบสีจากกล้องกับอุณหภูมิที่ตรวจวัด

(ภาษาอังกฤษ)

SOFTWARE DEVELOPMENT OF CONTROL FLIR PHOTON 320
CAMERA TO COMPARE THE COLOR FROM CAMERA WITH
TEMPERATURE MEASUREMENT

จัดทำโดย

นายศรณย์ กงเหมือน

นายหัตถ์นัยน์ แสงรอด

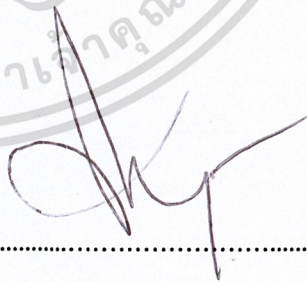
นายอัฐพงษ์ พุฒิเมธราชกูร

นายอานุภาพ เจริญนท

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ศิริเดช บุญแสง

โครงการนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ดร.ศิริเดช บุญแสง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบควบคุมกล้อง Flir Photon 320

เพื่อเปรียบเทียบสีจากกล้องกับอุณหภูมิที่ตรวจวัด

นายศรณย์ คงเหมือน 50011525

นายหัสณัยน์ แสงรอด 50011810

นายอัฐพงษ์ พุติเมธากร 50011923

นายอานภาพ เจริญนทศ 50011942

ดร.ศิริเดช บุญแสง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ อธิบายถึงการออกแบบและการสร้าง ระบบควบคุมกล้องตรวจจับความร้อนด้วยกล้อง Flir Photon 320 ซึ่งประกอบด้วย การเก็บผลจากแหล่งอุณหภูมิอ้างอิงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิกับผลที่ได้จากกล้อง Flir Photon 320 และส่วนของซอฟต์แวร์ควบคุมกล้องและซอฟต์แวร์ตรวจวัดอุณหภูมิ โดยที่แหล่งอุณหภูมิอ้างอิงสร้างจากการใช้อุณหภูมิที่เสถียรกับแผ่นเพอเทีย แล้วทำการวัดอุณหภูมิด้วย เทอร์โมคัปเปิลพร้อมกับการบันทึกภาพวิดีโอเพื่อใช้ในการเก็บผล และใช้ภาษา C++ builder ในการเขียนซอฟต์แวร์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ

**SOFTWARE DEVELOPMENT OF CONTROL FLIR
PHOTON 320 CAMERA TO COMPARE THE COLOR
FROM CAMERA WITH TEMPERATURE MEASUREMENT**

Mr.Saron Kongmuen 50011525

Mr.Hatsanai Saengrod 50011810

Mr.Attaphong Puthtimathangkool 50011923

Mr.Anuparb Jermkhuntod 50011942

ABSTRACT

This report describes the design and construction. Camera control system with thermal cameras Flir Photon 320, is applied the basic principles of image processing. The results were collected from the reference temperature to compare with the color temperature by cameras Flir Photon 320. Then write a program to be processed program color image of the camera. The software is written in C++ builder6.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบควบคุมกล้อง Photon 320 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมินี้ เป็นโครงการที่มุ่งเน้นการศึกษาการทำงานของโปรแกรมและการออกแบบส่วนระบบควบคุมกล้อง และส่วนโปรแกรมของการตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่งโครงการนี้จะสำเร็จไม่ได้เลยหากขาดอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศิริเดช บุญแสง ซึ่งได้ให้คำปรึกษาในเรื่องของการเก็บผลข้อมูล การเขียนโปรแกรม ความเข้าใจหลักการทำงานของกล้องอินฟราเรด และขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโทที่ได้ให้คำแนะนำ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่เคยให้ความรู้จนโครงการนี้สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย



นายสรณย์ คงเหมือน 50011525

นายหัสณันน์ แสงรอด 50011810

นายอัฐพงษ์ พุฒิเมธากร 50011923

นายอนุภาพ เจริญนท 50011942

นักศึกษาชั้นปีที่ 4

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ	
2.1 เซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS และ CCD	3
2.1.1 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)	4
2.1.2 CCD (Charge Coupled Device)	5
2.1.3 การเปรียบเทียบกันระหว่างเซนเซอร์ CMOS และ CCD	5
2.2 ความรู้พื้นฐานของการประมวลผลภาพกราฟฟิก	8
2.2.1 ความรู้เรื่องความละเอียดของภาพ	8
2.2.2 ความรู้เรื่องบิต	9

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.2.3 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมและแบบขนาน	10
2.2.5 การอินเตอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232	13
บทที่ 3 แสงอินฟราเรดและระบบของสี	
3.1 รังสีอินฟราเรด	21
3.1.1 อินฟราเรดเมื่อมองในส่วนสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า	22
3.2 แบบจำลองของสี (Color model)	23
3.2.1 แบบจำลองของสีแบบ RGB	23
3.2.2 แบบจำลองของสีแบบ CMY	24
3.2.3 ระบบสีแบบ YUV	26
3.2.4 ระบบสีแบบ YIQ	26
3.2.5 ระบบสี HSV	26
3.2.6 ระบบสีแบบ HLS	27
3.3 กระบวนการดิจิทัลไเซชัน (Digitization)	29
บทที่ 4 กล้อง Flir Photon 320	
4.1 Flir Photon 320 Camera	30
4.2 หลักการทำงานของ Thermal Imaging Camera	37
4.3 ระบบการสร้างภาพด้วยความร้อน (Thermal imaging)	37
4.3.1 เทคโนโลยีขยายสัญญาณภาพ (Image Enhancement)	38

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3.2 หลักการทำงานของ การขยายสัญญาณภาพ	39
4.3.3 เลนส์ของกล้องอินฟราเรด	39
4.3.4 การตรวจจับรังสีอินฟราเรด	39
4.4 เซนเซอร์ชนิด Uncooled Micro bolometer Infrared	41
Sensor Arrays	
4.4.1 การสร้างโครงสร้างของเซ็นเซอร์ทางความร้อน	43
4.4.2 การออกแบบและการผลิต Micro machined micro bolometer	44
4.4.3 สารที่เป็นตัวต้านทานที่ไวต่ออุณหภูมิจาก Micro bolometer	46
4.4.4 ขั้นตอนของ Micro bolometer Micro machining	47
4.4.5 ตัวแปรสำหรับ Micro bolometer ทั่วไป	47
4.4.6 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดใน Micro bolometer	49
4.5 ปรากฏการณ์ Peltier Effect	50
4.5.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	50
บทที่ 5 การทดลอง	
5.1 การสร้างระบบความร้อน เพื่อ ปรับเทียบ (Calibration) การวัดอุณหภูมิ	53
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงจากกล้อง Flir photon 320 กับอุณหภูมิ	55
5.3.การวัดอุณหภูมิด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จาก Thermocouple type k	57
5.4 โปรแกรมตรวจวัดอุณหภูมิความร้อน	62
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
6.1 ส่วนของระบบความร้อนเพื่อการปรับเทียบการวัดอุณหภูมิ (Calibration)	66

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
6.2 ส่วนของการพัฒนาโปรแกรม	66
6.3 วิจารณ์ผลการทดลอง	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	70
ภาคผนวก ข	90



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การทำงานของกล้องแบบ CMOS และ CCD	4
2.2 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)	4
2.3 CCD (Charge Coupled Device)	5
2.4 Feature and Performance comparison	7
2.5 พิกเซลของภาพเฉดสีของภาพสี	8
2.6 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	10
2.7 การสื่อสารแบบอนุกรมในรูปแบบต่างๆ	11
2.8 การสื่อสารแบบซิงโครนัส	12
2.9 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	12
2.10 การจัดการของคอนเนกเตอร์พอร์ตอนุกรมแบบ DB-9	14
2.11 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์โดยใช้สัญญาณเพียง 3 เส้นวงจรแคปเตอร์	14
2.12 แบบการสื่อสารแบบอนุกรม	15
2.13 วงจรแปลงระดับแรงดันของการสื่อสารแบบอนุกรม	15
2.14 การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม	16
2.15 การสื่อสารและการส่งข้อมูลแบบขนาน	18
3.1 แสดงแถบความถี่ของคลื่นแสง	19
3.2 แสดงแถบความถี่ของคลื่นแสง	21
3.3 แสดงสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรด	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า	23
3.5 แสดงแบบจำลองสีแบบ RGB	24
3.6 แสดงแบบจำลองสีแบบ RGB	24
3.7 แสดงแบบจำลองสีแบบ CMY	25
3.8 แสดงแบบจำลองสีแบบ HSV	27
3.9 แสดงระบบสี HLS	28
4.1 ชนิดของกล้องและเลนส์ชนิดต่างๆ	30
4.2 30-pin Samtec Connector Interface of the Photon Camera	33
4.3 ขา DB-15	34
4.4 ระบบการสร้างภาพด้วยความร้อน	37
4.5 หลอดขยายสัญญาณภาพมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานโฟตอนให้เป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า	38
4.6 การตรวจจับรังสีอินฟราเรด	40
4.7 เซนเซอร์แบบ Uncooled Micro bolometer	41
4.8 แสดงการวางรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการตรวจจับรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุด	42
4.9 แสดงภาพวาด Micro bolometer ขนาดไมครอนทั่วไป ประกอบด้วยแผ่นซิลิกอนไนไตรด์	44
4.10 ภาพวาด Micro bolometer	45
4.11 ภาพ Array ของ Micro bolometer ชนิด 2 มิติ	45
4.12 การใช้ Array ชนิด 2 มิติ สำหรับระบบสร้างภาพ	46

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ขั้นตอนการสร้าง Micro bolometer arrays ทั่วไป	47
4.14 แสดงความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า	50
4.15 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า	52
4.16 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า โลหะชนิด p	52
5.1 ภาพแสดง Block Diagram ของระบบรวม	53
5.2 ภาพจริงของระบบรวม	54
5.3 แสดงเจดสีที่ได้จากกล้องเมื่อปรับเทียบกับอุณหภูมิของ Thermocouple ชนิด type k	55
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่วัดได้จากกล้อง Flir Photon 320 กับอุณหภูมิของ Thermocouple type k	56
5.5 แสดงโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อวัดอุณหภูมิ	59
5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ของ Program กับ Thermocouple type k	61
5.7 โปรแกรมที่ใช้อ่านค่า RGB	62
5.8 ภาพหน้าจอของโปรแกรมเมื่อเขียนเสร็จ	63
5.9 ภาพที่ได้จากการตรวจวัดอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์	64
5.10 ภาพที่ได้จากการวัดอุณหภูมิที่กระดิกน้ำร้อน	64
5.11 ภาพที่ได้จากผู้ที่ออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นเวลา 5 นาที	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป	16
3.1 แสดงคลื่นวิทยุความถี่ต่างๆ และการใช้งาน	20
4.1 เป็นขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อ	33
4.2 15 pin HD D-Sub (Male) Connector Pin Definitions	34
4.3 การใช้กล้อง Photon ในการใช้ไฟ DC	35
4.4 Spec ต่างๆ ของ Video	35
4.5 Video output	36
4.6 Frame กับอัตรา Frame sync ภายนอก	36
4.7 Dimensioned Drawings	37
4.8 สารที่ใช้สร้าง Micro bolometer ทั่วไปพร้อมค่าตัวแปรต่างๆ	48
4.9 ค่าตัวแปรของ Micro bolometer ทั่วไป ส่วนบนของตารางแสดงค่าตัวแปรทั่วไป	48
4.9 ค่าตัวแปรของ Micro bolometer ทั่วไป ส่วนบนของตารางแสดงค่าตัวแปรทั่วไป (ต่อ)	48
5.1 แสดงอุณหภูมิที่วัดได้จาก Program กับ Thermocouple	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ปัจจุบันเทคโนโลยีของกล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ทำให้ภาพที่ได้จากกล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดที่ใช้ในที่มืดสนิทจึงสามารถแยกแยะอุณหภูมิระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อมได้ดีที่ระยะทางไกลๆได้ ทำให้เหมาะกับการตรวจการรักษความปลอดภัยบริเวณฐานปฏิบัติการหรือจุดตรวจการต่างๆของหน่วยทหารหรือหน่วยงานราชการต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีของกล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดมีการพัฒนาไปอย่างมากซึ่งในอดีตจะใช้อยู่ในวงแคบ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในหน่วยปฏิบัติการทางทหาร เพื่อป้องกันการบุกรุกจากฝ่ายตรงข้าม แต่ในปัจจุบันกล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ โดยการนำกล้องตรวจจับความร้อนนี้ตรวจจับอุณหภูมิความร้อนของผู้ป่วยเพื่อสแกนผู้ที่มีอุณหภูมิร่างกายผิดปกติออกจากกลุ่มของผู้ที่มีอุณหภูมิร่างกายที่ปกติ ตัวอย่างที่เราเห็นกันในปัจจุบันก็คืออย่างเช่นใช้วัดอุณหภูมิของไข้หวัดนกระบาด เทคโนโลยีการตรวจจับความร้อนด้วยกล้องอินฟราเรดได้ถูกนำมาใช้เพื่อคัดกรองผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ และยังสามารถนำมาตรวจจับอุณหภูมิความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆได้อีกด้วย เนื่องจากกล้องตรวจจับความร้อนที่นำมาใช้นั้นมีความไม่สะดวกในการตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งตัวกล้องนี้สามารถตรวจวัดได้เฉพาะความร้อนที่บ่งบอกออกมาเป็นเจดสีต่างๆซึ่งไม่สามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่ได้จากเจดสีนี้ได้ ดังนั้นจึงได้ศึกษาและออกแบบพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้กล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดนี้สามารถตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนเพื่อบอกเป็นอุณหภูมิในหน่วยต่างๆได้และสามารถเก็บข้อมูลที่ได้อ่านค่าอุณหภูมิความร้อนนี้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำและง่ายต่อการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาระบบกล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดที่สามารถตรวจวัดค่าอุณหภูมิได้และสามารถอ่านค่าอุณหภูมิความร้อนจากเจดสีต่างๆของกล้องได้
2. พัฒนาซอฟต์แวร์ในการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนเพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

โครงการนี้จะใช้กล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดเป็นตัวจับภาพและทำการสร้างแหล่งอุณหภูมิอ้างอิงจากแผ่น peltier แล้วใช้ thermocouple ทำการวัดค่าอุณหภูมิความร้อนที่ได้จากแผ่น peltier แล้วทำการเก็บค่าอุณหภูมิต่างๆที่ได้นี้เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างเจดสีที่ได้จากกล้องและอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จาก thermocouple เพื่อนำไปใช้ในการเขียนพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยภาษา C++builder6 เพื่อควบคุมการทำงานของกล้องและการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับเจดสีของกล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรด

1.4 แผนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและเก็บข้อมูลของกระบวนการต่างๆที่ใช้ในโครงการ เช่น รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ลักษณะต่างๆ ลักษณะการทำงานของกล้อง การเขียนโปรแกรม การเทียบค่าเจดสีกับอุณหภูมิอ้างอิง รวมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องต่างๆที่เกี่ยวข้องในการใช้ทำโครงการนี้
2. ทดลองเขียนควบคุมกล้องด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเอง เพื่อใช้ในการเก็บค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการทำโครงการ
3. ทำการศึกษาและทดลองรวมทั้งเก็บผลที่ได้จากการทดลองโดยการใช้แผ่น peltier เป็นแหล่งอุณหภูมิอ้างอิงแล้วใช้ thermocouple เก็บค่าอุณหภูมิที่ได้เพื่อทำการเทียบค่ากับเจดสีที่ได้จากกล้อง
4. ศึกษาวิธีการเขียนซอฟต์แวร์ด้วย C++ builder6 เพื่อเขียนซอฟต์แวร์ในการเทียบค่าเจดสีกับอุณหภูมิอ้างอิงที่ได้และเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของกล้องตรวจจับความร้อนได้
5. ตรวจสอบชิ้นงานและซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยการทดลองใช้งานในสภาพการณ์จริง
6. สรุปผลและทดสอบการทำงาน
7. จัดทำรายงานและเอกสาร

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิความร้อน โดยสามารถบอกค่าอุณหภูมิที่ได้จากเจดสีของกล้องและสามารถเขียนซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมการทำงานของกล้องในโหมดต่างๆได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ

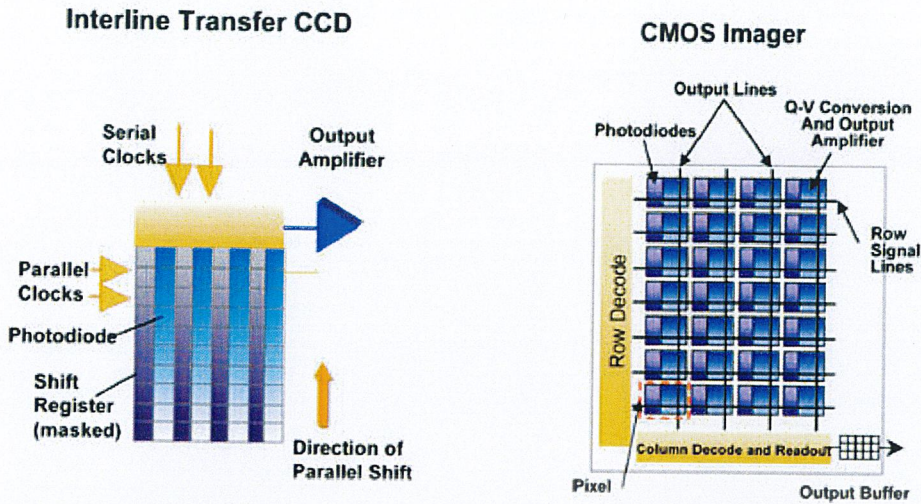
2.1 เซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS และ CCD

เทคโนโลยีการถ่ายภาพดิจิทัลนั้นได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วง ระยะเวลา 5-6 ปีที่ผ่านมา สิ่งสำคัญที่ทำให้การถ่ายภาพก้าวกระโดดจากระบบฟิล์มมาเป็นระบบดิจิทัล ก็คือ ตัวรับรู้ หรือ เซนเซอร์ (Sensor) ซึ่งปัจจุบันนี้เซนเซอร์มีใช้กันอยู่สองชนิด คือ CCD และ CMOS

เซนเซอร์ทั้งสองชนิดต่างก็เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตมาจากซิลิคอน โดยมีหน้าที่เปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในแผง CCD และ CMOS จะประกอบด้วยเซลล์รับแสงจำนวนมากเรียกว่า “จุดภาพ หรือ พิกเซล (Pixel, Picture Element)” ซึ่งเมื่อแต่ละจุดภาพรับแสงแล้วจะเปลี่ยนโฟตอนเป็นประจุไฟฟ้าก่อน จากนั้นประจุเหล่านั้นจะถูกถ่ายโอนไปยังส่วนเอาต์พุตเพื่อเปลี่ยนเป็นความต่างศักย์ทำการขับเฟอ์ไว้แล้วจึงส่งออกจากชิพในลักษณะที่เป็นสัญญาณอนาล็อก ทุกๆเซลล์สามารถใช้เป็นตัวรับแสงได้ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีความสม่ำเสมอสูง (มีความสำคัญต่อคุณภาพของภาพ)

สำหรับเซนเซอร์ที่เป็น CMOS นั้นแต่ละพิกเซลจะมีส่วนที่ทำหน้าที่แปลงประจุความต่างศักย์อยู่ในตัวเอง นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลอยู่ในเซนเซอร์ด้วย สิ่งต่างๆที่เพิ่มเข้าไปในเซ็นเซอร์นี้ทำให้พื้นที่ในการรับแสงลดน้อยลงและเมื่อแต่ละพิกเซลสามารถทำการแปลงค่าได้เองนั้น ทำให้ความสม่ำเสมอของสัญญาณไม่ดีนัก แต่ก็ไม่จำเป็นต้องมีการประมวลผลอีกมากมาย ภายหลังเพราะมีการทำไว้แล้วในระดับพิกเซล ดังนั้นสัญญาณที่ออกจาก CMOS จึงเป็นสัญญาณแบบดิจิทัล ขณะที่ CCD เป็นแบบอนาล็อก

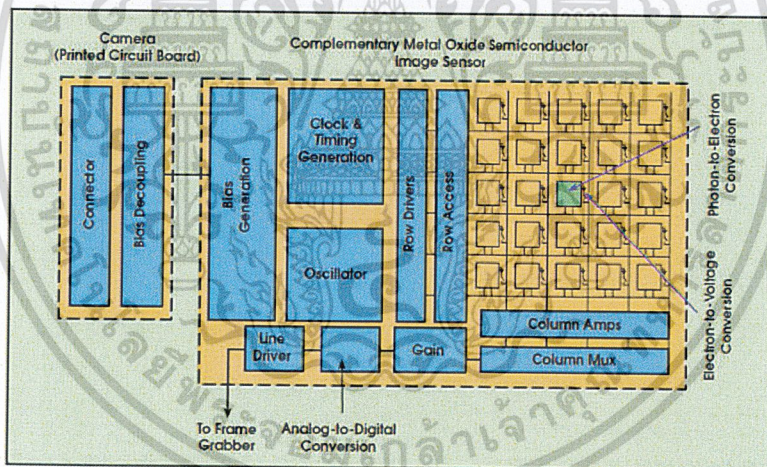
CCD จะให้คุณภาพที่ดีกว่าแต่กระบวนการผลิตและการนำไปใช้งานจะซับซ้อนกว่า กินพลังงานมากกว่า ทำให้ CCD มีราคาแพงกว่า CMOS ดังจะเห็นได้ว่า CMOS จะใช้ในกล้องคุณภาพต่ำและราคาถูก แต่ปัจจุบันกล้อง CMOS ได้ถูกพัฒนาขึ้นให้มีคุณภาพเทียบเท่ากับกล้อง CCD ประกอบกับซอฟต์แวร์การจัดการภาพมีความก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ทำให้คุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องนั้นมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.1 การทำงานของกล้องแบบ CMOS และ CCD

เทคโนโลยีกล้องดิจิทัลที่ติดมากับโทรศัพท์มือถือในปัจจุบันจะนิยมใช้เซนเซอร์รับภาพอยู่ 2 แบบ คือ CMOS และ CCD โดยจะเป็นการนำเทคโนโลยีจากกล้องดิจิทัลทั่วไปมาประยุกต์ ซึ่งความแตกต่างของเซนเซอร์รับภาพ 2 แบบ จะเป็นดังนี้

2.1.1 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)



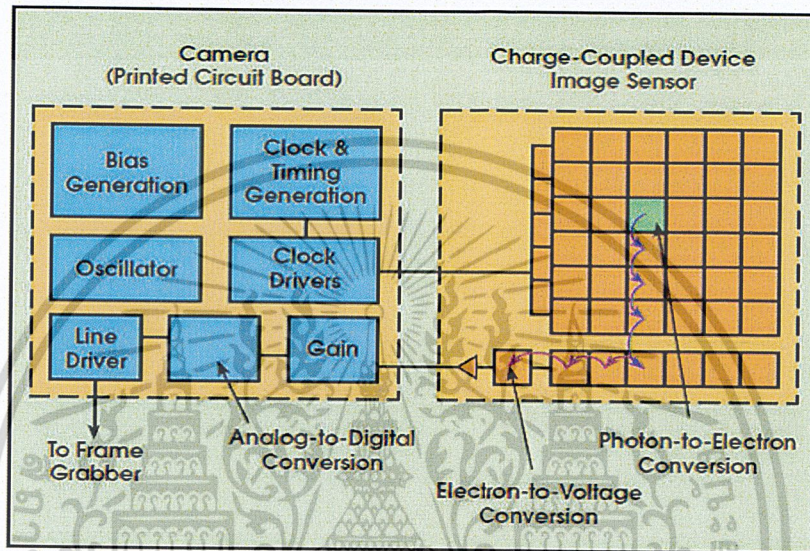
รูปที่ 2.2 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

เป็นเซนเซอร์รับภาพชนิดที่มักจะถูกเลือกนำไปใช้กับโทรศัพท์มือถือที่มีราคาไม่แพง ซึ่งในท้องตลาดในการคำนวณค่าของแสงที่มากตกกระทบที่แต่ละโฟโต้ไซต์ (Photosite) จะมีการประจุนั้นโดยตรงเช่นเดียวกับ CCD แต่การส่งผ่านข้อมูลต้องอาศัยสายข้อมูลขนาดเล็ก ไปทำการประมวลผลอีกทอดหนึ่ง อาศัยเทคโนโลยีการผลิตแบบเก่า ซึ่งเป็นแบบเดียวกับการผลิตไมโครโพรเซสเซอร์จึงเต็มไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยสัญญาณรบกวน มีคุณสมบัติความไวในการรับแสงที่ต่ำ ดังนั้นเวลาอยู่ในสถานที่ๆมีแสงน้อย จะทำให้เกิด Noise หรือ อาการพร่ามัวมากกว่าและมีอัตราการสูญเสียเม็ดสีมากกว่า จึงมีผลทำให้คุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ด้อยกว่า CCD แต่ข้อดีก็คือใช้พลังงานต่ำกว่า และมีขนาดของระบบการทำงานที่เล็กกว่า ส่วนการผลิตสามารถทำได้บนแผ่นซิลิคอนมาตรฐานทั่วไป จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า CCD

2.1.2 CCD (Charge Coupled Device)



รูปที่ 2.3 CCD (Charge Coupled Device)

เป็นเซนเซอร์รับภาพชนิดที่มีเทคโนโลยีใหม่กว่า ให้คุณภาพของภาพที่สูงกว่าในการคำนวณค่าของแสงที่มากกระทบที่แต่ละโฟโต้ไซด์จะมีการประจุค่านั้นโดยตรงเช่นเดียวกับ CMOS และจะแปลงค่าแสงที่เป็นอนาลอกให้เป็นแบบดิจิทัล ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งประจุได้โดยตรงไปยังชิพโดยไม่เกิดการตัดทอนสัญญาณหรือสิ่งที่รบกวนสัญญาณภาพ ซึ่งเกิดจากเทคโนโลยีกระบวนการผลิตขั้นสูงเพื่อให้เซนเซอร์มีคุณภาพ มีความไวในการรับภาพสูงกว่า มีอัตราการสูญเสียเม็ดสีน้อยกว่า สามารถรองรับการถ่ายภาพในที่ๆมีแสงน้อยได้ดีกว่า ซึ่งทำให้คุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ดีกว่า CMOS แต่ CCD ก็ยังต้องใช้พลังงานมากกว่า CMOS อยู่และการผลิตต้องใช้แผ่นซิลิคอนแบบพิเศษที่ผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะ จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตนั้นสูงกว่า CMOS ไปด้วย

2.1.3 การเปรียบเทียบกันระหว่างเซนเซอร์ CMOS และ CCD

การตอบสนองการใช้งาน จะเห็นว่าเซนเซอร์ CMOS ใช้การตอบสนองการใช้งานที่ได้เปรียบกว่าและเร็วกว่าแบบเซนเซอร์ CCD เพราะว่าการให้สัญญาณออกจากตัวรับแสงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยตรงไม่ต้องแปลงสัญญาณอีกครั้งหนึ่งรวมทั้งกระจายสัญญาณอยู่ในตัวทำให้กินพลังงานต่ำกว่าซึ่งถ้าเป็นเซนเซอร์ CCD จำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณแปลงสัญญาณอีกชุดหนึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า อีกประการหนึ่งก็คือ การออกแบบภายในกล้องซึ่งเซนเซอร์ CMOS เพียงแต่มีเลนส์และระบบจัดการก็สามารถออกแบบได้กะทัดรัดแล้ว ในขณะที่ระบบเซนเซอร์ CCD ต้องการพื้นที่ภายในกล้องสำหรับใส่แผ่นวงจรเพิ่มอีกหนึ่งชุดซึ่งทำให้การออกแบบนั้นมีความยุ่งยากมากกว่า

ความสามารถช่วงกว้างในการรับแสง (Dynamic Range) เมื่อพิจารณาถึงเรื่องความสามารถช่วงกว้างในการรับแสงเพื่อเก็บรายละเอียดของบริเวณที่มีมืดและสว่างของภาพจะพบว่า การที่ระบบเซนเซอร์ CCD ทำหน้าที่เพียงการรับสัญญาณแสงแล้วส่งผ่านออกไปจากตัวรับภาพโดยตรงเพื่อไปเข้าวงจรสำหรับการแปลงสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง ทำให้ได้สัญญาณที่มีความสม่ำเสมอสูงกว่าระบบเซนเซอร์ CMOS อีกทั้งไม่มีวงจรการแปลงสัญญาณที่ยู่ภายในตัวรับแสงเองที่ก่อให้เกิดความร้อนที่เซนเซอร์รับภาพน้อยกว่าของเซนเซอร์ CMOS ดังนั้นช่วงกว้างในการเก็บรายละเอียดของเซนเซอร์ที่เป็น CCD จึงทำได้ดีกว่าเซนเซอร์ที่เป็น CMOS และ Noise หรือสัญญาณรบกวนของ CCD ก็มีค่าที่ต่ำกว่าของ CMOS

การตอบสนองต่อการเปิดปิดการรับแสง (Shuttering) การตอบสนองต่อการเปิดปิดการรับแสง จะพบได้ว่าถ้าตัวรับภาพเป็นแบบ CCD ซึ่งทำหน้าที่รับแสงแปลงสัญญาณไฟฟ้าส่งผ่านออกมาแต่เพียงอย่างเดียว จะสามารถตอบสนองการเปิดปิดรับแสงแล้วให้สัญญาณที่มีความเป็นยูนิฟอร์มิตี (Uniformity) ได้ดีกว่าตัวรับภาพที่เป็น CMOS ซึ่งมีระบบการแปลงสัญญาณที่ซับซ้อนกว่าเพื่อส่งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลออกจากตัว CMOS มีโอกาสที่สัญญาณภาพจะเกิดความเป็นนอนยูนิฟอร์มมิตี (Non-uniformity) มากกว่าใน CCD แน่แน่นอนว่าปัญหานี้ทำให้ได้สัญญาณที่เป็นรอก CCD ซึ่งผู้ผลิต CMOS ก็ได้พยายามพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ มาสนับสนุนให้ดีขึ้น ซึ่งก็สามารถที่จะแก้ปัญหาส่วนนี้ได้ระดับหนึ่งแต่ก็จะมีปัญหาในเรื่องต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นสำหรับในกล้องระดับล่างๆ ส่วนใหญ่ก็จะไม่ได้รับการแก้ปัญหาดังกล่าวยกเว้นแต่จะเป็นกล้องในระดับที่สูงขึ้นเท่านั้น

ความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลในระบบปฏิบัติการ (Windowing) จุดเด่นอย่างหนึ่งของเซนเซอร์ CMOS ก็คือความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลที่รวดเร็วในระบบปฏิบัติการ เนื่องจากเป็นการส่งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลโดยตรงออกจากเซนเซอร์รับภาพ จึงทำให้เซนเซอร์ CMOS มีความสามารถ

ในการจับภาพวัตถุในพื้นที่จำกัดได้น่าสนใจว่าทั้งยังสามารถที่จะพัฒนาต่อเนื่องได้ง่ายกว่าเซนเซอร์ CCD ที่มีข้อจำกัดที่มากกว่าในการพัฒนา

การลดการขยายวงของแสง (Antiblooming) การขยายวงของแสงที่ล้อมรอบ Pixel ที่รับแสงเมื่อได้รับแสงมากเกินไป ส่วนนี้จะทำให้ภาพที่ถ่ายโดยการรับแสงมากเกินไปมีแสงฟุ้งที่ขอบวัตถุ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วตัวรับแสงแบบ CMOS จะปรากฏอาการมากกว่า CCD ดังนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบทางวิศวกรรมเพิ่มเติมอีกเพื่อลดปัญหานี้ซึ่งใน CCD จะมีต่ำกว่า

การใช้งาน ตัวรับแสงทั้งสองชนิดนี้ต่างก็ได้รับความนิยมในการใช้งานทั้งสองอย่าง แต่ในสภาพแวดล้อมที่สมบุกสมบันแล้วจะพบว่าเซนเซอร์ CMOS จะมีความได้เปรียบอยู่ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากการที่ไดรวมวงจรการแปลงสัญญาณต่างๆ เข้าไว้ด้วยกันในชิปตัวเดียวซึ่งลดการเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ ได้มากกว่า CCD อีกประการหนึ่งคือการที่ CMOS ได้รวมวงจรต่างๆ เข้าไว้ด้วยกันจึงเป็นการลดขนาดของกล่องไปในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะพบได้ว่ากล่องที่ใช้ CMOS ส่วนใหญ่จะมีขนาดที่เล็กกะทัดรัดกว่ากล่องที่ใช้ CCD และใช้พลังงานที่ต่ำกว่า ที่สำคัญยิ่งก็คือเมื่อมีการผลิตเป็นจำนวนมากๆ จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า CCD มาก อย่างไรก็ตามเซนเซอร์ CCD ก็มีจุดเด่นที่ทำให้สัญญาณที่สม่ำเสมอกว่า ขนาดพิกเซลที่รับแสงที่ใหญ่กว่าสามารถออกแบบให้เต็มพิกเซลได้ มีช่วงกว้างในการรับแสงที่กว้างกว่า และมี Noise ที่ต่ำกว่า ซึ่งจะให้คุณภาพที่ดีกว่า แต่ต้นทุนการผลิตนั้นก็ย่อมสูงกว่าการใช้ CMOS โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ต้องมีแผงวงจรจนถึงสองแผงแทนที่จะใช้เพียงชิ้นเดียวแบบ CMOS

Feature and Performance Comparison

Feature	CCD	CMOS
Signal out of pixel	Electron packet	Voltage
Signal out of chip	Voltage (analog)	Bits (digital)
Signal out of camera	Bits (digital)	Bits (digital)
Fill factor	High	Moderate
Amplifier mismatch	N/A	Moderate
System Noise	Low	Moderate to High
System Complexity	High	Low
Sensor Complexity	Low	High
Camera components	PCB + multiple chips + lens	Chip + lens
Relative R&D Cost	Depends on Application	Depends on Application
Relative system cost	Depends on Application	Depends on Application
Performance	CCD	CMOS
Responsivity	Moderate	Slightly better
Dynamic Range	High	Moderate
Uniformity	High	Low to Moderate
Uniform Shuttering	Fast, common	Poor
Uniformity	High	Low to Moderate
Speed	Moderate to High	Higher
Windowing	Limited	Extensive
Antiblooming	High to none	High
Biasing and Clocking	Multiple, higher voltage	Single, low-voltage

รูปที่ 2.4 Feature and Performance comparison

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

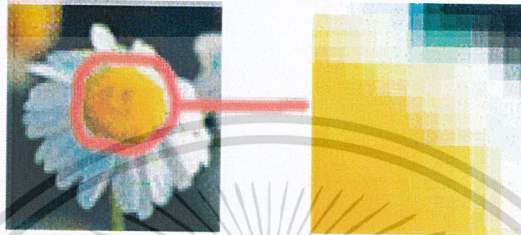
2.2 ความรู้พื้นฐานของการประมวลผลภาพกราฟิก

2.2.1 ความรู้เรื่องความละเอียดของภาพ

พิกเซล (Pixel) เป็นคำผสมของคำว่า Picture กับคำว่า Element หรือหน่วยพื้นฐานของภาพ เทียบได้กับ ‘จุดภาพ’ 1 จุด แต่ละพิกเซลเปรียบได้กับสี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่บรรจุค่าสีโดยถูกกำหนดตำแหน่งไว้บนเส้นกริดของแนวแกน x และแกน y หรือในตารางเมตริกซ์สี่เหลี่ยม ภาพบิตแมปจะประกอบด้วย

พิกเซล

หลายๆ



รูปที่ 2.5 พิกเซลของภาพเวกเตอร์ของภาพสี

จำนวนพิกเซลของภาพแต่ละภาพจะเรียกว่า “ความละเอียด (Resolution)” โดยจะเทียบจำนวนพิกเซลกับความยาวต่อนิ้ว ดังนั้นจะมีหน่วยเป็น พิกเซลต่อนิ้ว (ppi : pixel per inch) หรือจุดต่อนิ้ว (dpi : dot per inch) ภาพที่มีขนาดเท่ากันแต่มีความละเอียดต่างกัน แสดงว่าจำนวนพิกเซลต่างกันและขนาดของจุดพิกเซลก็ต่างกันด้วย

ความละเอียดในการแสดงผล (Resolution) คำนี้สามารถใช้ได้กับสถานการณ์ที่แตกต่างกัน เช่น ความละเอียดของการแสดงผลของเครื่องพิมพ์ หรือ ความละเอียดในการแสดงผลของจอภาพ ดังนั้นความละเอียดในการแสดงผลจึงหมายถึง จำนวนหน่วยต่อพื้นที่

ความละเอียดของรูปภาพ หมายถึง จำนวนพิกเซลต่อพื้นที่การแสดงผล มีหน่วยเป็นพิกเซลต่อนิ้ว (ppi : pixel per inch) โดยพิกเซลจะมีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับอุปกรณ์เอาต์พุต เช่น หน้าจอคอมพิวเตอร์ หรือ เครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์ ถ้ารูปภาพมีความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว เครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์สามารถพิมพ์ได้ 300 จุดต่อนิ้ว นั่นคือเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์จะใช้ 1 จุดสำหรับแต่ละพิกเซลของภาพ

ความสามารถในการแสดงผลหลากหลาย เช่น แสดงผลที่มีความละเอียด 800x600 พิกเซล หมายถึง จำนวนพิกเซลในแนวนอนเท่ากับ 800 และจำนวนพิกเซลในแนวตั้งเท่ากับ 600

2.2.2 ความรู้เรื่องบิต

บิต หมายถึง หน่วยเก็บข้อมูลที่เล็กที่สุดในเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณไฟฟ้า 2 สถานะ ได้แก่ 0 กับ 1 หรือ เปิดกับปิด หรือ สีขาวกับสีดำ การแทนค่าบิตที่มีสัญญาณไฟฟ้า ให้มีค่าเป็น 1 และสัญญาณที่ไม่มีไฟฟ้ามามีค่าเป็น 0 จำนวนค่าเพียง 1 ค่านี้เรียกว่า 1 บิต

ความลึกของบิต (Bit Depth) การเก็บข้อมูลสีในแต่ละพิกเซลนั้น ขึ้นอยู่กับว่าไฟล์ภาพนั้นถูกจัดเก็บในโหมดสีใด ในที่นี้ขอกล่าวเพียงโหมดสี RGB ก็แล้วกัน เพราะในโหมดสีนี้ถูกใช้ในการจัดเก็บไฟล์ภาพในกล้องดิจิทัล และการปรับภาพในห้องแลปสี จะเห็นว่าในโหมดสีนี้ ทุกๆ พิกเซลถูกกำหนดให้เก็บข้อมูลของแม่สี 3 สีคือ R(red) G(green) B(blue) ในทางเทคนิคเรียกว่า 3 แชนแนล (Channel) สี โดยปกติแล้ว แต่ละแชนแนลสีใช้ข้อมูลขนาด 8 บิตในการจัดเก็บเฉดสี ดังนั้นในแต่ละพิกเซลต้องใช้ข้อมูลทั้งสิ้นเท่ากับ (8 บิต x 3 แชนแนล) = 24 บิต ซึ่งเราเรียกว่าความลึกของสีเท่ากับ 24 บิต การใช้ข้อมูลขนาด 8 บิตต่อแชนแนลสี อาจกล่าวได้ว่าสามารถจัดเก็บเฉดสีได้ถึง 256 เฉดสีต่อแชนแนล ดังนั้นสามารถคำนวณหาระดับเฉดสีในแต่ละพิกเซลที่แสดงได้เท่ากับ จำนวนเฉดสีของแต่ละแชนแนลคูณกัน = $256(R) \times 256(G) \times 256(B) = 16,777,216$ สี หรือโดยประมาณ 16.7 ล้านสี

การคำนวณเลข Binary เพื่อให้ทราบจำนวนของสีที่แสดงในรูปแบบ Bit depth

$$1 \text{ bit } (2^1) = 2 \text{ สี}$$

$$2 \text{ bits } (2^2) = 4 \text{ สี}$$

$$3 \text{ bits } (2^3) = 8 \text{ สี}$$

$$4 \text{ bits } (2^4) = 16 \text{ สี}$$

$$8 \text{ bits } (2^8) = 256 \text{ สี}$$

$$16 \text{ bits } (2^{16}) = 65,536 \text{ สี}$$

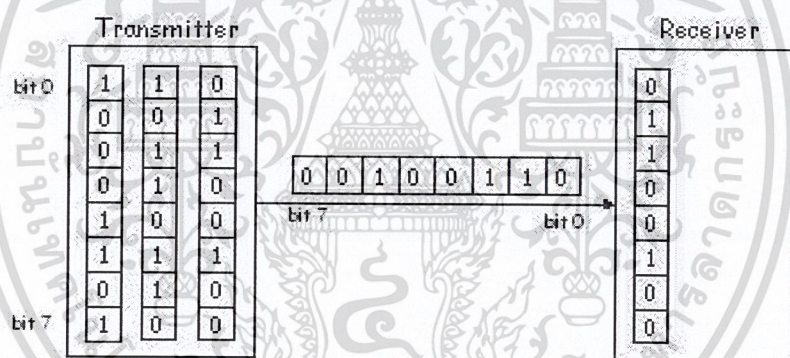
$$24 \text{ bits } (2^{24}) = 16.7 \text{ ล้าน สี}$$

2.2.3 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมและแบบขนาน

การสื่อสารข้อมูลโดยผ่านสายสื่อสารทำได้ 2 วิธี คือ การสื่อสารแบบอนุกรม หรือแบบเรียงลำดับ (Serial) และการสื่อสารข้อมูลแบบขนาน (Parallel)

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิต ระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้ช้ากว่าแบบขนาน ตัวกลางการสื่อสารแบบอนุกรมต้องการเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในสื่อกลางถูกกว่าแบบขนานสำหรับการส่งระยะทางไกลๆ โดยเฉพาะเมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ที่ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดตั้งสื่อสารทีละ 8 ช่อง เพื่อการถ่ายโอนข้อมูลแบบขนานอย่างแน่นอน

การส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจุดรับ ณ ที่จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิต ให้เป็นสัญญาณแบบขนาน



รูปที่ 2.6 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ในการสื่อสารแบบอนุกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนาน เป็นเพราะว่าการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบ อนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลทีละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลได้ครั้งละหลายๆ บิต พร้อมกัน ดังนั้นจึงทำให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน แต่ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมคือ สามารถส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลกว่าแบบขนาน และอีกทั้งสายสัญญาณก็มีน้อยกว่าการส่งข้อมูลแบบขนานอีกด้วย

องค์ประกอบของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

1. Start Bit (ขนาด 1 บิต) จะใส่ที่จุดเริ่มต้นเสมอเพื่อเตือนอุปกรณ์ฝ่ายรับว่าข้อมูลกำลังจะมาถึง
2. Data Character (ขนาด 7 บิต หรือ 8 บิต) การส่งบิต ข้อมูลจะส่งเป็นกลุ่มๆ โดยทั่วไปจะส่งเป็น 7 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ 8 บิต ซึ่งเพียงพอสำหรับการส่ง Ascii Word

3. Parity Bit (ขนาด 1 บิต) ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่ง เราจะใส่บิตพาริตีเข้าไป บิตพาริตีมีหลายแบบดังนี้

- พาริตีคู่ (Even Parity) ค่าของบิตพาริตีนี้เมื่อรวมกันทุกๆบิตของข้อมูลแล้วจะต้องมีจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 เป็นเลขคู่ตัวอย่างเช่นข้อมูล 1000111 มีเลข 1 ทั้งหมด 4 ตัว ดังนั้นบิตพาริตี จะเป็น 0
- พาริตีคี่ (Odd Parity) ค่าของบิตพาริตีนี้เมื่อรวมกันทุกๆบิตของข้อมูลแล้วจะต้องมีจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 เป็นเลขคี่ ตัวอย่างเช่นข้อมูล 1000101 มีเลข 1 ทั้งหมด 3 ตัว ดังนั้นบิตพาริตี จะเป็น 1
- ไม่มีพาริตี (None) ถ้าตั้งค่าบิตพาริตีเป็นNone ทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีตรวจสอบบิตพาริตี

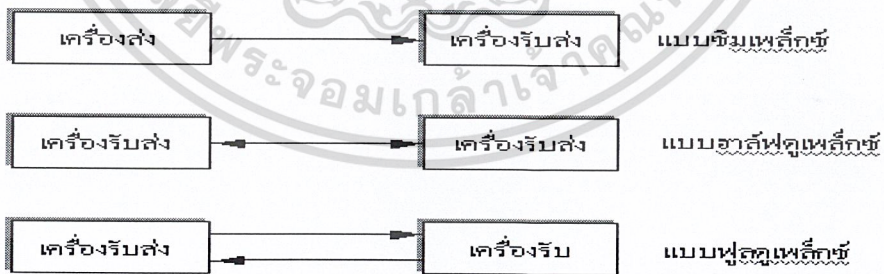
4. Stop Bit(ขนาด 1 บิต หรือ 2บิต) เป็นบิตที่ส่งมาปิดท้ายข้อมูล

อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การที่อุปกรณ์ 2 อย่างจะติดต่อกันได้นั้นจะต้องทำงานด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ซึ่งอัตราเร็วในการสื่อสารแบบ อะซิง โครนัสคือค่าบอดเรต (Baud Rate)มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. Simplex สามารถส่งข้อมูลได้อย่างเดียว เป็นการสื่อสารแบบทางเดียว
2. Half-Duplex สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางและสามารถรับข้อมูลจากปลายทางได้แต่ไม่สามารถทำการส่งและรับข้อมูลในเวลาเดียวกันได้
3. Full-Duplex สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.7 การสื่อสารแบบอนุกรมในรูปแบบต่างๆ

การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งประเภทของการสื่อสารตามลักษณะสัญญาณในการสื่อสารได้ 2 แบบ คือ

1. สื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการรับส่งสัญญาณ เช่น สายเคเบิลคอมพิวเตอร์ โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นสายของข้อมูล (และมักจะมีสายกราวด์ด้วย) สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้เหมาะสำหรับการทำงานในระยะใกล้ข้อมูลที่ส่งมีไม่มากนัก เพราะถ้าระยะทางไกลขึ้นจะทำให้สัญญาณนาฬิกามีปัญหา อีกทั้งต้องมีสายหลายเส้นทำให้สิ้นเปลืองมาก

SYN	SYN	SYN	Data	Block	End
(Many Char)	Control Char	Block			

รูปที่ 2.8 การสื่อสารแบบซิงโครนัส

2. การสื่อสารแบบ อะซิงโครนัส (Asynchronous) สำหรับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้นจะใช้สายสัญญาณเพียงตัวเดียวแต่จะใช้รูปแบบการส่งข้อมูล หรือ Bit Pattern เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นตัวเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูล โดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่ากันทั้งภาครับและภาคส่ง ซึ่งจะมีอุปกรณ์พิเศษที่เรียกว่า UART หรือ Universal Asynchronous Receiver/Transmitter ควบคุมการรับและการส่งข้อมูล

Start	Data Parity	Stop	idle time	Start	Data	Parity	Stop	idle time	
Bit	(One char)	Bit	Bit	Bit	Bit	Bit	Bit

รูปที่ 2.9 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

อีกแบบที่ได้รับความนิยมอย่างสูงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้ ก็คือ มาตรฐาน RS-232C มาตรฐาน RS-232C เป็นมาตรฐานที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงจากผู้ผลิตต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้ ในยุคแรกๆการอินเตอร์เฟสแบบ RS-232C ถูกออกแบบสำหรับการเชื่อมต่อเทอร์มินอล(DTE: Data Terminal Equipment)กับโมเด็ม(DCE: Data Communication Equipment) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลบนสายเดียวกัน

2.2.5 การอินเทอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232

มาตรฐาน RS-232 เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนามานานและถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เราใช้ RS-232 เชื่อมต่อ DTE (Data Terminal Equipment) เข้ากับ DCE (Data Communication Equipment) เช่นการต่อเทอร์มินัลเข้ากับโมเด็ม มาตรฐาน RS-232 กล่าวถึงลักษณะทางกล, ลักษณะสัญญาณไฟฟ้า และลักษณะการทำงานที่ใช้การอินเทอร์เฟส ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการอินเทอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232 ได้แก่ เทอร์มินัล, พล็อตเตอร์, ลอจิกอนาไลเซอร์ (Logic Analyzer) และเครื่องพิมพ์ ถ้าการประยุกต์ใช้งานของเราต้องการทำอินเทอร์เฟสอุปกรณ์ เข้ากับอินเทอร์เฟสมาตรฐาน RS-232 เราจำเป็นต้องแปลงระดับสัญญาณ TTL ให้เป็นระดับสัญญาณแบบอื่น ซึ่งรายละเอียดของระดับสัญญาณที่ใช้สำหรับ RS-232 จะได้กล่าวต่อไปลักษณะสัญญาณที่ใช้ในการอินเทอร์เฟส

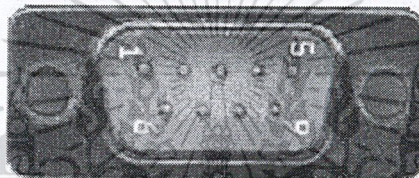
มาตรฐาน RS-232 ใช้สัญญาณเพียงเส้นเดียวในการส่งสัญญาณ โดยสัญญาณจะส่งไปในทิศทางเดียวกัน ในกรณีที่อัตราเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 20 kbps (กิโลบิตต่อวินาที) ซึ่งค่านี้เป็นค่าสูงสุดที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล (ในปัจจุบันพัฒนาให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่านี้) ระยะทางในการส่งข้อมูลไม่ควรเกิน 50 ฟุต (ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน) สำหรับการแทนแรงดันของระดับสัญญาณจะแทนระดับสัญญาณของลอจิก “0” ด้วยค่าแรงดัน +3 โวลต์ ถึง +12 โวลต์ ส่วนลอจิก “1” จะแทนระดับสัญญาณด้วยค่าแรงดันระหว่าง -3 โวลต์ ถึง -12 โวลต์

การออกแบบตัวแปลงสัญญาณ การเชื่อมต่อกับพอร์ตสื่อสารของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะเลือกใช้พอร์ตสื่อสารแบบ อนุกรม 9 ขา (DB-9) ซึ่งสามารถทำการรับส่งข้อมูลได้แบบอนุกรม โดยลักษณะของสัญญาณจะเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 โดยลักษณะของการเชื่อมต่อของพอร์ตสื่อสารสำหรับคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9 สามารถแสดงให้เห็น ได้ดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11

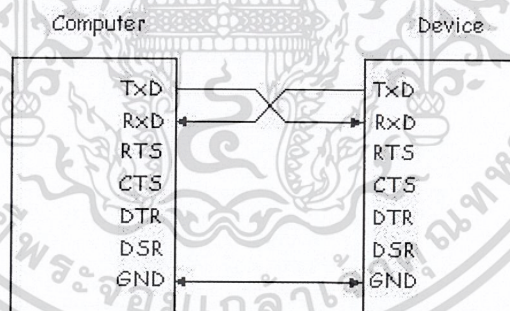
ตำแหน่งขา DB-9 สัญญาณและลักษณะของคอนเน็คเตอร์แบบ D-Type หัวต่อแบบ D-Type ที่ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรมนั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบ 9 ขา และแบบ 25 ขา บางครั้งเราจะเรียกว่า DB9 และ DB25 ซึ่งหัวต่อทั้ง 2 ชนิดจะมีลักษณะการทำงาน ของสัญญาณเหมือนกัน แต่การจัดการไม่เหมือนกันรายละเอียดของสายสัญญาณ (ดูข้อมูลเพิ่มเติม ขาสัญญาณแบบRS232 D9 และ D25)

- Transmit Data : TD ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมออกจาก คอมพิวเตอร์
- Receive Data :RD ใช้สำหรับรับข้อมูลอนุกรมเข้าคอมพิวเตอร์
- Request To Send :RTS ใช้สำหรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางเพื่อร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมา

- Clear To Send :CTS ใช้สำหรับตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อด้วยพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่โดยจะคอยรับสัญญาณ RTS เมื่อทุกอย่างพร้อมก็จะทำการส่งข้อมูลออกทางขา TD
- Data Set Ready : DSR ใช้สำหรับตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง จะใช้คู่กับขา DTR
- Signal Ground : SG เป็นกราวด์ของระบบ
- Carrier Detect : CD ขานี้จะ active เมื่อมีการส่งสัญญาณ carrier จากโมเด็ม
- Data Terminal Ready : DTR ใช้สำหรับบอกให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อกับโดยขาของ DTR นี้ต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง
- Ring Indicator : RI ขานี้จะ Active เมื่อ โมเด็ม ได้รับสัญญาณเรียกเข้าจากสายโทรศัพท์



รูปที่ 2.10 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมแบบ DB-9

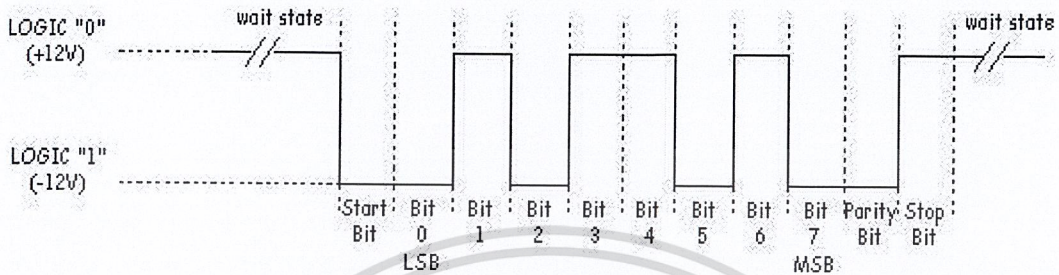


รูปที่ 2.11 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์โดยใช้สัญญาณเพียง 3 เส้นวงจรแคปเดเจอร์

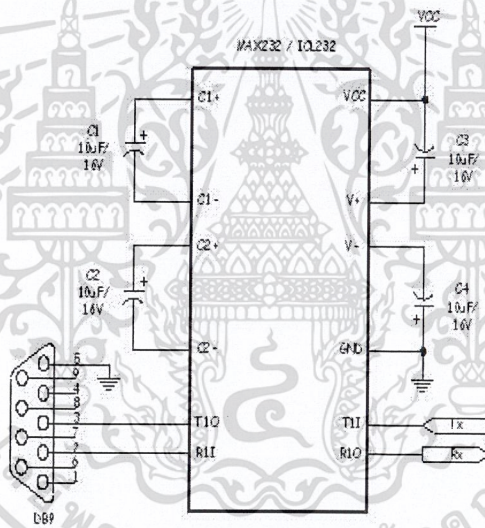
จากหัวข้อที่ผ่านมาตอนนี้เราทราบแล้วว่าในการสื่อสารแบบอนุกรมนั้น ในระดับของลอจิก “0” จะแทนระดับลอจิกด้วยระดับแรงดันระหว่าง +3 โวลต์ ถึง +12 โวลต์และในระดับของลอจิก “1” จะแทนระดับลอจิกด้วยระดับแรงดันระหว่าง -3 โวลต์ ถึง -12 โวลต์ เพราะฉะนั้นต้องทำการแปลงระดับของลอจิก “1” และ “0” ให้เป็นระดับแรงดันดังกล่าว ซึ่งจะต้องใช้วงจรในการแปลงระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแสดงลักษณะการส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่ผ่านตัวแปลงแรงดันได้ดังรูปที่ 2.13 ในส่วนของวงจรแปลงระดับแรงดันสำหรับการสื่อสาร RS-232 นั้นจะใช้ไอซีเบอร์ MAX232 หรือ ICL232 ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.12 แบบการสื่อสารแบบอนุกรม

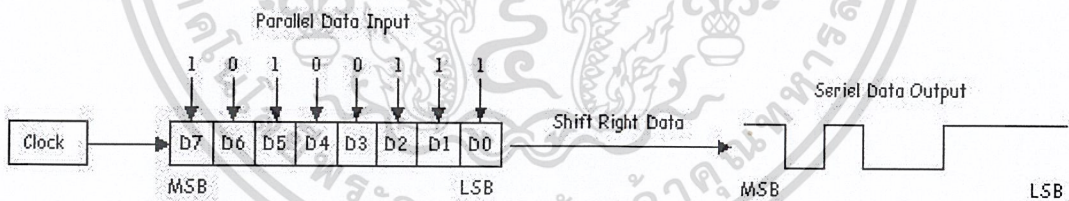


รูปที่ 2.13 วงจรแปลงระดับแรงดันของการสื่อสารแบบอนุกรม

รูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและอัตราบอดในการสื่อสาร อัตราบอด (Baud Rate) คือ ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลอนุกรมมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที ซึ่งจะบอกจำนวนบิตที่รับ-ส่งในเวลา 1 วินาที เช่น ส่งข้อมูลด้วยอัตรา 9600 บิตต่อวินาที ก็คือการส่งข้อมูลตัวอักษรขนาด 10 บิต (บิต Start 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต บิต Stop 1 บิต) ได้ 960 ตัวอักษรใน 1 วินาที ซึ่งตารางที่ 1 แสดงอัตราบอดของ UART ที่ใช้กันทั่ว ตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงอัตราบอดทั่วไปที่ใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบอนุกรม

ตารางที่ 2.1 อัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป

อัตราบอด	ช่วงเวลาของแต่ละบิต
110	9.91 ms
150	6.67 ms
300	3.33 ms
600	1.67 ms
1200	0.833 ms
2400	0.417 ms
4800	0.208 ms
9600	0.104 ms
19200	0.052 ms



รูปที่ 2.14 การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม

ในรูปที่ 2.14 เป็นการแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม โดยเริ่มแรกข้อมูลแบบขนานจะถูกนำไปเก็บไว้ใน Shift Register หลังจากนั้นจะใช้สัญญาณนาฬิกาในการเลื่อนค่าในรีจิสเตอร์ออกมาทีละบิต (โดยการเลื่อนค่าไปทางขวามือ) โดยบิตแรกที่ถูกเลื่อนออกมาคือบิต LSB ของข้อมูล และบิตที่สองที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิตที่อยู่ถัดจากบิต LSB และบิตต่อไป สำหรับบิตสุดท้ายที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิต MSB ของข้อมูล

การแปลงข้อมูลแบบอนุกรมไปเป็นข้อมูลแบบขนานนั้นจะมีขั้นตอนตรงกันข้ามกับที่กล่าวมานั้นคือข้อมูลแบบอนุกรมจะถูกเคลื่อนเข้าไปใน Shift Register โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุม และหลังจากที่มีการเคลื่อนข้อมูลทุกบิตเข้าไปใน Shift Register ได้หมดแล้ว ข้อมูลในรีจิสเตอร์นี้จะถูกนำออกมาแบบขนานเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลแบบอนุกรมเป็นข้อมูลแบบขนานและแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรมเรียกว่า UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) ซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ในการแปลงข้อมูลแล้ว UART ยังมีหน่วยควบคุมและหน่วยตรวจสอบการทำงานอีกด้วย ในการส่งข้อมูลขนาด 8 บิต แบบอนุกรมนี้จะต้องมีบิตเริ่มต้น (Start Bit) และบิตหยุด (Stop Bit) เพิ่มขึ้นมาซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ถูกส่งไปจริงๆ นั้นมีขนาด 10 บิต

มาตรฐาน RS -232C ได้แบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ประเภท

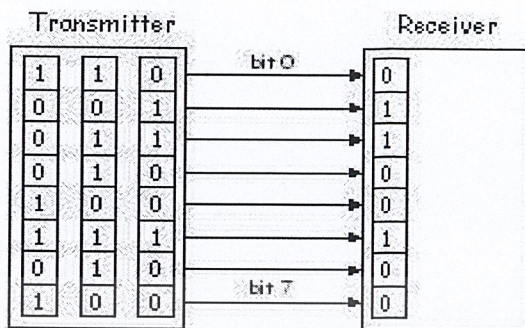
1. อุปกรณ์ DTE (Data Terminal Equipment) เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูล (output)
2. อุปกรณ์ DCE (Data Communication Equipment) เป็นอุปกรณ์สำหรับรับข้อมูล (Input)

ซึ่งตาม มาตรฐาน RS -232C แล้วคอนเนกเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วน คอนเนกเตอร์ของ DCEจะเป็นตัวเมีย ซึ่งปัจจุบันนี้ คอนเนกเตอร์ที่นิยมใช้กันมากจะเป็น ชนิด D-type แบบ 9 ขา และ D-type แบบ 25 ขา โดยคอนเนกเตอร์จะติดตั้งอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ ระดับแรงดันจะมีค่าระหว่าง -3v ถึง -15 สำหรับลอจิก High และลอจิก Low จะมีระดับแรงดันระหว่าง +3V ถึง +15V สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุด 50 เมตรหรือ 150 ฟุต แต่ถ้าเราต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นที่อยู่ห่างกันมากๆ เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆ เข้าช่วย เช่น การใช้โมเด็ม เป็นต้น.

การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน การส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละไบต์คือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ตัวกลางระหว่าง 2 เครื่องจะต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่นเนื่องจากมีสัญญาณ สูญหายไปกับความต้านทานของสาย ระยะทางระหว่าง 2 เครื่อง ไม่ควรเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ก็คือระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่จูดรึบผิดไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ

117491

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การสื่อสารและการส่งข้อมูลแบบขนาน

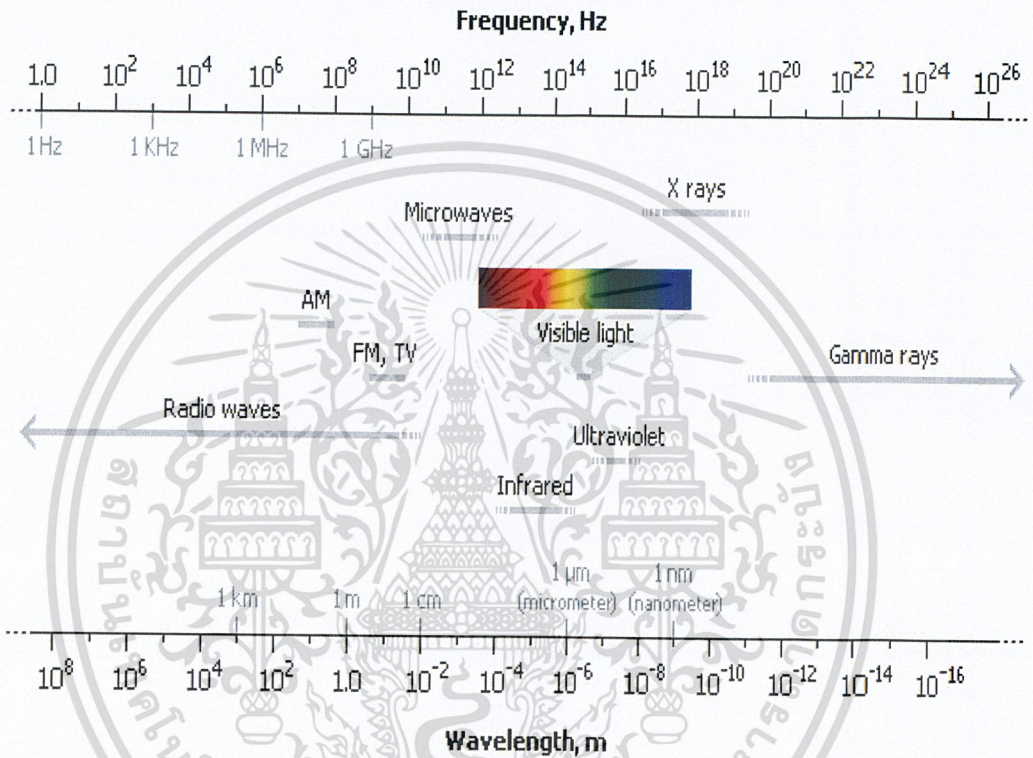
นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่นๆ อีกเป็นต้นว่า บิตที่บอกพริตซ์ของสัญญาณ เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ (Hand-shake) จะเห็นว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ๆ เนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8 สาย และอุปกรณ์ที่ติดต่อบนขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่ เครื่องพิมพ์ RS-232 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมที่มีคนนิยมใช้มากที่สุด กำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือสมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา ตั้งแต่ปี 1969 โดยมีจุดเริ่มต้นจากความต้องการที่จะกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็มในสมัยนั้น ตัวมาตรฐานจะกำหนดสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อนี้ด้วยกันทั้งหมด 4 หัวข้อหลักๆด้วยกันคือ

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณ
2. คุณสมบัติทางกลของการเชื่อมต่อ ซึ่งหมายถึงตัวคอนเน็คเตอร์นั่นเอง
3. หน้าที่การทำงานของวงจรสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล
4. มาตรฐานการเชื่อมต่อสำหรับระบบสื่อสารเฉพาะอย่าง

บทที่ 3

แสงอินฟราเรดและระบบของสี

แสงที่สามารถมองเห็นได้ (Visible light) นั้นเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมทั้งคลื่นวิทยุ หรือรังสีเอ็กซ์ (X-ray) ความแตกต่างของคลื่นเหล่านี้คือ ค่าความยาวคลื่น



รูปที่ 3.1 แสดงแถบความถี่ของคลื่นแสง

สเปกตรัมของแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น และความถี่ ของคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งรวมทั้งคลื่นแสง คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ คลื่นไมโครเวฟ และรังสีชนิดต่างๆ (ดูรายละเอียดได้จากตารางที่ 3.1)



เมื่อ พ.ศ. 2431 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ ไฮน์ริช เฮิร์ตซ์ ได้ค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อมา นักวิทยาศาสตร์ได้นำเอาหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ ในการสื่อสาร โดยมีการผสมสัญญาณเสียง สัญญาณภาพ เข้ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงทำให้เกิดวิทยุและโทรทัศน์ในเวลาต่อมา

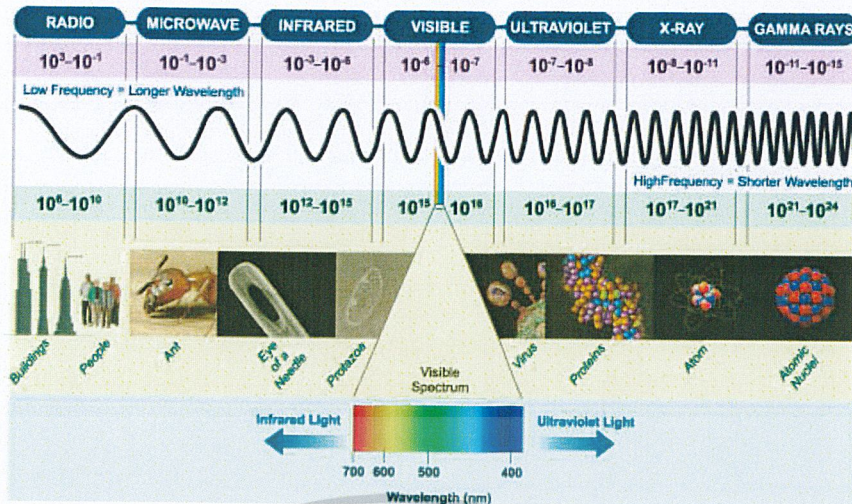
ตารางที่ 3.1 แสดงคลื่นวิทยุความถี่ต่างๆ และการใช้งาน

ความถี่	ความยาวคลื่น	การใช้งาน
ต่ำกว่า 30KHz(VLF)	มากกว่า 10Km	ใช้สื่อสารทางทะเล
30-300KHz(LF)	1- 10Km	ใช้สื่อสารทางทะเล
0.3-3MHz(MF)	0.1-1Km	ใช้ส่งคลื่นวิทยุระบบ AM
3-30MHz(HF)	10-100m	ใช้ส่งวิทยุคลื่นสั้นสื่อสารระหว่างประเทศ
3 -300MHz(VMF)	1-10m	ใช้ส่งคลื่นวิทยุระบบ FM และคลื่นโทรทัศน์
0.3-3GHz(VHF)	10-1 0cm	ใช้ส่งคลื่น โทรทัศน์และคลื่น ไมโครเวฟ
3-30GHz(SHF)	1-10cm	ใช้ส่งคลื่น ไมโครเวฟและเรดาร์
30-300GHz(EHF)	1-10mm	ใช้ส่งคลื่น ไมโครเวฟ

ประเภทของรังสี

1. รังสีอินฟราเรด มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10^{-3} - 10^{-6} เมตร หรืออยู่ในช่วงความถี่ 10^{11} Hz ถึง 10^{14} Hz วัตถุที่ร้อนสามารถปลดปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมาได้ และนำรังสีอินฟราเรดมา เป็นส่วนประกอบของรีโมทคอนโทรลได้
2. รังสีอัลตราไวโอเล็ต มีความถี่คลื่นอยู่ในช่วง 10^{15} - 10^{18} Hz เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ไม่สามารถทะลุวัตถุหนาๆ ได้
3. รังสีเอ็กซ์ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10^{-8} - 10^{-13} เมตร มีความถี่อยู่ในช่วง 10^{16} - 10^{22} Hz การผลิตรังสีเอ็กซ์ ใช้หลักการเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน
4. รังสีแกมมา มีความถี่สูงกว่ารังสีเอ็กซ์ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงแถบความถี่ของคลื่นแสง

การมองเห็นสีต่างๆ เกิดจากการผสมของสีต่างๆ ในการมองเห็นสีวัตถุ เกิดจากการผสมสีแสงเชิงลบ (subtractive mixing) เกิดจากแสงไปกระทบวัตถุและโดนวัตถุดูดแสงบางส่วนไว้ ส่วนที่เหลือจะสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นสีต่างๆ ได้ ส่วนการสร้างภาพของระบบโทรทัศนส์จะเป็นการสร้างสี โดยการผสมสีแบบบวก (additive mixing) โดยมีแม่สี 3 สี คือ สีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงิน เป็นตัวสร้างสีอื่นๆ อีกครั้งหนึ่ง โดยการผสมสี

คุณสมบัติของแสงบางประการที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ที่ควรทราบคือ

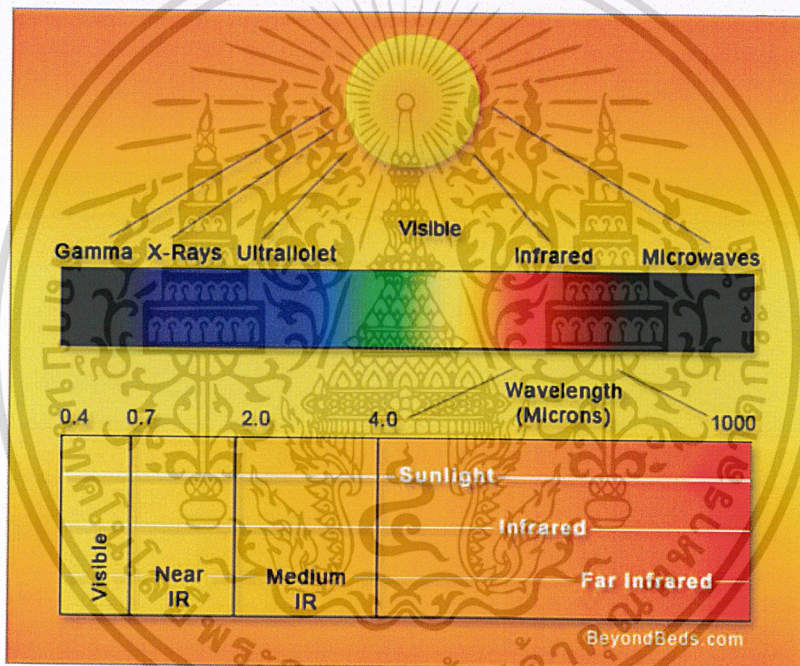
1. สีต้นหรือฮิว (Hue) คือสีที่ตาเรามองเห็นหรือคือความถี่ของแสงที่ทำให้ความรู้สึกแก่ตา
2. ความเข้มสี (Saturation) คือความเข้มของสี จากการผสมของแสงสีขาว
3. ความสว่าง (Brightness) คือความสว่างของแสงที่ตามนุษย์รู้สึกต่อสี

เนื่องจากสีต้นมีมากมาย จึงจำเป็นต้องเลือกแม่สีแสง ซึ่งเมื่อปรับสัดส่วนให้ผสมกันแล้วจะได้สีต้นที่ใกล้เคียงสีจริงตามธรรมชาติได้ใกล้เคียงที่สุด

3.1 รั้งสีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นรังสีอินฟราเรด (Infrared (IR)) หรือคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีได้แดงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งแผ่มาจากดวงอาทิตย์ ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษคือ Sir William Herschel ในปี 1800 จากการทดลองวัดอุณหภูมิของแถบสีต่างๆที่เปล่งออกมาเป็นสีรุ้งจากปริซึม และพบว่าอุณหภูมิความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับและสูงสุดที่แถบสีสีแดง การที่เขาเลื่อนเทอร์โมมิเตอร์จากแถบสีที่ไม่สว่างไปยัง แถบสีสีแดง ซึ่งเป็นแถบสีที่สั้นสุดของสเปกตรัมและอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งขอบเขตดังกล่าวนี้เรียกว่า “อินฟราเรด” (ของเขตที่ต่ำกว่าแถบสีแดง) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร – 1 มิลลิเมตร ความถี่ในช่วง 1011 – 1014 เฮิรตซ์ มีคุณสมบัติไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ยิ่งสูงมากขึ้น พลังงานก็สูงขึ้นตามไปด้วย เป็นคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของสีแดงลงมา มนุษย์จึงไม่สามารถมองเห็นรังสีอินฟราเรด แต่สามารถรู้สึกถึงความร้อนได้



รูปที่ 3.3 แสดงสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรด

3.1.1 อินฟราเรดเมื่อมองในส่วนสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

สายตาของมนุษย์นั้นธรรมชาติได้ออกแบบให้สามารถมองเห็นคลื่นได้ในระดับหนึ่งหรือเรียกว่า "รังสีการมองเห็น" โดยจะอยู่ในรูปของความสว่าง จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าเราสามารถมองเห็นรังสีในย่านแคบๆเท่านั้น หรือเรียกว่า “ย่านสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า” ซึ่งถ้ามองด้านล่างของ

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะติดกับย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งมนุษย์ก็ไม่สามารถมองเห็นในย่านนี้ และส่วนด้านบนของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะติดกับย่านรังสีอินฟราเรด ซึ่งเราก็ไม่สามารถมองเห็นเช่นกัน

แหล่งกำเนิดของรังสีอินฟราเรดนั้นก็คือ ความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อน ไม่ว่าจะวัตถุใดก็ตามที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่า Absolute Zero(- 273.15 องศาเซลเซียส หรือ 0 องศาเคลวิน) จะมีการแผ่รังสีในย่านอินฟราเรดออกมา ไม่ว่าจะป็นน้ำแข็งที่เราคิดว่าเย็นมากก็ยังมีรังสีอินฟราเรดออกมา ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในชีวิตประจำวัน เราจะสัมผัสและเกี่ยวข้องกับรังสีอินฟราเรดอยู่แล้ว เช่น เราารู้สึกร้อนเมื่ออยู่กลางแจ้งหรือใกล้ไฟ ถึงแม้ว่าตามนุษย์จะไม่สามารถมองเห็นรังสีอินฟราเรดได้ แต่ผิวเราก็สามารถรู้สึกจากความร้อนได้ และวัตถุที่ร้อนย่อมจะแผ่รังสีออกมามากกว่าวัตถุที่เย็น



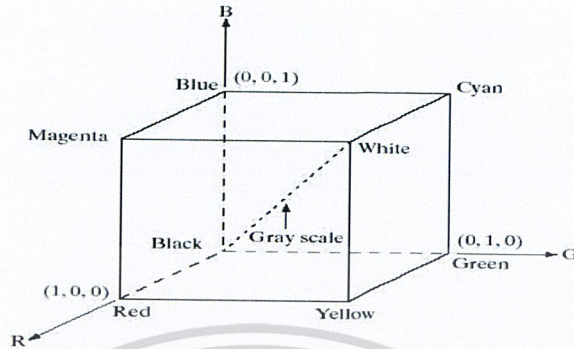
รูปที่ 3.4 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

3.2 แบบจำลองของสี (Color model)

แบบจำลองของสี คือการกำหนดลักษณะของสีที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิก เพื่อความสะดวกในการใช้งาน แบบจำลองของสีที่กำหนดนั้นสามารถแยกออกได้เป็นแบบจำลองสีที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในระบบคอมพิวเตอร์ และแบบจำลองของสีที่ใช้ในระบบชีวิตประจำวัน ที่ประกอบด้วยชนิดของสี(hue), ความอิ่มตัวของสี(Saturation) และความสว่างของสี(Brightness)

3.2.1 แบบจำลองของสีแบบ RGB

ในระบบสี RGB (Red Green Blue) นั้นสีที่เราเห็นจะประกอบไปด้วย 3 แม่สี คือ แดง เขียวและน้ำเงิน ซึ่งถ้าเรานำระบบสี RGB มาวางลงบน Cartesian coordinate system จะได้ผลดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงแบบจำลองสีแบบ RGB

จะเห็นว่าบนแกนหลักทั้งสามแกนนั้นจะถูกแทนด้วยแม่สี 3 สีคือ แดง เขียว และน้ำเงิน และมุมอีก 3 มุมที่ไม่ได้อยู่บนแกน คือสีม่วง เขียวน้ำทะเล และเหลือง ส่วนสีที่ตำแหน่งจุดกำเนิดคือสีดำ และจุดที่อยู่ตรงข้ามกับจุดกำเนิด คือสีขาว และตำแหน่งที่ค่าสีแดง เขียว และน้ำเงิน มีค่าเท่ากันนั้น จะถูกเรียกว่า Gray scale ถ้านำลูกบาศก์ RGB มาลงสีจะได้ภาพที่มี ลักษณะดังรูป

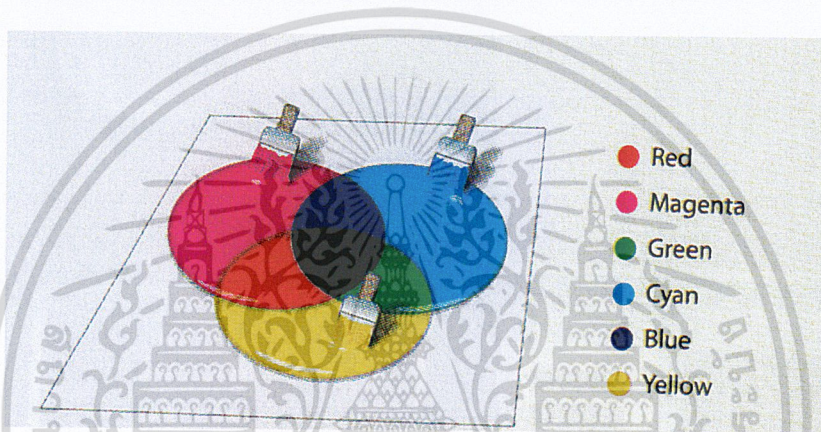


รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองสีแบบ RGB

จากรูปจะสังเกตได้ว่า ถ้านำสี 2 สี เช่น สีแดง และ สีแดงเข้มมาเปลี่ยนเทียบกัน จะพบว่า ค่าของแม่สี ทั้ง 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานที่ต้องวิเคราะห์ภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสี

3.2.2 แบบจำลองของสีแบบ CMY

โมเดลนี้เกิดขึ้นจากระบบการพิมพ์แบบแยกสี โดยภาพจะถูกแยกออกเป็นแม่พิมพ์ของสีหลักเพียง 4 สี คือ ฟ้า (Cyan), ม่วงแดง (Magenta), เหลือง (Yellow) และดำ (Black) ซึ่งเมื่อพิมพ์สีเหล่านี้ซ้อนกันก็จะได้ภาพบนหน้ากระดาษตามต้นฉบับ ค่าของสีหลักในโมเดลนี้ มักอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหมึกพิมพ์ตั้งแต่ 0-100%



รูปที่ 3.7 แสดงแบบจำลองสีแบบ CMY

ทำให้ในทางปฏิบัติต้องเพิ่มสีดำ (ใช้ตัวย่อ K เป็นสีหลักอีกหนึ่ง เพื่อให้ได้สีผลลัพธ์ที่มีความอึมครึม ประหยัดหมึกพิมพ์ โมเดลนี้เกิดขึ้นจากระบบการพิมพ์แบบแยกสี โดยภาพจะถูกแยกออกเป็นแม่พิมพ์ของสีหลักเพียง 4 สี คือ ฟ้า (Cyan), ม่วงแดง (Magenta), เหลือง (Yellow) และดำ (Black) ซึ่งเมื่อพิมพ์สีเหล่านี้ซ้อนกันก็จะได้ภาพบนหน้ากระดาษตามต้นฉบับ ค่าของสีหลักในโมเดลนี้ มักอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหมึกพิมพ์ตั้งแต่ 0-100รวมทั้งได้สีดำที่ดำสนิทจริงๆ

CMY (Cyan Magenta Yellow) เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสีโดยมีสีหลักคือสี Cyan , Magenta และ Yellow ซึ่งเรียกว่า Subtractive primaries Color (สีแดง เขียวและน้ำเงิน เรียกว่า Additive primaries Color) ระบบสีแบบ CMY สามารถหาได้โดยการนำเอาสีในระบบ RGB ลบกับสีข้างต้นคือ

$$Y = 1 - B \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

ระบบสี CMY จะนำไปใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสีแต่ยังไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากไม่ยังไม่สามารถสร้างสีดำได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการใช้ระบบ CMYK แทนโดย

$K = \min(C, M, Y)$ K เป็นสีที่ 4 แทนสีดำ

$$C = C - K \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

$$M = M - K \quad (\text{สมการที่ 3.5})$$

$$Y = Y - K \quad (\text{สมการที่ 3.6})$$

3.2.3 ระบบสีแบบ YUV

ระบบสีแบบ YUV ใช้สำหรับโทรทัศน์แบบ PAL และ SECAM ซึ่งยังมีใช้อยู่ในหลาย ๆ ประเทศโดย Y คือค่าความสว่างของภาพ ส่วนสัญญาณ U และ V เป็นสัญญาณที่เก็บค่าสีของภาพ ต่อมาได้มีระบบ YIQ มาใช้แทนเนื่องจากพบว่าสัญญาณ I และ Q สามารถลด Bandwidth ได้มากกว่าสัญญาณ U และ V ในขณะที่ได้ภาพที่มีคุณภาพเท่ากัน

3.2.4 ระบบสีแบบ YIQ

เป็นระบบที่ใช้ใน TV Broadcasting สำหรับ NTSC ประโยชน์หลักก็เพื่อให้ใช้งานได้กับโทรทัศน์แบบขาว-ดำ โดยที่ y คือความสว่างของภาพ ส่วน I และ Q จะเป็นสัญญาณที่เข้ารหัสสีของภาพไว้ดังนั้นสำหรับโทรทัศน์ขาว-ดำ นั้นสามารถใช้ค่า Y ค่าเดียวก็สามารถได้ภาพที่สมบูรณ์

3.2.5 ระบบสี HSV

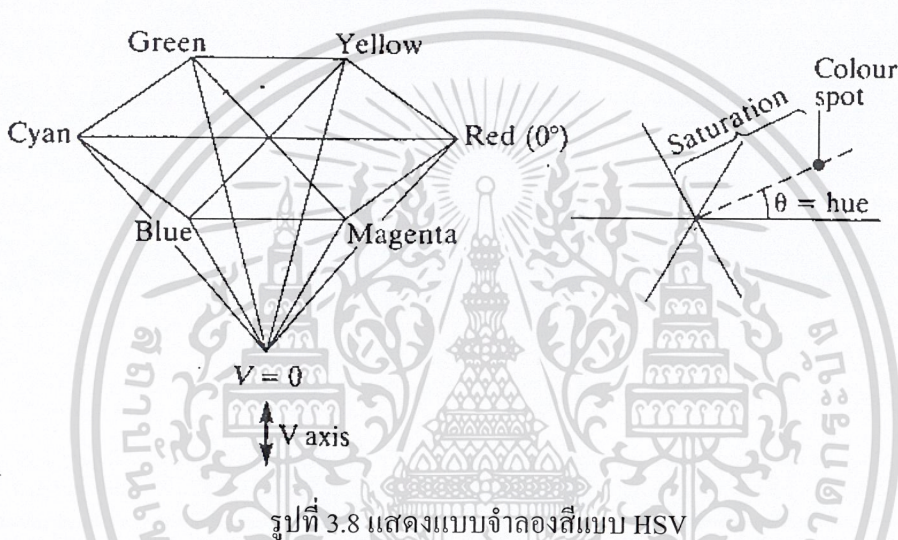
ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) เป็นการพิจารณาสีโดยใช้ Hue Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือค่าสีของสีหลัก (แดง เขียวและน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ ดังนี้คือ สีแดง = 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา

Hue สามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ได้ดังนี้

$$red_k = red - \min (red, green, blue) \quad (\text{สมการที่ 3.7})$$

$$green_k = green - \min (red, green, blue) \quad (\text{สมการที่ 3.8})$$

$$blue_k = blue - \min (red, green, blue) \quad (\text{สมการที่ 3.9})$$



จากลักษณะโมเดลของระบบ Hue พบว่าจะมีค่าอย่างน้อยหนึ่งค่าที่จะเท่ากับ 0 แต่ถ้ามีสองค่าเท่ากับ 0 แล้ว hue จะเป็นมุมของสี (ค่าสี) มีค่าเป็นไปตามสีที่สามและถ้าทั้งสามสีมีค่าเท่ากับ 0 แล้วจะทำให้ไม่มีค่าของ Hue หรือสีที่ได้จะมีค่าเท่ากับสีขาวนั่นเอง ตัวอย่างเช่น จอภาพขาว-ดำ ถ้าเกิดมีสีใดสีหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ค่าสีที่ได้เป็นไปตามสีที่เหลือ การให้นำหนักในการพิจารณาเมื่อสีแดงมีค่าเท่ากับ 0

$$\frac{(240 \times blue_k) + (120 \times green_k)}{blue_k + green_k} \quad (\text{สมการที่ 3.10})$$

Saturation คือความบริสุทธิ์ของสีซึ่งถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 แล้วสีที่ได้จะไม่มี Hue ซึ่งจะเป็นสีขาวล้วนแต่ถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 255 แสดงว่าจะไม่มีแสงสีขาวผสมอยู่เลย

Saturation สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$saturation = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{\max(red, green, blue)} \quad (\text{สมการที่ 3.11})$$

Value คือความสว่างของสี ซึ่งสามารถวัดได้โดยค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกัน สามารถคำนวณได้จาก

$$value = \max(red, green, blue) \quad (\text{สมการที่ 3.12})$$

3.3.6 ระบบสีแบบ HLS

ระบบสีแบบ HLS (Hue lightness saturation) พัฒนาโดย Teletromix Incorporated จะมีลักษณะคล้ายกับ HSV ดังนั้นชื่อของระบบจะขึ้นอยู่กับ Hue Lightness และ Saturation



รูปที่ 3.9 แสดงระบบสี HLS

Hue คือค่าของสีหลักซึ่งมีสีน้ำเงินอยู่ที่ 0 องศา สีเขียวอยู่ที่ 120 องศา และสีแดงอยู่ที่ 240 องศา

Lightness คือค่าความสว่างซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน L โดยที่ L = 0 จะเป็นสีดำ L = 1 จะเป็นสีขาว สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$lightness = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{2} \quad (\text{สมการที่ 3.13})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Saturation คือความบริสุทธิ์ของสีสามารถหาได้ดังนี้คือ

Saturation

$$= \begin{cases} \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) + \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})} & ; \text{if } L \leq 0.5 \\ \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{2 - \max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})} & ; \text{if otherwise} \end{cases}$$

(สมการที่ 3.14)

การแปลงค่าสีระหว่างระบบสีต่างๆ

การแปลงค่าสีระหว่างระบบสามารถทำได้โดยใช้ Matrix ตัวอย่างเช่น การแปลงสีระหว่างระบบ RGB (ICE) กับระบบสีแบบ XYZ จะมีเมตริกสำหรับการแปลงดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{CE} \\ G_{CE} \\ B_{CE} \end{bmatrix} \quad (\text{สมการที่ 3.15})$$

3.3 กระบวนการดิจิไทเซชัน (Digitization)

กระบวนการดิจิไทเซชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณจากสัญญาณอนาลอกให้เป็นข้อมูลทางดิจิตอล แล้วนำไปจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือการสุ่มตัวอย่างอนาลอก (Sampling) และการจัดระดับของสัญญาณที่สุ่มมา (Quantizing) แต่ละระดับแทนด้วยรหัสดิจิตอล

สัญญาณภาพอนาลอกสามารถแสดงความละเอียดและจำนวนสีของภาพได้ไม่จำกัด เนื่องจากความต่อเนื่องของสัญญาณ แต่เมื่อสัญญาณภาพอนาลอกถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล ความละเอียดและจำนวนสีของภาพถูกจำกัดด้วยความเร็ว A/D จำนวนบิตที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ และขนาดของหน่วยความจำ ในภาพระดับสีเทาแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ 256 ระดับ นั่นคือ 1 จุดภาพจะต้องสร้างจากข้อมูลจำนวน 8 บิต

บทที่ 4

Flir Photon 320 Camera

4.1 Flir Photon 320 Camera

กล้อง Photon 320 เป็นกล้องที่มีเซนเซอร์ชนิด micro bolometer ที่สามารถตรวจจับความยาวคลื่นในช่วง (8 -- 14 ไมครอน) โดยเทคนิคการสร้างภาพความร้อนจะใช้ระบบที่ไม่ใช้ความเย็นโดยออกแบบมาสำหรับการจับภาพที่มีขนาดเล็ก โดยสามารถเลือกความยาวโฟกัสกับเลนส์ได้แตกต่างกันดังนี้

- 6.3 mm (52 ° Horizontal Field Of View หรือ HFOV) เท่านั้นสำหรับ Photon 160
- 14.25 mm (46 ° HFOV) เท่านั้นสำหรับ Photon 320
- 19 mm (36 ° HFOV) - ใช้ได้ทั้ง Photon 320 และ 160
- 35 mm (20°HFOV) เท่านั้นสำหรับ Photon 320
- 50 mm (14 ° HFOV) เท่านั้นสำหรับ Photon 320

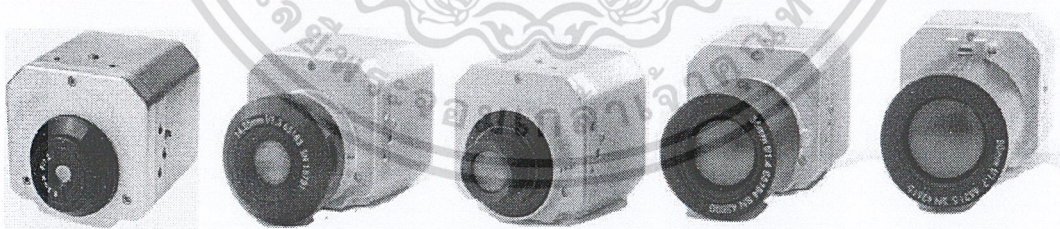


Figure 1-1: Photon Cameras: L to R: 6.3mm, 14.25mm, 19mm, 35mm, and 50mm lenses

รูปที่ 4.1 ชนิดของกล้องและเลนส์ชนิดต่างๆ

ความสามารถในการส่งข้อมูลวิดีโอออก จะส่งเป็นแบบอนาล็อกเท่านั้นสำหรับการใช้งานที่ต้องการการควบคุมขั้นสูงกล้อง Photon มีอินเตอร์เฟซแบบอนุกรม (RS – 232)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการส่งคำสั่งกล้องและการรับข้อมูลกล้อง Photon ยังสามารถมีการส่งข้อมูลออกแบบดิจิทัลวิดีโอโดยผ่านการเชื่อมต่อแบบอนุกรม LVDS ได้อีกด้วย

Photon Specifications

- 324 (H) x 256 (V) uncooled array sensor microbolometer, 38 x 38 พิกเซลไมครอน
- Input 5-24 V
- การใช้พลังงาน : 1.65 วัตต์ (อุณหภูมิห้องใช้ 8V input)
- ช่วงอุณหภูมิการทำงาน : -40 °C ถึง +80 °C
- น้ำหนัก : ประมาณ 97 กรัมโดยไม่รวมเลนส์
- Analog video output : NTSC (320x240) / PAL (160x120) หรือ (320x256) / (160x120) อัตราผลการส่งวิดีโอ (ประมาณ 9Hz)
- 2X ชุมดิจิทัลด้วยอิเล็กทรอนิกส์ pan / tilt กับ 324 (H) x 256 (V) sensor array

Photon Digital Data Channel Photon จะให้ Output เป็น Digital ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับ commercially-available digital frame grabbers, digital displays, custom receive electronics. มันยังสามารถใช้กับแคปเตอร์ FLIR's Photon Ethernet. Photon ต้องการ Software ในการควบคุม ซึ่งอาจจะเป็น Software Developer's Kit (SDK) หรือโปรแกรมอื่นๆที่ Support Digital data channel สามารถตั้งค่า Output data 14-bit ด้วย calibration (Non Uniformity Correction or NUC) terms ใน mode นี้มีประโยชน์มากสำหรับการดำเนินการกับ สัญญาณภายนอก หรือวิเคราะห์สัญญาณ output. Digital data channel สามารถตั้งค่า Output 8 bit data ด้วย video processing algorithms (เช่น 'Automatic' AGC mode, white-hot/black-hot polarity, image orientation, DDE filtered, and on-screen symbols). 8 bit data เป็นสิ่งจำเป็นของ digital version video stream ใช้กำหนด analog video channel และ เหมาะกว่า 14 bit data เมื่อใช้กับ digital display

The Digital data channel ใช้ระบบ serial low-voltage differential signaling (LVDS) ประกอบด้วยสายสัญญาณ 3 สาย ซึ่งมี a clock, a composite sync (frame sync and line sync), and serial data. A serial-in-parallel-out (SIPO) module เหมาะที่จะใช้กับ FLIR เพื่อแปลง serial data เป็น 14-bit

parallel LVDS output (plus frame sync, line sync, and pixel clock). ข้อมูลแบบ ขนานสามารถจับได้ โดยการใช้ Frame-grabber board ที่ลงในcomputer

หนึ่งใน Frame grabber ที่ใช้วัดคือ IMAQ PCI-1422 board ใช้ต่อกับสาย เบอร์ 308-0013-00. อีก Frame grabber คือ Bit Flow RoadRunner Model 14 board ซึ่งใช้เชื่อมต่อกับสายเบอร์ 308-0016-00-03. ทั้ง 2 frame grabber ต้องการโปรแกรมร่วม หรือรองรับ FLIR แต่ FLIR ไม่ได้รองรับ โดยตรงกับการใช้เหล่านั้น การตั้งค่าไฟล์จะเหมาะกับการใช้งานโดยเฉพาะ FLIR ยังมีoption แปลง digital data เป็น adapter ภายนอก โดยการเชื่อมต่อที่output โดยตรงด้วย สายLAN แบบ CAT-5 สามารถใช้ โมดูล ภายนอกสำหรับ digital output และ camera control ด้วย Photon SDK โดยเชื่อมต่อ โปรแกรมเข้ากับ คอมพิวเตอร์ The Photon GUI software จะเป็นตัวควบคุม Adapter ภายนอก

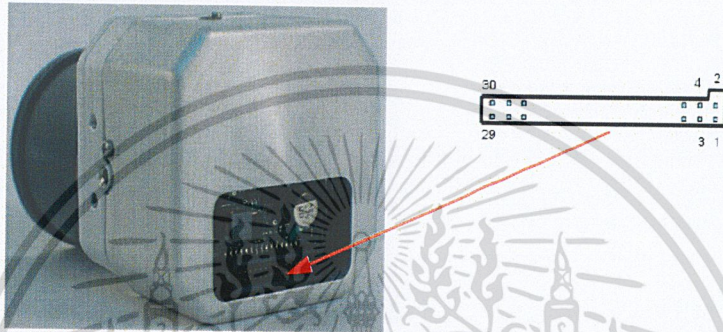
Using the Digital Data Channel ในคู่มือจะเหมาะสำหรับคนที่ มี serial-to-parallel-out (SIPO) accessory moduleกับสายแบบ parallel ก่อนอื่น ถอดสาย Power ของ I/O Module. ก่อน สามารถเชื่อมต่อ SIPO accessory moduleกับ three-row DB-15 connector บน Interface Moduleชื่อ DIGITAL DATA. การเชื่อมต่อสายแบบ parallel กับ SIPO module. เชื่อมต่อด้านปลาย เพื่อที่จะ Install frame-grabber boardกับคอมพิวเตอร์ได้ ใช้สายแบบ parallel ที่เหมาะสมกับ frame grabber แล้ว เชื่อมต่อ manufacturer ของ frame grabber เพื่อให้แน่ใจว่าทำการเชื่อมต่อได้ถูก เสียบสาย Power เข้า กับ Interface Module ทำให้ Photon camera กับ SIPO module มีไฟเข้าแล้ว ข้อมูล digital จะเริ่มไหล ถ้าต้องการเปลี่ยน digital data mode ให้ใช้ โปรแกรม Photon GUI ในการเปลี่ยนที่ tap Digital Video

Overview of the Photon Electrical Interface ขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกอุปกรณ์เสริมแบบใด ซึ่ง Photon camera จะมี 2 การเชื่อมต่อ

- **Samtec 30-Pin Connector** : เป็นรูปแบบง่ายๆ เป็นการเชื่อมต่อ 30-pin Samtec board กับ board style connector ด้วยเลข Samtec TFML-115-02-S-D-K Samtec มีการเชื่อมต่อ หลากหลาย ประกอบด้วย SFM(L), SMT, and SFSD style products.

Overview of the Photon Electrical Interface ขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกอุปกรณ์เสริมแบบใด ซึ่ง Photon camera จะมี 2 การเชื่อมต่อ

- **Samtec 30-Pin Connector** : เป็นรูปแบบง่ายๆ เป็นการเชื่อมต่อ 30-pin Samtec board กับ board style connector ด้วยเลข Samtec TFML-115-02-S-D-K Samtec มีการเชื่อมต่อหลากหลาย ประกอบด้วย SFM(L), SMT, and SFSD style products.



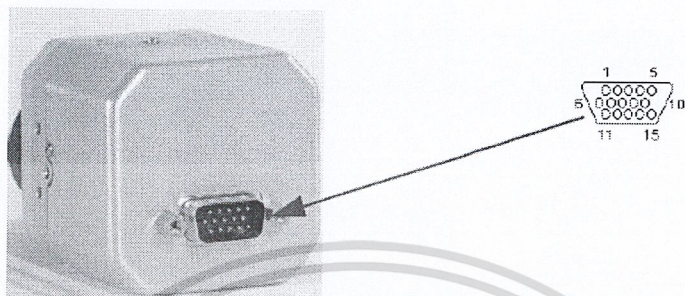
รูปที่ 4.2 30-pin Samtec Connector Interface of the Photon Camera

ตารางที่ 4.1 เป็นขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

Pin #	Signal Name	Signal Definition
1,2,5,6	GND	Ground
3	3.15V_OUT	3.15V output
4	PWR_IN	Input voltage
7	1.5V_OUT	1.5V output
8	LIN	Do not connect
9	RX2	Spare Serial Communication receive
10	RX	Primary Serial Communication receive
11	TX2	Spare Serial Communication transmit
12	TX	Primary Serial Communication transmit
13	LVDS_VID2+	Digital Port 2 Output Data, positive output
14	SD_DATA-	Digital Port 1 Output Data, negative output
15	LVDS_VID2-	Digital Port 2 Output Data, negative output
16	SD_DATA+	Digital Port 1 Output Data, positive output
17	LVDS_VID1+	Digital Port 2 Sync, positive output
18	SD_FSYNC-	Digital Port 1 Sync, negative output
19	LVDS_VID1-	Digital Port 2 Sync, negative output
20	SD_FSYNC+	Digital Port 1 Sync, positive output
21	LVDS_VID0+	Digital Port 2 Clock, positive output
22	SD_CLK-	Digital Port 1 Clock, negative output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D-Sub 15 pin connector ตารางที่ 4.1 แสดง wearsaver (25O-O194-OO) ที่ใช้กับ 15-Pin HD -15 D-Sub 3-row connector เช่น EMI Rear Enclosure Assembly (Part Number 500-0312-00) or the Rear Wearsaver Cover Assembly



รูปที่ 4.3 ขา db-15

ตารางที่ 4.2 15 pin HD D-Sub (Male) Connector Pin Definitions

Pin #	Signal Name	Signal Definition
1	VIDEO_HI	Analog Video, positive output
2	SD_FSYNC+	Digital Port 1 Sync, positive output
3	GND	Ground
4	GND	Ground
5	GND	Ground
6	VIDEO_LO	Analog Video, negative
7	SD_CLK+	Digital Port 1 Clock, positive output
8	SD_DATA+	Digital Port 1 Output Data, positive output
9	TX	Primary Serial Communication transmit
10	PWR_IN	Input voltage
11	SD_CLK-	Digital Port 1 Clock, negative output
12	SD_FSYNC-	Digital Port 1 Sync, negative output
13	SD_DATA-	Digital Port 1 Output Data, negative output
14	RX	Primary Serial Communication receive
15	PWR_IN	Input voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การใช้กล้อง Photon ในการใช้ไฟ DC

Parameter	Baseline Value	Comment
Minimum voltage	5.0 V	Absolute minimum is 4.8V
Maximum voltage	24.0V	Absolute maximum is 26 V
Nominal Load Power	≤ 2000 mW	Typical power is 1600 mW
Peak Load Power at start-up	4000 mW	Assuming no load between HTR and HTR_RTN

ที่ Steady state จะกินพลังงานประมาณ 1.65 W เมื่อเริ่ม Shutter กล้องจะกินไฟประมาณ 4 W เพียงวินาทีเดียว

Analog Video Output กล้อง Photon ถูกตั้งค่า Output มาเป็น แบบ NTSC หรือ PAL การเลือกใช้รูปแบบของ Output ไม่ได้ใช้ Photon GUI หรือ Serial command ในการเลือก Output จะขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อโดยตรงกับ Video Display เช่นการเชื่อมต่อกับทีวี หรือ VCRs สัญญาณ Input Analog monitor ใช้สาย coaxial cable หรือใช้ RCA (consumer based electronics) or BNC ถ้าใช้สายเคเบิลแบบทำเอง คุณควรใช้ 75 Ohm เป็น impedance ของสาย ใช้ขาสัญญาณ VIDEO_LO และ VIDEO_HI เป็น analog video output signal

ตารางที่ 4.4 Spec ต่างๆ ของ Video

Parameter	NTSC	PAL
Monochrome equivalent	RS-170A	CCIR
Frame rate	29.97 Hz	25 Hz
Update rate	30 Hz/7.5 Hz	25 Hz/8.3 Hz
Active video lines	480	510
# displayed detector samples	320 (H) x 240 (V)	320 (H) x 255 (V)
# displayed detector samples (reduced size array)	160 (H) x 120 (V)	160 (H) x 128 (V)

การลด frame rate หรือ size array จะไม่มีผลกับรูปแบบ video

Command and Control Channel การควบคุมกล้อง จะใช้ RS-232 ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ Rx ,Tx, GND ใช้สัญญาณไฟ 3.3 Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital Data Channel Photon ใช้ Digital channel เป็น real-time serialized digital video Output แบบ 8-bit และ 14-bit ใช้สัญญาณ SD_CLK±, SD_FSYNC± and SD_DATA± การเปลี่ยนข้อมูลแบบ serial เป็น parallel ต้องใช้ Module ภายนอกในการแปลง

External Synchronization กล้อง Photon สามารถใช้ Synchronization ได้ถ้าคุณต้องการ การ sync สัญญาณภายนอก หรือการ trigger สามารถใช้ Samtec 30-Pin Connector

Slave Mode: กล้องจะตอบสนอง สัญญาณ frame synchronization บน การเชื่อมต่อ (DIS0_EXT) เมื่อทำการตั้งค่าตัว slave ผ่านทางการเชื่อมต่ออนุกรม (serial communications port) การ sync สัญญาณจะเริ่มที่ FPA frame timing sequence สัญญาณ sync จะประกอบด้วย pulse 3 volt ตารางที่ 4.5 สัญญาณ frame sync ควรจะส่ง 1 ครั้งต่อ frame และกล้องจะไม่ให้ output จนกระทั่ง ได้รับค่าที่ถูกต้อง

ตารางที่ 4.5 Video output

	Frequency Range	Output Frame rate	Pulse width (minimum)
NTSC full frame rate	0 to 30 Hz	0 to 30Hz	135ns
NTSC slow frame rate	0 to 30 Hz	0 to 7.5Hz	135ns
PAL full frame rate	0 to 25 Hz	0 to 25Hz	135ns
PAL slow frame rate	0 to 25 Hz	0 to 6.2Hz	135ns

The video output (analog) ของกล้องจะเปิดขณะที่เป็นโหมดการ sync ภายนอก อย่างไรก็ตาม อัตราของ video

Frame จะขึ้นอยู่กับอัตรา frame sync ภายนอก สถานะของการsynchronizationของกล้องจะมีการset ก่อน เปิดเครื่อง เช่น หลังจากที่มี mode เปลี่ยนและ save กล้องจะทำการ reset

ตารางที่ 4.6 Frame กับอัตรา frame sync ภายนอก

	Frequency Range	Pulse width (minimum)
NTSC full frame rate	29.97 Hz	200ns
NTSC slow frame rate	7.5 Hz	200ns
PAL full frame rate	25 Hz	200ns
PAL slow frame rate	8.3 Hz	200ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Master mode : กล้องจะตอบสนอง สัญญาณ frame synchronization บนการเชื่อมต่อ (DISO_EXT) เมื่อทำการตั้งค่าตัว master ผ่านทางการเชื่อมต่ออนุกรม (serial communications port) สัญญาณ sync จะเริ่มติดต่อกันทาง FPA frame timing sequence สัญญาณ sync จะประกอบด้วย pulse 3 volt สัญญาณ sync จะเกิดขึ้น 1 ครั้งต่อ 1 เฟรม และจะ drive photon

Photon Physical Interface

ตารางที่ 4.7 Dimensioned Drawings

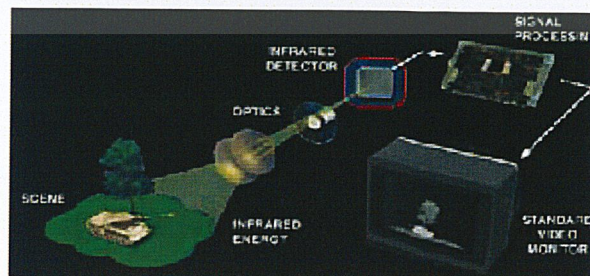
Nominal focal length	ICD	Weight
6.3 mm	TBD	127g
14.25 mm	102-1230-14-19	179g
19 mm	112-0035-09-19	155
35 mm	102-1230-81	209
50 mm	112-0035-18-19	251
NO LENS	102-1230-42	97

4.2 หลักการทำงานของ Thermal Imaging Camera

Image enhancement ใช้วิธีการเก็บกักแสง แม้ว่าจะมีเพียงน้อยนิด เป็นแสงที่อยู่ในย่านที่ตามองไม่เห็น แต่ไม่ใช่ย่านอินฟราเรด โดยใช้วิธีการขยายสัญญาณแสง และแปลงออกเป็นภาพ

Thermal imaging เทคโนโลยีนี้ใช้วิธีจับแสงในย่านอินฟราเรด ซึ่งเป็นย่านที่ให้ความร้อน ความร้อนที่จับได้จากวัตถุไม่ได้เกิดจากการสะท้อน วัตถุยิ่งมีความร้อนมาก จะเปล่งแสงได้ดีกว่าวัตถุที่มีความร้อนน้อย

4.3 ระบบการสร้างภาพด้วยความร้อน (Thermal imaging) มีหลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 4.4 ระบบการสร้างภาพด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

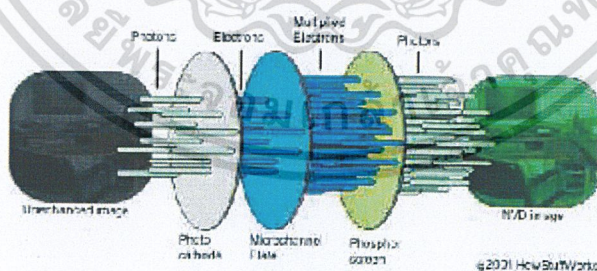
จะใช้เลนส์พิเศษรวมแสงอินฟราเรดที่เปล่งออกมาจากวัตถุ ดีเทคเตอร์ทำการกวาดจุดและตำแหน่งต่างๆ ที่มีความร้อน สร้างเป็นแผนภาพความร้อน (thermogram) ขั้นตอนนี้ใช้เวลาสั้นๆ เพียง 1 ใน 30 วินาที ข้อมูลที่ได้คือจุดความร้อนหลายพันจุด จุดความร้อน ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (electric impulses) สัญญาณทางไฟฟ้าถูกส่งไปที่หน่วยประมวลผลคอมพิวเตอร์ และแปลสัญญาณออกเป็นภาพบนจอมอนิเตอร์ การแปลสัญญาณเป็นภาพสีบนจอขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอินฟราเรดที่วัตถุเปล่งออกมา ภาพสีที่ปรากฏบนจอมอนิเตอร์จึงแสดงให้เห็นถึงความร้อนของวัตถุนั้นๆ

ระบบการสร้างภาพด้วยความร้อนแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ไม่ต้องใช้ระบบทำความเย็น เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้กันมาก เพราะราคาไม่แพง ตัวดีเทคเตอร์สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อไม่ต้องใช้ระบบทำความเย็น จึงไม่มีเสียง

2. ใช้ระบบทำความเย็นจัด (Cryogenically cooled) ราคาของอุปกรณ์ค่อนข้างแพง และมีน้ำหนักมาก ระบบทำความเย็นลดอุณหภูมิของดีเทคเตอร์ลงต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ข้อดีของระบบนี้คือ ดีเทคเตอร์มีความไวมากที่อุณหภูมิต่ำ ระบบทำความเย็นจัดช่วยให้วัดความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไวมาก ละเอียดจนถึง 0.1 องศาเซลเซียส ถึงแม้สิ่งที่จะวัดอยู่ไกล 300 เมตร ยกตัวอย่างเช่น เมื่อใช้อุปกรณ์นี้สแกนรอบบริเวณที่คิดว่ามีมือปืนกำลังจุ่มจะยิงคุณอยู่ คุณสามารถทราบได้เลยว่า จุ่มอยู่ที่ไหน จะได้ส่งลูกน็อกไปจัดการได้ถูกเป็นต้น

4.3.1 เทคโนโลยีขยายสัญญาณภาพ (Image Enhancement)



รูปที่ 4.5 หลอดขยายสัญญาณภาพมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานโฟตอนให้เป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า

เทคโนโลยีขยายสัญญาณภาพ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไนทวิชชันดีไวซ์ (Night vision devices) ย่อเป็น NVDS ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญชิ้นหนึ่ง เป็นหลอดแก้วใช้ขยายสัญญาณ (images-intensifier

tube) มีหน้าที่เก็บกักแสงทั้งย่านอินฟราเรด และย่านที่ตามองเห็น หลอดขยายสัญญาณภาพมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานโฟตอนให้เป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า

4.3.2 หลักการทำงานของ การขยายสัญญาณภาพ

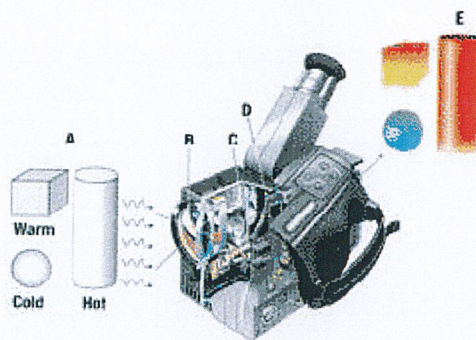
เลนส์ใกล้วัตถุเก็บสัญญาณแสงทั้งย่านที่ตามองเห็นและย่านอินฟราเรด สัญญาณแสงถูกส่งไปที่หลอดขยายสัญญาณ แหล่งจ่ายพลังงานได้มาจากแบตเตอรี่ แบบ AA และใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเป็น 5000 โวลต์ โฟโอดีโอดเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นกระแสไฟฟ้า ขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในหลอด มันจะสร้างให้เกิดอิเล็กตรอนมากขึ้นกว่าเดิมอีกนับเป็นพันๆ เท่า โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า แผ่นไมโครแชนเนล (Micro channel plate) ย่อเป็น MCP ทำขึ้นจากแผ่นแก้ว เจาะรูเล็กๆ ไว้นับล้านรู ใช้เทคโนโลยีของเส้นใยนำแสง(Fiber optic) ต่อเชื่อม ภายในหลอดอากาศออกหมดจนเป็นสุญญากาศ งาน MCP แต่ละอันต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า ที่ปลายของหลอดขยายสัญญาณ อิเล็กตรอนชนเข้ากับฉากที่เคลือบด้วยสารฟอสฟอรัส อิเล็กตรอนที่วิ่งออกจากท่อแต่ละท่อ (Channel) เป็นแนวเดียวกับสัญญาณที่เข้ามา เมื่ออิเล็กตรอนชนเข้ากับฟอสฟอรัส จะเปล่งแสงเป็นภาพ เครื่องทดลองรุ่นแรกๆ มอนิเตอร์นำด้วยฟอสฟอรัสสีเขียว จึงได้ภาพสีเขียว

4.3.3 เลนส์ของกล้องอินฟราเรด

การออกแบบกล้องอินฟราเรดนั้นจะคล้ายกับกล้องถ่ายภาพทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามชนิดของแก้วที่นำมาใช้ทำเลนส์กล้องถ่ายภาพทั่วไป จะไม่สามารถนำมาใช้ทำเลนส์ของกล้องอินฟราเรดได้ เนื่องจากแก้วดังกล่าวจะไม่สามารถส่งผ่านรังสีอินฟราเรดได้เพียงพอ โดยส่วนใหญ่แล้วเลนส์ของกล้องอินฟราเรดจะทำด้วย Germanium ซึ่งจะมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลที่ดีเยี่ยม ทำให้ไม่ชำรุดง่าย และยังสามารถนำมาผลิตเลนส์ด้วยวิธีที่ทันสมัยล่าสุดคือ "Diamond Turning Method

4.3.4 การตรวจจับรังสีอินฟราเรด

สามารถอธิบายได้ดังนี้ พลังงานของรังสีอินฟราเรด (A) จะแผ่จากวัตถุและถูกโฟกัสโดยเลนส์ (B) ไปยังตัวตรวจจับ (C) โดยตัวตรวจจับจะทำการส่งข้อมูลไปยังอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ (D) เพื่อทำการประมวลผลภาพ และอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ จะทำการแปลงข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจจับไปเป็นรูปภาพ(E)ของวัตถุ



รูปที่ 4.6 การตรวจจับรังสีอินฟราเรด

แสงอินฟราเรด แยกออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

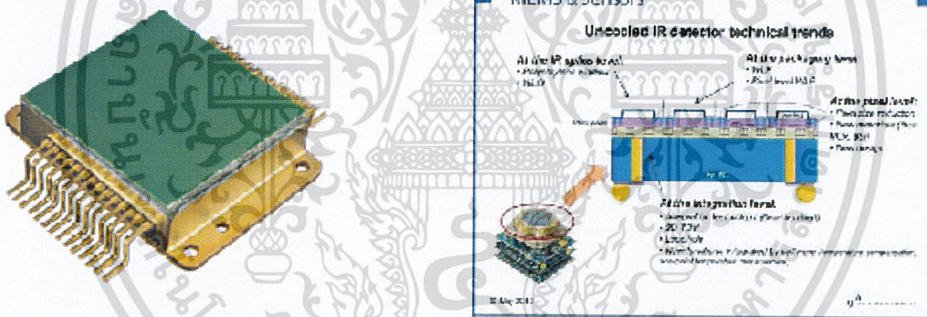
1. แสงใกล้แดง (Near infrared) ย่อเป็น Near-IR อยู่ใกล้กับช่วงที่ตาสามารถมองเห็นได้ ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 1.3 ไมครอน
2. แสงกลางแดง (Mid-IR) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1.3 ถึง 3 ไมครอน ทั้งแสงใกล้แดงกับแสงกลางแดง นิยมกับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เครื่องควบคุมระยะไกล (รีโมทคอนโทรล)
3. เทอร์มอล อินฟราเรด (Thermal infrared) หรือเรียกว่า แสงร้อน มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 3 ไมครอน ถึง 30 ไมครอน

ความแตกต่างระหว่างแสงร้อน กับแสงใกล้แดง และแสงกลางแดง คือแสงร้อนเกิดจากการแผ่รังสีของวัตถุ มาจากการเปลี่ยนระดับพลังงานภายในอะตอม ไม่ได้เกิดจากการสะท้อนแสงของวัตถุ โดยปกติอะตอมไม่ได้หยุดนิ่งอยู่กับที่ มันจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หมุน และสั่นสะเทือนด้วย อะตอมเป็นส่วนประกอบเล็กสุดของสสารทุกชนิดในโลกนี้ ไม่ว่าจะเป็นแก๊สที่คุ่นั่งอยู่ เครื่องบิน และจรวด ภายในอะตอมมีพลังงานแยกออกเป็นหลายระดับ จากระดับพื้น (Ground state) จนถึง ระดับที่กระตุ้น (Excite state) ถ้ามีพลังงานจากภายนอกใส่เข้าไปในอะตอม ระดับพลังงานจะถูกยกตัวจากพื้นไปจนถึงระดับกระตุ้น ภายในอะตอมประกอบด้วยแกนกลางคือนิวเคลียส (โปรตอน และนิวตรอน อัดแน่นกันอยู่ภายใน) และมีอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส มีลักษณะเหมือนเมฆหมอกคลุมนิวเคลียสไว้ตรงกลาง เมื่อเราให้พลังงานจากภายนอก เช่น ความร้อน หรือ ไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะยกตัวจากระดับพื้นเข้าสู่ชั้นสูง เมื่ออิเล็กตรอนขึ้นสู่วงโคจร

สูง และพลังงานภายนอกหยุดการกระตุ้น อิเล็กตรอนจะพยายามกลับเข้าสู่ระดับพลังงานพื้น และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนหรือแสง ยกตัวอย่างเช่น ลวดความร้อนในเตาอบร้อนจนเป็นสีแดง แสงสีแดงที่เกิดขึ้นมาจากการเปลี่ยนระดับของอิเล็กตรอนจากวงโคจรสูงลงสู่วงโคจรต่ำ และปลดปล่อยโฟตอนออกมาเป็นแสงในช่วงสีแดง จะเป็นแสงสีใดนั้นขึ้นอยู่กับพลังงานโฟตอนที่อิเล็กตรอนปลดปล่อยออกมา ทุกๆสิ่งที่เคลื่อนไหวได้ ต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น พลังงานทำให้เกิดความร้อน เช่น เครื่องยนต์ และจรวด วัตถุที่มีความร้อนสูง จะให้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า วัตถุที่มีความร้อนน้อย เช่น ถ้าคุณเผาวัตถุให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ มันจะเริ่มร้อนแดง พออุณหภูมิสูงขึ้นอีก มันจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม เหลือง น้ำเงิน และขาว ซึ่งแสดงว่าร้อนที่สุด

4.4 เซนเซอร์ชนิด UNCOOLED MICROBOLOMETER INFRARED

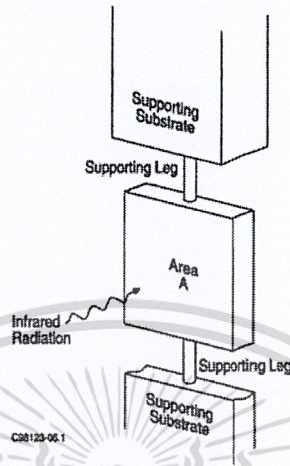
SENSOR ARRAYS



รูปที่ 4.7 เซนเซอร์แบบ Uncooled Microbolometer

เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) แรกที่สร้างขึ้นคือเทอร์โมมิเตอร์ โดยฮอร์เชล เมื่อปี 1800 ปัจจุบันนี้เรียกเซนเซอร์นี้ว่าเซนเซอร์ทางความร้อน เนื่องจากอุปกรณ์นี้ทำงานโดยการตรวจจับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการดูดรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมา(เปรียบเทียบกับตัวจับรังสีอินฟราเรดชนิดอื่นๆที่ทำงานที่อุณหภูมิกงที่) รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบพื้นฐานของเซนเซอร์อินฟราเรดทางความร้อนนี้ ประกอบด้วย แผ่นดูดรังสีอินฟราเรด(พื้นที่ A) is suspended from a large thermal mass(รองรับ substrate) โดยรองรับ “ขา” ขารองรับนี้ยาวและแคบ สร้างจากวัสดุที่มีค่าสภาพนำทางความร้อนต่ำ เพื่อให้พลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดนี้ส่งผ่านไปทั่วทั้งแผ่นดูดรังสีอินฟราเรดโดยไม่มีกรั่วไหลไปยัง substrate ที่รองรับเร็วเกินไป นอกจากนี้ยังมีการนำอุปกรณ์ที่ไวต่ออุณหภูมิต่างชนิดมา

วางไว้บนแผ่นคูคกิ้งรังสีนี้ด้วย เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มาจากกระทะ



รูปที่ 4.8 แสดงการวางรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการตรวจจับรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุด

1. Thermal mass ของแผ่นคูคกิ้งรังสีนั้นมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (เพื่อที่พลังงานระดับต่ำๆ สามารถทำให้อุณหภูมิเพิ่มได้สูง)
2. แผ่นคูคกิ้งสีมีสภาพเป็นฉนวนทางความร้อนได้สูงจากโครงสร้างที่รองรับ (เพื่อที่รังสีที่คูคกิ้งไม่รั่วไหลไปยัง Substrate) หากนำโครงสร้างแบบสองมิติ ดังเช่นเซอร์ทางความร้อนนี้มาวางไว้ที่ระนาบโฟกัสของเลนส์ที่ทำหน้าที่ปล่อยรังสีอินฟราเรด เช่นเซอร์ทางความร้อนแต่ละตัวที่อยู่ในระนาบสองมิตินี้สามารถสร้างส่วนของรูปภาพหนึ่งส่วน (pixel) จากรูปภาพทั้งหมดขึ้นมา เรียกตัวสร้างภาพนี้ว่าตัวสร้างภาพ “เริ่มต้น” (เพื่อแยกจากตัวสร้างภาพอีกชุดหนึ่งที่ทำหน้าที่โดยใช้กลไกโดยการสแกน) จากการใช้หลักการเช่นนี้ ทำให้เรารู้ว่า
3. ต้องใช้เซนเซอร์ทางความร้อนอีกจำนวนมากเพื่อสร้างภาพที่มีรายละเอียดสูง (ภาพที่มีคุณภาพต้องใช้จำนวน pixels อย่างต่ำขนาด 100x100)
4. จากการใช้เซนเซอร์ทางความร้อนหลายหมื่นตัวในโครงสร้างแบบ 2 มิตินี้ ทำให้เราต้องทำให้เซนเซอร์ทางความร้อนแต่ละตัวนี้มีขนาดเล็กมากเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อมิให้โครงสร้างของระบบนี้ใหญ่เกินไป
5. หากนำวิธีทางไฟฟ้ามาใช้เพื่อวัดสัญญาณทางอุณหภูมิของเซนเซอร์เหล่านี้ ในทางปฏิบัติแล้วการนำเส้นลวดทางไฟฟ้าแต่ละเส้นเพื่อเชื่อมต่อเซนเซอร์เดี่ยวจำนวนหลายหมื่นตัวนี้ เพื่อให้สัญญาณทางไฟฟ้าผ่านไปตามเส้นลวดทางไฟฟ้าที่มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนเซนเซอร์นี้มากจะใช้ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในทางปฏิบัติแล้วเห็นได้ชัดว่าการประกอบเซนเซอร์ทางความร้อนแต่ละตัวที่มีขนาดเล็กมาก จำนวนหลายหมื่นตัวด้วยตัวบุคคลนี้เป็นสิ่งที่แทบจะเป็นไปไม่ได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องจักรทางโรงงานอุตสาหกรรมเข้ามาช่วย

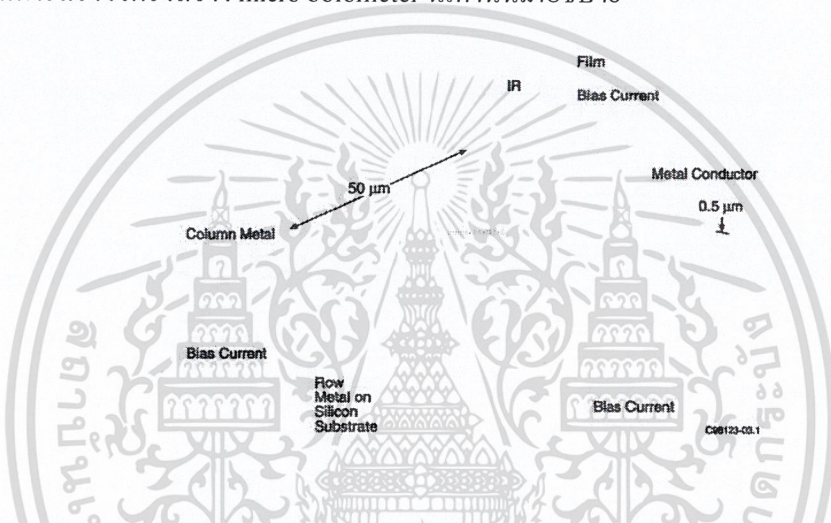
7. จากรายละเอียดกลไกการทำงานของเซนเซอร์ทางความร้อนนี้ เราเห็นได้ว่า โครงสร้างเซนเซอร์เหล่านี้ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้อง(การใช้งานที่ไม่ต้องอาศัยความเย็น) จะยืนยันและดูผลการทำงานหลักการเหล่านี้ต่อไป ในตอนนี้เราจะยึดหลักการนี้ไปก่อน และนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเซนเซอร์ทางความร้อนที่มีโครงสร้างแบบ 2 มิติ ที่ถือว่าเหมาะสม ต่อไปเราจะอธิบายการสร้างเซนเซอร์ทางความร้อนชนิดนี้ รวมถึงการคำนวณสมรรถนะการทำงานในระบบการสร้างภาพแบบอินฟราเรด การคำนวณนี้จะเป็นการแสดงผลว่าแนวทางออกแบบเซนเซอร์ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ใช้งานได้หรือไม่

4.4.1 การสร้างโครงสร้างของเซนเซอร์ทางความร้อน

วิธีการที่เหมาะสมมากในการสร้างเซนเซอร์ทางความร้อนแบบ 2 มิติคือการอาศัยขบวนการผลิต “เครื่องกลซิลิกอนขนาดเล็กมาก” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการสร้างรูปแบบชิ้นส่วนที่มีขนาดไมครอนโดยการแกะแผ่นซิลิกอน โครงสร้าง 2 มิติขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นโดยการใช้การฉายแสงไปบนแผ่นกระจกสร้างรูปแบบ(photolithographic mask) หลายๆครั้ง แม้ว่าสามารถนำวิธีการสร้างเครื่องกลซิลิกอนขนาดเล็กมากมาใช้เซนเซอร์ทางความร้อนนี้ได้เกือบทุกชนิด แต่มีเซนเซอร์นี้บางชนิดเป็น bolometer ที่มีขนาดเล็กมาก(“micro bolometer”) มีการเปิดตัว Bolometer นี้ที่มีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพโดย Langley เมื่อปี 1882 เป็นการนำเซนเซอร์ทางความร้อนที่ใช้ตัวต้านทานที่ขึ้นกับความร้อนติดเข้ากับชุดดุกกลรังสีอินฟราเรดเพื่อตรวจจับสัญญาณทางอุณหภูมิ ในการตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้า เราให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานชนิดฟิล์มบางที่อยู่บนแผ่นดุกรังสีอินฟราเรด เพื่อสร้างสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับการแผ่รังสีอินฟราเรดนี้ ภาพด้านล่างแสดงโครงสร้าง micro bolometer ที่ให้ความไวในการสร้างภาพอินฟราเรดที่นำมาใช้งานได้ที่อุณหภูมิห้อง การที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องทำความเย็น รวมถึงราคาในการผลิตที่ต่ำ โดยใช้เทคนิคการผลิตซิลิกอนที่มีอยู่ เป็นข้อดีหลัก 2 ตัวแปรที่ทำให้โครงสร้าง micro bolometer น่าสนใจ

4.4.2 การออกแบบและการผลิต micro machined micro bolometer

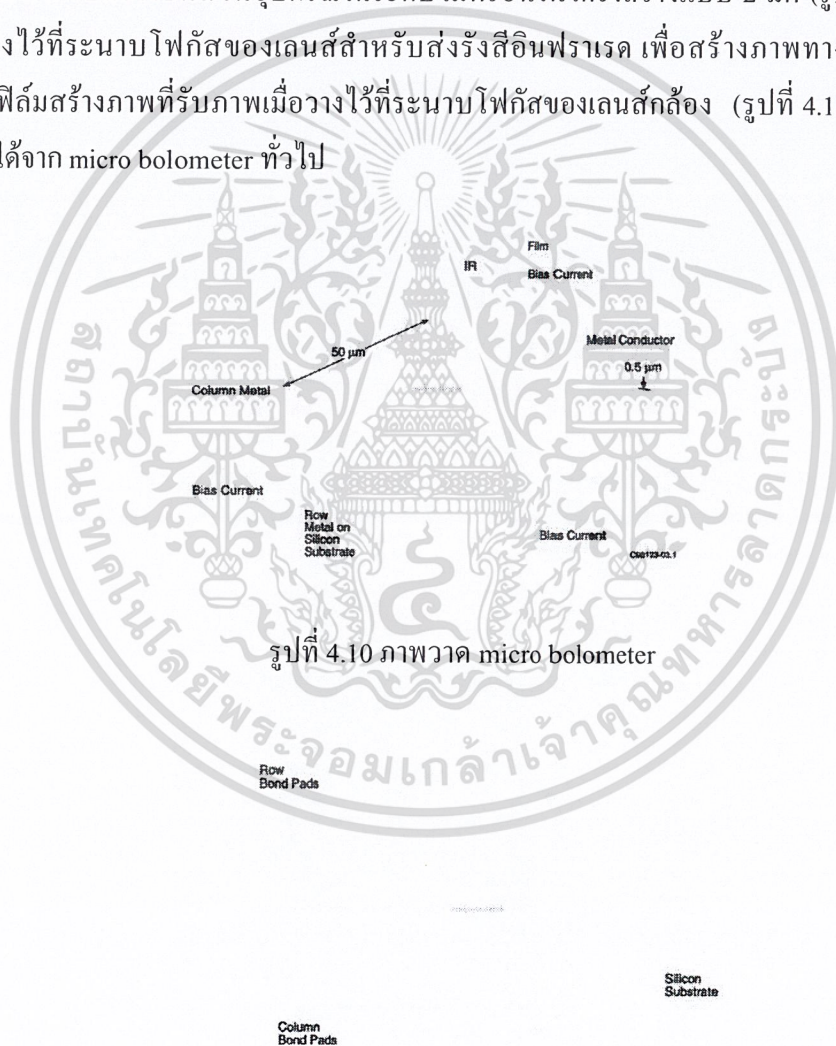
คุณสมบัติที่เป็นที่ต้องการทั้งหมด ที่แสดงไว้ข้างต้น(มวลทางความร้อนต่ำ สภาพจนวนทางความร้อนสูง ขนาดเล็ก เซ็นเซอร์จำนวนมาก แสดงสัญญาณทางไฟฟ้าได้ดี และอื่นๆ) นั้นอยู่ในระดับที่เป็นที่ต้องการ โดยใช้ “micro machining” จากซิลิกอน ทั้งหมดสร้างโครงสร้างคล้ายสะพานแขวนขนาดไมครอนขึ้น (“micro bridges”) บนแผ่นซิลิกอน Micromachining นั้นสร้างขึ้นได้โดยอาศัยเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ และในขณะนี้เอง micromachining เป็นสาขาเทคโนโลยีที่กว้าง ซึ่งจะไม่นำมาอธิบายในที่นี้เนื่องจากมีเนื้อหาเยอะ แต่จะนำเทคนิคเครื่องจักรกลขนาดไมครอน และวัสดุที่มักนำมาใช้กันในการสร้างโครงสร้าง micro bolometer นี้เท่านั้นมาอธิบาย



รูปที่ 4.9 แสดงภาพวาด micro bolometer ขนาดไมครอนทั่วไป ประกอบด้วยแผ่นซิลิกอนไนไตรด์

รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 35 ไมครอน มีคุณสมบัติ แข็ง และเป็นจนวนทางไฟฟ้า อยู่บนซิลิกอน ซึ่งมีวงจรอ่านสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์อยู่ด้วย แผ่นซิลิกอนไนไตรด์นี้ถูกรองรับให้อยู่เหนือวัสดุตั้งต้น โดย “ขา” เล็กๆที่ยาวของซิลิกอนไนไตรด์ ที่มีตัวนำเป็นฟิล์มโลหะบางระหว่างแผ่นและฐานนี้อยู่ ความหนาของแผ่นซิลิกอนไนไตรด์ที่ลอยอยู่และขาซิลิกอนไนไตรด์นี้โดยทั่วไปแล้วคือ 2.5 ไมครอน เซลล์เดี่ยวนี้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาด 50 ไมครอน และแผ่นบางนี้กินเนื้อที่ประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่เซลล์เดี่ยวนี้ ฟิล์มบาง (โดยทั่วไปมีขนาด 0.05 ไมครอน) ของสารที่เป็นตัวต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานทางความร้อนสูง ($TCR, \epsilon = dR / RdT$) นี้จะปลูกลงบนแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้ และบนชั้นโลหะฟิล์มบางที่ปลูกลงมารองรับเหล่านี้ให้ขั้วทางไฟฟ้าแก่ชั้นซิลิกอนที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งประกอบด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการวัด micro bridge สำหรับดูดกลืนรังสีอินฟราเรดนั้น

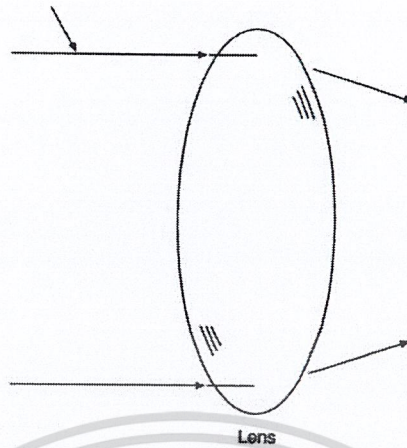
จะเพิ่มสมรรถนะการทำงาน โดยตัวสะท้อนที่เป็นชั้น โลหะฟิล์มบางที่ปลูกบนชั้นซิลิกอนที่อยู่ใต้แผ่นแยกอีกที ขารองรับเหล่านี้ทำให้มีความกว้างน้อยมาก(โดยทั่วไปแล้วคือ 3 ไมครอน) และโลหะที่ทำหน้าที่นำความร้อนนี้มีความหนาแน่นน้อยมาก(โดยทั่วไปคือ 0.05 ไมครอน) เพื่อให้นำความร้อนตามแนวขาไปยังฐานรองรับหลักให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สุดท้าย พื้นที่เซลล์เดี่ยวของ โครงสร้างนี้(แผ่นรองรับ ขา และช่องว่างระหว่างเซ็นเซอร์ที่ติดกันแคบๆ) ในรูปที่ 2 นั้นโดยทั่วไปแล้วเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50 ไมครอน อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของแผ่น bolometer และพื้นที่เซลล์เดี่ยวนี้เรียกว่า “fill factor” ของ bolometer โดยทั่วไปแล้วมีค่าระหว่าง 50-75% เซลล์เดี่ยวเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วสร้างโดยเครื่องจักรสำหรับสร้างชิ้นส่วนอุปกรณ์ในระดับไมครอนในโครงสร้างแบบ 2 มิติ (รูปที่ 4.10) ซึ่งอาจนำมาวางไว้ที่ระนาบโฟกัสของเลนส์สำหรับส่งรังสีอินฟราเรด เพื่อสร้างภาพทางอินฟราเรด เช่นเดียวกับฟิล์มสร้างภาพที่รับภาพเมื่อวางไว้ที่ระนาบโฟกัสของเลนส์กล้อง (รูปที่ 4.11) รูปที่ 4.12 แสดงภาพที่ได้จาก micro bolometer ทั่วไป



รูปที่ 4.10 ภาพวาด micro bolometer

รูปที่ 4.11 ภาพ Array ของ micro bolometer ชนิด 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การใช้ Array ชนิด 2 มิติ สำหรับระบบสร้างภาพ

4.4.3 สารที่เป็นตัวต้านทานที่ไวต่ออุณหภูมิจาก Micro bolometer

โลหะแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นพาหะกับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย แต่ mobility ของตัวพาหะอิสระนั้นลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ให้ค่า α ที่เป็นค่าบวกต่ำ โดยทั่วไปแล้วมีค่าประมาณ $0.002 K^{-1}$ โดยทั่วไปแล้วค่า α ของฟิล์มโลหะนั้นมักเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ กับอุณหภูมิ T ดังนั้นโลหะที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง (T_s), สามารถแสดงค่า $R(T)$ ได้โดยสมการที่ (1) ดังนี้

$$R(T) = R(T_s)(1 + \alpha(T - T_s)) \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

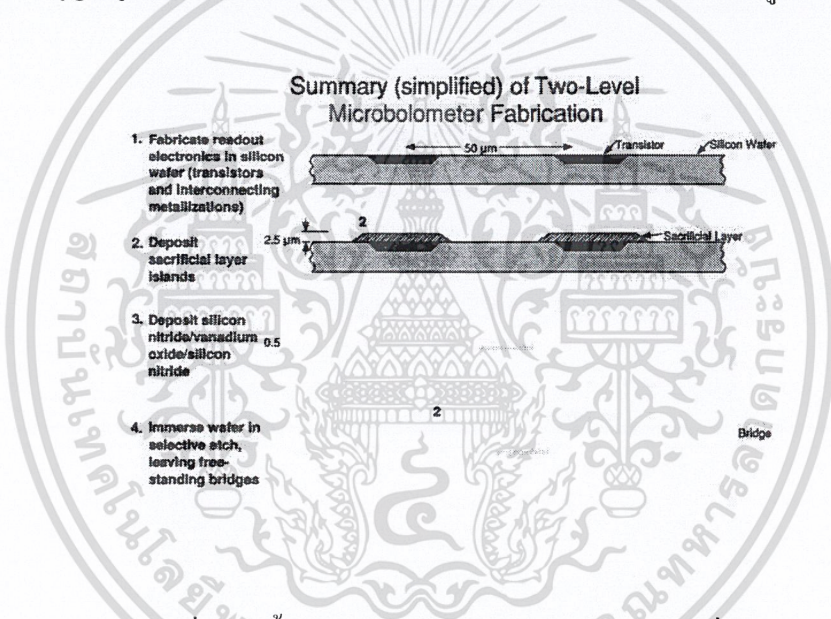
สารกึ่งตัวนำมีความหนาแน่นตัวพาหะที่เป็นประจุเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่า mobilities ของตัวนำที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ให้ค่า α ที่เป็นลบและไวกับอุณหภูมิมากขึ้นอย่างมาก พฤติกรรมของ $R(T)$ สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ความหนาแน่นของตัวนำที่มีประจุเคลื่อนที่โดยทั่วไปแล้วสามารถควบคุมได้โดยการกระตุ้นทางความร้อนในช่วงพลังงานแถบ E_g ดังนี้

$$R(T) \propto \exp\left(\frac{E_g}{2k_bT}\right) \text{ i.e., } \alpha = \left(\frac{dR}{RdT}\right) = -E_g/2k_bT^2 \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

ฟิล์มบาง(โดยทั่วไปหนา 500 \AA) นั้นเป็นสารผสมระหว่าง vanadium oxides (VO_2) นั้นโดยทั่วไปใช้เป็นตัวต้านทาน micro bolometer เนื่องจากพบว่าออกไซด์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ นั้นสามารถปลูกได้บนฟิล์มบางและเป็นตัวต้านทานที่ดี ให้ค่า α ประมาณ $-0.002 K^{-1}$ ที่ $25^\circ C$ ซึ่งเป็น 5 ถึง 10 เท่าของค่า α สำหรับโลหะเกือบทั้งหมด

4.4.4 ขั้นตอนของ Micro bolometer Micro machining

รูปที่ 4.13 แสดงขั้นตอนการผลิต micro machining สำหรับ micro bolometer array ทั่วไป(ยังมีขบวนการการสร้าง micro machining ที่แตกต่างกันอีกจำนวนมาก) ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติโลหะทั่วไปที่ใช้ในการสร้างนี้ การสร้างนั้นเริ่มจากการสร้างวงจรถงอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแสดงผลและโลหะที่เป็นตัวนำในแผ่นซิลิกอน แผ่นนี้ได้รับการเคลือบโดยวัสดุเช่น polyimide ที่ฉีกลงบนซิลิกอนและสร้างรูปแบบต่างๆ โดยใช้หลักการทางแสงได้ ชั้นของซิลิกอนไนไตรด์นั้นจะสร้างชั้นบน sacrificial mesa พร้อมกับตัวต้านทานที่เป็น vanadium oxide และ nickel chromium หนา 500 \AA เพื่อเชื่อมต่อโลหะเหล่านี้ ชั้นสุดท้าย sacrificial mesas จะถูกกำจัดออกไปโดยวิธีการกัดโดยการเลือก เช่น การกัดโดย oxygen plasma เพื่อให้เหลือโครงสร้าง 2 ระดับที่รองรับตัวเอง คล้ายรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการสร้าง micro bolometer array ทั่วไป

4.4.5 ตัวแปรสำหรับ micro bolometer ทั่วไป

แผ่นค้ำ (micro bridge) คือแผ่นซิลิกอนไนไตรด์ขนาดประมาณ $25 \mu\text{m} \times 45 \mu\text{m} \times 0.8 \mu\text{m}$ ซึ่งเหนือฐานซิลิกอน โดยมีช่องว่างระหว่าง micro bridge และซิลิกอนประมาณ 2.5 ไมครอน ตัวค้ำนี้คือชั้นของ vanadium oxide ความหนา 500 \AA มีค่า α เท่ากับ -0.002 K^{-1} ที่ 25°C ประกบระหว่างชั้นฉนวนซิลิกอนไนไตรด์บนและล่าง ขาค้ำทั้งสองคือซิลิกอนไนไตรด์กว้างประมาณ 2 ไมครอน และยาว 48 ไมครอน พร้อมฟิล์มนำความร้อน Ni:Cr หนา 500 \AA

โดยใช้ตัวแปรสารตามตารางที่ 4.8 เราสามารถคำนวณหาความจุทางความร้อนของ micro bridge นี้ หรือ c ได้เท่ากับ $2.1JK^{-1}$ และสภาพนำทางความร้อนของขารวม หรือ g (2 ขา) มีค่าเป็น $1.4WK^{-1}$ เวลาการตอบสนองทางความร้อน(exponential) ของ micro bolometer นี้จึงมีค่าเท่ากับ $\tau = c/g = 15ms$ เช่นเดียวกัน เราสามารถคำนวณตัวแปรอื่นสำหรับเซลล์เดี่ยวของ micro bolometer นี้ได้ ค่าเฉพาะเหล่านี้แสดงในตารางที่ 4.9 เพื่อให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตารางที่ 4.9 ยังรวมค่าตัวแปรของ micro bolometer เฉพาะ ที่ยังไม่อธิบาย แต่จะกล่าวถึงในภายหลัง

ตารางที่ 4.8 สารที่ใช้สร้าง micro bolometer ทั่วไปพร้อมค่าตัวแปรต่างๆ

Material	Density ($g\ cm^{-3}$)	Thermal conductivity ($W\ cm^{-1}\ K^{-1}$)	Specific heat ($J\ cm^{-3}\ K^{-1}$)	α (K^{-1})	Electrical conductivity ($\Omega\ cm^{-1}$)
Silicon nitride	3.2	0.0185	2.3	N/A	N/A
Nickel-chromium	8.5	0.05	3.3	+0.0028	5×10^4
Vanadium oxide	4.6	0.05	3.0	-0.02	10

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับ micro bolometer เฉพาะ ส่วนบนของตารางแสดงค่าตัวแปรเฉพาะของเซลล์เดี่ยวของ micro bolometer 1 ตัว ส่วนด้านล่างของตารางแสดงตัวแปรเฉพาะของโครงสร้าง 2 มิติและเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์นี้ที่ใช้กับกล้องอินฟราเรดทั่วไป ค่าเฉพาะเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการคำนวณทางตัวเลขในบทนี้

ตารางที่ 4.9 ค่าตัวแปรของ micro bolometer ทั่วไป ส่วนบนของตารางแสดงค่าตัวแปรทั่วไป

Applied bias voltage (pulsed)	V_b	1 V
Bias current (V_b/R_b)	I_b	20 μA
Bias voltage pulse time	T_p	65 μs
Frametime	T_f	33 ms (30 Hz framerate)
Upper bandwidth limit	f_2	7.7 kHz
Lower bandwidth limit	f_1	0.0001 Hz
Optical f number	F_n	1.0
Range of infrared wavelengths transmitted by lens	λ_2, λ_1	12 μm to 8 μm
Number of rows in array	M	240
Number of columns in array	N	320
Temperature of microbolometer	T_b	300 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าตัวแปรของ micro bolometer ทั่วไป ส่วนบนของตารางแสดงค่าตัวแปรทั่วไป(ต่อ)

Parameter	Symbol	Typical value
Area of unit cell	A_c	$2.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ (50 μm square)
Fill factor of unit cell	F_f	0.5
IR-absorbing (microbridge) area	$A = F_f A_c$	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
Mass of microbridge	m	$2.3 \times 10^{-9} \text{ g}$
Thermal capacity of microbridge	c	$2.1 \times 10^{-9} \text{ J K}^{-1}$
Thermal conductance of supporting legs	g	$1.4 \times 10^{-7} \text{ W K}^{-1}$
Thermal time constant of bolometer (c/g)	τ	15 ms
Infrared absorption of microbridge	ϵ	0.8
Resistance of temperature-sensitive resistor	R_b	50 k Ω at 300 K
TCR of temperature-sensitive resistor	α	-0.02 K^{-1}
$1/f$ noise parameter of temperature-sensitive resistor	k	$1 \times 10^{-13} \text{ s}^{-1}$
	κ	$5 \times 10^{-24} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$

สำหรับเซลล์เดี่ยวของ micro bolometer ส่วนด้านล่างของตาราง แสดงค่าตัวแปรทั่วไปสำหรับ Array แบบ 2 มิติ และเงื่อนไขในการทำงานของ Array ที่ใช้กับกล้องอินฟราเรดทั่วไป ค่าเหล่านี้ นำมาใช้ในการคำนวณทางตัวเลขในบทนี้

4.4.6 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดใน Micro bolometer

การใช้ช่องว่างสุญญากาศประมาณ 2.5 ไมครอนร่วมกับชั้นสะท้อนที่เป็นฟิล์มโลหะบางบนฐานสารเริ่มต้น ให้ค่า resonant optical cavity สำหรับความยาวคลื่นเข้าใกล้ 10 ไมครอน เป็น “1/4wave” การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของโครงสร้างแบบหลายชั้นนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่แปลงมาจากวิธีที่ใช้สำหรับตัวกรอง interference ชนิดหลายชั้นที่เป็นสารไดอิเล็กตริก และค่าการดูดกลืนทั่วไปใน micro bridge เองนั้นมีค่าประมาณ 80% ในแถบความยาวคลื่น 8-12 ไมครอน

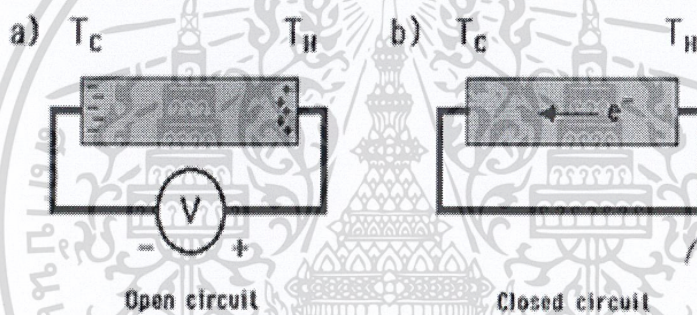
4.5 ปฏิกิริยา Peltier Effect

4.5.1 ปฏิกิริยาเทอร์โมอิเล็กทริก

คือ ปฏิกิริยาพื้นฐานทางการผันไฟฟ้าจากความร้อน มีอยู่ด้วยกันดังนี้คือ ปฏิกิริยาซีเบค (Seebeck effect) ปฏิกิริยาเพลทีเยอร์ (Peltier effect) ทั้งสองปฏิกิริยานี้ มีรากฐานอยู่ที่ การผันความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรืออาจผันไฟฟ้าไปเป็นความร้อน

1. ปฏิกิริยาซีเบค (Seebeck effect)

ในปี 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน กล่าวว่า “ เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด ”



รูปที่ 4.14 แสดงความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า

ปฏิกิริยาซีเบคเป็นปฏิกิริยาที่มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนเป็นไฟฟ้ามีความสำคัญทางกายภาพของมันสามารถเห็นได้โดยการพิจารณาปฏิกิริยาของการบังคับเคลื่อนที่ของอนุภาคสมมติให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งในตอนเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้เกรเดียนต์อุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระต่าง ๆ ที่ปลายด้านร้อน (Hot end) จะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น (Cold end) และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปปลายด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back electromotive force หรือ back e.m.f) ซึ่งตรงกันข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบค (Seebeck voltage)

สำหรับสมการของ Seebeck effect ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\Delta V = \alpha \Delta T \quad (\text{สมการที่ 4.3})$$

ซึ่งสมการที่ 4.3 สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าและ Gradient ของอุณหภูมิได้ว่า

$$\vec{E} = \alpha \nabla T \quad (\text{สมการที่ 4.4})$$

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า, V

E = เวกเตอร์สนามไฟฟ้า, V/m

α = สัมประสิทธิ์ซีเบค, V/K

T = อุณหภูมิ, K

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ไม่เท่ากับศูนย์จะเป็นวัสดุ thermoelectric และจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ เช่น ในกรณีของสารกึ่งตัวนำ N-type จะมี seebeck coefficient เป็นลบ แต่ P-type จะมี seebeck coefficient เป็นบวก เป็นต้น

2. ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect)

ในปี 1834 ยีน เพลทีเยอร์ ชาลส์ อะธานาส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส กล่าวว่า “ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้า ”

ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์เป็นปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งคู่กันกับปรากฏการณ์ซีเบค และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of reversible heat absorption , Q) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านกระแสไฟฟ้า (I) ผ่านรอยต่อ คือ

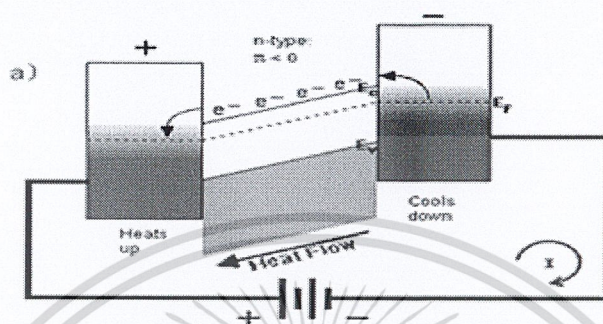
$$Q = \pi_{ab} I \quad (\text{สมการที่ 4.5})$$

โดยที่ π คือ สัมประสิทธิ์ของเพลทีเยอร์ของรอยต่อ หาได้จาก

$$\pi = \alpha T \quad (\text{สมการที่ 4.6})$$

$\pi < 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ของเพลทีเยอร์เป็นลบ

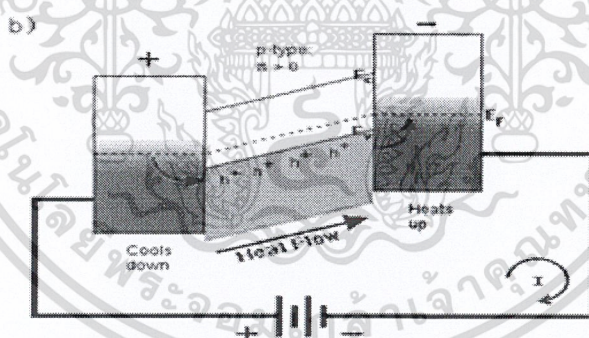
อิเล็กตรอนของอะตอมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากขั้วมาซ้าย การไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้ามีทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า

$\pi > 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลทีเยอร์เป็นบวก

หลุมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากซ้ายมาขวา การไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า โลหะชนิด p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

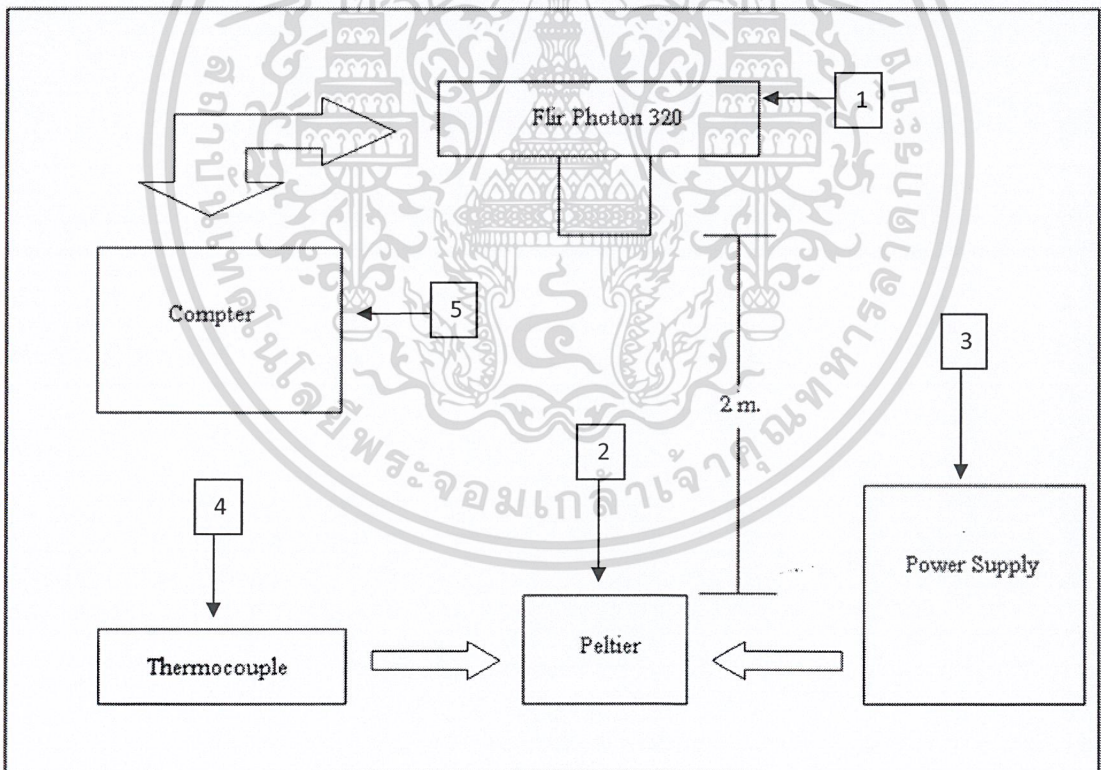
บทที่ 5

การทดลอง

5.1 การสร้างระบบความร้อน เพื่อ ปรับเทียบ (Calibration) การวัดอุณหภูมิ

เนื่องจากกล้อง Flir photon 320 ไม่มีอุณหภูมิอ้างอิงในการบอกอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ โดยตัวกล้องจะบอกเฉพาะค่าความเข้มของแสง (เฉดสี) โดยบอกเฉพาะค่าระดับความต่างของอุณหภูมิ ซึ่งทำให้ไม่สามารถรู้ค่าอุณหภูมิที่แท้จริงที่ได้จากกล้อง จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะทำให้กล้องสามารถวัดค่าและบอกค่าอุณหภูมิที่แท้จริงโดยทำการปรับเทียบกับค่าความเข้มแสง (เฉดสี) ที่ได้จากกล้อง

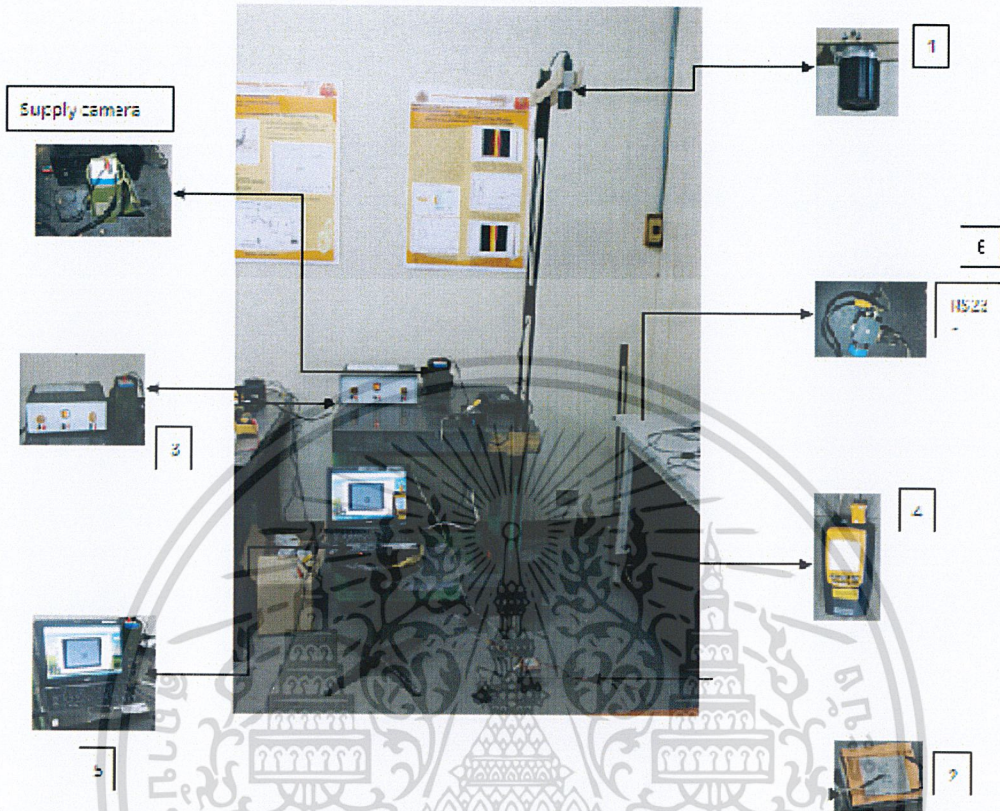
Block Diagram ของระบบความร้อนเพื่อการปรับเทียบการวัดอุณหภูมิ (calibration)



รูปที่ 5.1 ภาพแสดง Block Diagram ของระบบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพจริงของระบบความร้อนเพื่อการเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิ



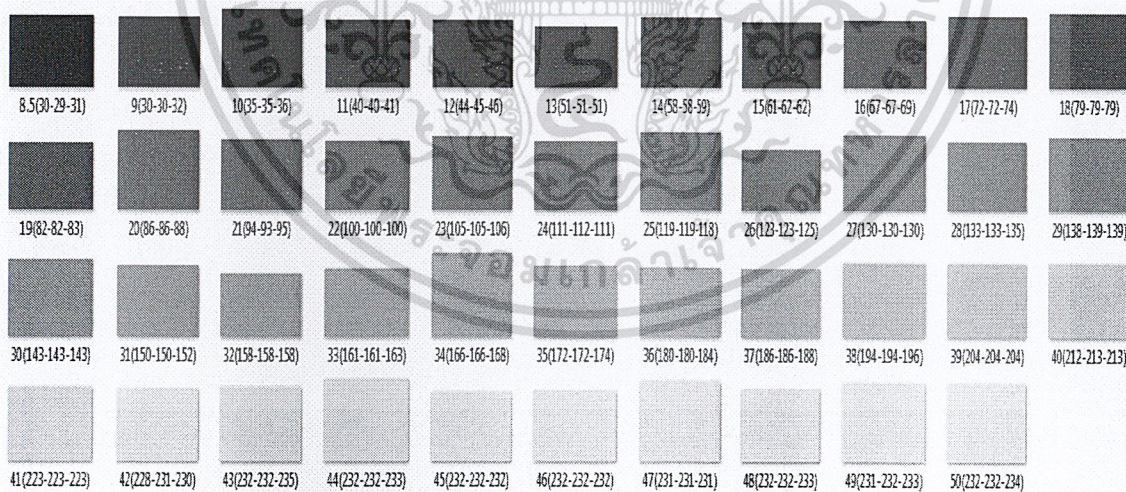
รูปที่ 5.2 ภาพจริงของระบบรวม

1. กล้อง Flir photon 320 camera เป็นกล้องที่ใช้ตรวจจับความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรด ขนาด 50 mm (14°HFOV) only available for Photon 320 โดย input power rang 5.0-24.0 VDC ทำหน้าที่ตรวจวัดรังสีความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆซึ่งจะได้ภาพออกมาเป็นแคดสีต่างๆ
2. Peltier แผ่นเพเวเทียเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและเย็นของอุณหภูมิอ้างอิง โดยทำการไบอัสกระแสให้กับแผ่นเพเวเทียเพื่อให้ได้ความร้อนและเย็นตามต้องการ
3. Power Supply เป็นแหล่งจ่ายกระแสให้กับกล้อง และแผ่นเพเวเทีย โดยกล้องใช้ความต่างศักย์ 12 VDC และแผ่นเพเวเทียจะปรับค่ากระแสและความต่างศักย์เพื่อให้ได้อุณหภูมิมาตรฐานตามต้องการ

4. Thermocouple เป็น เครื่องวัดอุณหภูมิความร้อน $0.1\% \text{ reading} + 1^{\circ}\text{C}/2^{\circ}\text{F}$ โดยในการทดลองจะใช้ Thermocouple ชนิด type k ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิที่หน้าผิวสัมผัสของแผ่นเพวเทีย โดยปลายสายของ Thermocouple จะวัดอุณหภูมิความร้อนที่กึ่งกลางผิวเพวเทีย
5. Computer ใช้เป็นตัวป้อนคำสั่งให้กล้องและเก็บผลจากกล้อง Flir photon 320 โดยภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมจะใช้ C++ builder6 เพื่อเป็นคำสั่งควบคุมกล้องและใช้เขียนเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ
6. RS232 เป็นตัวรับและส่งข้อมูลระหว่างกล้อง Flir photon 320 กับ Computer

5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงจากกล้อง Flir photon 320 กับอุณหภูมิ

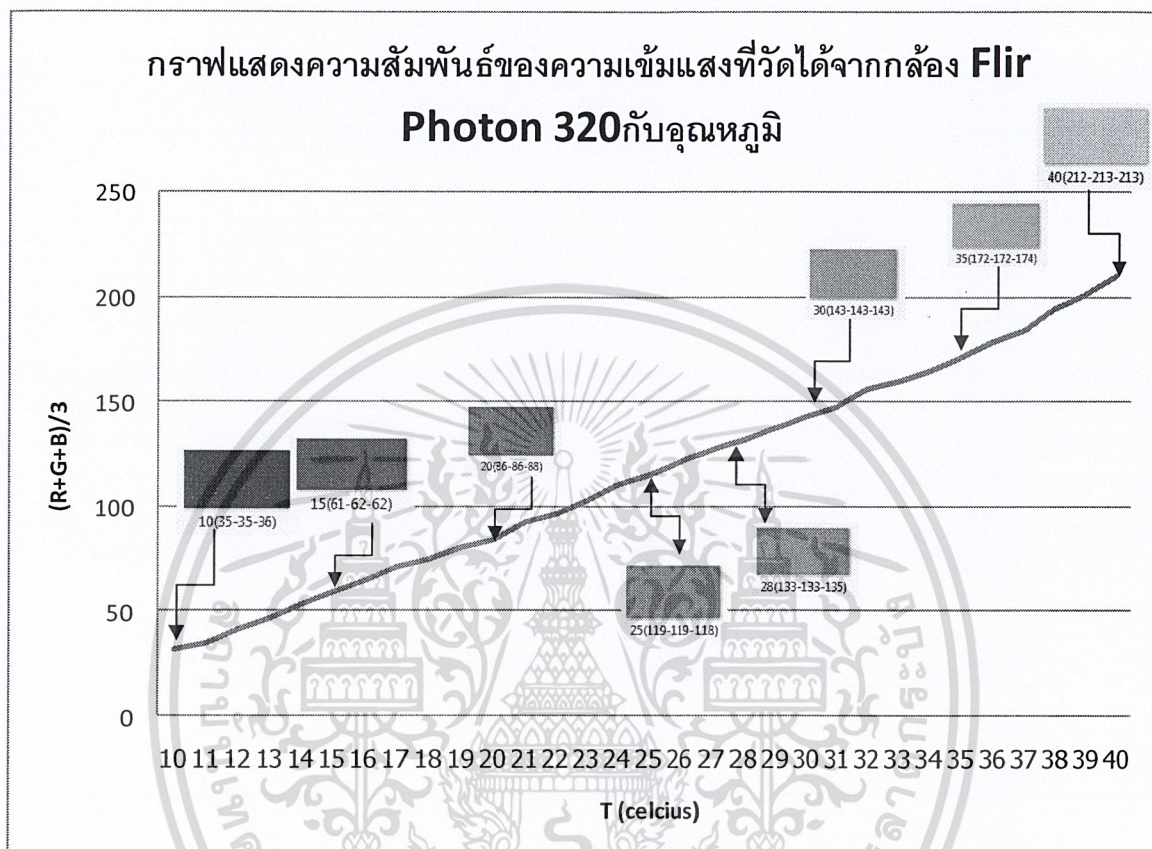
เมื่อทำการสร้างระบบปรับเทียบ (calibration) อุณหภูมิ โดยจุดโฟกัสของกล้องจะอยู่ในช่วงระยะ 2 เมตร โดยทำการไปอังกระแสให้กับแผ่นเพวเทีย แล้วทำการตรวจวัดอุณหภูมิด้วย Thermocouple ที่บริเวณกึ่งกลางของผิวเพวเทีย พร้อมกับใช้กล้อง Flir photon 320 จับภาพไปยังแผ่นเพวเทีย โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพวเทียกับหน้าเลนส์ของกล้องจะห่างกันตามระยะโฟกัสของกล้องคือ 2 เมตร แล้วทำการบันทึกภาพเจดสีของแต่ละอุณหภูมิเพื่อนำมาปรับเทียบกับอุณหภูมิที่วัดได้จาก Thermocouple ซึ่งจะได้อาพของเจดสีต่างๆปรับเทียบกับอุณหภูมิดังนี้



รูปที่ 5.3 แสดงเจดสีที่ได้จากกล้องเมื่อปรับเทียบกับอุณหภูมิของ Thermocouple ชนิด type k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

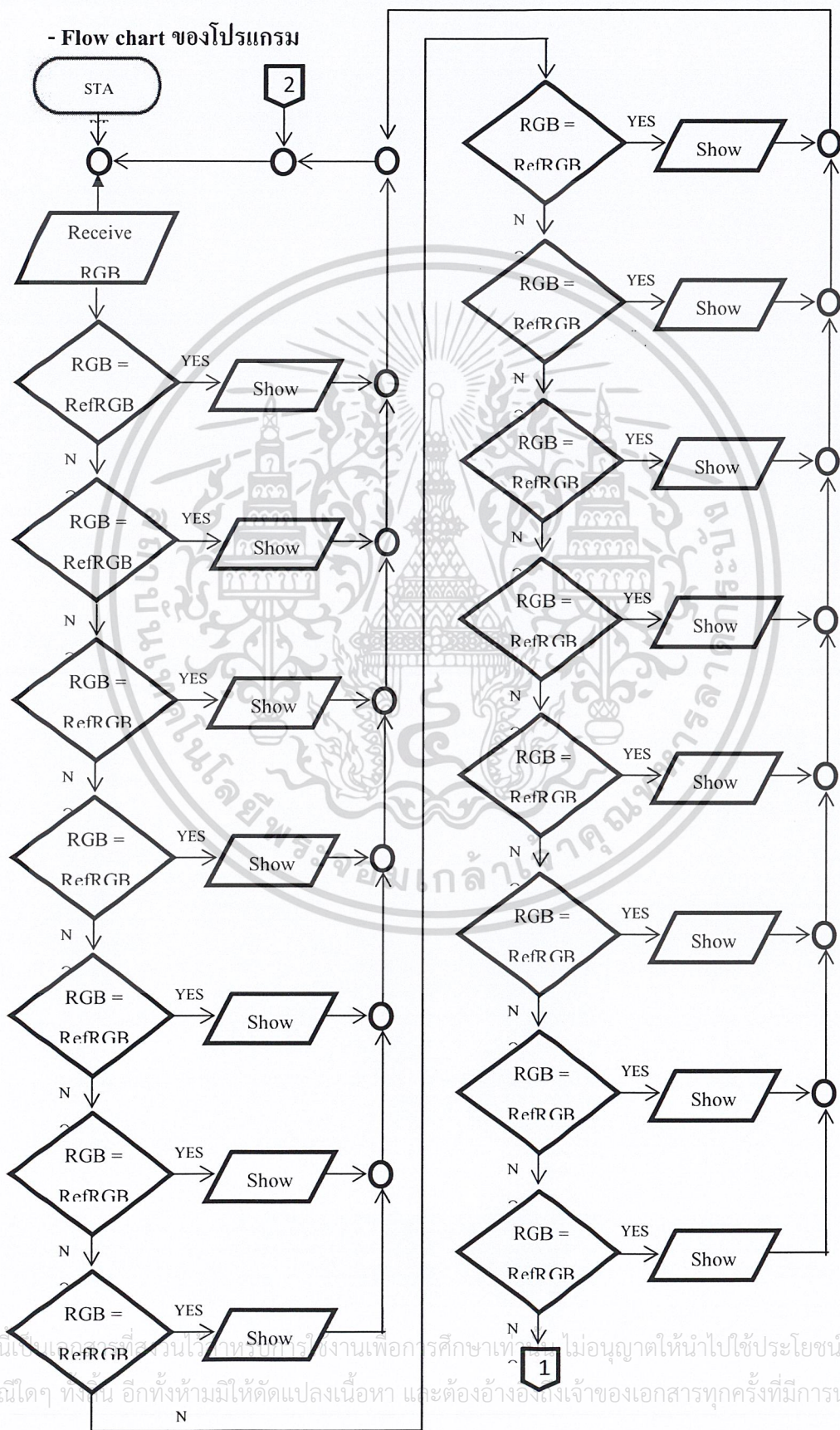
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่วัดได้จากกล้อง Flir Photon 320 กับช่วงอุณหภูมิที่ต้องการศึกษาและนำไปเปรียบเทียบ



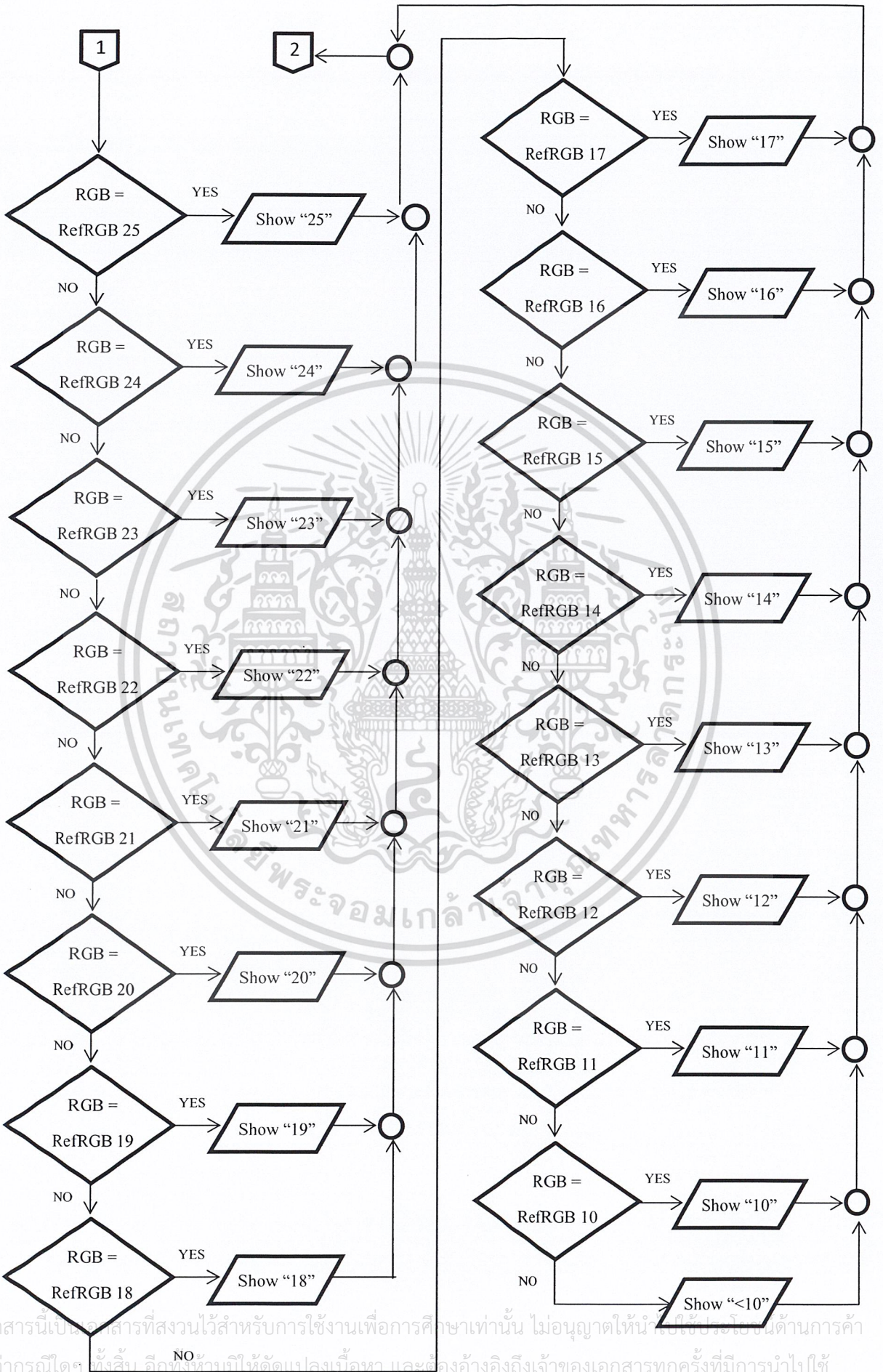
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่วัดได้จากกล้อง Flir Photon 320 กับอุณหภูมิของ Thermocouple type k

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่วัดได้จากกล้อง Flir Photon 320 กับอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มของแสงน้อยจะได้เจดสีเป็นสีดำ โดยแสดงค่าเป็นอุณหภูมิต่ำ ส่วนเมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นจะได้เจดสีที่แตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากการแผ่ของรังสีความร้อนที่มีความเข้มแสงแตกต่างกัน ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า เจดสีขาวจะเป็นเจดสีที่มีความเข้มของแสงมากที่สุดซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

5.3 การวัดอุณหภูมิด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จาก Thermocouple type k

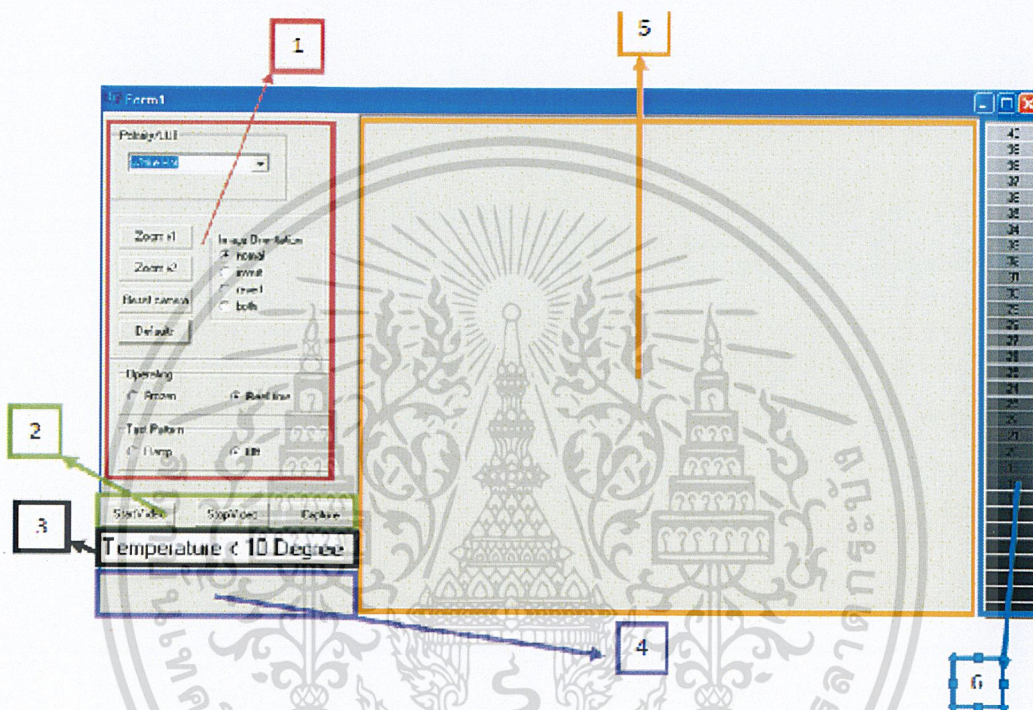


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งหน้าที่ให้จัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปก่อนหน้าแสดง Flow Chart ของโปรแกรม เมื่อได้เจดีย์ต่างๆที่ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิกับ Thermocouple type k แล้ว จึงนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้นำมาทำการเขียน โปรแกรมตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนและทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของกล้อง Flir photon 320 โดยใช้ภาษา C++ builder6 เมื่อทำการเขียน code ต่างๆเสร็จแล้วจะได้โปรแกรมหุ่นที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดง โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อวัดอุณหภูมิ

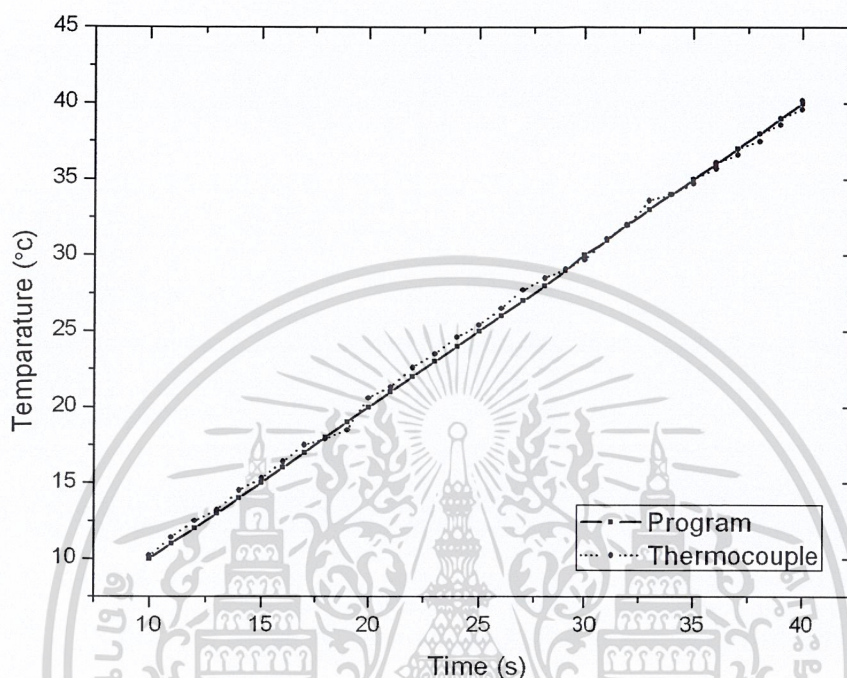
จากนั้นทำการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนด้วย Thermocouple type k โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิควบคู่กับ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าอุณหภูมิที่วัดได้เมื่อการวัดด้วยโปรแกรมและ Thermocouple type k แล้วจะได้ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงอุณหภูมิที่วัดได้จาก Program กับ Thermocouple

อุณหภูมิของ Program (C)	อุณหภูมิของ Thermocouple (C)
40	40.2
40	39.6
39	39.0
39	38.6
38	38.0
38	37.5
37	37.0
37	36.6
36	36.1
36	35.7
35	35.0
35	34.7
34	34.0
33	33.6
32	32.0
31	31.1
30	29.7
29	29.1
28	28.5
27	27.4
26	26.5
25	25.4
24	24.6
23	23.5
22	22.6
21	21.3
20	20.6
19	18.6
18	17.9
17	17.5
16	16.4
15	15.3
14	14.5
13	13.2
12	12.5
11	11.4
10	10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าต่างๆที่วัดได้มา พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ของ Program กับ Thermocouple type k จะได้ดังกราฟ

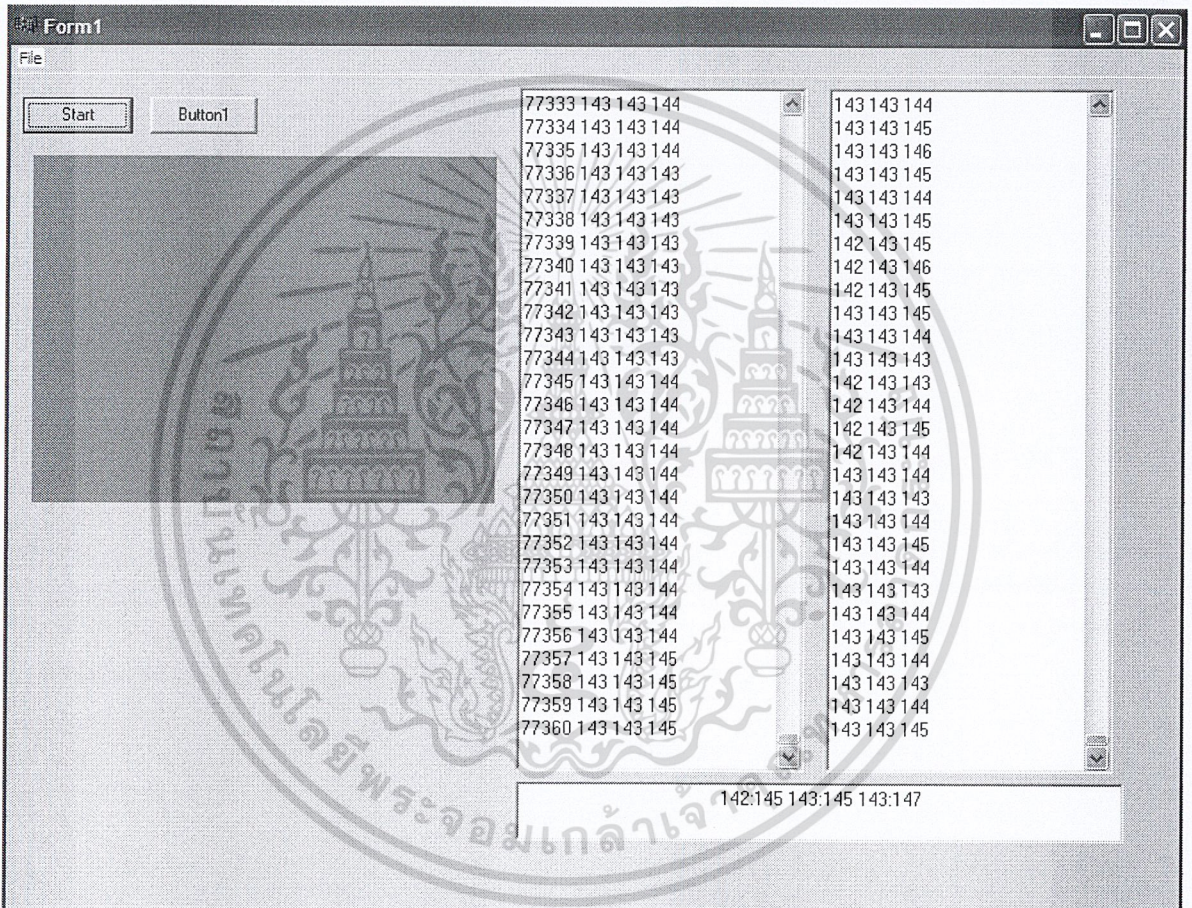


รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ของ Program กับ Thermocouple type k

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ ระหว่างการใช้ Program ที่พัฒนาขึ้น กับ Thermocouple type k มีค่าอุณหภูมิที่วัดได้ใกล้เคียงกัน โดยการวัดด้วย Program จะมีความเร็วในการวัดเร็วกว่า Thermocouple และมีความเที่ยงตรงกว่า เนื่องจาก Thermocouple มีความผิดพลาดในตัวอุปกรณ์ ประมาณ $\pm 0.1\% \text{ reading} + 1^{\circ}\text{C}/2^{\circ}\text{F}$

5.4 โปรแกรมตรวจวัดอุณหภูมิความร้อน

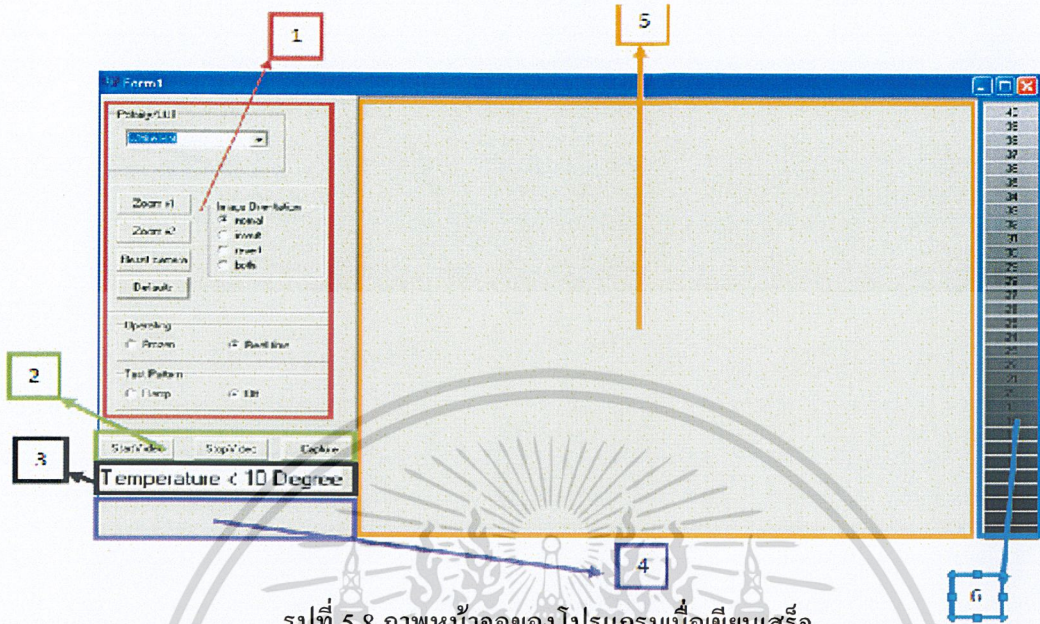
โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ใช้อ่านค่าสี RGB เพื่อนำค่าของ RGB แต่ละค่ามาทำการปรับเทียบค่าอุณหภูมิ กับ อุณหภูมิของ Thermocouple เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้ว จึงนำไปเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 5.7 โปรแกรมที่ใช้อ่านค่า RGB

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดอุณหภูมิความร้อน จะใช้ภาษา C++ builder6 ในการเขียน โดยนำข้อมูลและผลการทดลองต่างๆมาทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้วัดอุณหภูมิความร้อนในช่วง อุณหภูมิ 10 ถึง 40 องศาเซลเซียส โดยระยะโฟกัสของตัวกล้อง อยู่ที่ 2 เมตร เมื่อทำการเขียนโปรแกรมทั้งหมดแล้ว จะได้โปรแกรมดังรูป

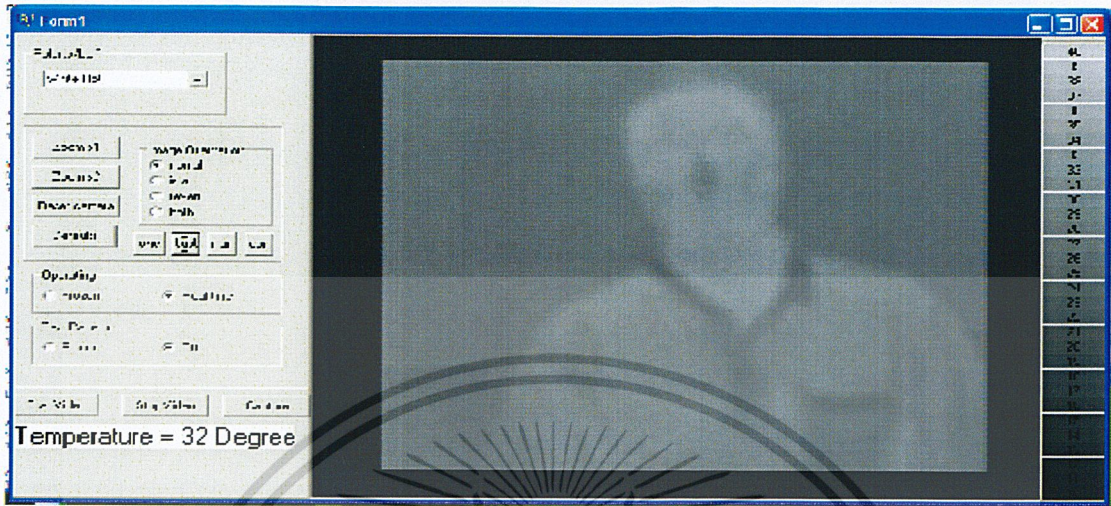
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ภาพหน้าจอของโปรแกรมเมื่อเขียนเสร็จ

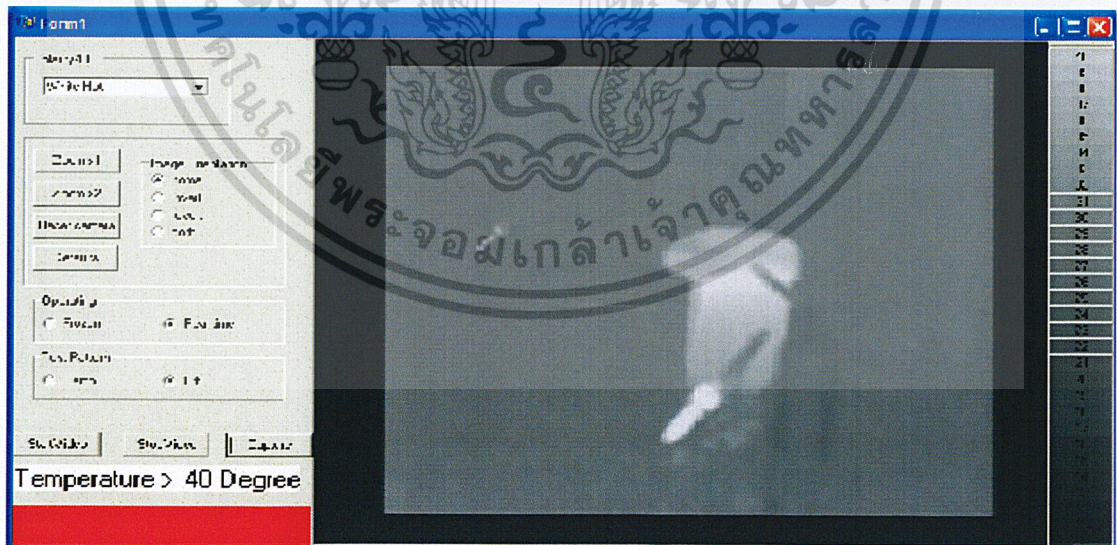
1. ปุ่มควบคุมกล้องพื้นฐาน
2. ปุ่มสั่งให้โปรแกรมรับค่าจากกล้อง และปุ่มถ่ายภาพ
3. ส่วนแสดงอุณหภูมิที่วัด ได้จากการนำมาใส่ไปยังจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ
4. พื้นที่สีแดง มีไว้เพื่อเตือนเมื่ออุณหภูมิเกิน 40 องศาเซลเซียส
5. ส่วนแสดงภาพวิดีโอที่ต้องการวัดค่า
6. แถบสีอ้างอิงของอุณหภูมิ กับ สี

ภาพที่ตรวจวัดอุณหภูมิ



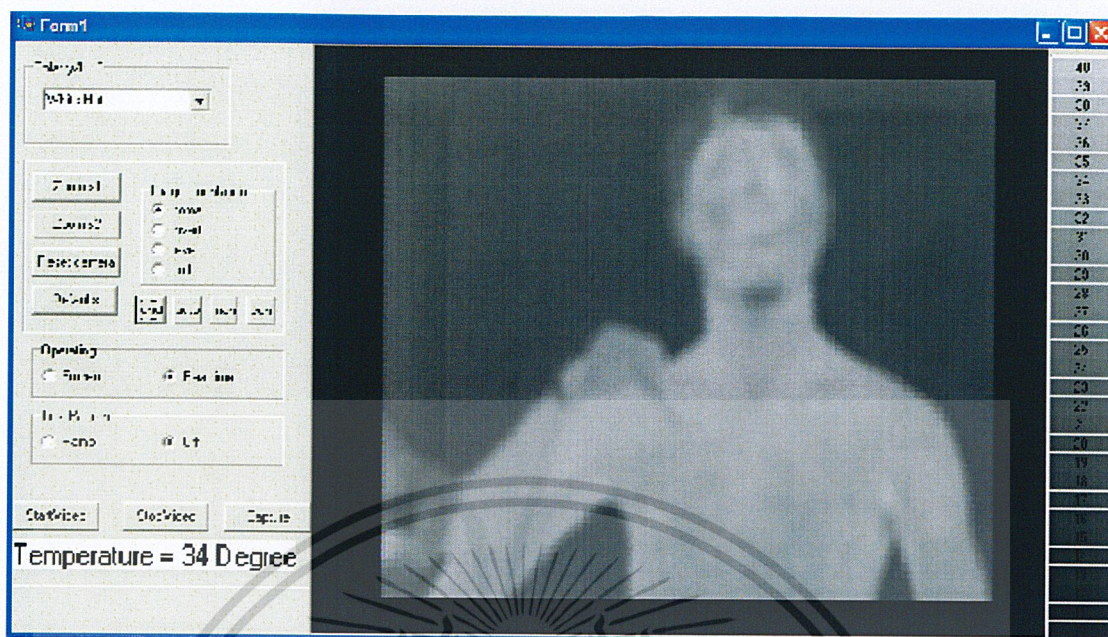
รูปที่ 5.9 ภาพที่ได้จากการตรวจวัดอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์

รูปที่ 5.9 เป็นรูปที่ได้จากการวัดอุณหภูมิด้วยกล้อง FLIR photon 320 โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นซึ่งได้ ค่าอุณหภูมิที่ได้ เป็นอุณหภูมิที่ cursor ซึ่งในตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิโดยสามารถ capture ภาพเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแถบสีแสดงอุณหภูมิทางค่านวามมือได้อีกด้วย



รูปที่ 5.10 ภาพที่ได้จากการวัดอุณหภูมิที่กระดิกน้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ภาพที่ได้จากผู้ที่ออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นเวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

6.1 ส่วนของระบบความร้อนเพื่อการปรับเทียบการวัดอุณหภูมิ (calibration)

ในส่วนของการทำระบบความร้อนเพื่อการปรับเทียบการวัดอุณหภูมิ (calibration) นี้จะใช้กล้องตรวจจับความร้อนด้วยแสงอินฟราเรดเป็นตัวจับภาพและทำการสร้างแหล่งอุณหภูมิอ้างอิงจากแผ่น peltier จากนั้นใช้ thermocouple ชนิด type k ทำการวัดค่าอุณหภูมิความร้อนที่ได้จากแผ่น peltier แล้วทำการเก็บค่าอุณหภูมิต่างๆรวมทั้งเก็บภาพความเข้มของแสงที่ได้จากกล้อง Flir photon 320 โดยภาพที่ได้จากการเก็บภาพความเข้มของแสงที่ได้จากกล้อง มีค่าของ แม่สีในระบบ RGB ที่มีความแตกต่างกัน ตามแต่ละอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยค่า RGB ที่วัดได้นี้สามารถนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสง(เจดสี)กับอุณหภูมิของ thermocouple ได้ โดยเจดสีจับภาพได้เป็นแบบ Gray scale คือ ค่าความเข้มของแสงที่มีค่าต่ำสุดคือ สีดำ ส่วนค่าความเข้มของแสงที่มีค่าสูงคือ สีขาว ส่วนค่าที่อยู่รูปแบบ Gray scale จะมีความเข้มของแสงที่มีความแตกต่างกัน

6.2 ส่วนของการพัฒนาโปรแกรม

เนื่องจากกล้อง Flir photon 320 ไม่มีส่วนที่บอกค่าอุณหภูมิอ้างอิง โดยตัวกล้องจะบอกเฉพาะค่าความต่างของอุณหภูมิ ซึ่งทำให้ไม่สามารถรู้ค่าอุณหภูมิที่แท้จริงที่ได้จากกล้อง จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะทำให้กล้องสามารถวัดค่าและบอกค่าอุณหภูมิที่แท้จริงโดยทำการปรับเทียบค่าความเข้มแสง (เจดสี) ที่ได้จากกล้อง เมื่อทำการเก็บผลข้อมูลจากข้างต้นแล้วนำมาเขียน code โปรแกรมโดยใช้ภาษา C++ builder6 โดยเริ่มแรกทำการเขียน code เพื่อทำการอ่านค่าความเข้มแสง ออกมาในรูปแบบ RGB แล้วทำการเก็บค่ารูปแบบสี RGB เพื่อนำไปเขียน code เพื่อปรับเทียบค่า RGB เพื่อให้ได้ช่วงอุณหภูมิกับเจดสีที่ตรงกัน ในส่วนของโปรแกรมการทำงานของโปรแกรมจะทำงานโดยใช้กล้องจับที่วัตถุแล้วภาพจะแสดงบนหน้าจอของโปรแกรม เมื่อนำ cursor ของเมาส์ไปชี้ยังตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิโดยที่ตำแหน่งของ cursor จะได้ค่าสีที่พิกเซลนั้นๆแล้วจึงนำค่าพิกเซลที่ได้ไปตรวจสอบเงื่อนไขกับค่าสี RGB ที่ได้จากการปรับเทียบอุณหภูมิโดยที่ถ้าอุณหภูมิเกิน 40 องศาเซลเซียส ให้แสดงแถบเตือนสีแดงขึ้นมา และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสจะแสดง temperature <10 Degree และ

เมื่อนำไปวัดอุณหภูมิร่างกายของมนุษย์สามารถทำการวัดอุณหภูมิได้โดยอุณหภูมิที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน 0.3- 0.7 องศาเซลเซียส

6.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากกล้อง Flir photon 320 มีการ saturate เฉดสีที่อุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียสจึงทำให้ไม่สามารถเก็บค่าความเข้มของแสงหรือค่า RGB ในช่วงอุณหภูมิที่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส เพราะค่า RGB ของเฉดสีบางค่ามีค่า RGB ที่ซ้ำกัน และเวลาทำการวัดอุณหภูมิในช่วงเวลานานๆกล้องจะทำการ caribration เอง จึงทำให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ผิดเพี้ยน รวมทั้งแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับตัวกล้องเมื่อกระแสไบอัสไม่ถึงกล้องจะไม่สามารถทำการตรวจจับภาพและวัดอุณหภูมิได้จึงต้องทำการชาร์จอยู่ตลอดเวลา ในส่วนของโปรแกรม ความละเอียดของค่าสีมีผลทำให้ได้ค่าอุณหภูมิกลางคลื่อนและยากต่อการกำหนดขอบเขตของอุณหภูมิ



บรรณานุกรม

ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. 2552. การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย C++. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ

ยุทธนา ตีลาศวัฒนกุล. 2547. เริ่มต้นการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์
ไทยเจริญการพิมพ์.

<http://www.electronicstoday.com/>

<http://naturebiotec.tarad.com/article?id=74700&lang=th>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----

#include <vcl.h>

#pragma hdrstop

#include "test.h"

//-----

#pragma package(smart_init)

#pragma link "AdPort"

#pragma link "OoMisc"

#pragma link "AdPort"

#pragma link "VidGrab"

#pragma resource "*.dfm"

TForm1 *Form1;

    unsigned char Polarity[12][12] =
{0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x00,0x00,0x00,
    0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x01,0x10,0x21,
    0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x02,0x20,0x42,
    0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x03,0x30,0x63,
    0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x04,0x40,0x84,
    0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x05,0x50,0xa5,
    0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x06,0x60,0xc6,
    0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x07,0x70,0xe7,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x08,0x81,0x08,
0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x09,0x91,0x29,
0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x0a,0xa1,0x4a,
0x6E,0x00,0x00,0x10,0x00,0x02,0xBC,0x9A,0x00,0x0b,0xb1,0x6b};

```

```

unsigned char Image[4][12] =

```

```

{0x6E,0x00,0x00,0x11,0x00,0x02,0x8B,0xAA,0x00,0x00,0x00,0x00,
0x6E,0x00,0x00,0x11,0x00,0x02,0x8B,0xAA,0x00,0x01,0x10,0x21,
0x6E,0x00,0x00,0x11,0x00,0x02,0x8B,0xAA,0x00,0x02,0x20,0x42,
0x6E,0x00,0x00,0x11,0x00,0x02,0x8B,0xAA,0x00,0x03,0x30,0x63};

```

```

unsigned char ramp[]={0x6e,0x00,0x00,0xb1,0x00,0x02,0x36,0x36,0x00,0x00,0x00,
0x00,0x6e,0x00,0x00,0x25,0x00,0x02,0x92,0xcf,0x00,0x01,0x10,0x21};

```

```

unsigned char off[]={0x6e,0x00,0x00,0xb1,0x00,0x02,0x36,0x36,0x00,0x1f,0xe3,
0xde,0x6e,0x00,0x00,0x25,0x00,0x02,0x92,0xcf,0x00,0x00,0x00,0x00};

```

```

//-----

```

```

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)

```

```

: TForm(Owner)

```

```

{

```

```

}

```

```

void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject *Sender)

```

```

{

```

```

/* Memo1->Clear();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Memo2->Clear(); */

}

//-----

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)

{

    unsigned char zoom2[]={0x6E,0x00,0x00,0x0f,0x00,0x02,0xD3,0xc8,0x00,0x04,0x40,0x84};

    for (int i=0;i<sizeof(zoom2);i++)

    {

        ApdComPort1->PutChar(zoom2[i]);

        // Memo1->Lines->Add(zoom2[i]);

    }

}

//-----

void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)

{

    unsigned char Datacam[]={0x6E,0x00,0x00,0x02,0x00,0x00,0xB1,0xDB,0x00,0x00};

    for (int i=0;i<sizeof(Datacam);i++)

    {

        ApdComPort1->PutChar(Datacam[i]);

        // Memo1->Lines->Add(Datacam[i]);

    }

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

}

//-----

void __fastcall TForm1::ApdComPort1TriggerAvail(TObject *CP, WORD Count)

{

    if(Count)

    {

        /*Memo2->Lines->Add(IntToStr(ApdComPort1->GetChar())); */

        unsigned char A;

        for(short i=0;i<Count;i++)

        {

            A=ApdComPort1->GetChar();

            //Memo2->Lines->Add(int(A));

        }

    }

}

//-----

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)

{

    // Memo1->Clear();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// Memo2->Clear();
```

```
Panel4->Color = RGB(210,210,209);
```

```
Panel5->Color = RGB(200,201,201);
```

```
Panel6->Color = RGB(191,194,193);
```

```
Panel7->Color = RGB(183,185,185);
```

```
Panel8->Color = RGB(178,179,178);
```

```
Panel9->Color = RGB(171,172,170);
```

```
Panel10->Color = RGB(164,165,164);
```

```
Panel11->Color = RGB(160,160,159);
```

```
Panel12->Color = RGB(154,157,156);
```

```
Panel13->Color = RGB(148,148,146);
```

```
Panel14->Color = RGB(142,143,143);
```

```
Panel15->Color = RGB(137,138,136);
```

```
Panel16->Color = RGB(132,132,132);
```

```
Panel17->Color = RGB(127,128,127);
```

```
Panel18->Color = RGB(119,122,122);
```

```
Panel19->Color = RGB(115,116,115);
```

```
Panel20->Color = RGB(109,111,110);
```

```
Panel21->Color = RGB(102,103,103);
```

```
Panel22->Color = RGB(94,97,97);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Panel23->Color = RGB(92,92,91);
```

```
Panel24->Color = RGB(84,86,83);
```

```
Panel25->Color = RGB(79,80,80);
```

```
Panel26->Color = RGB(74,75,75);
```

```
Panel27->Color = RGB(71,72,71);
```

```
Panel28->Color = RGB(64,64,64);
```

```
Panel29->Color = RGB(59,59,59);
```

```
Panel30->Color = RGB(53,53,52);
```

```
Panel31->Color = RGB(47,47,47);
```

```
Panel32->Color = RGB(40,41,41);
```

```
Panel33->Color = RGB(35,36,35);
```

```
Panel34->Color = RGB(32,32,31);
```

```
Panel34->Color = RGB(32,32,31);
```

```
}
```

```
//-----
```

```
void __fastcall TForm1::Button4Click(TObject *Sender)
```

```
{
```

```
    unsigned char zoom1[]={0x6E,0x00,0x00,0x0f,0x00,0x02,0xD3,0xc8,0x00,0x00,0x00,0x00};
```

```
    for (int i=0;i<sizeof(zoom1);i++)
```

```
    {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ApdComPort1->PutChar(zoom1[i]);

//Memo1->Lines->Add(zoom1[i]);

}

}

//-----

void __fastcall TForm1::ComboBox1Change(TObject *Sender)
{
for (int i=0;i<12;i++)
{
ApdComPort1->PutChar(Polarity[ComboBox1->ItemIndex][i]);
// Memo1->Lines->Add(Polarity[ComboBox1->ItemIndex][i]);
}
}

//-----

void __fastcall TForm1::RadioGroup1Click(TObject *Sender)
{

for (int i=0;i<12;i++)

{

ApdComPort1->PutChar(Image[RadioGroup1->ItemIndex][i]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Memo1->Lines->Add(Image[RadioGroup1->ItemIndex][i]);

}

}

//-----

void __fastcall TForm1::RadioGroup2Click(TObject *Sender)
{

    unsigned char Real[]={0x6e,0x00,0x00,0x0f,0x00,0x00,0xf3,0x8a,0x00,0x00,
                          0x6e,0x00,0x00,0x0f,0x00,0x02,0xd3,0xc8,0x00,0x00,0x00};

    unsigned char Frozen[]={0x6e,0x00,0x00,0x0f,0x00,0x00,0xf3,0x8a,0x00,0x00,
                            0x6e,0x00,0x00,0x0f,0x00,0x02,0xd3,0xc8,0x00,0x01,0x10,0x21};

    if(RadioGroup2->ItemIndex==0)
    {
        for (int i=0;i<sizeof(Frozen);i++)
        {
            ApdComPort1->PutChar(Frozen[i]);

            // Memo1->Lines->Add(Frozen[i]);

        }

    }

    else

    {

```

```

for (int i=0;i<sizeof(Real);i++)

{

    ApdComPort1->PutChar(Real[i]);

    // Memo1->Lines->Add(Real[i]);

}

}

}

//-----
void __fastcall TForm1::RadioGroup3Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioGroup3->ItemIndex==0)
    {
        for (int i=0;i<sizeof(ramp);i++)
        {
            ApdComPort1->PutChar(ramp[i]);

            // Memo1->Lines->Add(ramp[i]);

        }

    }

    else

    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for (int i=0;i<sizeof(off);i++)

{

    ApdComPort1->PutChar(off[i]);

    // Memo1->Lines->Add(off[i]);

}

}

}

//-----

void __fastcall TForm1::Button5Click(TObject *Sender)
{
    unsigned char def[]={
        0x6e,0x00,0x00,0x03,0x00,0x00,0x86,0xeb,0x00,0x00,
        0x6e,0x00,0x00,0xc4,0x00,0x00,0x25,0x8c,0x00,0x00,
        0x6e,0x00,0x00,0xc4,0x00,0x00,0x25,0x8c,0x00,0x00,
        0x6e,0x00,0x00,0x0b,0x00,0x00,0x2f,0x4a,0x00,0x00,
        0x6e,0x00,0x00,0x0d,0x00,0x00,0x9d,0xea,0x00,0x00,
        0x6e,0x00,0x00,0x0e,0x00,0x00,0xc4,0xba,0x00,0x00,
        0x6e,0x00,0x00,0x20,0x00,0x02,0x79,0x3f,0x00,0x00,
        0x00,0x00,0x6e,0x00,0x00,0x21,0x00,0x00};

    for (int i=0;i<sizeof(def);i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

    ApdComPort1->PutChar(def[i]);

    // Memo1->Lines->Add(def[i]);

}

RadioGroup3->ItemIndex=1;

RadioGroup2->ItemIndex=1;

RadioGroup1->ItemIndex=0;

}

//-----

void __fastcall TForm1::VideoGrabber1FrameOverlayUsingDC(TObject *Sender,
    HDC Dc, DWORD FrameNumber, __int64 FrameTime, int FrameId)
{
    MousePosition = VideoGrabber1->GetRGBPixelAt(MouseXPosition,MouseYPosition);
}

//-----

void __fastcall TForm1::VideoGrabber1MouseMove(TObject *Sender,
    int VideoWindow, TShiftState Shift, int X, int Y)
{
    int R,G,B ;

    MouseXPosition = X;

```

```

MouseYPosition = Y;

R = MousePosition%0x000100;

G = ((MousePosition%0x010000)-R)/0x100;

B = (MousePosition - (MousePosition%0x010000))/0x10000;

//Label1->Caption = IntToStr( R ) + " " + IntToStr( G ) + " " + IntToStr( B );

if((R>=217&&R<=255)&&(G>=216&&G<=255)&&(B>=210&&B<=255))

{

    Label2->Caption = "Temperature > 40 Degree" ;

    Panel3->Color = clRed;

}

else if((R>=210&&R<=216)&&(G>=210&&G<=215)&&(B>=209&&B<=217))

    Label2->Caption = "Temperature = 40 Degree" ;

else if((R>=200&&R<=204)&&(G>=201&&G<=204)&&(B>=201&&B<=206))

    Label2->Caption = "Temperature = 39 Degree" ;

else if((R>=191&&R<=197)&&(G>=194&&G<=197)&&(B>=193&&B<=198))

    Label2->Caption = "Temperature = 38 Degree" ;

else if((R>=183&&R<=188)&&(G>=185&&G<=189)&&(B>=184&&B<=191))

    Label2->Caption = "Temperature = 37 Degree" ;

else if((R>=178&&R<=183)&&(G>=179&&G<=181)&&(B>=178&&B<=185))

    Label2->Caption = "Temperature = 36 Degree" ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

else if((R>=171&&R<=174)&&(G>=172&&G<=174)&&(B>=170&&B<=175))

Label2->Caption = "Temperature = 35 Degree" ;

else if((R>=163&&R<=168)&&(G>=165&&G<=169)&&(B>=164&&B<=170))

Label2->Caption = "Temperature = 34 Degree" ;

else if((R>=160&&R<=164)&&(G>=160&&G<=164)&&(B>=159&&B<=165))

Label2->Caption = "Temperature = 33 Degree" ;

else if((R>=154&&R<=159)&&(G>=157&&G<=159)&&(B>=156&&B<=162))

Label2->Caption = "Temperature = 32 Degree" ;

else if((R>=148&&R<=151)&&(G>=148&&G<=151)&&(B>=146&&B<=155))

Label2->Caption = "Temperature = 31 Degree" ;

else if((R>=142&&R<=145)&&(G>=143&&G<=145)&&(B>=143&&B<=147))

Label2->Caption = "Temperature = 30 Degree" ;

else if((R>=137&&R<=141)&&(G>=138&&G<=140)&&(B>=136&&B<=142))

Label2->Caption = "Temperature = 29 Degree" ;

else if((R>=132&&R<=135)&&(G>=132&&G<=135)&&(B>=132&&B<=139))

Label2->Caption = "Temperature = 28 Degree" ;

else if((R>=127&&R<=130)&&(G>=128&&G<=130)&&(B>=127&&B<=132))

Label2->Caption = "Temperature = 27 Degree" ;

else if((R>=119&&R<=125)&&(G>=122&&G<=124)&&(B>=122&&B<=128))

Label2->Caption = "Temperature = 26 Degree" ;

else if((R>=115&&R<=120)&&(G>=116&&G<=119)&&(B>=115&&B<=123))

Label2->Caption = "Temperature = 25 Degree" ;

else if((R>=109&&R<=114)&&(G>=111&&G<=115)&&(B>=110&&B<=117))

Label2->Caption = "Temperature = 24 Degree" ;

else if((R>=102&&R<=109)&&(G>=103&&G<=107)&&(B>=103&&B<=112))

Label2->Caption = "Temperature = 23 Degree" ;

else if((R>=94&&R<=101)&&(G>=97&&G<=101)&&(B>=97&&B<=103))

Label2->Caption = "Temperature = 22 Degree" ;

else if((R>=92&&R<=96)&&(G>=92&&G<=96)&&(B>=91&&B<=98))

Label2->Caption = "Temperature = 21 Degree" ;

else if((R>=84&&R<=89)&&(G>=85&&G<=89)&&(B>=80&&B<=91))

Label2->Caption = "Temperature = 20 Degree" ;

else if((R>=79&&R<=83)&&(G>=80&&G<=85)&&(B>=80&&B<=85))

Label2->Caption = "Temperature = 19 Degree" ;

else if((R>=74&&R<=81)&&(G>=75&&G<=80)&&(B>=75&&B<=83))

Label2->Caption = "Temperature = 18 Degree" ;

else if((R>=71&&R<=76)&&(G>=72&&G<=76)&&(B>=71&&B<=78))

Label2->Caption = "Temperature = 17 Degree" ;

else if((R>=64&&R<=69)&&(G>=64&&G<=69)&&(B>=64&&B<=71))

Label2->Caption = "Temperature = 16 Degree" ;

else if((R>=59&&R<=63)&&(G>=59&&G<=63)&&(B>=59&&B<=64))

Label2->Caption = "Temperature = 15 Degree" ;

else if((R>=53&&R<=58)&&(G>=53&&G<=58)&&(B>=52&&B<=61))

Label2->Caption = "Temperature = 14 Degree" ;

else if((R>=47&&R<=54)&&(G>=47&&G<=53)&&(B>=47&&B<=56))

Label2->Caption = "Temperature = 13 Degree" ;

else if((R>=40&&R<=47)&&(G>=41&&G<=47)&&(B>=41&&B<=49))

Label2->Caption = "Temperature = 12 Degree" ;

else if((R>=35&&R<=43)&&(G>=36&&G<=43)&&(B>=35&&B<=45))

Label2->Caption = "Temperature = 11 Degree" ;

else if((R>=32&&R<=39)&&(G>=32&&G<=39)&&(B>=31&&B<=43))

Label2->Caption = "Temperature = 10 Degree" ;

else if((R>=0&&R<=33)&&(G>=0&&G<=33)&&(B>=0&&B<=35))

Label2->Caption = "Temperature < 10 Degree";

else if((R>=204&&R<=210)&&(G>=204&&G<=210)&&(B>=206&&B<=209))

Label2->Caption = "Temperature 39 to 40 Degree" ;

else if((R>=197&&R<=200)&&(G>=197&&G<=201)&&(B>=198&&B<=201))

Label2->Caption = "Temperature 38 to 39 Degree" ;

else if((R>=188&&R<=191)&&(G>=189&&G<=194)&&(B>=191&&B<=193))

Label2->Caption = "Temperature 37 to 38 Degree" ;

```
else if((R==183)&&(G>=181&&G<=185)&&(B==185))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 36 to 37 Degree" ;
```

```
else if((R>=174&&R<=178)&&(G>=174&&G<=179)&&(B>=175&&B<=178))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 35 to 36 Degree" ;
```

```
else if((R>=168&&R<=171)&&(G>=169&&G<=172)&&(B==170))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 34 to 35 Degree" ;
```

```
else if((R>=151&&R<=154)&&(G>=151&&G<=157)&&(B>=155&&B<=156))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 31 to 32 Degree" ;
```

```
else if((R>=145&&R<=148)&&(G>=145&&G<=148)&&(B>=146&&B<=147))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 30 to 31 Degree" ;
```

```
else if((R>=141&&R<=142)&&(G>=140&&G<=143)&&(B>=142&&B<=143))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 29 to 30 Degree" ;
```

```
else if((R>=136&&R<=137)&&(G>=136&&G<=138)&&(B>=136&&B<=139))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 28 to 29 Degree" ;
```

```
else if((R>=130&&R<=132)&&(G>=130&&G<=132)&&(B==132))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 27 to 28 Degree" ;
```

```
else if((R>=125&&R<=127)&&(G>=124&&G<=128)&&(B>=127&&B<=128))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 26 to 27 Degree" ;
```

```
else if((R>=119&&R<=120)&&(G>=119&&G<=122)&&(B>=122&&B<=123))
```

```
Label2->Caption = "Temperature 25 to 26 Degree" ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if((R==109)&&(G>=107&&G<=111)&&(B>=110&&B<=112))

    Label2->Caption = "Temperature 23 to 24 Degree" ;

else if((R>=101&&R<=102)&&(G>=101&&G<=103)&&(B==103))

    Label2->Caption = "Temperature 22 to 23 Degree" ;

else if((R>=89&&R<=92)&&(G>=88&&G<=92)&&(B==91))

    Label2->Caption = "Temperature 20 to 21 Degree" ;

else if((R>=69&&R<=71)&&(G>=69&&G<=72)&&(B==71))

    Label2->Caption = "Temperature 16 to 17 Degree" ;

else

    Panel3->Color = clBtnFace;

    //Label2->Caption = " No can't detect " ;

}

//-----

void __fastcall TForm1::Button8Click(TObject *Sender)

{

VideoGrabber1->StopPreview();

}

//-----

void __fastcall TForm1::Button6Click(TObject *Sender)

{

```

```

VideoGrabber1->StartPreview();

}

//-----

void __fastcall TForm1::Button7Click(TObject *Sender)

{

VideoGrabber1->CaptureFrameTo (fc_BmpFile, "");

}

//-----

void __fastcall TForm1::VideoGrabber1FrameCaptureCompleted(TObject *Sender,
    Pointer FrameBitmap, int BitmapWidth, int BitmapHeight,
    DWORD FrameNumber, __int64 FrameTime, TFrameCaptureDest DestType,
    AnsiString FileName, bool Success, int FrameId)
{

TForm *DestForm;

TImage *DestImage;

Graphics::TBitmap *Frame_Bitmap;

Frame_Bitmap = (Graphics::TBitmap*) FrameBitmap;

// _____ memory bitmap

    Application->CreateForm (__classid (TForm), &DestForm);

    DestForm->Position = poDefault;

```

```

DestForm->FormStyle = fsStayOnTop;

DestImage = new TImage (DestForm);

DestImage->Parent = DestForm;

DestForm->ClientWidth = Frame_Bitmap->Width;

DestForm->ClientHeight = Frame_Bitmap->Height;

DestImage->AutoSize = true;

bool AlternateMethod = false; // you can choose one of the 2 methods below (set true to test
the 2nd)

if (! AlternateMethod) { // this code reassign the bitmap handle to the picture (saves CPU)

    DestImage->Picture->Bitmap->Handle = Frame_Bitmap->Handle;

    Frame_Bitmap->ReleaseHandle();

}

else { // this code makes a copy of the bitmap

    DestImage->Picture->Assign (Frame_Bitmap);

}

DestImage->Parent = DestForm;

if (! DestForm->Visible) {

    DestForm->Show();

}

}

//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----

#include <vcl.h>

#pragma hdrstop

#include "pixel.h"

//-----

#pragma package(smart_init)

#pragma resource "*.dfm"

TForm1 *Form1;

int Red,Green,Blue;

//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}

//-----

void __fastcall TForm1::Open1Click(TObject *Sender)
{
    OpenFileDialog->Filter="bmp (*.bmp)|*.bmp";

    if(OpenDialog1->Execute())

    Image1->Picture->LoadFromFile(OpenDialog1->FileName.c_str());
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

//-----

void __fastcall TForm1::BtStartClick(TObject *Sender)
{
int X,Y,col,row,num = 0;

int demoRed1=0,demoGreen1=0,demoBlue1=0;

int r=0,g=0,b=0,r2,g2,b2 ;

r2 = Image1->Canvas->Pixels[0][0]%0x000100;
g2 = ((Image1->Canvas->Pixels[0][0]%0x010000) - r2)/0x100;
b2 = (Image1->Canvas->Pixels[0][0] - (Image1->Canvas-
>Pixels[0][0]%0x010000))/0x10000;
for(row=0;row<=Image1->Width;row++)
{
for(col=0;col<=Image1->Height;col++)
{
X = row ; Y = col ;

Red = Image1->Canvas->Pixels[X][Y]%0x000100;

Green = ((Image1->Canvas->Pixels[X][Y]%0x010000) - Red)/0x100;

Blue = (Image1->Canvas->Pixels[X][Y] - (Image1->Canvas-
>Pixels[X][Y]%0x010000))/0x10000;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* Memo1->Lines->Add(IntToStr(num)+" "+IntToStr(Red)+" "+IntToStr(Green)+
" "+IntToStr(Blue));

num = num++ ; */

if((demoRed1==Red)&&(demoGreen1==Green)&&(demoBlue1==Blue))

{

demoRed1 = Red ;

demoGreen1 = Green ;

demoBlue1 = Blue ;

}

else

{

/* Memo2->Lines->Add(IntToStr(Red)+" "+IntToStr(Green)+" "+
IntToStr(Blue));

demoRed1 = Red ;

demoGreen1 = Green ;

demoBlue1 = Blue ; */

if(Red)

{

if(r<=Red)

r = Red ;

else if(r>Red)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {

        if(Red<r2)

            r2 = Red ;

        else if(Red>r2)

            r2 = r2 ;

    }

}

if(Green)
{
    if(g<=Green)
        g = Green ;
    else if(g>Green)
    {
        if(Green<g2)
            g2 = Green ;
        else if(Green>g2)

            g2 = g2 ;
    }
}

if(Blue)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

    if(b<=Blue)

        b = Blue ;

    else if(b>Blue)

    {

        if(Blue<b2)

            b2 = Blue ;

        else if(Blue<b2)

            b2 = b2 ;

    }

}

}

Memo3->Lines->Add(IntToStr(r2)+" "+IntToStr(r)+" "+IntToStr(g2)+" "+IntToStr(g)+"
"+IntToStr(b2)+" "+IntToStr(b));

}

//-----

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)

{

Memo1->Clear();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Memo2->Clear();

}

//-----

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)

{

Memo1->Clear();

Memo2->Clear();

Memo3->Clear();

}

//-----

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้