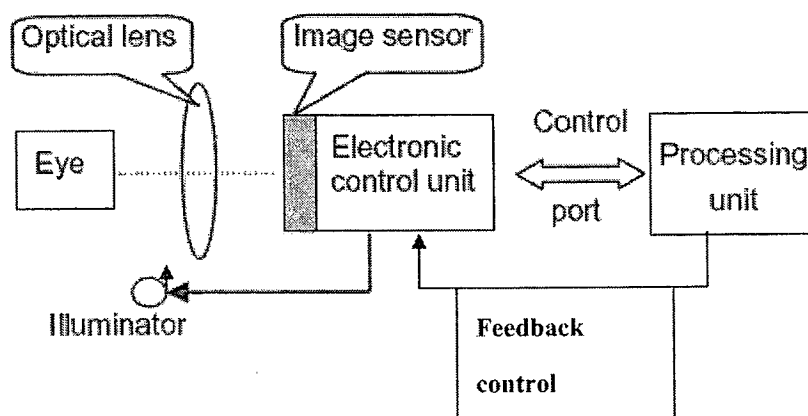


บทนำ

ปัจจุบันระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ (Biometric) กลายเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีความต้องการที่เพิ่มขึ้นในเรื่องของระบบรักษาความปลอดภัย ระบบตรวจจับภาพม่านตาเป็นหนึ่งในวิธีที่มีเทคโนโลยีในการระบุบุคคลที่มีประสิทธิภาพ มีความถูกต้องแม่นยำสูง ขั้นตอนที่สำคัญประการหนึ่งของระบบตรวจจับภาพม่านตาคือขั้นตอนการดึงภาพม่านตา (Iris Image Acquisition) ที่มีคุณภาพสูงสำหรับการประมวลผลภาพม่านตานั้น อย่างไรก็ตามการดึงภาพม่านตาต้องอาศัยทั้งหลักการทางด้านทัศนศาสตร์ การส่องสว่างและระบบควบคุมอัตโนมัติรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาพัฒนาเกี่ยวกับการตรวจจับภาพม่านตาก็อย่างต่อเนื่องแพร่หลายและคงพบปัญหาและข้อบกพร่องอยู่หลายประการในการดึงภาพม่านตาที่มีคุณภาพสูงเหมาะแก่การนำไปประมวลผลภาพม่านตา จึงนำเสนอแนวคิดที่จะพัฒนาเทคนิคอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วยต้นทุนที่ไม่สูงเกินไปวิธีวิจัย

ผลและวิจารณ์

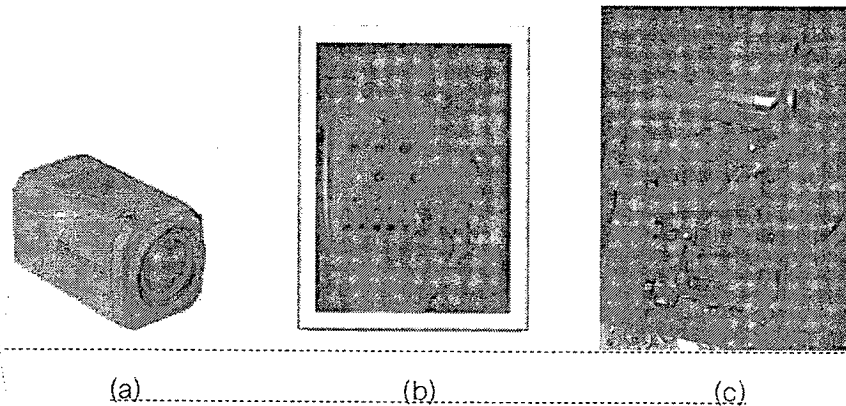
โครงการแบ่งการพัฒนาออกเป็นสองส่วนหลักคือส่วนฮาร์ดแวร์ที่เป็นต้นแบบอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาและส่วนซอฟต์แวร์ทำหน้าที่ในการตรวจสอบความคมชัดของภาพที่ถ่ายได้ และซอฟต์แวร์ทำหน้าที่ในการกำหนดขอบเขตม่านตาภายในภาพที่ถ่ายได้ โดยการพัฒนาในส่วนแรกจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาเป็นสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

อุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาประกอบไปด้วยสามส่วนหลัก คือ กล้องตรวจจับ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของกล้อง และ ระบบเพิ่มศักยภาพของการตรวจจับภาพม่านตา ได้แก่ ระบบแสงสว่างและระบบการตอบกลับระหว่างกล้องกับผู้ใช้งานกล้อง รูปที่ 3.1 แสดงแนวคิดเริ่มต้นในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาโดยเริ่มต้นมีจุดประสงค์ให้อุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตามีความสามารถปรับระยะโฟกัสได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อให้ความสะดวกกับผู้ใช้งาน ทำให้กล้องที่นำมาใช้ในโครงการจะต้องเป็นกล้องที่สามารถควบคุมการปรับโฟกัส ชุมและอื่นๆได้ โดยโครงการนี้ใช้กล้อง CCTV รุ่น 27xDSP แสดงในรูปที่ 3.2 พร้อมทั้งสร้างวงจรควบคุมการปรับโฟกัสและขนาดชุม โดยได้ทำการทดลองเพื่อหาขอบเขตพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการถ่ายภาพม่านตา ซึ่งพบว่าจะต้องตั้งกล้องให้มีค่าชุมสูงสุดที่ 27 จึงจะได้ภาพม่านตาที่มีขนาดและรายละเอียดเพียงพอต่อการประมวลผลภาพ โดยผู้ใช้งานสามารถอยู่ห่างจากกล้องในช่วงระยะ 30-50 เซนติเมตร

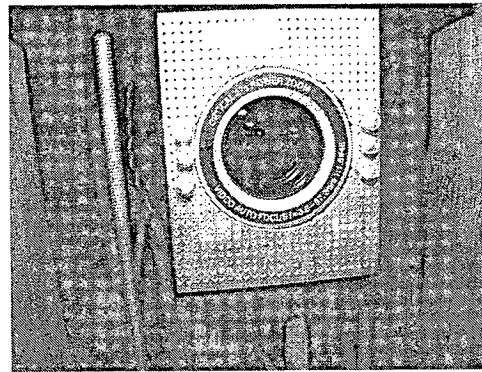
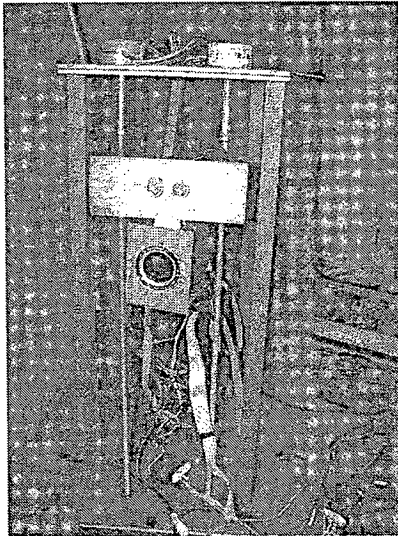
ขั้นตอนวิธีวิจัยถัดไปคือการศึกษาหาหลอดไฟ LED แสงย่านใกล้อินฟราเรดที่เพิ่มเข้าไปในอุปกรณ์ต้นแบบ เพื่อเพิ่มความคมชัดให้กับลายม่านตาในภาพม่านตาที่ถ่ายได้ ทั้งนี้เนื่องจากตามนุษย์จะดูดกลืนแสงในย่านคลื่นใกล้อินฟราเรดได้ดี ทำให้เกิดเงาสะท้อนในภาพน้อย แสงย่านใกล้อินฟราเรด (NIR) เป็นแสงที่มีย่านคลื่นระหว่าง 740-1300 nm ดังแสดงในตารางที่ 3.1 รูปที่ 3.3 แสดงภาพต้นแบบของอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาที่ได้พัฒนาขึ้นมา



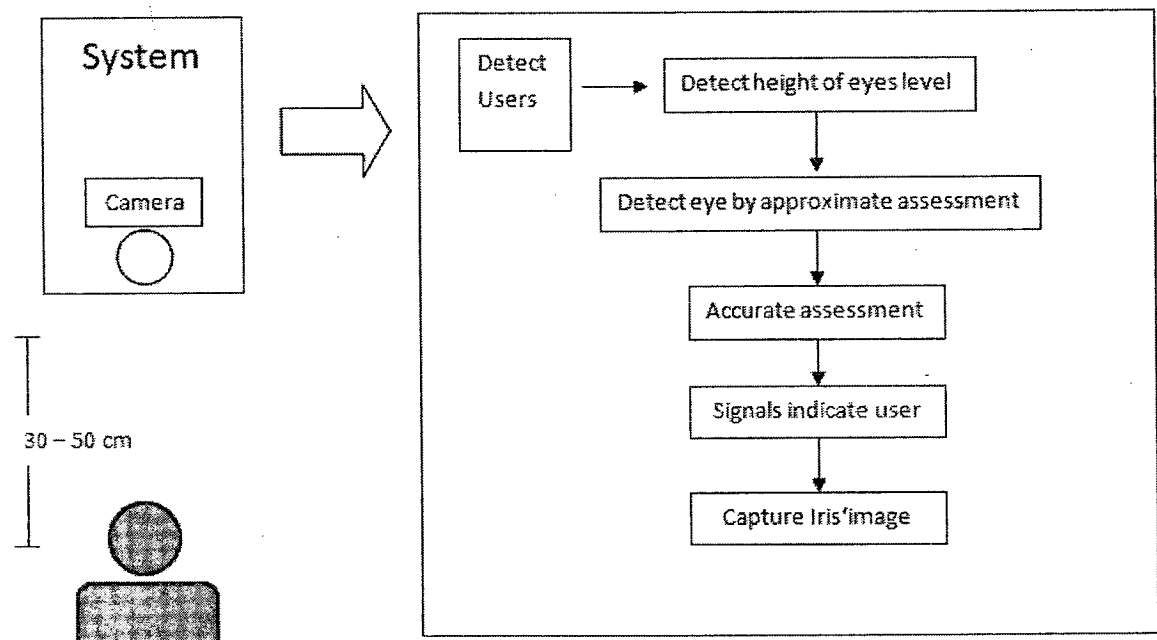
รูปที่ 3.2 (a) กล้องที่ใช้ในโครงการ (b) พอร์ตด้านหลังกล้องสำหรับควบคุมการทำงานของกล้อง
(c) วงจรควบคุมกล้อง

ตาราง 3.1 ตารางที่แสดงช่วงความยาวคลื่น

ชนิดของแสง	ความยาวคลื่น(nm)
อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)	10-400
แสงสีม่วง	380-420
ความ	420-440
ฟ้า	440-510
เขียว	510-565
เหลือง	565-590
ส้ม	590-625
แดง	625-740
อินฟราเรดใกล้(Near. Infrared)	740-1300

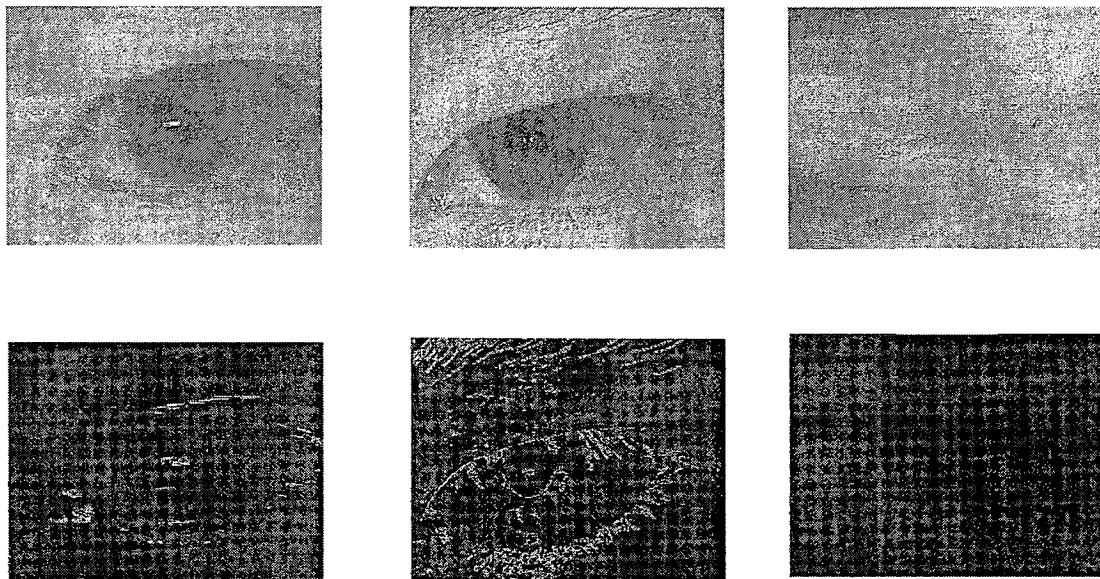


รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาที่พัฒนาขึ้น



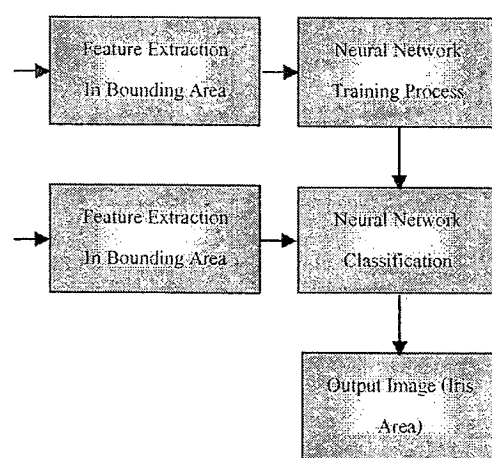
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาที่พัฒนาขึ้น

ในระยะเริ่มแรกของการพัฒนานั้น ทางโครงการมีความประสงค์จะให้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับระดับความสูงของกล้องให้สอดคล้องกับความสูงของเจ้าของม่านตา หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบในเบื้องต้นถึง ความคมชัดของภาพม่านตาที่ถ่ายได้ รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตา โดยรวม เมื่อได้ภาพม่านตาที่มีความคมชัดเกินค่าความคมชัดที่กำหนดไว้ ระบบจะส่งสัญญาณแจ้งเตือน ผู้ใช้งานว่าระบบได้ตรวจจับภาพม่านตาที่คมชัดของผู้ใช้งานได้แล้ว โดยในเบื้องต้นทางโครงการได้นำขนาดโดยรวมของขอบภายในภาพที่ตรวจจับได้มาเป็นตัวกำหนดเบื้องต้นในการหาค่าความคมชัดของภาพถ่าย ในกรณีที่ภาพที่ถ่ายได้เป็นภาพที่มืด ไม่คมชัด ขอบของภาพจะมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับขอบภาพที่ได้จากภาพที่ ถ่ายที่คมชัด ส่วนกรณีที่ไม่มีภาพม่านตาปรากฏภายในภาพเราจะไม่พบขอบภาพหรือพบในปริมาณที่น้อยมากดังแสดงในรูปที่ 3.5



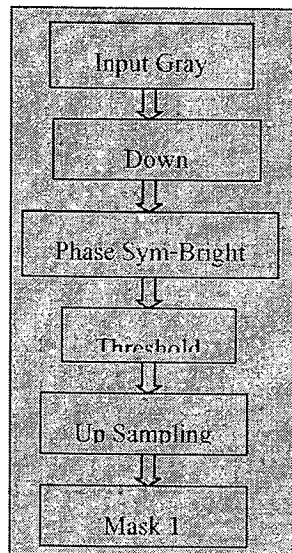
รูปที่ 3.5 แนวคิดเบื้องต้นในการใช้ขอบของภาพมากำหนดความคมชัดของภาพม่านตาที่ได้

ภาพที่ได้ตรวจสอบว่ามีม่านตาภายในภาพแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อทำการคัดแบ่งม่านตา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำการหาบริเวณหรือพิกเซลที่เป็นม่านตา โดยทั่วไปขั้นตอนการคัดแบ่งลายม่านตาแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ คือกลุ่มวิธีที่ทำการกำหนดขอบเขตม่านตาโดยการระบุขอบเขตม่านตาด้านในและขอบเขตม่านตาด้านนอก และกลุ่มวิธีที่ทำการระบุแต่ละพิกเซลว่าเป็นพิกเซลของม่านตาหรือไม่ ขั้นตอนที่พัฒนาขึ้นจะจัดอยู่ในกลุ่มหลัง โดยมีแนวคิดการประมวลผลเริ่มจากการสร้างขอบเขตอย่างคร่าว ๆ ของบริเวณม่านตาภายในภาพโดยใช้คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความเข้มแสง การวิเคราะห์พื้นที่ที่ขอบของภาพ จากนั้นจะนำบริเวณที่ได้มาทำการเรียนรู้และคัดแยกบริเวณม่านตาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ขั้นตอนการคัดแบ่งม่านตาแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการคัดแยกม่านตา

การหาขอบเขตม่านตาโดยประมาณเริ่มต้นนั้นจะทำงานกับภาพม่านตาขนาดเล็กทั้งนี้เพื่อลดความเร็วที่ใช้ในการหาขอบเขต ขั้นตอนแรกจึงเริ่มต้นด้วยการลดขนาดรูปลงด้วยการทำ down sampling ดังแสดงตามแผนผัง ขั้นตอนการหาขอบเขตม่านตาโดยประมาณในรูปที่ 3.7

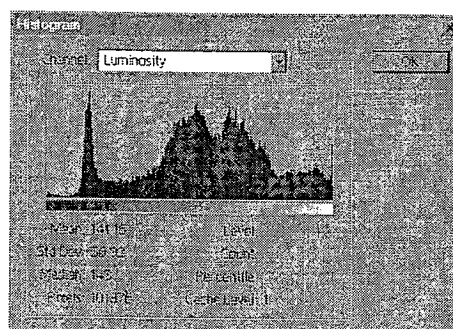


รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการประมวลผล Bright Phase Symmetry

แนวคิดการหาขอบเขตม่านตาโดยประมาณเกิดจากการหาส่วนที่สมมาตรภายในภาพทั้งนี้เนื่องจากม่านตามนุษย์มีลักษณะสมมาตร สำหรับโครงการนี้เลือกใช้เทคนิค Bright Phase Symmetry (BPS) ของ Kovessi [9] ซึ่งเป็นเทคนิคที่ระบุความสมมาตรของวัตถุจากค่าเฟสของพิกเซลภายในภาพ รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Bright Phase Symmetry จากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่ามีส่วนสมมาตรที่เป็นม่านตา รูม่านตาดำ และคิ้ว จึงทำการตัดส่วนที่เป็นรูม่านตาทิ้งโดยนำภาพที่ได้มาแบ่งความเข้มแสงโดยใช้ค่าขีดแบ่ง (Threshold) ความเข้มแสงที่ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากพิกเซลของรูม่านตามีความเข้มแสงต่ำจึงเป็นพิกเซลที่เกาะกลุ่มอยู่ด้านซ้ายของฮิสโตแกรมของภาพม่านตา รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างฮิสโตแกรมของภาพม่านตาโดยทั่วไป



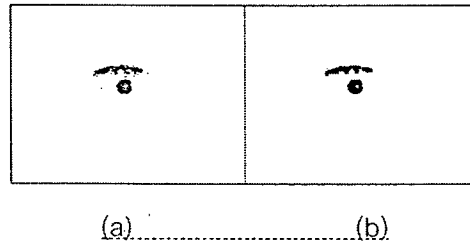
รูปที่ 3.8 (a) ภาพต้นฉบับ (b) ผลลัพธ์จากการทำ Bright Phase Symmetry



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของภาพม่านตา

การตัดค่าขีดแบ่งจะทำให้ได้พิกเซลบริเวณรูม่านตาและคิ้วบางส่วนดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.10 (a) ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาปรับปรุงภาพด้วยตัวดำเนินการ opening และ closing ได้ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 3.10 (b) พื้นที่

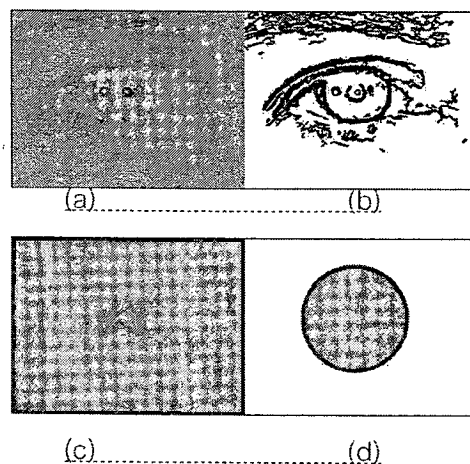
ๆ ได้จะถูกนำไปลบออกจากผลลัพธ์ที่ได้จาก BPS เพื่อนำไปกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่จะทำการประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 3.10 (a) ผลลัพธ์จากการการตัดความเข้มที่เปอร์เซนไทล์ที่ 2

(b) ผลลัพธ์จากการดำเนินการ Opening และ Closing ภาพในรูป (a)

หลังจากนั้นจะทำการกำหนดขอบเขตม่านตาโดยประมาณโดยหาจุดศูนย์กลางวงกลม ทั้งนี้เนื่องจากภาพม่านตามีลักษณะของขอบระหว่างม่านตากับตาขาว เป็นวงกลม พิกเซลบนเส้นรอบวงกลมจะตัดกันที่จุดศูนย์กลางวงกลม แต่เนื่องจากสัญญาณรบกวนเส้นขอบของม่านตาจะไม่กลมนัก ทำให้จุดตัดของเส้นตั้งฉากรอบขอบม่านตาไม่ตัดกันที่จุดๆ เดียว จุดตัดที่ได้จะคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อย จากหลักการนี้เราจึงทำการหาจุดที่เส้นที่ตั้งฉากกับจุดเส้นสัมผัสของขอบม่านตาตัดกันมากที่สุด และเรียกจุดนี้ว่าจุดไฟคอล ขั้นตอนเริ่มด้วยการหาภาพขอบของม่านตา ขอบที่ได้จะเป็นพิกเซลขอบของม่านตาและอวัยวะอื่นๆ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.11(b) จึงต้องทำการกำจัดขอบที่ไม่ต้องการออกก่อนเพื่อให้หาค่าไฟคอลได้แม่นยำมากขึ้น โดยขอบที่ต้องการจะมีค่าความแปรปรวน (Variance) สูง ค่าเกรเดียนต์ (gradient) สูง และมีความเข้มแสงต่ำ จึงสามารถกำจัดขอบที่ไม่ต้องการได้โดยการนำจุดที่มีค่าความแปรปรวนต่ำ หรือค่าเกรเดียนต์ต่ำ หรือค่าความเข้มสูง ออกจากภาพผลลัพธ์ที่ได้แสดงในภาพที่ 4.11(c) ภาพที่ 4.11(d) แสดงผลการหาไฟคอล โดยจุดไฟคอลของภาพคือตำแหน่งที่สว่างมากที่สุดภายในภาพ หลังการหาไฟคอลจะได้จุดศูนย์กลาง แล้วจึงกำหนดขอบเขตรัศมีของม่านตาโดยประมาณด้วยวงกลมดังแสดงในรูปที่ 8 (d)



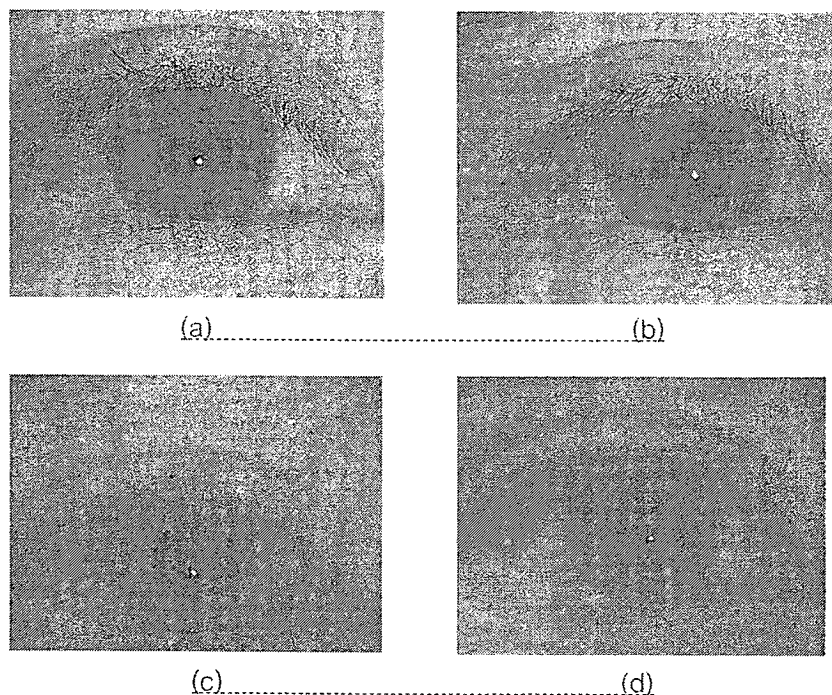
รูปที่ 3.11 (a) ภาพต้นฉบับ (b) ภาพขอบของ (a) (c) ภาพจากการหาไฟคอล (d) ผลการประมาณม่านตา

จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น จะทำให้เราทราบถึงพื้นที่ขอบเขตของม่านตาอย่างคร่าวๆ จากนั้นจะนำขอบเขตดังกล่าวมาทำการจำแนกประเภท โดยจำแนกเป็นสองประเภทคือ ประเภทที่เป็นลายม่านตา กับประเภทที่ไม่ใช่ลายม่านตา ด้วยการให้วิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมในการเลือกรูปร่างข้อมูลที่โครงข่ายจะทำการ

เรียนรู้ ต้องเลือกให้มีจำนวนเพียงพอและครอบคลุมทั่วทั้งฐานข้อมูล ดังนั้นจึงเลือกมา 1000000 จุดภาพ ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างจุดภาพมาจากฐานข้อมูลทั้งหมด โดยแบ่งเป็นจุดภาพที่เป็นลายม่านตา 60% และจุดภาพที่ไม่เป็นลายม่านตา 40% เพื่อใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม จะให้โครงสร้างแบบเพอร์เซ็ปตรอน 3 ชั้น ดังนี้

1. ชั้นนำเข้า (Input Layer) ชั้นนี้ประกอบไปด้วยสามโหนด แต่ละโหนดจะเก็บลักษณะเด่นของพิกเซล โดยโหนดแรกเป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพ โหนดที่สองเป็นค่าการแปลงเวฟเลขในระดับออกเตปที่หนึ่งในแนวทะแยง และโหนดสุดท้ายเป็นค่าความเบี่ยงเบนของทิศทางของค่าเกรเดียนท์ของจุดภาพ
2. ชั้นซ่อน (Hidden Layer) จะประกอบไปด้วยโหนด หกโหนด
3. ชั้นนำออก (Output Layer) เป็นโหนดแสดงผลลัพธ์ จึงมีเพียงโหนดเดียวสำหรับแสดงผลการจำแนกประเภทของจุดภาพว่าเป็นม่านตาหรือไม่เป็นม่านตา

โหนดแต่ละโหนดในโครงข่ายจะเชื่อมต่อกันแบบ fully ส่วนในการเรียนรู้เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักนั้น จะเรียนรู้แบบแบ็คพรอพพาคชันนิวรอลเน็ตเวิร์ก (backpropagation learning algorithm) และฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) จะเลือกใช้ฟังก์ชันลอจิสติกมอยด์ (Log-Sigmoid)



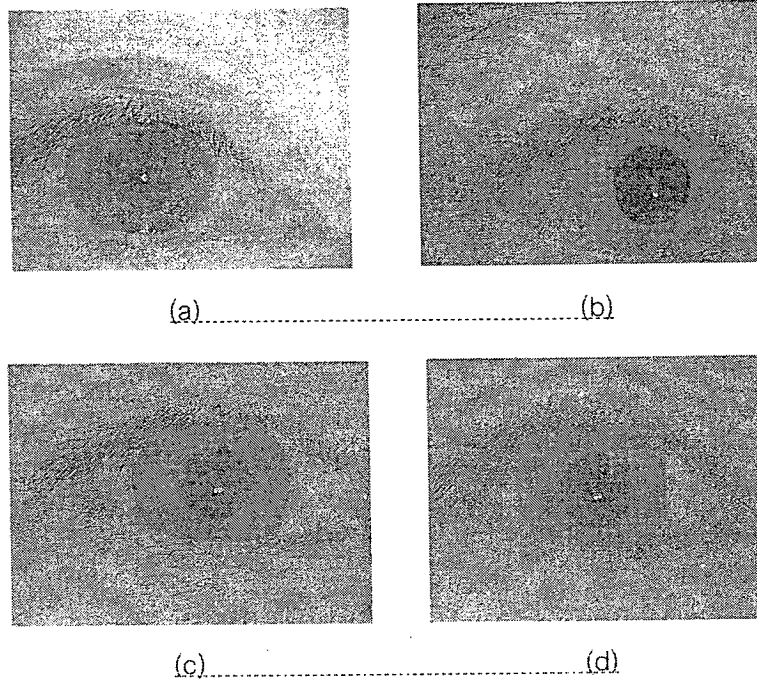
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายม่านตาที่ถ่ายได้ เมื่อกำหนดให้แสง NIR มีความยาวคลื่น

(a) 695 nm. (b) 850 nm. (c) 890 nm. (d) 950 nm.

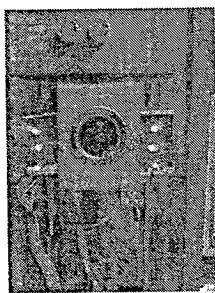
ผลการวิจัย

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าความยาวคลื่นของแสง NIR ที่เลือกใช้มีผลต่อความคมชัดของลายม่านตาที่ถ่ายภาพได้ โดยได้ทำการทดลองใช้แสงย่านความยาวคลื่น 695, 850, 890, 935 และ 950 nm กับอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาที่พัฒนาขึ้นมา ผลการทดลองพบว่าแสงย่านคลื่น 850 nm ให้ภาพที่มีความคมชัดของลายม่านตามากที่สุด รองลงมาเป็น แสงความยาวคลื่น 890 nm โดยแสงความยาวคลื่น 935 และ 950 nm.

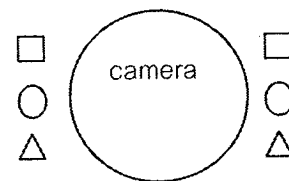
ให้ภาพที่มีความคมชัดน้อยสุดในระดับใกล้เคียงกัน รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายม่านตาที่ได้เมื่อใช้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆกัน หลังจากนั้นได้ทดลองผสมย่านคลื่นแสง โดยให้หลอด LED ที่มีความยาวคลื่นแสงมากกว่าหนึ่งย่านคลื่นแสงมาใช้ในการตรวจจับภาพม่านตา พบว่าภาพม่านตาที่ได้จะให้ความคมชัดของลายม่านตามากขึ้น โดยภาพที่ให้ลายม่านตาคมชัดที่สุดจะได้การให้หลอด LED สามย่านคลื่นผสมกัน โดยความยาวคลื่นแสงที่ใช้อาจเป็น 850, 890 และ 950 nm หรือ 695, 850 และ 890 nm ก็ได้ รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้เมื่อใช้แสง NIR ผสมระหว่างความยาวคลื่นต่างๆ



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายม่านตาที่ถ่ายได้ เมื่อใช้แสง NIR ผสมระหว่างความยาวคลื่น (a) 695. และ 850 nm (b) 850 และ 950 nm. (c) 695, 850 และ 950 nm. (d) 850, 890 และ 950 nm.



□ = wavelength 850 nm
○ = wavelength 890 nm
△ = wavelength 950 nm

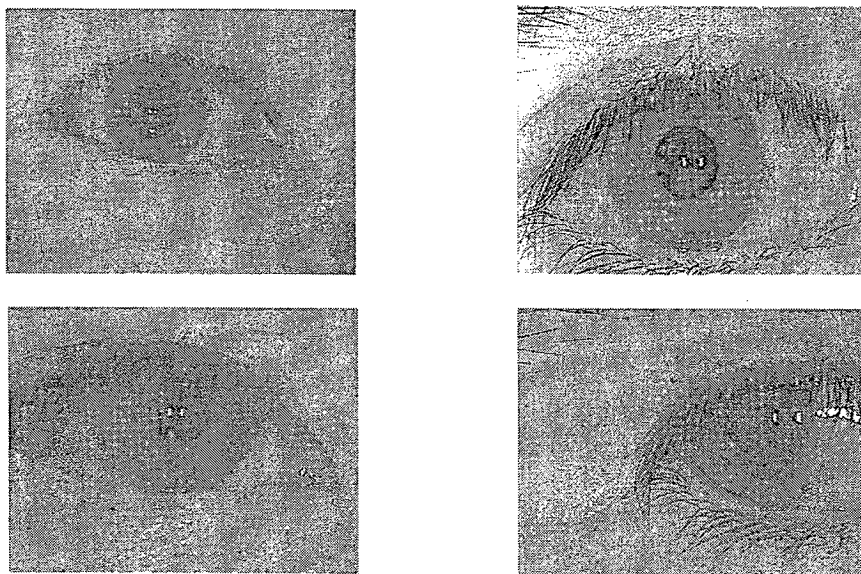


รูปที่ 4.3 ภาพแสดงการติดตั้งหลอดไฟ LED ย่านคลื่นแสงต่างๆ

จากผลการทดลองที่ได้ ทางโครงการจึงเลือกติดตั้งหลอด NIR 3 ดวงกับเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยเลือกใช้หลอด NIR ที่มีย่านความยาวคลื่นอยู่ที่ 850, 890 และ 950 nm เพื่อเพิ่มรายละเอียดลายม่านตาภายในภาพม่านตา และทำการติดตั้งเป็นแนวยาว ด้านข้างตัวเลนส์ การติดตั้งแสดงในรูปที่ 4.3

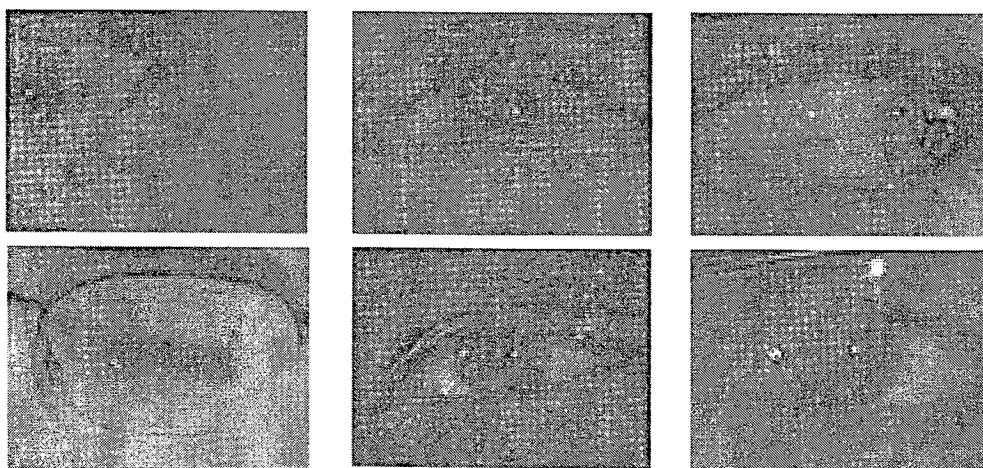
หลังจากทำการศึกษาค้นคว้าความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพม่านตาแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับปรุงอุปกรณ์กล้องตามความสูงของผู้ใช้งานอุปกรณ์ จากการทดลองพบว่าการปรับความสูงแบบอัตโนมัตินั้นทำได้ช้า และทำให้การถ่ายภาพม่านตาทำได้ยากขึ้นเนื่องจากกล้องมีการเคลื่อนไหว การตรวจจับภาพที่คมชัดทำได้ยากขึ้น จึงทำการกำหนดให้กล้องมีความสูงคงที่ แล้วทำการทดสอบเก็บภาพม่านตารูปที่

4.4 แสดงตัวอย่างภาพม่านตาที่เก็บได้ทั้งแบบที่คมชัดและไม่คมชัด จากการทดลองพบว่า การกำหนดให้กล้องปรับโฟกัสแบบอัตโนมัตินั้นจะทำให้การเก็บภาพทำได้ยากขึ้นเมื่อกำหนดให้กล้องมีขนาดซูมสูงสุด เนื่องจากความเร็วในการปรับโฟกัสไม่สัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของดวงตา ทำให้กล้องต้องทำงานอยู่เกือบตลอดเวลา จึงทำการทดลองโดยกำหนดระยะโฟกัสคงที่ ซึ่งพบว่าการถ่ายภาพม่านตาทำได้ง่ายกว่า



รูปที่ 4.4 ภาพม่านตาที่ถ่ายโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตาที่พัฒนาขึ้น

ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนการคัดแบ่งม่านตานี้ได้ทำการทดลองกับภาพม่านตาในฐานข้อมูล UBIRISv.2 จำนวน 500 ภาพ เป็นสำคัญ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับขั้นตอนการคัดแบ่งม่านตาที่นักวิจัยทั่วไปพัฒนาขึ้น ฐานข้อมูลม่านตา UBIRIS v.2 เป็นฐานข้อมูลม่านตาที่ใช้ในการแข่งขัน "Noisy Iris Challenge Evaluation – Part I" (NICE-I) [10,11] ภาพม่านตาในฐานข้อมูลนี้จะมีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณรบกวนหลักๆ ได้แก่ สิ่งบดบังบริเวณม่านตา ได้แก่ แฉกตา แสงสะท้อน หนังตา ขนตา ผม เป็นต้น รวมทั้งมีม่านตาลากหลายสี หลากหลายขนาดและมีม่านตาที่ถ่ายในมุมต่างๆ กันทำให้ส่วนของม่านตาที่ปรากฏในภาพไม่สมบูรณ์ ดังแสดงตัวอย่างภาพม่านตาในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพม่านตาในฐานข้อมูล UBIRISv2.0

ในการแข่งขันนี้มีการวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนการคัดแบ่งม่านตา 2 แบบ คือ

1. ความผิดพลาดแบบ E1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดที่จำแนกประเภทผิดต่อจำนวนจุดม่านตาทั้งหมด
2. ความผิดพลาดแบบ E2 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง False-positives rates (FPR) และ False-negatives rates (FNR) สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$E2 = 0.5 \text{ FPR} + 0.5 \text{ FNR}$$

โดย FNR คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนพิกเซลม่านตาที่ถูกระบุผิดพลาดว่าเป็นพิกเซลอื่น ๆ กับจำนวนพิกเซลม่านตาทั้งหมดในรูป และ

FPR คือ อัตราส่วนระหว่างพิกเซลอื่นๆ ที่ถูกระบุว่าเป็นพิกเซลม่านตากับจำนวนพิกเซลอื่นๆ ทั้งหมด

โครงการวิจัยนี้จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานเดียวกันกับการแข่งขันนี้กับภาพม่านตาจำนวน 500 ภาพของฐานข้อมูล UBIRISv2 โดยได้ทดลองปรับค่ารัศมีวงกลมประมาณที่ได้จากการขั้นตอนกำหนดขอบเขตม่านตาโดยประมาณ (ดูรูป 3.11) โดยทำการเพิ่มรัศมีจากค่าที่หาได้ด้วยค่า 5, 10 และ 20 จากนั้นทำการหาค่าผิดพลาด ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองที่ได้เทียบกับขั้นตอนการคัดแบ่งม่านตาอื่น ๆ โดยการเปรียบเทียบจะใช้ค่าความผิดพลาด E1 error เนื่องจากในการแข่งขัน NICE.I จะใช้ค่าความผิดพลาด E1 error เป็นหลัก

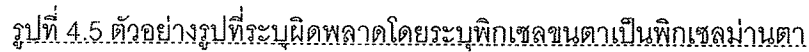
ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพระบบเมื่อทำการปรับค่ารัศมีต่าง ๆ

จำนวนพิกเซลที่ขยาย	E1 error	FPR	FNR	E2 error
20	0.0541	0.0502	0.104	0.0771
10	0.0351	0.0237	0.1818	0.10275
5	0.0345	0.019	0.2327	0.12585
0	0.0371	0.0143	0.3276	0.17095

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเปรียบเทียบกับขั้นตอนการคัดแบ่งอื่น ๆ

ลำดับ	ชื่อนักวิจัย	E1 Error
1.	Tan et al. [155]	0.0131
2.	Sankowski et al. [166]	0.0162
3.	Pedro Almeida [177]	0.0180
4.	Li et al. [188]	0.0224
5.	Jeong et al. [200]	0.0282
6.	Somying (proposed method)	0.0345

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการทดลองยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่ส่งเข้าแข่งขัน โดยขั้นตอนที่พัฒนาขึ้นมักจะระบุพิกเซลขนตาว่าเป็นพิกเซลม่านตา ดังแสดงตัวอย่างการระบุที่ผิดพลาดในรูปที่ 4.5 ซึ่งในฐานข้อมูลนี้จะมีรูปที่ไม่มีม่านตาเป็นรูปที่ปิดตาอยู่ประมาณ 10 รูป ทำให้มีค่าผิดพลาด FPR ของระบบสูง



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างรูปที่ขั้นตอนระบุพิกเซลมาตรฐานเป็นพิกเซลอื่นๆ ไม่ใช่พิกเซลมาตรฐาน

ผลการวิจัยของโครงการพบว่าในส่วนของการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับภาพม่านตานั้น การควบคุมการทำงาน ของกล้องเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่คมชัดทำได้ยาก เนื่องจากดวงตามนุษย์มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา และ เคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว ทำให้กล้องต้องปรับระยะโฟกัสแบบอัตโนมัติตลอดเวลาตามการเคลื่อนไหวของ ดวงตา การกำหนดกล้องให้มีระยะโฟกัสคงที่สามารถทำการตรวจจับภาพม่านตาได้ดีกว่า นอกจากนั้นความคมชัดของลายม่านตาก็จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แสงย่านใกล้อินฟราเรดช่วยในการ ถ่ายภาพม่านตา โดยพบว่าความคมชัดของลายม่านตาที่แสงใกล้อินฟราเรดหลายย่านคลื่นแสงจะให้ความคมชัดของลาย ม่านตามากกว่าการใช้แสงย่านคลื่นใกล้อินฟราเรดย่านคลื่นเดียว ย่านคลื่นแสงใกล้อินฟราเรดหลักที่ควรมีใน ระบบจะอยู่ในช่วงย่าน 830-890 นาโนเมตร ส่วนการพัฒนาขั้นตอนการคัดแบ่งม่านตาโดยโครงประสาทเทียม สามารถให้ค่าความถูกต้องของการคัดแบ่งประมาณ 95% ขั้นตอนการคัดแบ่งควรเพิ่มเติมในส่วนการระบุตัว ว่ามีม่านตภายในภาพถ่ายหรือไม่ รวมทั้งพัฒนาปรับปรุงในส่วนการกำจัดแสงสะท้อนและปรับปรุงขั้นตอน การคัดแบ่งสำหรับม่านตาสีอ่อน