

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การควบคุมการมองเห็นของหุ่นยนต์ด้วยการตรวจจับการเคลื่อนไหว  
ของดวงตา

แหล่งเงิน แหล่งเงินรายได้  
ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท  
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2555 ถึง กันยายน 2556

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

อาจารย์ สรยุทธ	กลมกล่อม
นาย พัทธพล	กุลถวายนพร
นาย ภูมิพัทธ์	รัตนสุวรรณ
ศศ. เจริญ	วงษ์ชุ่มเย็น

### บทคัดย่อ

การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ส่วนหนึ่งของร่างกายในการควบคุม จะทำให้  
ผู้ใช้งานสามารถควบคุมได้ตรงกับความต้องการมากที่สุด ทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกทำการควบคุมการ  
เคลื่อนไหวของกล้องจับภาพด้วยการเคลื่อนไหวของดวงตา ซึ่งกล้องจับภาพสามารถเคลื่อนไหวได้ตาม  
มุมมองสายตาที่ดวงตาเคลื่อนที่ไป โดยการพัฒนาระบบการเคลื่อนไหวกล้องด้วยการเคลื่อนไหว  
ของดวงตาจะประกอบด้วยส่วนของอุปกรณ์สวมใส่บนศีรษะติดตั้งกล้องจับภาพดวงตาซึ่งจะจับ  
ภาพดวงตาของผู้ใช้งาน ส่วนต่อมาเป็นส่วนแอปพลิเคชันเพื่อประมวลผลภาพการเคลื่อนที่ของ  
ดวงตาที่รับมาจากส่วนอุปกรณ์จับภาพดวงตาเพื่อคำนวณองศาการหมุนของกล้องจับภาพของ  
หุ่นยนต์ และส่วนสุดท้ายตัวหุ่นยนต์ติดกล้องที่สามารถเคลื่อนไหวได้ครึ่งทรงกลม จะส่งภาพที่จับ  
ได้มาแสดงผลที่ส่วนแอปพลิเคชันเพื่อแสดงแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ศึกษาและทดลองการ  
ประมวลผลภาพดวงตาในรูปแบบต่างๆและสรุปผลเพื่อให้ได้แอปพลิเคชันที่มีประสิทธิภาพสูง  
ที่สุด และสร้างหุ่นยนต์ติดตั้งกล้องจับภาพที่สามารถเคลื่อนที่กล้องจับภาพในลักษณะที่ใกล้เคียงกับ  
การเคลื่อนไหวของดวงตามนุษย์มากที่สุด

คำสำคัญ : การตรวจจับดวงตา, การเคลื่อนไหวของดวงตา, การมองเห็นของหุ่นยนต์

**Research Title:** Robot Vision Control by Eye Movement Detection

**Researcher:**

Mr. Sorayut	Glomglome
Mr. Patthapol	Kulthawaiporn
Mr. PoomPat	Rattanasuwan
Asst. Prof. Charoen	Vongchumyen

**Faculty:** Engineering

**Department:** Computer Engineering

**ABSTRACT**

If electronic devices are controlled by human's perception, it would be match to user's need. So, researchers have developed the robot vision control system by eye movement detection to make a moveable camera on the robot move like human's eyes. This system consist of 3 parts which is application for image processing, camera for detect eyes, and the robot with moveable camera. The robot also can move. An eyes detection part will send data to application on computer to process eyes image and send the result to control the robot and its camera. Also, the robot's camera will send frame to show on the application. For the best result, researchers have studied and test the image processing in many ways and designed the movement of the robot's camera to be the most similar to the movement of human's eye.

**Keywords :** Eye Tracking, Eye Movement, Robot Vision

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
สารบัญ .....	III
สารบัญภาพ .....	V
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 การประมวลผลภาพ .....	5
2.2 OpenCV .....	10
2.3 Haar like-Features .....	12
2.4 Region-of-interest (ROI) .....	14
2.5 Circle detection .....	14
2.6 Multithread Processing .....	15
2.7 Transmission Control Protocol (TCP) .....	17
2.8 Microcontroller .....	23
2.9 Servo motor .....	24
2.10 UART Serial communication .....	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา</b> .....	28
3.1 อุปกรณ์ติดตั้งกล้องจับภาพดวงตา .....	28
3.2 Application .....	30
3.3 ตัวหุ่นยนต์ติดตั้งกล้องถ่ายภาพแวคัล้อม .....	51
3.4 การติดต่อระหว่าง Application และตัวหุ่นยนต์ .....	59
3.5 การทำงานของระบบ .....	60
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b> .....	63
4.1 การประมวลผลภาพของ Application .....	63
4.2 การทดลองบนตัวหุ่นยนต์ .....	82
4.3 การทดลองการสื่อสารระหว่างตัวหุ่นยนต์และ Application .....	84
4.4 การติดตั้งกล้องบนอุปกรณ์สวมใส่ .....	85
<b>บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b> .....	86
5.1 บทสรุป .....	86
5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข .....	87
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ .....	88
<b>บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง</b> .....	89

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 การส่งข้อมูลระหว่างกล้องจับภาพดวงตา แอปพลิเคชัน และกล้องบนหุ่นยนต์.....	2
2.1 ภาพที่ใช้ในการทดสอบระดับเทา.....	6
2.2 ระดับเทาของ pixel ในแถวแนวนอนที่ 3 และแถวแนวตั้งที่ 2.....	6
2.2 การตรวจหาดวงตา .....	10
2.4 โครงสร้างของ OpenCV .....	11
2.5 ระบบปฏิบัติการและสถาปัตยกรรมที่ OpenCV สนับสนุน.....	12
2.6 รูปแบบของรูปเหลี่ยมสำหรับการตรวจจับลักษณะแบบต่างๆ.....	12
2.7 ตัวอย่างการใช้รูปเหลี่ยมตรวจจับลักษณะต่างๆ.....	13
2.8 การคำนวณแบบ Integral image .....	13
2.9 ตัวอย่างการกำหนดบริเวณที่สนใจ .....	14
2.10 ตัวอย่างการทำงานแบบ Multithread .....	15
2.11 โครงสร้างของ Single-Threaded และ Multithreaded .....	16
2.12 ส่วนประกอบของ TCP header .....	18
2.13 โครงสร้างของ TCP header .....	19
2.14 แบบจำลอง 3-Way hand shake .....	21
2.15 แบบจำลองการปิดการสื่อสาร .....	22
2.16 องค์ประกอบของ Servo motor .....	25
2.17 ส่วนประกอบของ Servo Motor .....	25
2.18 สัญญาณพัลส์กับตำแหน่งการหมุน .....	26
2.19 การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous .....	27
2.20 รูปแบบการส่งข้อมูลของ UART .....	27
3.1 Block diagram ของระบบ.....	28
3.2 การออกแบบอุปกรณ์ติดตั้งกล้องจับภาพดวงตา.....	29
3.3 อุปกรณ์ติดตั้งกล้องจับภาพดวงตาที่ได้ออกแบบ.....	29
3.4 Graphic User Interface สำหรับการพัฒนาเพื่อแสดงผลภาพการตรวจจับใบหน้า .....	32
3.5 Graphic User Interface สำหรับการพัฒนาเพื่อแสดงผลภาพการตรวจจับดวงตา .....	33

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 Graphic User Interface สำหรับการพัฒนาเพื่อแสดงผลภาพการตรวจจับรูม่านตา หรือดวงตาคำ.....	34
3.7 Graphic User Interface สำหรับการพัฒนาเพื่อแสดงผลภาพด้วย Multithread Processing .....	35
3.8 Graphic User Interface สำหรับการพัฒนาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการตรวจจับ รูม่านตา.....	36
3.9 Graphic User Interface สำหรับการพัฒนาเพื่อทดสอบการส่งข้อมูลผ่านระบบ Network ด้วย Protocol ที่คิดขึ้นมา.....	37
3.10 User Interface สำหรับใช้การใช้งานของ User .....	38
3.11 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาใบหน้า .....	40
3.12 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาดวงตาโดยใช้ EmguCV .....	41
3.13 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาดวงตาโดยใช้ Matlab .....	41
3.14 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหารูม่านตา.....	42
3.15 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจหารตำแหน่งอ้างอิงของรูม่านตา.....	43
3.16 Pipeline ของการทำงาน Multithreading 4 threads .....	45
3.17 Pipeline ของการทำงาน Multithreading 12 threads .....	46
3.18 Pipeline ของการทำงาน Multithreading 9 threads .....	47
3.19 การทำ Optimization ด้วย Region of interest .....	48
3.20 Protocol การรับส่งข้อมูลบนชั้น Application layer .....	50
3.21 Arduino รุ่น Fino ( Arduino Compatible ) Board - Duemilanove ATmega328.....	52
3.22 กล้อง Wireless camera .....	53
3.23 USB Adapter .....	54
3.24 MKS DS1210 Titanium Gear Standard Digital Servo.....	55
3.25 M03 - LVTTTL UART WiFi Module .....	55
3.26 โครงสร้างของหุ่นยนต์ .....	57
3.27 โครงสร้างของหุ่นยนต์ที่ออกแบบมุมมอง Top View .....	57
3.28 โครงสร้างของหุ่นยนต์ที่ออกแบบมุมมอง Side View .....	58

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.29 โครงสร้างของหุ่นยนต์ที่ออกแบบมุมมอง Front View .....	58
3.30 การออกแบบการหมุนของกล้องจับภาพ .....	59
3.31 ลักษณะการสื่อสารของข้อมูลในแต่ละส่วน .....	60
3.32 การทำงานของระบบ .....	62
4.1 การนำภาพ Raw image มาแปลงเป็น Grey Scale .....	63
4.2 การนำภาพ Grey scale มาทำ Equalizehist .....	64
4.3 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.1d .....	64
4.4 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.2d .....	64
4.5 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.3d .....	65
4.6 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.4d .....	65
4.7 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.5d .....	65
4.8 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.6d .....	66
4.9 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.7d .....	66
4.10 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.8d .....	66
4.11 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 0.9d .....	67
4.12 การนำภาพ Equalizehist มาปรับให้ Gamma correct = 1.0d .....	67
4.13 การทดลองมองตรงไปข้างหน้าและตรวจหาตำแหน่งของดวงตาจำนวน 35 ภาพ .....	68
4.14 การทดลองตรวจจับดวงตาจำนวน 35 ภาพติดต่อกัน โดยให้กล้องจับดวงตา อยู่ในระยะเดียวกัน .....	70
4.15 การทดลองความเร็วในการตรวจจับดวงตาโดยใช้ภาพขนาด 640 x 480 .....	72
4.16 การทดลองความเร็วในการตรวจจับดวงตาโดยใช้ภาพขนาด 1080 x 720 .....	72
4.17 การทดลองความเร็วในการตรวจจับดวงตาโดยใช้ภาพขนาด 1280 x 960 .....	72
4.18 การทดลองความเร็วในการตรวจจับดวงตาโดยใช้ภาพขนาด 1920x 1080 .....	72
4.19 การทดลองการตรวจจับรูม่านตาโดยการปรับค่า Minimum Radius และ Maximum Radius มีค่าตั้งแต่ 40 – 150 pixel .....	73
4.20 การทดลองการตรวจจับรูม่านตาโดยการปรับค่า Minimum Radius และ Maximum Radius มีค่าตั้งแต่ 120-180 pixel .....	74

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.21 การทดลองการตรวจจับรูปร่างตาโดยการปรับค่า Minimum Radius และ Maximum Radius มีค่าตั้งแต่ 110-140 pixel .....	74
4.22 การทดลองการตรวจจับรูปร่างตาโดยการปรับค่า Canny Threshold และ Accumulator Threshold โดยใช้ Threshold = 70 .....	75
4.23 การทดลองการตรวจจับรูปร่างตาโดยการปรับค่า Canny Threshold และ Accumulator Threshold โดยใช้ Threshold = 10 .....	75
4.24 การทดลองการตรวจจับรูปร่างตาโดยการปรับค่า Canny Threshold และ Accumulator Threshold โดยใช้ Threshold = 20 .....	75
4.25 การทดลองความเร็วในการตรวจจับรูปร่างตาโดยทำการจับเวลาในการตรวจจับภาพทุกๆ 1 วินาที.....	76
4.26 การหาตำแหน่งอ้างอิงของรูปร่างตาโดยการมองตรงไปข้างหน้าและทำการหาตำแหน่ง ของรูปร่างตาจำนวน 35 ภาพติดต่อกัน.....	76
4.27 การทดลองการแปลง Pixel เป็นองศาโดยการมองในแกน X ด้วยมุม 60 องศา .....	78
4.28 การทดลองการแปลง Pixel เป็นองศาโดยการมองในแกน Y ด้วยมุม 60 องศา .....	79
4.29 การทดลองการทำ Multithread ด้วยจำนวน 4 threads .....	79
4.30 การทดลองการทำ Multithread ด้วยจำนวน 12 threads .....	80
4.31 การทดลองการทำ Multithread ด้วยจำนวน 9 threads .....	81
4.32 การทดลองลำดับการทำงานของแต่ละ Thread เมื่อใช้การประมวลผล 4 threads .....	81