



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์

An Online Visual Screening System for Children under Eight Years of Age

นามผู้วิจัย นางสาววิไล ศศธราดล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุสิต ธนเพทาย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์

An Online Visual Screening System for Children under Eight Years of Age

โดย

นางสาววิไล ศศธราดล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิไล ศศธราดล 2553: ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบ
ออนไลน์ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
คุณิต ชนแพทย, Ph.D. 64 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์
ขึ้นมาเป็นระบบออนไลน์ ในลักษณะโปรแกรมทดสอบแบบออนไลน์ที่คาดหวังว่าจะนำมาแทน
ระบบปัจจุบันซึ่งเป็นระบบการประเมินสายตาโดยกลุ่มเจ้าหน้าที่พร้อมเครื่องมือวัดสายตาหลาย
ชนิด ทั้งนี้กลุ่มเจ้าหน้าที่ ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสายตา เจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข
สุข และผู้เชี่ยวชาญเครื่องมือวัดสายตา เป็นต้น

ระบบที่สร้างขึ้นใหม่นี้ทำได้สำเร็จ โดยการเขียนโปรแกรมทดสอบสายตาที่คัดกรอง
อาการทางสายตาเบื้องต้นสำหรับเด็ก ซึ่งประกอบด้วยหลายขั้นตอนวิธี อาทิการสร้างภาพสามมิติ
บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ การปรับขนาดตัวอักษรในการทดสอบสายตา เป็นต้น การจัดเก็บข้อมูลทำ
โดยจัดเก็บผ่านอินเทอร์เน็ตเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ที่เก็บข้อมูลเป็นฐานข้อมูล สามารถเรียกดูข้อมูลผ่าน
ระบบออนไลน์ได้ และนอกจากนี้ยังมีการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อตรวจจับความเอียงของศีรษะ
ของเด็กซึ่งเป็นหนึ่งในอาการของผู้มีสายตาผิดปกติ

ระบบที่ออกแบบนี้ มีผลการทดสอบที่ตรงกันและยอมรับได้อยู่ที่ 2 ใน 3 ของการ
ทดสอบทั้งหมด โดยมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านสายตาจากประเทศสหรัฐอเมริการ่วมทำการทดสอบ
เปรียบเทียบระบบปัจจุบันและระบบออนไลน์ด้วย ขณะที่นำไปทดสอบกับเด็กนักเรียนอนุบาลชั้น
ปีที่ 3 และ ประถมศึกษาชั้นปีที่ 1 รวมกันจำนวน 163 คน ที่โรงเรียนวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบออนไลน์ใช้ทรัพยากรบุคคลซึ่งเป็นผู้ทำการ
ทดสอบสายตาลดลงจากเดิมเป็น 1 ต่อ 3 ในระยะเวลาการทดสอบที่เท่ากันอีกด้วย และผลการ
ทดสอบโปรแกรมตรวจจับความเอียงของศีรษะของเด็กที่เพิ่มเติมเข้ามาในระบบยังให้ค่า
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวัดมุมเอียงของศีรษะอยู่ในระหว่าง -13.2°
ถึง 17.4°

Wilai Sasataradol 2010: An Online Visual Screening System for Children under Eight Years of Age. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dusit Thanapatay, Ph.D. 64 pages.

This research presents an innovation of online visual screenings system that shows potential to replace the manual visual screening system conducted by optometrists, health public agents and visual screening teams.

The newly invented system is achieved by creating a visual screening program with a collection of methods such as stereograms and varying letter size. An Apache HTTP web server is used to record the results to database. The database can be online queried for the diagnosis. Moreover, digital image processing is used to detect tilt angle of the head.

The result of online visual screening system and manual visual screening are collected by the optometrists, health public agents, visual screening teams and programmers from 163 school-aged children in Kindergarten 3 and Grade 1 of Wang Klai Kang Won School, Hua Hin district, Thailand. The correlation result between online visual screening system and manual visual screening system are 2 of 3 test parts but online visual screening system used lower resources than manual visual screening system (1:3 person/process) in the same process time. For head tilt detector program, the difference between the calculated result and the true result is less than 1.5% while measuring the head angle between -13.2° and 17.4°

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ดุสิต ธนพิทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผศ.ดร.วชิระ จงบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจน การตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.วีระชัย สิงหนิยม และคณะ จากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบ ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโททุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และ ทุกคนในครอบครัว ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

วิไล ศศธราดล
มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	60
สรุป	60
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	62
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	64

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวเลขแสดงเศษส่วนบอกค่าเป็นระยะทางและค่าเทียบเท่าในระบบสเนลเลน และระบบเมตริก	6
2	ความสูงของตัวอักษรที่สัมพันธ์กับระบบสเนลเลน	38
3	ผลการทดสอบเปรียบเทียบเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านจากทั้ง 2 ระบบ	55
4	ผลการทดสอบเปรียบเทียบมุมการเอียงของศีรษะในขนาดมุมต่างๆ	59

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผ่นป้ายสเนลเลน	5
2 ขนาดของตัวอักษร E เมื่อเทียบกับระยะทางจากผู้สังเกตการณ์	6
3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดูภาพสามมิติ กล้องสเตอริโอสโคป	7
4 แว่นตาที่มีเลนส์ด้านซ้ายข้อมด้วยสีแดงและด้านขวาเป็นสีน้ำเงิน	8
5 มุมมองของตาแต่ละข้างที่มองไปยังวัตถุที่มีระดับความลึกไม่เท่ากัน	8
6 รายละเอียดของจุดภาพขนาดต่างๆ	10
7 ลักษณะของภาพเคลื่อนไหวจากการเก็บข้อมูลภาพนิ่ง	11
8 วงล้อสีแบบ RGB	11
9 ความแตกต่างของ สีแสง (RGB) และ สีวัตถุ (CMYK)	11
10 ความยาวคลื่นของสีแบบ RGB (CIE 1931)	12
11 ค่าของสีแบบ RGB บนแกน 3 มิติ	12
12 สามเหลี่ยม 2 มิติ ในปริภูมิ 3 มิติของมาตรฐานสี RGB	13
13 ลักษณะของระบบสี HSI	14
14 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่เก็บค่าสี	17
15 ภาพสีหลังจากแปลงเป็นภาพระดับสีเทา	17
16 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล	19
17 ภาพแบบ Binary หรือ ภาพขาว-ดำ	19
18 ภาพแบบ Grayscale	20
19 ภาพแบบ RGB	21
20 ภาพแบบ Indexed	21
21 การทำ Image Filtering โดยใช้ Subwindow Mask ขนาด 3x3	22
22 ลักษณะการวิ่งของ Mask บนรูปภาพ แบบ Convolution	23
23 การทำ Correlation	23
24 การกำหนด Region of Interest	24
25 ลักษณะของ Wavelet	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ลักษณะของ Haar Wavelet	25
27	รูปแบบของ Haar-like Feature สำหรับการตรวจจับลักษณะแบบต่างๆ	26
28	ตัวอย่างการใช้ Haar-like Feature ตรวจจับลักษณะต่างๆ	26
29	การคำนวณแบบ Integral image	27
30	การคำนวณแบบ Integral image พิจารณาแบบผลรวมของค่าจุดภาพ	27
31	การทำงานของ AdaBoost	29
32	ผลลัพธ์จากการทำกระบวนการ AdaBoost	29
33	การทำงานของ Haar Cascade Classifier	30
34	ภาพผลจากการตรวจจับด้วยภาพต้นแบบที่เป็นรูปตา	30
35	ขั้นตอนการทดสอบของระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นในปัจจุบัน	34
36	ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นที่ออกแบบใหม่	35
37	ระบบประเมินสายตาแบบออนไลน์ และ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมแต่ละส่วน	36
38	โปรแกรมทดสอบสายตาหน้าที่ 1 ในส่วนการซักถามประวัติ	36
39	โปรแกรมทดสอบสายตาสั้นแสดงขนาดตัวอักษรที่มีตัวเลขเศษส่วนเป็น 20/20	37
40	การปรับแต่งขนาดตัวอักษรที่แสดงจริงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์	38
41	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบสายตาสั้น	39
42	โปรแกรมทดสอบ Fixation disparity	40
43	โปรแกรมทดสอบ Phoria	41
44	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Phoria	42
45	แนวการมองไปยังวัตถุใดๆ ที่มีความลึกสองระดับ	43
46	โปรแกรมทดสอบ Stereopsis	44
47	การปรับสีน้ำเงิน สีแดง และสีพื้นหลัง ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์	45
48	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Stereopsis	46
49	โปรแกรมทดสอบภาวะตาบอดสี	47
50	ขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อหามุมเอียงของคิริยะ	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	ขั้นตอนในการเขียน โปรแกรมส่งตรวจจับการเอียงของศีรษะ	49
52	ภาพการตรวจจับส่วนของภาพที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายคลึงกับภาพดวงตา ต้นแบบ	50
53	ภาพดวงตาซ้ายและขวาต้นแบบ	50
54	โปรแกรมตรวจจับการเอียงของศีรษะพร้อมแสดงผลลัพธ์	50
55	การคำนวณมุมเอียงของศีรษะ	51
56	การทดสอบระบบประเมินสายตาแบบเดิม	53
57	การทดสอบโปรแกรมของระบบออนไลน์กับเด็กนักเรียน	54
58	กราฟเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบภาวะสายตาสั้น/ยาว	55
59	กราฟเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบการมองเห็นพร้อมกัน สองตา	56
60	กราฟเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบภาวะตาบอดสี	56
61	ภาพมุมการเอียงของศีรษะในขนาดมุมต่างๆ	57
62	ภาพการวัดมุมเอียงจริงโดยใช้โปรแกรม Scale v2.0	58

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

B	=	Blue
CMYK	=	Cyan-Magenta-Yellow-Key
CIE	=	Commission International d'Eclairage
dpi	=	dot per inch
G	=	Green
H	=	Hue
I	=	Intensity
MOA	=	minute of arc
R	=	Red
ROI	=	Region-of-interest
S	=	Saturation

ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์

An Online Visual Screening System for Children under Eight Years of Age

คำนำ

ประชากรเด็กในประเทศไทย บางส่วน ในท้องที่ห่างไกลเมืองหรือชุมชน ยังขาดการประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นจากจักษุแพทย์ เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนจักษุแพทย์ในประเทศไทย และการกระจายงานให้กับเจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับเด็กโดยตรง เช่นครูในโรงเรียน ทำให้เด็กที่มีปัญหาการมองเห็น อาทิ สายตาสั้นหรือยาว สายตาสีเทา การไม่สามารถแยกความตื้นหรือลึกของภาพได้ การมีอาการตาบอดสี การมองเห็นตัวอักษรเบรลล์ ไม่ได้ถูกตรวจพบตั้งแต่ในช่วงวัยเด็ก ทำให้เสียโอกาสในการรักษา โดยจักษุแพทย์อย่างถูกวิธี ซึ่งปัญหาการมองเห็นบางชนิดไม่สามารถรักษาได้ เมื่อพ้นวัยไปแล้ว ทำให้เด็กเหล่านี้ไม่สามารถจะใช้ดวงตาทั้ง 2 ข้างอย่างมีประสิทธิภาพเหมือนคนปกติทั่วไป

นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าระบบการประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นสำหรับเด็กในปัจจุบันนั้น ต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจในเครื่องมือเป็นอย่างดี และมีความรู้ความสามารถในการประเมินอาการทางสายตา เบื้องต้น และ ในการจัดตั้งระบบนี้ขึ้นมา แต่ละสถานที่จะต้องใช้พื้นที่บริเวณกว้าง และเวลา การประเมินค่อนข้างนาน เนื่องจากมีขั้นตอนการประเมินหลายขั้นตอน ดังนั้นการขนย้ายเครื่องมือจึงเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่ไม่สะดวกสำหรับโรงเรียนที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล

ด้วยที่มาของปัญหาดังกล่าวข้างต้น ได้นำไปสู่การริเริ่มทำวิทยานิพนธ์นี้ โดยการศึกษาวิจัยในการสร้างระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์ ซึ่งจะสร้างเว็บเพจเพื่อแสดง โปรแกรม การประเมินแบบเป็นลำดับขั้นทีละหน้า และใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย รวมทั้งสามารถสรุปผลการประเมินเป็นรายงาน สามารถเรียกดูข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ได้ ทำให้เป็นระบบที่ใช้งานง่าย และสามารถกระจายหน้าที่ความรับผิดชอบในการประเมิน ให้กับ เจ้าหน้าที่ผู้ที่ไม่ได้เป็นจักษุแพทย์ได้

ทั้งนี้ ระบบที่สร้าง หรือระบบออนไลน์ จะช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้มาก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้กระดาษในการบันทึกผลการประเมินสายตาแบบระบบปัจจุบันหรือระบบปัจจุบัน อันจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว และยังลดจำนวนเจ้าหน้าที่ที่ทำการทดสอบเด็กได้อีกด้วย

นอกจากนี้ระบบที่สร้างยังมีการเพิ่มเติมส่วนของการประมวลผลภาพ ดิจิทัล เพื่อตรวจจับมุมมองเอียงของศีรษะเป็นหน่วยองศา ซึ่งเป็นหนึ่งในอาการบ่งชี้ของผู้ที่มีสายตาผิดปกติอีกด้วย

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ประกอบด้วย 4 ส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นเรื่องการตรวจเอกสาร ซึ่งบรรยายเนื้อหาเกี่ยวกับ วิธีคำนวณขนาดตัวอักษรตามระบบสเนลเลน (Snellen) วิธีการสร้างภาพคู่สเตอริโอ และวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อแก้ไขรูปภาพและตรวจจับสิ่งที่สนใจในภาพได้

ในส่วนที่สองจะเป็นเรื่องอุปกรณ์และวิธีการ ซึ่งกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย ของวิทยานิพนธ์นี้ วิธีการขั้นตอนการดำเนินงาน การออกแบบระบบ ประเมินสายตา และการ ทดสอบประสิทธิภาพของระบบ และการทดสอบการใช้งานจริงกับเด็กในโรงเรียนต่างจังหวัดในประเทศไทย

ในส่วนที่สามจะเป็นผลและวิจารณ์ ซึ่งจะนำเสนอผลจากการทดลองในรูปของตา รางรูปภาพ หรือกราฟ รวมทั้งการคำนวณประสิทธิภาพของระบบประเมินสายตา และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมตรวจจับมุมมองเอียงของศีรษะ

ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการสรุปและเสนอแนะ โดยจะสรุปสาระสำคัญของการทดลองและผลที่ได้ พร้อมทั้ง กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหา พร้อมทั้ง การนำผลการวิจัยไปปรับใช้หรือนำไปพัฒนาแนวคิดในขั้นต่อไป

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลัก เพื่อสร้างระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์ โดยมี ซอฟต์แวร์ ในการสร้าง เว็บเพจ เพื่อแสดงการประเมินแบบเป็นลำดับขั้นตอน สามารถสรุป และส่งผลการทดสอบกลับไปยังระบบส่วนกลางหรือเซิร์ฟเวอร์ได้ รวมทั้งสามารถเรียกดูข้อมูลแบบรายงานผ่านระบบออนไลน์ได้ เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ได้กำหนดให้มีวัตถุประสงค์ย่อยดังต่อไปนี้

1. เพื่อออกแบบโปรแกรมประเมินสายตาสำหรับเด็กแบบออนไลน์ ที่ประกอบไปด้วย การทดสอบภาวะสายตาสั้นหรือยาว ความสามารถในการมองเห็นพร้อมกันสองตา และภาวะตาบอดสีได้
2. เพื่อทดสอบสมรรถภาพของ ระบบการประเมินสายตาเด็กที่ออกแบบใหม่ โดย ทดสอบกับเด็กนักเรียน ที่โรงเรียน ต่างจังหวัด ในประเทศไทย ซึ่งมีเป้าหมายให้ ผลการทดสอบ ของระบบออนไลน์ที่ได้ตรงกับระบบปัจจุบัน อย่างน้อย 2 ใน 3 ส่วนของการทดสอบ
3. เพิ่มการตรวจจับภาวะศีรษะเอียงในระหว่างประเมินสายตา ให้สามารถวัดผลออกมาเป็นหน่วยองศาได้

การตรวจเอกสาร

ในปัจจุบัน การประเมินความสามารถในการมองเห็น แบบเบื้องต้นในประเทศไทย จะใช้อุปกรณ์เฉพาะอย่างในการประเมิน เช่น อุปกรณ์วัดสายตาประเภทกล่องไฟที่แสดง ตัวเลขหรือตัวอักษรระบบสเนลเลน (Snellen) แบบตั้งโต๊ะหรือติดผนัง (ศิริพจน์ มะโนดี, ม.ป.ป.) หรืออุปกรณ์วัดการบอดสีแบบ แผ่นภาพ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ส่วนใหญ่จะมียูใน โรงพยาบาล หรือร้าน ตรวจสายตาประกอบแว่น ทำให้เด็กไทย ส่วนใหญ่ไม่ได้รับการประเมินอย่างทั่วถึง และการใช้งาน อุปกรณ์เหล่านี้ต้องให้จักษุแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านสายตาเป็นผู้ทำการประเมินให้

ต่อมาได้มีผู้พัฒนาเทคนิคในการสร้างรูปภาพสามมิติแบบเสมือนขึ้น โดยใช้คอมพิวเตอร์ ในการคำนวณและแสดงภาพบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Thimbleby et al., 1994) ซึ่งเป็นประโยชน์ ต่อการประเมินความสามารถในการมองเห็น ด้วยคอมพิวเตอร์ ในเชิงลึกมากขึ้น นั่นคือการประเมิน ความสามารถในการมองสองตา ของมนุษย์ เพื่อตรวจสอบว่าใช้ตาทั้งสองข้างมองภาพ ด้วย ประสิทธิภาพที่เท่าหรือใกล้เคียงกันหรือไม่

และเมื่อไม่นานมานี้มีบริษัทได้ผลิตซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการประเมิน ความสามารถในการมองเห็นสำหรับผู้ใหญ่ โดยแสดงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Anonymous, n.d.) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ ออกแบบมาสำหรับใช้เป็น แบบสากล มีความยุ่งยากซับซ้อนในการใช้งานกับเด็กไทย จึงทำให้ผู้ที่ ใช้ซอฟต์แวร์นี้ต้องมีความเชี่ยวชาญเป็นอย่างดีก่อนจะทำการประเมินให้กับเด็กไทยได้

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการพัฒนาต่อ โดยสร้าง ซอฟต์แวร์ หรือ โปรแกรม ขึ้นมาใหม่ โดย ออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย และประยุกต์ เทคนิคในการสร้างรูปภาพสามมิติแบบเสมือนด้วย คอมพิวเตอร์ และเหมาะสมกับความต้องการของเด็ก ไทย และเพิ่มการศึกษาวิจัยการนำเทคนิค ประมวลผลภาพดิจิทัล (Gonzalez and Woods, 1999) มาตรวจจับตำแหน่งของตาทั้งสองข้างเพื่อ คำนวณว่าศีรษะมีมุมความเอียงกี่องศา และสามารถนำผลที่ได้นี้ไปวิเคราะห์ในเชิงการแพทย์ต่อไป อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังจะเพิ่มในส่วนการจัดเก็บข้อมูล แบบออนไลน์เพื่อให้เกิดประโยชน์ ในหลายๆ ทาง อาทิ ความสะดวก ในการค้นหาข้อมูล ความรวดเร็วในการวินิจฉัยอาการ หรือเพิ่มโอกาสที่จะ ขยายการประเมินสายตาไปยังเด็กในพื้นที่ห่างไกลในประเทศไทยได้

1. การวัดสายตา (Visual Acuity)

หลักการวัดสายตา คือ ขนาดของภาพที่ปรากฏ บนจอตา (retinal image size) ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ และระยะห่างจากลูกตา ซึ่งมีผู้ประดิษฐ์แบบวัดสายตาขึ้นโดยอาศัยหลักการดังกล่าว เป็นแผ่นป้ายมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันคือ แผ่นป้ายสเนลเลน (snellen chart) ซึ่งประกอบด้วยตัวเลข หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษ ขนาดต่างๆ ตัวอักษร E (E chart) หรือรูปภาพ ดังแสดงในภาพที่ 1 นอกจากนี้ยังมี reduced snellen charts หรือเรียกกันทั่วไปว่า Near cards ซึ่งใช้วัดสายตาในระยะใกล้ (near vision) โดยให้ผู้ป่วยถือ Near cards อ่านในระยะห่าง 14 นิ้ว นิยมใช้ในกรณีตรวจวัดสายตาในบุคคลที่สายตาวายเนื่องจาก อายุมาก คือ 40 ปีขึ้นไป ที่เรียกกันว่าสายตาวายในผู้สูงอายุ (presbyopia) โดยค่าสายตาที่วัดได้จะบันทึกเป็นตัวเลขเศษส่วน บอกค่าเป็นระยะทางดังนี้

เลขเศษ หมายถึง ระยะทางที่คนสายตาผิดปกติสามารถเห็น ได้ชัดที่สุด

เลขส่วน หมายถึง ระยะทางที่คนสายตาปกติสามารถเห็น ได้ชัดที่สุด

ตัวเลขแสดงเศษส่วนบอกค่าเป็นระยะทางและค่าเทียบเท่าโดยประมาณแสดงในตารางที่ 1

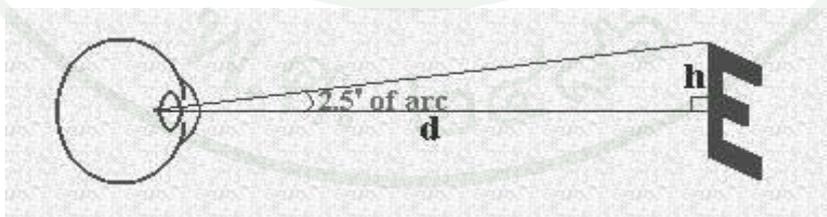
A	20/200
D F	20/100
H Z P	20/70
T X U D	20/50
Z A D N H	20/40
P N T U H X	20/30
U A Z N F D T	20/25
N P H T A F X U	20/20
X D F H P T Z A N	20/15
F A X T D N H U P Z	20/10

ภาพที่ 1 แผ่นป้ายสเนลเลน

ตารางที่ 1 ตัวเลขแสดงเศษส่วนบอกค่าเป็นระยะทางและค่าเทียบเท่าในระบบสเนลเลน และระบบเมตริก

แถวที่	ระบบสเนลเลน (ฟุต)	ระบบเมตริก (เมตร)
1	20/20	6/6
2	20/25	6/7.5
3	20/30	6/9
4	20/40	6/12
5	20/50	6/15
6	20/60	6/18
7	20/70	6/21
8	20/80	6/24
9	20/100	6/30
10	20/200	6/60
11	20/400	6/120

การคำนวณขนาดของตัวอักษรที่ระยะทางที่คนสายตาผิดปกติสามารถเห็นได้ชัดที่สุด หรือที่ระยะทาง 20 ฟุต ตัวอักษรที่ใช้ทดสอบสายตา จะมีขนาดความสูงเป็นไปตามเงื่อนไขการทำมุมกับตาที่ 5 ลิปดา (minutes of arc: MOA) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยที่หน่วยลิปดา มีค่าเท่ากับ 1/60 ของหน่วยองศา ความสูงของตัวอักษรจึงสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 1



ภาพที่ 2 ขนาดของตัวอักษร E เมื่อเทียบกับระยะทางจากผู้สังเกตการณ์

$$h = \tan(0.04167) \times d \quad (1)$$

โดยที่ d คือ ระยะทางจากตาไปยังตัวอักษร
 h คือ ขนาดความสูงครึ่งหนึ่งของตัวอักษร

2. การสร้างภาพสามมิติ (stereoscopic)

ภาพสามมิติหรือภาพคู่สเตอริโอ (Stereo Pairs) หมายถึงภาพมุมมองตาข้างซ้ายและภาพมุมมองตาข้างซ้ายที่มองเห็นต่างกันเล็กน้อย มีการปรับโฟกัสเลนส์ของตาเพื่อให้ภาพชัด เมื่อมองพร้อมกันแล้วสมองส่วนที่เรียกว่า ออปติคัลทาลามัส (Optical thalamus) จะทำหน้าที่รวมข้อมูลจากสองภาพแล้วตีความหมายออกมาว่า ภาพมีความลึก ถ้าเราถ่ายภาพวัตถุหนึ่งจากสองมุม คือ มุมซ้ายและมุมขวา จากนั้นมองภาพทั้งสองนั้นแยกกัน โดยตาซ้ายก็มองภาพซ้าย ส่วนตาขวาก็มองภาพขวา สมองเราจะตีความหมายว่าภาพนั้นเป็นภาพสามมิติ (ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา นครศรีธรรมราช, 2553) อุปกรณ์ที่ใช้ในการดูภาพสามมิติ คือ กล้องสเตอริโอสโคป ดังแสดงในภาพที่ 3 ผู้สังเกตการณ์จะสามารถมองเห็นภาพทรวดทรงด้วยการสวมแว่นตาที่มีเลนส์ด้านซ้ายข้อมด้วยสีแดงและด้านขวาเป็นสีน้ำเงิน ดังแสดงในภาพที่ 4 จะพบว่าตาข้างที่ใช้แผ่นกรองสีน้ำเงิน จะเห็นภาพที่มีสีน้ำเงินแต่ไม่เห็นภาพสีแดง และตาข้างสีแดงจะเห็นภาพที่มีสีแดงแต่ไม่เห็นภาพสีน้ำเงิน แต่ถ้ามองภาพที่พิมพ์สองสี ที่ฉายเหลื่อมกัน จากภาพสองภาพ หรือภาพเหลื่อม (Anaglyph image) จะมองเห็นเป็นภาพสามมิติได้

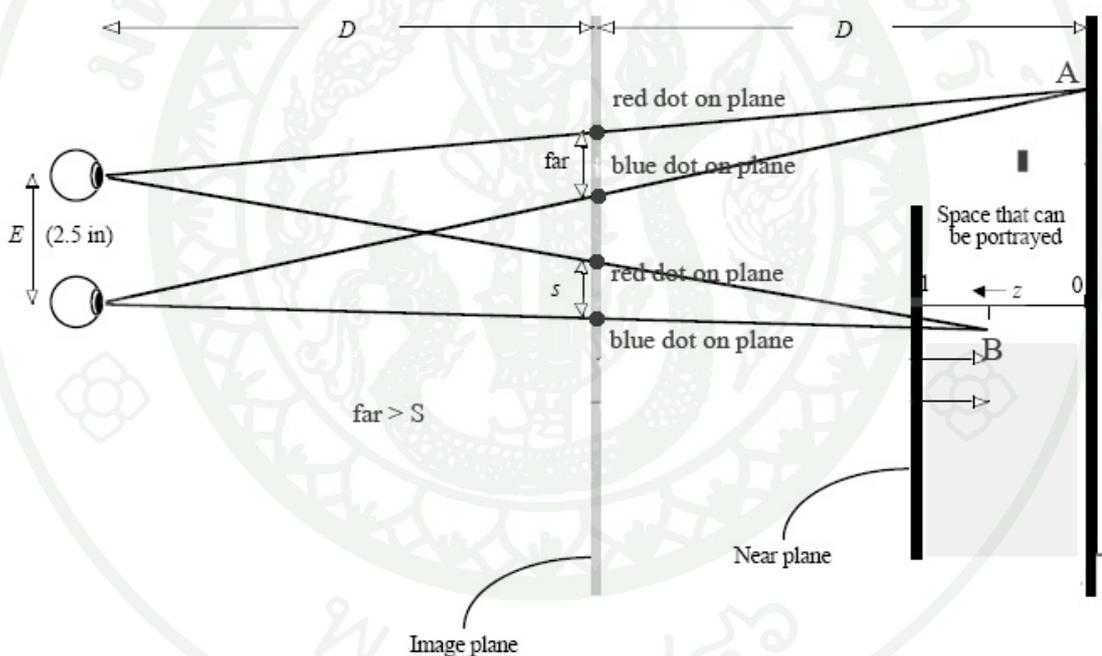


ภาพที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดูภาพสามมิติ กล้องสเตอริโอสโคป



ภาพที่ 4 แว่นตาที่มีเลนส์ด้านซ้ายข้อมด้วยสีแดงและด้านขวาเป็นสีน้ำเงิน

การสร้างภาพคู่สเตอริโอมีหลายวิธี และวิธีที่ถูกเลือกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ การฉายแบบ 2 จุด (สมชาติ รุ่งเรืองสรการ, 2543)



ภาพที่ 5 มุมมองของตาแต่ละข้างที่มองไปยังวัตถุที่มีระดับความลึกไม่เท่ากัน

การประยุกต์การฉายแบบ 2 จุด รวมเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถสร้างได้โดยสมมติว่ามีระนาบวางอยู่ระหว่างตาของผู้สังเกตการณ์ และวัตถุ โดยให้จินตนาการว่าระนาบนั้นเป็นแก้วใส (ในความเป็นจริงคือหน้าจอคอมพิวเตอร์นั่นเอง) มุมมองของตาแต่ละข้างที่มองไปยังวัตถุ จะมีมุมมองที่บรรจบไปยังตำแหน่งหนึ่งๆ บนวัตถุ เมื่อพิจารณาบนระนาบ จะเห็นจุดสองจุดที่ฉายแบบเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) ไปบนระนาบ และถ้าพิจารณาเป็นสองตำแหน่งบนวัตถุที่มีระดับความ

ลึกไม่เท่ากัน (ห่างจากระนาบไม่เท่ากัน) ระยะห่างระหว่างคู่จุดทั้งสองจะมีระยะห่างไม่เท่ากัน ดังแสดงในภาพที่ 5 คู่จุดที่มีระยะห่าง far ที่ฉายแบบเปอร์สเปกทีฟลงบนระนาบ เกิดจากการสังเกตุการณ์ไปที่ตำแหน่ง A ของวัตถุ และคู่จุดที่มีระยะห่าง S ที่ฉายแบบเปอร์สเปกทีฟลงบนระนาบเกิดจากการสังเกตุการณ์ไปที่ตำแหน่ง B ของวัตถุ จะพบว่าระยะห่าง far มีค่ามากกว่าระยะห่าง S ถ้าพิจารณาการมองเห็นของตาแต่ละข้าง แยกเป็นอิสระต่อกันให้ตาข้างซ้ายมองเห็นเพียงจุดด้านซ้าย และตาข้างขวามองเห็นเพียงจุดด้านขวาบนระนาบ เมื่อมองพร้อมกันแล้วสมองรวมข้อมูลจากสองภาพแล้วตีความหมายออกมาว่าเห็นวัตถุที่ระดับความลึกเท่ากับวัตถุจริงได้

3. ข้อมูลพื้นฐานของสัญญาณภาพ

3.1 ลักษณะพื้นฐานของส่วนประกอบภาพ

ภาพโดยทั่วไปแบ่งตามลักษณะของภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว ซึ่งการกระทำใดๆ กับภาพนั้นเรียกว่า การประมวลผลภาพ ซึ่งการประมวลผลภาพสามารถทำได้ทั้งภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหว ภาพนิ่งจะสามารถประมวลผลภาพได้ง่าย เนื่องจากการประมวลผลภาพนิ่งจะไม่มี ความต่อเนื่องของภาพตามเวลา การประมวลผลภาพนิ่งส่วนมากจะเน้นเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของภาพนิ่ง กรณีที่เป็นภาพเคลื่อนไหวจะมีความต่อเนื่องของภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับเวลา การประมวลผลภาพเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับเวลา ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้การประมวลผลภาพทำได้ยากยิ่งขึ้น โดยพื้นฐานของภาพเคลื่อนไหวจะมาจากภาพนิ่งหลายๆ ภาพที่มีการเรียงลำดับ ตามจังหวะเวลาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มองเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวในจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาพนั้นๆ

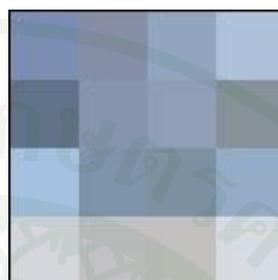
3.2 ข้อมูลภาพ

ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพแบบ ดิจิทัลจะมีข้อมูล ซึ่งสามารถนำไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ การเก็บข้อมูลภาพจะเป็นการเก็บข้อมูลค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุ แสงที่สะท้อนจะถูกเก็บเป็นจุดภาพ (Pixel) เรียงอย่างต่อเนื่องตามแนวพิกัด 2 มิติ ซึ่งจะปรากฏเป็นภาพที่ได้ เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบวัตถุ และสะท้อนจากวัตถุมายังตัวรับภาพ (Image sensor) จะได้ค่าความเข้มของแสงแต่ละระดับตามลักษณะการสะท้อนและการดูดกลืนแสงของวัตถุ การรับภาพในแต่ละจุดภาพจะเก็บความเข้มแสงแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน การรวมกันของค่าสีทั้ง 3 สีจะได้เป็นจุดภาพ 1 จุด ในภาพนิ่ง 1 ภาพจะเป็นการเก็บค่าความเข้มของแสง

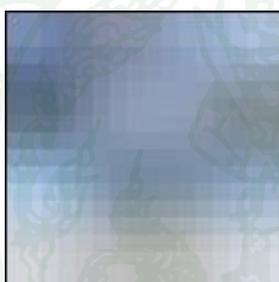
แต่ละจุดภาพเรียงต่อเนื่องกันไปตลอดทั้งภาพตามแนวพิกัด 2 มิติ ขนาดของจุดภาพจะแสดงถึงความละเอียดของภาพดังแสดงในภาพที่ 6 ภาพที่มีความละเอียดสูงจะมีจำนวนจุดภาพมากต่อหน่วยพื้นที่ การแสดงความละเอียดของภาพ จะนิยมแสดงเป็นจำนวนจุดภาพต่อตารางนิ้ว (dot-per-inch: dpi) ดังนั้นภาพหนึ่ง 1 ภาพจะประกอบไปด้วยจำนวนจุดภาพหลายๆ จุด



ภาพต้นแบบ



ภาพ 4x4 จุดภาพ



ภาพ 16x16 จุดภาพ



ภาพ 64x64 จุดภาพ

ภาพที่ 6 รายละเอียดของจุดภาพขนาดต่างๆ

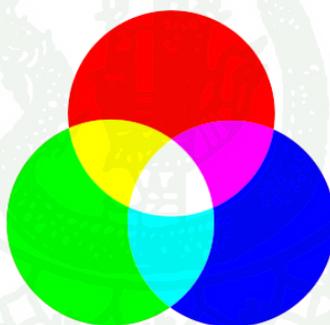
การเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหวจะทำในทำนองเดียวกัน คือ เก็บเป็นภาพนิ่งหลายภาพต่อหน่วยเวลาต่อเนื่องกันไป นิยมใช้เป็นหน่วยวินาที โดยทั่วไปกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวจะทำการเก็บภาพเป็น 30 ภาพต่อวินาที ด้วยความเร็วในการเก็บภาพ จะทำให้มองเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีความต่อเนื่องดังแสดงในภาพที่ 7 ภาพนิ่งในภาพเคลื่อนไหวแต่ละภาพจะเรียกว่า เฟรม (Frame) จากลักษณะของภาพที่เป็นภาพเคลื่อนไหวสามารถทำการประมวลผล ภาพได้ เช่นเดียวกับกับภาพนิ่งโดยการประมวลผลจากเฟรมภาพ



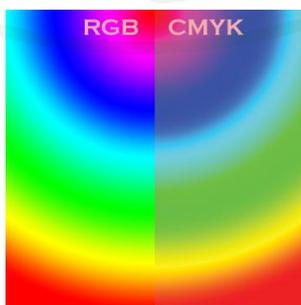
ภาพที่ 7 ลักษณะของภาพเคลื่อนไหวจากการเก็บข้อมูลภาพนิ่ง

3.3 ระบบสี (Color Model)

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สีหลักสามสีคือ แดง (Red: R), เขียว (Green: G) และ น้ำเงิน (Blue: B) ระบบสีแบบ RGB นั้นเป็นระบบสีแสง และเป็นแบบการผสมสีแบบบวก คือ ถ้าไม่มีสีใดเลยจะมองเห็นเป็นสีดำ และในทางกลับกัน หากมีครบทุกสีจะมองเห็นเป็นสีขาว โดยมีลักษณะของการผสมสีทางแสงตามรูปแบบดังแสดงในภาพที่ 8 จะต่างกับระบบสีแบบการผสมสีแบบลบ หรือระบบสีแบบ CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key) ที่เป็นสีที่เกิดจากการสะท้อน หรือเรียกกันทั่วไปว่าสีวัตถุ ดังแสดงในภาพที่ 9

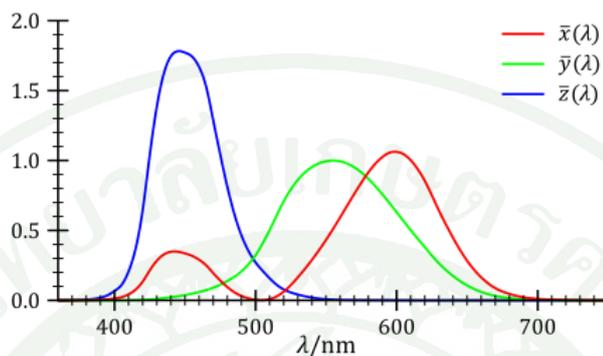


ภาพที่ 8 วงล้อสีแบบ RGB



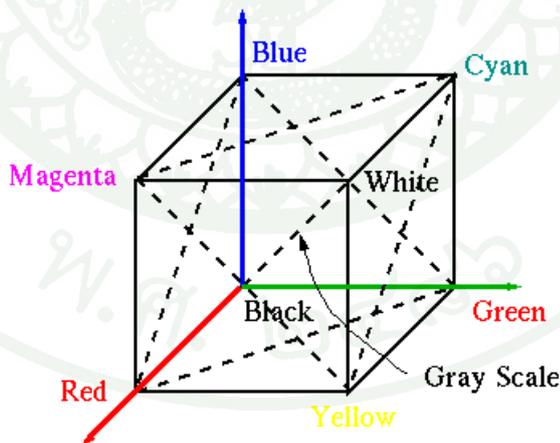
ภาพที่ 9 ความแตกต่างของ สีแสง (RGB) และ สีวัตถุ (CMYK)

การกำหนดมาตรฐานของสีถูกกำหนดขึ้นโดย Commission International d'Eclairage (CIE) ในปี ค.ศ. 1931 เพื่อกำหนดค่าของสีให้เป็นมาตรฐานของการหาค่าของแต่ละสี โดยได้จากการหาค่าความยาวคลื่นแสงของแต่ละสีดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 กราฟความยาวคลื่นของสีแบบ RGB (CIE 1931)

การกำหนดรูปแบบของสี (RGB Color Model) สามารถอธิบายได้โดยการกำหนดค่าให้อยู่ในปริภูมิ 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งนำมาพล็อตกราฟในระบบพิกัดมาตรฐาน RGB โดยกำหนดให้ค่าความเข้ม (Intensity) สูงสุดของสีแต่ละสีเป็น 1 และความมืดของแต่ละสีเป็น 0



ภาพที่ 11 ค่าของสีแบบ RGB บนแกน 3 มิติ

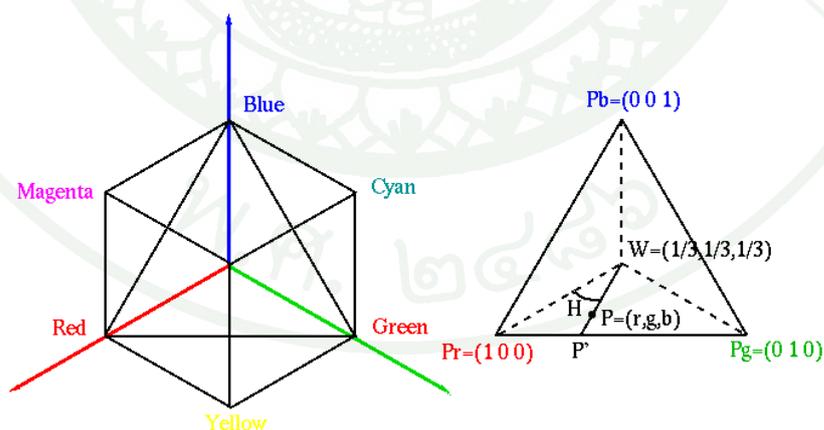
จากภาพที่ 11 สามารถทำการหาค่าบรรทัดฐานสี (Normalize color space) ได้ดังนี้

$$r_o = \frac{R}{R_{\max}} \quad (2)$$

$$g_o = \frac{G}{G_{\max}} \quad (3)$$

$$b_o = \frac{B}{B_{\max}} \quad (4)$$

เมื่อ r_o, g_o, b_o เป็นค่าประกอบของแต่ละสี และ $R_{\max}, G_{\max}, B_{\max}$ เป็นค่าความเข้มสูงสุดของแต่ละสี ในระบบของสีที่อยู่ในรูปแบบของสัญญาณ ดิจิทัลขนาด 24 บิต กำหนดให้แม่สี R G B แต่ละสีมีขนาด 8 บิต ดังนั้นค่าความเข้มของสีจะมีระดับความแตกต่างกันได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 255 ระดับในแต่ละสี เมื่อนำสีทั้งสามมารวมกันจะให้ความแตกต่างของสีเป็น 16,777,216 สี หรือประมาณ 16.7 ล้านสี นอกจากรูปแบบมาตรฐานสี RGB แล้ว ยังมีรูปแบบมาตรฐานสีอื่นๆ ที่นำมาใช้งานเช่น รูปแบบมาตรฐานสี HSI โดยที่ H (Hue) หมายถึงค่าความบริสุทธิ์ของสี S (Saturation) หมายถึงค่าความอิ่มตัวของสี และ I (Intensity) หมายถึงค่าความเข้มของสี เพื่อพิจารณาจากพิกัด 3 มิติของมาตรฐานสี RGB ไปเป็นพิกัด 2 มิติ จะได้เป็นลักษณะของรูปสามเหลี่ยมดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 สามเหลี่ยม 2 มิติ ในปริภูมิ 3 มิติของมาตรฐานสี RGB

การพิจารณาในมาตรฐานสี RGB ไปเป็นมาตรฐานสี HSI สามารถทำได้ เมื่อพิจารณาที่สีน้ำเงิน (b) ในกรณีที่มีค่าน้อยที่สุดของสี RGB จะเห็นได้ว่าค่าความบริสุทธิ์ของสี (H) จะอยู่

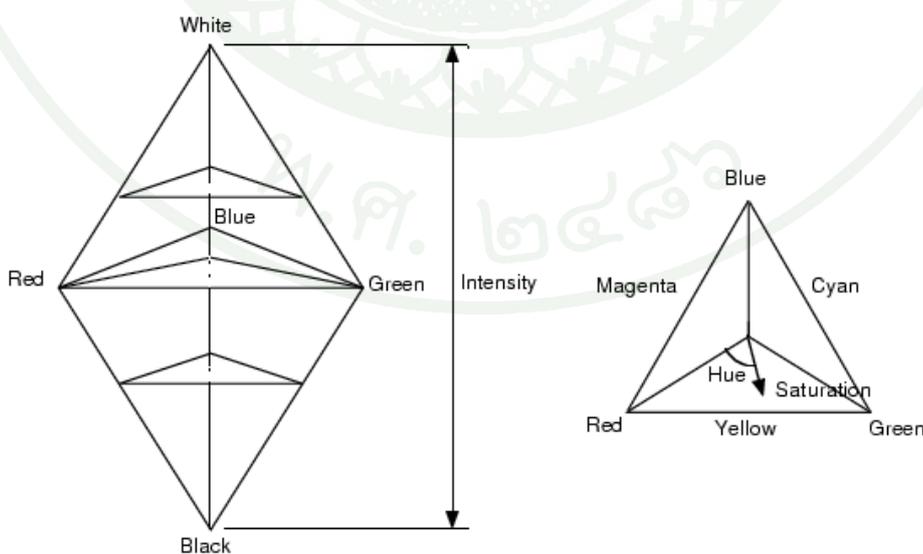
ในช่วงมุม 0 องศา ถึง 120 องศา ในทำนองเดียวกัน การพิจารณาสีแดง (r) ในกรณีที่มีค่าน้อยที่สุดของสี RGB จะมีพื้นที่ทางขวามือของสามเหลี่ยมที่มีความบริสุทธิ์ของสี (H) จะอยู่ในช่วงมุม 120 องศา ถึง 240 องศา และเมื่อพิจารณาสีเขียว (g) ในกรณีที่มีค่าน้อยที่สุดของสี RGB จะมีพื้นที่ทางซ้ายมือของสามเหลี่ยมที่มีความบริสุทธิ์ของสี (H) จะอยู่ในช่วงมุม 240 องศา ถึง 360 องศา เมื่อเขียนอยู่ในรูปสมการจะได้ดังนี้

$$b = \frac{B}{R + G + B} \tag{5}$$

$$r = \frac{R}{R + G + B} \tag{6}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B} \tag{7}$$

เมื่อ r g b เป็นค่ามาตรฐานสีในรูปแบบมาตรฐานสี HSI ซึ่งจากภาพที่ 11 และสมการที่ (5)(6)(7) จะพบว่าการพิจารณาแต่ละสีเป็น 1/3 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 11 จะเห็นว่ารูปสามเหลี่ยมนั้นจะกั้นอยู่ระหว่างค่าของสีดำและขาว เมื่อแสดงในภาพที่ 13 จะทำให้เห็นความชัดเจนได้มากขึ้น สีในรูปแบบมาตรฐาน HSI บางครั้งจะมีความสอดคล้องกับชื่อมาตรฐานสี HSL (Hue: H, Saturation: S, Light: L)



ภาพที่ 13 ลักษณะของระบบสี HSI

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความเข้มของสี (Intensity: I) ค่าอิ่มตัวของสี (Saturation: S) และค่าความบริสุทธิ์ของ (Hue: H) ในเทอมของมาตรฐานสี RGB ได้ดังนี้

$$\text{Intensity, } I = \frac{R + G + B}{3} \quad (8)$$

$$\text{Saturation, } S = 1 - 3 \times \min[r, g, b] \quad (9)$$

$$\text{Hue, } H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{2}{3}(r - \frac{1}{3}) - \frac{1}{3}(b - \frac{1}{3}) - \frac{1}{3}(g - \frac{1}{3})}{\sqrt{\left(\frac{2}{3}\right) \left[(r - \frac{1}{3})^2 + (b - \frac{1}{3})^2 + (g - \frac{1}{3})^2 \right]}} \right] \quad (10)$$

ในสมการที่ (10) เมื่อ $b > g$ จะทำให้ H มีค่ามากกว่า 180 องศา ในกรณีนี้จะแทนด้วย $360 - H$ ในทำนองเดียวกัน สำหรับการแปลงค่ากลับ (Inverse transformation) จากมาตรฐานระบบสี HSI เป็นมาตรฐานระบบสี RGB ได้โดยที่มองจากภาพที่ 13 สามารถกำหนดให้อยู่ในสามเหลี่ยมของระบบสี HSI ได้ดังนี้ ถ้าให้ $H = \theta$ สำหรับ $0^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$

$$b = \frac{1}{3}(1 - S) \quad (11)$$

$$r = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos \theta}{\cos(60^\circ - \theta)} \right] \quad (12)$$

$$g = 1 - r - b \quad (13)$$

สำหรับ $120^\circ \leq \theta \leq 240^\circ$

$$r = \frac{1}{3}(1 - S) \quad (14)$$

$$g = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(\theta - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - \theta)} \right] \quad (15)$$

$$b = 1 - r - g \quad (16)$$

สำหรับ $240^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$

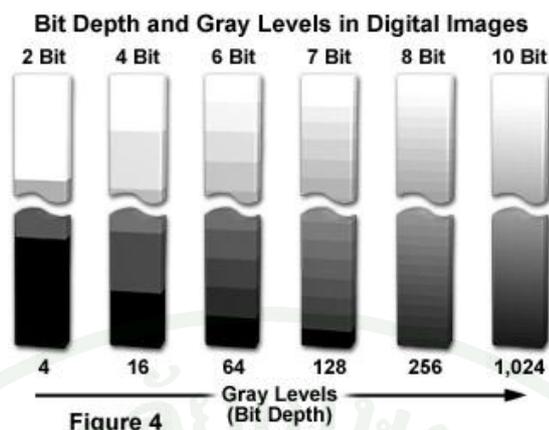
$$g = \frac{1}{3}(1 - S) \quad (17)$$

$$b = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(\theta - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - \theta)} \right] \quad (18)$$

$$r = 1 - b - g \quad (19)$$

จากภาพที่ 12 ยังมองเห็นความสัมพันธ์ของสีที่อยู่ในรูปแบบมาตรฐานอื่นที่ได้จากมาตรฐาน RGB ว่าเป็นแบบการผสมสีแบบบวก (Additive Color Mixing) ดังกล่าวไปในตอนต้น และมาตรฐาน CMYK ว่าเป็นแบบการผสมสีแบบลบ (Subtractive Color Mixing) ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการนำค่าสี R G B ไปลบออกจากแสงสีขาว

ระบบสี Grayscale เป็นช่วงของเฉดสีเทา ซึ่งแตกต่างกับภาพขาว-ดำ ที่มีเพียง 2 สี คือ ขาว กับดำ สีใน Grayscale นี้ แสดงถึงความเข้มของสี (Intensity) ในระดับต่างๆ โดยสีดำเป็นส่วนที่มีความเข้มของสีน้อย และสีขาวจะมีความเข้มของสีมาก จำนวนระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของ บิตที่ใช้เก็บค่าสี โดยทั่วไปแล้วจะเก็บข้อมูลสีประเภทนี้ด้วยข้อมูลขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ ซึ่งจะให้ความละเอียดของสีที่ 256 เฉดสี



ภาพที่ 14 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่เก็บค่าสี

การแปลงภาพระดับสีเทาจะนำไปใช้งานเมื่อต้องการเปลี่ยนจากภาพสีไปเป็นระดับความเข้มภาพ ซึ่งภาพสี RGB จะประกอบด้วยค่าความเข้มของแต่ละสี เช่น เมื่อใช้สีแต่ละสีเป็น ข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิต เมื่อนำค่าข้อมูลของทั้ง 3 สีมารวมกัน โดยให้ค่าสีทุกสีมีระดับความเข้มสูงสุดที่ระดับ 255 จะทำให้จุดภาพนั้นเป็นสีขาว ถ้าให้สีทุกสี มีค่าระดับกลางที่ระดับ 127 จะทำให้จุดภาพนั้นเป็นจุดภาพสีเทา และถ้าให้ทุกสีมีค่าระดับความเข้มต่ำสุดจุดภาพนั้นจะเป็นสีดำ สังเกตได้ว่า ระดับสีเทานั้นจะมีได้หลายระดับ ตั้งแต่ก่อนที่ทุกสีจะมีค่าระดับสูงจนถึงก่อนที่ทุกสี จะมีค่าระดับต่ำสุด ดังนั้นค่าของระดับสีเทาในแต่ละจุดภาพจะทำให้ภาพมีลักษณะความเข้มในแต่ละจุดภาพที่แตกต่างกันดังแสดงลักษณะการแปลงภาพจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ภาพสีหลังจากแปลงเป็นภาพระดับสีเทา

ภาพขาวดำ (Binary image) ภาพที่จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ในบางกรณี การเก็บเป็นความเข้มของแสงสว่าง ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลของภาพเป็นระดับของความสว่าง เช่น ถ้าหากความสว่าง

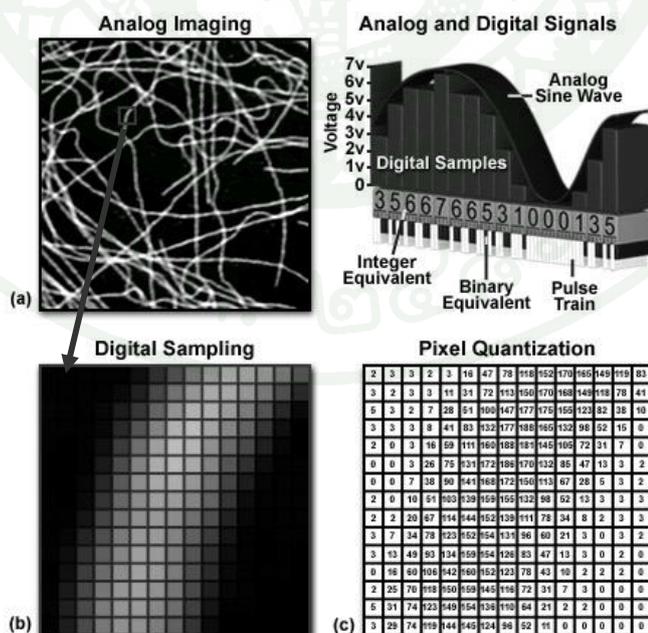
ของแสงมีปริมาณมากข้อมูลก็จะเป็นระดับของแสงสีขาวและสีดำเท่านั้น โดยทั่วไปจะใช้แทนระดับสีดำให้มีค่าเป็นระดับลอจิก “0” ซึ่งเป็นบริเวณภาพที่มีความมืด และแทนระดับสีขาวด้วยลอจิก “1” ซึ่งเป็นบริเวณภาพที่มีความสว่าง

4. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

4.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณแอนะล็อก (Analog signal) ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ และยังสามารถใช้ในการลดปัญหาของภาพเช่น ลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ เป็นต้น

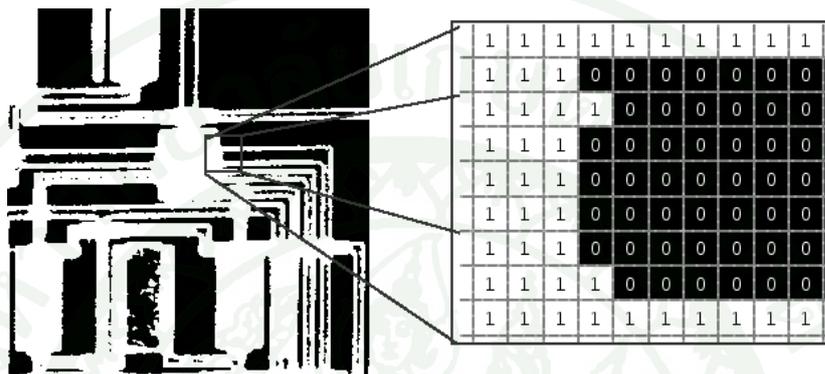
ในการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น ระบบจะนำรูปที่รับเข้ามาไปคำนวณ โดยกระบวนการ Sampling และ Quantization และส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำ โดยกา รจองหน่วยความจำภายในเครื่องในรูปแบบของอาร์เรย์ (Array) โดยค่าในแต่ละช่องของ อาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติต่างๆ ของรูปที่ จดภาพ นั้นๆ และ ตำแหน่งของช่องอาร์เรย์ก็เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพภายในภาพด้วย



ภาพที่ 16 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล

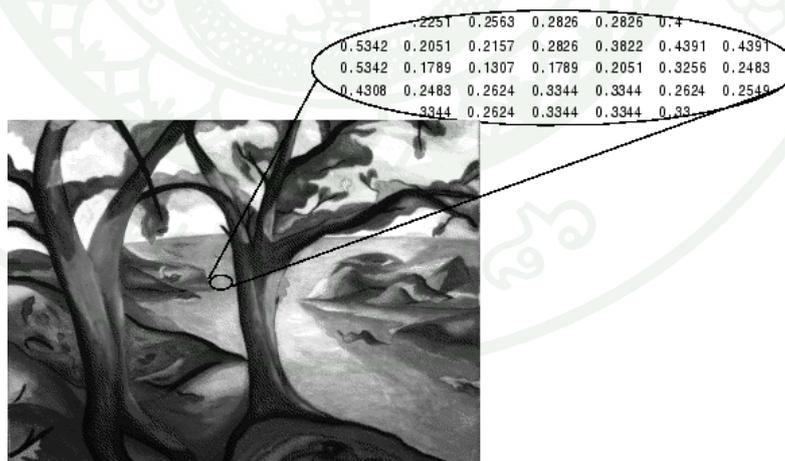
ภาพดิจิทัลที่ได้จะมีรูปแบบการเก็บเป็นเมทริกซ์ ซึ่งจะมีการจัดเก็บภาพแต่ละชนิดต่างกัน ขึ้นอยู่กับระบบสีของภาพดังกล่าว โดยแบ่งชนิดของภาพได้ดังนี้

4.1.1 Binary image หรือ ภาพขาว-ดำ เป็นรูปที่ใช้เนื้อที่เพียง 1 บิต ต่อ จุดภาพ โดยค่าสีจะมีแค่สองค่าคือ 0 หรือสีดำ และ 1 หรือสีขาว



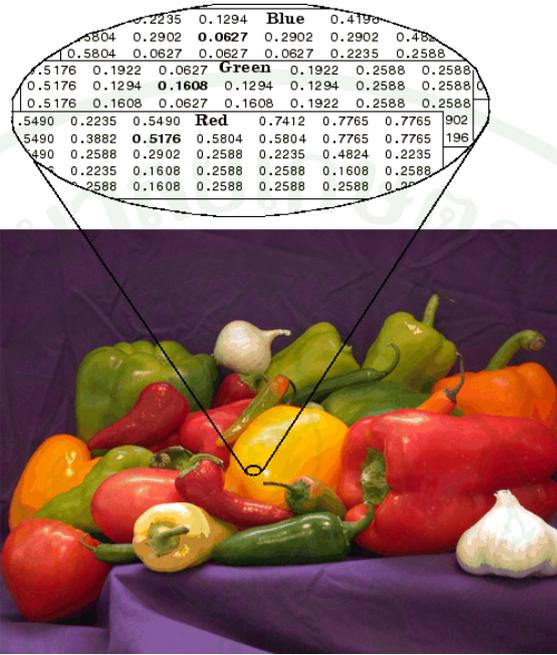
ภาพที่ 17 ภาพแบบ Binary หรือ ภาพขาว-ดำ

4.1.2 Grayscale Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บจะมีค่าอยู่ในช่วงๆหนึ่ง ซึ่งระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสี



ภาพที่ 18 ภาพแบบ Grayscale

4.1.3 RGB Image หรือ Truecolor Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติ ขนาด $m \times n \times 3$ โดยที่ m คือความยาว และ n คือความกว้างของภาพในหน่วยจุดภาพ ส่วนมิติสุดท้ายนั้น ในแต่ละมิติจะเก็บค่าสีแยกกัน คือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน



ภาพที่ 19 ภาพแบบ RGB

4.1.4 Indexed Image เป็นรูปที่มีรูปแบบการเก็บแบบ indexed ภาพประเภทนี้จะเก็บค่าสีเป็น indexed และในแต่ละช่องอาร์เรย์ จะเก็บตำแหน่งของสีใน indexed นั้นๆ

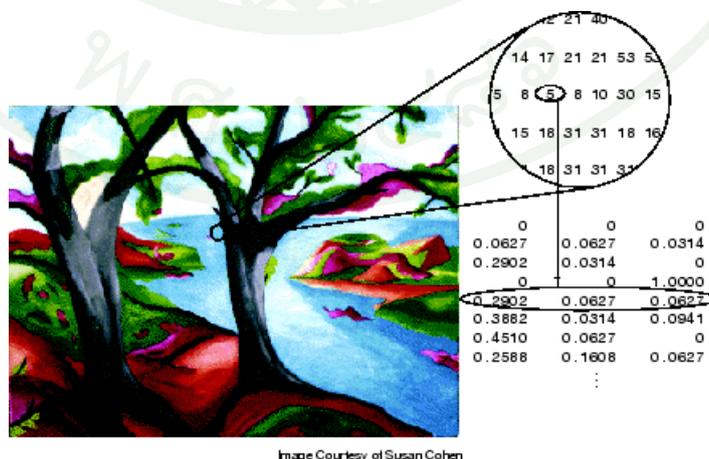


Image Courtesy of Susan Cohen

ภาพที่ 20 ภาพแบบ Indexed

4.2 การปรับภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา

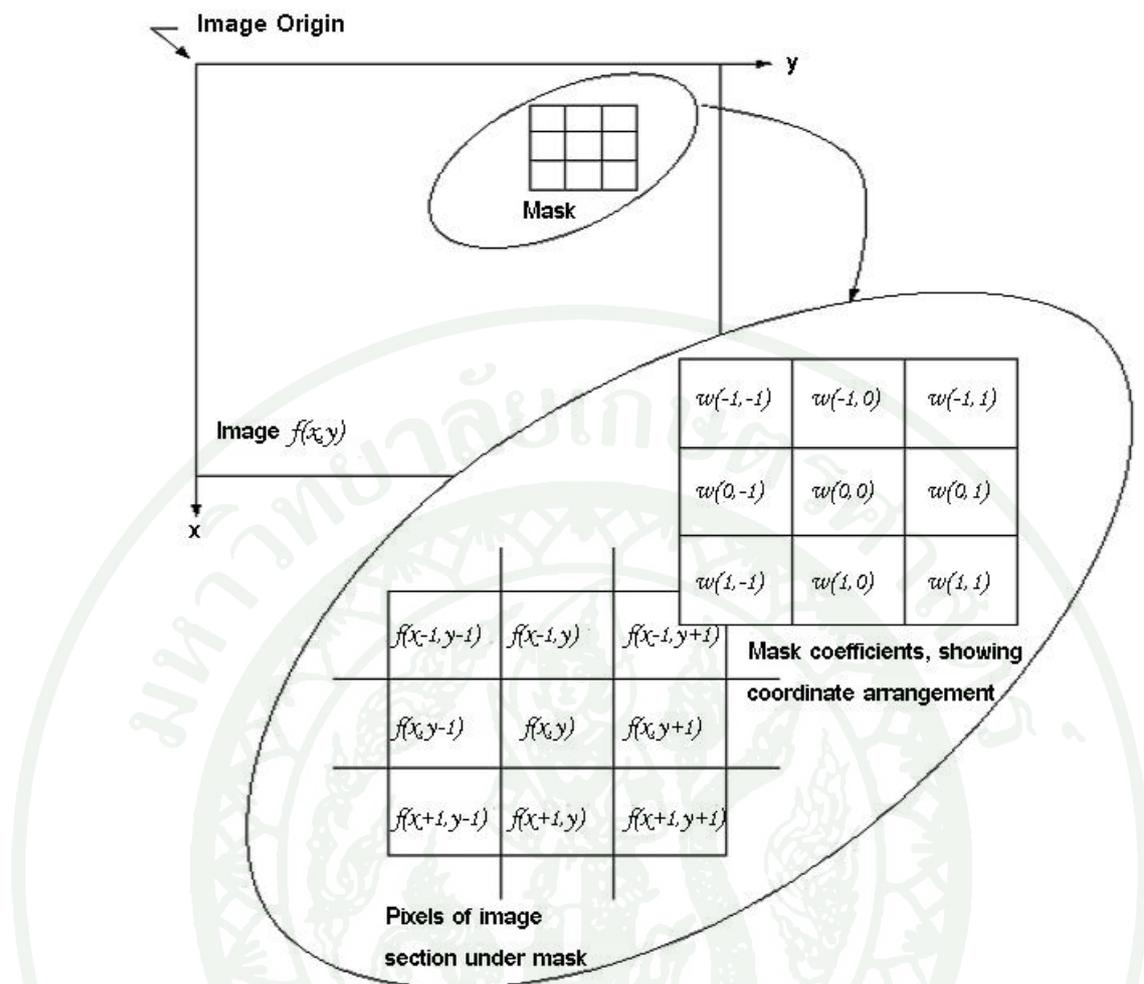
ภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลนั้นมักจะเป็นข้อมูลภาพสี ซึ่งในแต่ละจุดภาพจะประกอบไปด้วยค่าของสีหลัก 3 สี ซึ่งถ้าหากมีการนำข้อมูลภาพไปทำการประมวลผล จำทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลภาพนาน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับข้อมูลภาพให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลภาพในลักษณะแบบ 8 บิต จะพบว่า ถ้าหากสีหลักทั้ง 3 สี มีขนาด 8 บิต แต่ละสีจะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 ค่า ในกรณีที่ให้ความเข้มแสงของสีทั้ง 3 สี เท่ากันทั้งหมดที่ค่าความเข้มแสงที่ 255 จะทำให้จุดภาพนั้นเป็นสีขาว ในทางกลับกันถ้าให้ความเข้มแสงที่ 0 จะทำให้จุดภาพนั้นเป็นสีดำ และถ้าให้ค่าความเข้มแสงที่ 127 จะได้จุดภาพเป็นสีเทา จากลักษณะดังกล่าวเราสามารถทำให้ภาพสีนั้นๆ ถูกแปลงให้อยู่ในลักษณะความเข้มแสงที่ได้จะเป็นภาพที่เป็นระดับสีเทา ซึ่งสามารถนำข้อมูลความเข้มแสง ในระดับสีเทานั้นมาทำงานต่อการประมวลผลภาพ การปรับภาพสีให้อยู่ในระดับสีเทานั้นสามารถทำได้ตามสมการที่ 24

$$P_{gray} = 0.2989 \times R + 0.5879 \times G + 0.1140 \times B \quad (24)$$

เมื่อ P_{gray} คือ จุดภาพที่ถูกคำนวณให้เป็นระดับสีเทา
 R, G, B คือ ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ตามลำดับ

4.3 การทำ Image Filtering, Convolution และ Correlation

Image Filtering เป็นเทคนิคในการนำเมทริกซ์ขนาดเล็ก (Subwindow mask) ที่ภายในประกอบด้วยค่าต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของฟิลเตอร์ มาวิ่งวนภายในภาพต้นฉบับ พร้อมทั้งคำนวณค่าเพื่อวิเคราะห์หรือเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพ เช่นการทำภาพเบลอ การปรับขอบของภาพ เป็นต้น

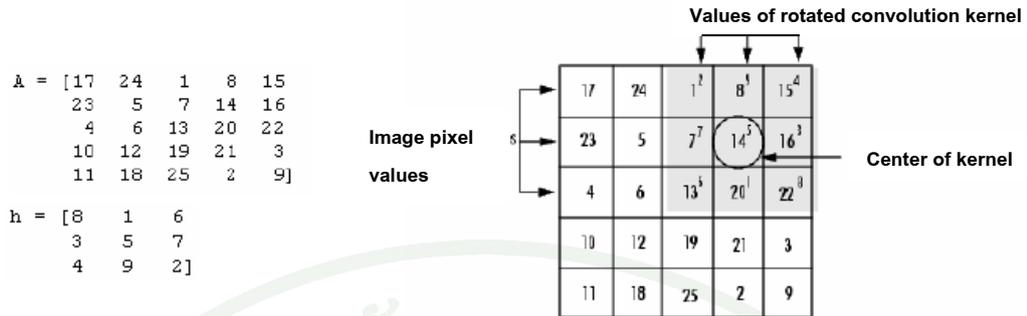


ภาพที่ 21 การทำ Image Filtering โดยใช้ Subwindow Mask ขนาด 3x3

ที่มา: Gonzalez and Woods (1999)

Convolution เป็นเทคนิคการหาดำแหน่งของภาพ ที่มีลักษณะใกล้เคียงหรือเหมือนกับภาพขนาดเล็กที่เราต้องการ (Mask) โดยการนำภาพขนาดเล็กดังกล่าวมาหมุน 180 องศา ก่อน แล้วจึงหมุนวน Mask นั้นไปทั่วภาพ เพื่อคำนวณหาดำแหน่ง โดยภาพส่วนที่มีความคล้ายคลึงกันมาก จะปรากฏเป็นจุดสว่างบนภาพส่วนที่มีความคล้ายคลึงน้อย จะยังมีสีมืด ทำให้เราสามารถบอกตำแหน่งของวัตถุที่เราต้องการหาได้

$$1 \cdot 2 + 8 \cdot 9 + 15 \cdot 4 + 7 \cdot 7 + 14 \cdot 5 + 16 \cdot 3 + 13 \cdot 6 + 20 \cdot 1 + 22 \cdot 8 = 575$$



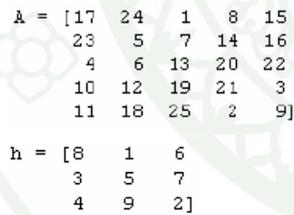
ภาพที่ 22 ลักษณะการวิ่งของ Mask บนรูปภาพ แบบ Convolution

ที่มา: Gonzalez and Woods (1999)

Correlation เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งของภาพเช่นเดียวกับ Correlation แต่จะนำภาพขนาดเล็กที่ต้องการหามาวิ่งวนภายในภาพเลย โดยไม่ต้องหมุน 180 องศา

$$1 \cdot 8 + 8 \cdot 1 + 15 \cdot 6 + 7 \cdot 3 + 14 \cdot 5 + 16 \cdot 7 + 13 \cdot 4 + 20 \cdot 9 + 22 \cdot 2 = 585$$

The (2,4) output pixel from the correlation is

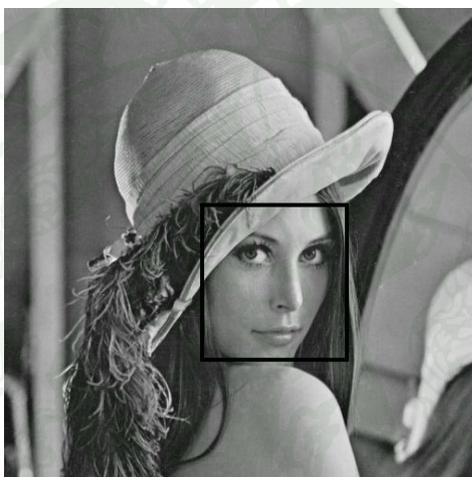


ภาพที่ 23 การทำ Correlation

ที่มา: Gonzalez and Woods (1999)

4.4 Region-of-interest (ROI)

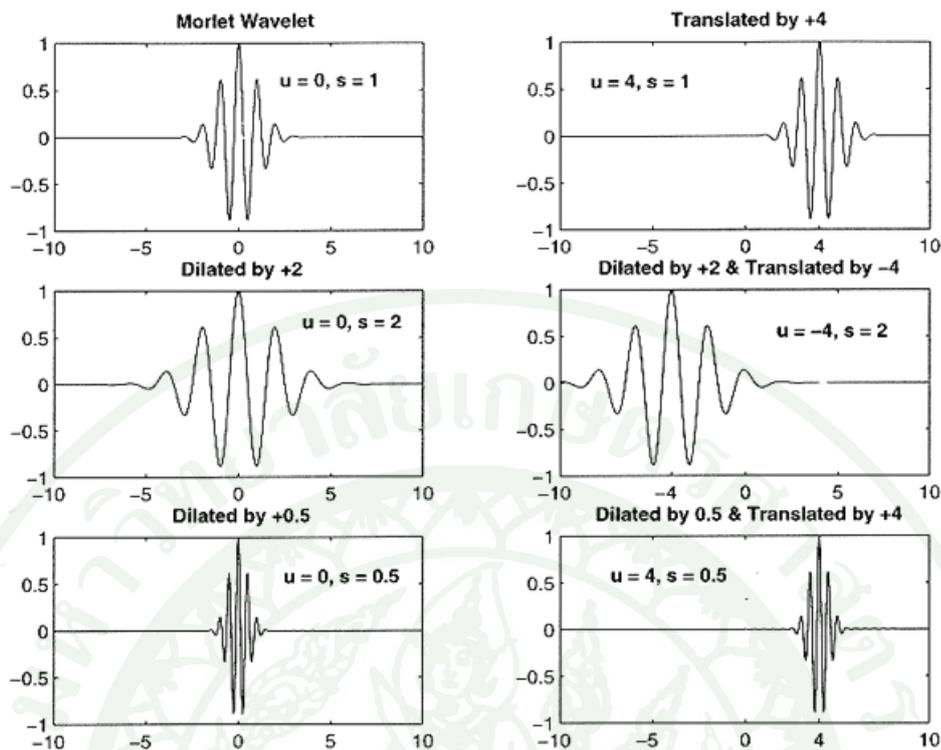
Region-of-interest คือบริเวณที่เราสนใจ ซึ่งอาจจะเป็นบริเวณใดภายในภาพก็ได้ โดยการตีกรอบล้อมรอบบริเวณที่สนใจ ด้วยวงกลม กรอบสี่เหลี่ยม หรือกรอบรูปเหลี่ยมใดๆ เพื่อนำภาพเฉพาะส่วนดังกล่าวมาประมวลผล หรือเปลี่ยนแปลงภาพตามต้องการ โดยไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ ซึ่งใน 1 ภาพ สามารถกำหนดได้หลายๆ ROI เมื่อกำหนดตำแหน่งต่างๆ แล้ว จะสร้าง Mask ที่เป็น Binary Mask สำหรับใช้กำหนดขอบเขตที่จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในรูปภาพนั้นๆ โดยให้ค่าส่วนที่สนใจเป็น 1 หรือสีขาว และให้ส่วนอื่นๆ เป็น 0 หรือสีดำ



ภาพที่ 24 การกำหนด Region of Interest

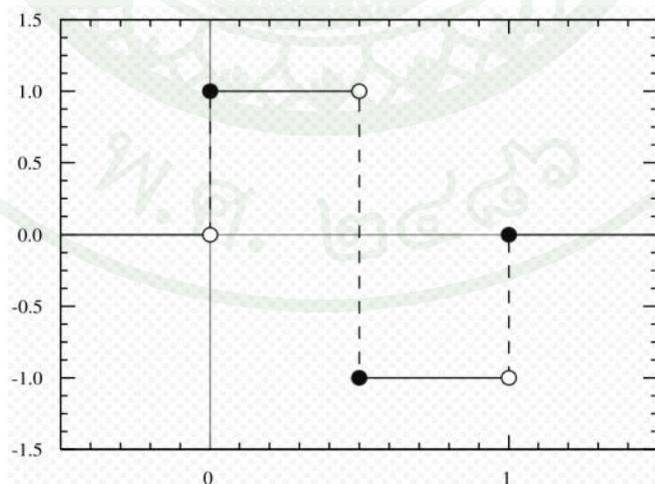
4.5 Haar wavelet

Wavelet Transform เป็นคณิตศาสตร์ สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณเฉพาะช่วงเวลาและความถี่ที่สนใจได้ ลักษณะของคลื่นแบบนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เป็น Asymmetric และมีค่าเฉลี่ยปฏิกิริยาพุ่งเข้าใกล้ศูนย์



ภาพที่ 25 ลักษณะของ Wavelet

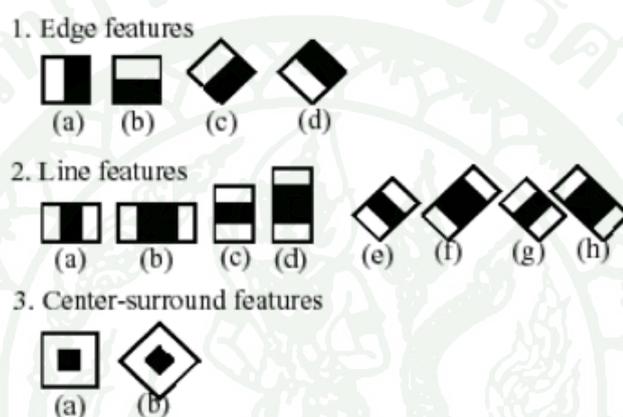
Haar Wavelet เป็น wavelet พื้นฐาน มีลักษณะเป็น Discrete Function โดย wavelet แบบนี้มีข้อด้อยคือ ไม่มีความต่อเนื่องของฟังก์ชัน



ภาพที่ 26 ลักษณะของ Haar Wavelet

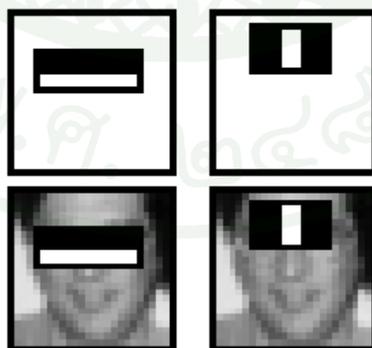
4.6 Haar-like Feature

Haar-like Features ตามวิธีของ Viola และ Jones (Viola and Jones, 2001) เป็นวิธีการตรวจจับและตีความวัตถุ (object) ภายในภาพ ด้วยหลักการของ Haar Wavelet สำหรับสร้างรูปสี่เหลี่ยม (Feature) โดยที่ภาพนี้แสดงถึงผลต่างระหว่างพื้นที่ ส่วนสีขาว และส่วนที่เป็นสีดำ ซึ่ง Feature สามารถเปลี่ยนแปลงขนาด และตำแหน่งได้ ใช้สำหรับการตรวจจับลักษณะบนภาพแบบต่างๆ เช่น เส้นตรง, วงกลม เป็นต้น



ภาพที่ 27 รูปแบบของ Haar-like Feature สำหรับการตรวจจับลักษณะแบบต่างๆ

ที่มา: Bradski and Kaehler (2008)



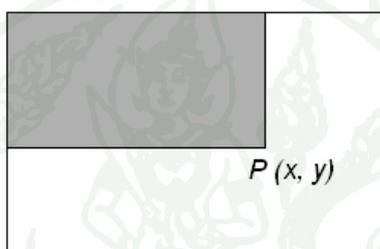
ภาพที่ 28 ตัวอย่างการใช้ Haar-like Feature ตรวจจับลักษณะต่างๆ

ที่มา: Viola and Jones (2001)

การคำนวณค่าของ Feature นั้น ใช้หลักการคำนวณแบบ Integral image (Chen, 2006) ซึ่ง Integral image คือผลรวมของค่าในทุกๆ จุดภาพ ที่ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ แสดงในสมการที่ 21 และ ภาพที่ 29 ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณน้อย ทำให้การคำนวณ Feature นั้นทำได้เร็วมากดังแสดงในสมการที่ 23 และภาพที่ 30

$$P(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (21)$$

โดยที่ $P(x, y)$ คือ ผลรวมของค่าในทุกๆ จุดภาพที่อยู่ในขอบเขต x และ y
 $i(x', y')$ คือ ค่าจุดภาพ ณ จุดใดๆ ที่อยู่ในขอบเขต x และ y

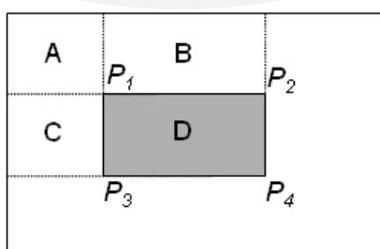


ภาพที่ 29 การคำนวณแบบ Integral image

$$P_1 = A, P_2 = A + B, P_3 = A + C, P_4 = A + B + C + D \quad (22)$$

$$P_1 + P_4 - P_2 - P_3 = A + A + B + C + D - A - B - A - C = D \quad (23)$$

โดยที่ P_1, P_2, P_3, P_4 คือ ผลรวมของค่าจุดภาพที่อยู่ในบริเวณ A, B, C, D ตามลำดับ
 A, B, C, D คือ บริเวณใดๆ ในรูปภาพที่มีการเก็บค่าจุดภาพของบริเวณนั้นๆ



ภาพที่ 30 การคำนวณแบบ Integral image พิจารณาแบบผลรวมของค่าจุดภาพ

สมการของ Haar-like Feature สามารถพิจารณาได้จากสมการ 24

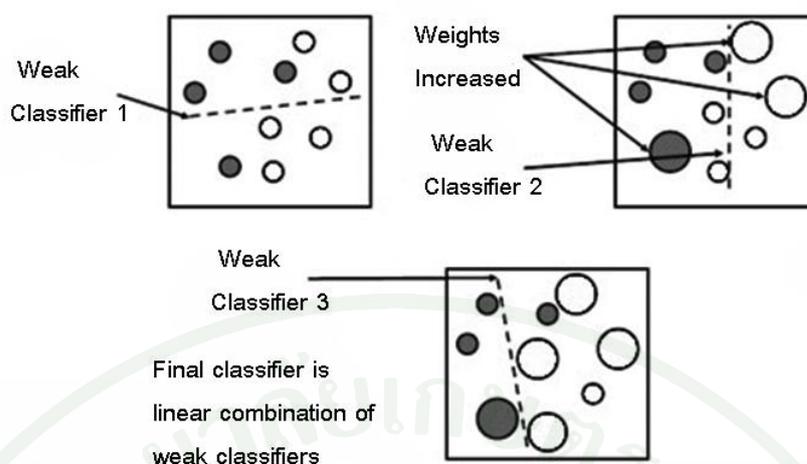
$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

โดยที่	$h_j(x)$	คือ สมการของ Haar-like Feature
	f_j	คือ ฟังก์ชันของ Haar-like Feature
	x	คือ mask
	θ	คือ ค่า Threshold
	p	คือ เครื่องหมาย บวก หรือ ลบ ไว้กำหนดทิศทาง

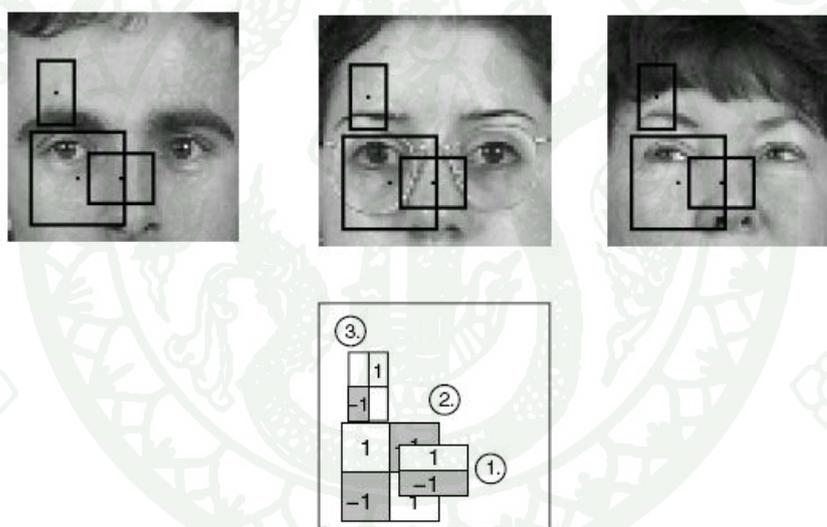
ในการทำ Haar-like Feature นั้น จำเป็นต้องมีภาพที่ใช้เรียนรู้เป็นจำนวนมาก ซึ่งใช้ในการคัดเลือกลักษณะของรูป ปที่ต้องการตรวจจับและตีความหมาย ซึ่งมีสองลักษณะคือ Positive Image หรือรูปที่มีวัตถุนั้นๆ ประกอบอยู่ในภาพ และ Negative Image หรือภาพใดๆ ที่ไม่มีวัตถุที่เราต้องการอยู่ในภาพ

Haar like-Feature ใช้หลักการของ AdaBoost (Adaptive Boost) ซึ่งเป็นกระบวนการหา Feature ที่มีลักษณะใกล้เคียง และแตกต่างกับภาพนำเข้า สำหรับการจัดประเภทของภาพ โดยการถ่วงน้ำหนักให้ส่วนต่างๆภายในภาพ บน ภาพ Positive และภาพ Negative เพื่อใช้หาลักษณะของ วัตถุที่ “ใช่” และ “ไม่ใช่” ในลักษณะต่างๆ มีกระบวนการดังนี้

- เริ่มแรกกำหนด ค่าน้ำหนักให้กับ Feature ที่วิ่งหาภายในภาพตัวอย่าง
- หาบริเวณที่ประกอบด้วย ส่วนที่ต้องการ
- เพิ่มค่าน้ำหนักให้กับส่วนที่เหลือเฉพาะลักษณะที่ต้องการ ที่ยังไม่ได้ แบ่งลักษณะไว้
- ทำวนเช่นนี้ซ้ำไปเรื่อยๆ จนสุดท้าย นำบริเวณที่ได้ทั้งหมดมารวมกัน จะได้บริเวณของ วัตถุที่ต้องการหา และลักษณะในส่วนต่างๆภายในวัตถุนั้น

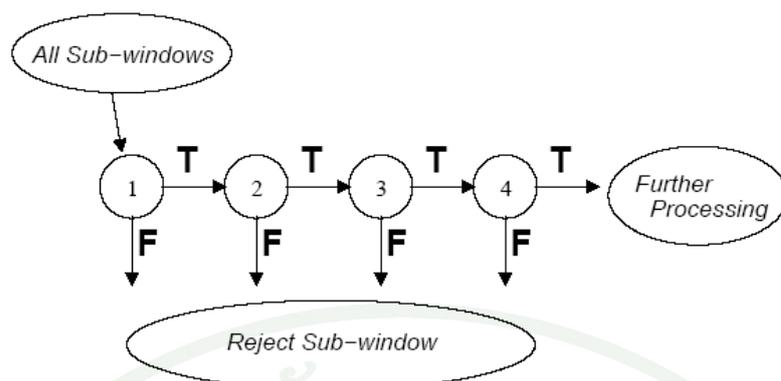


ภาพที่ 31 การทำงานของ AdaBoost



ภาพที่ 32 ผลลัพธ์จากการทำกระบวนการ AdaBoost

Haar Cascade Classifiers เป็นกระบวนการตีความหมายของภาพ โดยการแบ่งประเภทของภาพ ตามลักษณะ ภายในภาพ โดยเริ่มต้นจากการตัดส่วนของ Negative ออกไปก่อน แล้วจากนั้นค่อยใช้ ส่วนที่เป็น Positive รั้ววนภายในภาพ ทุกๆ Sub window ที่เหลืออยู่ โดย จะเปลี่ยนลักษณะการตรวจจับภายใน Sub window และหากไม่เจอลักษณะที่ตรงกัน จะตัดส่วนของ Negative ไปเรื่อยๆ ทำเช่นนี้จนครบ ส่วนที่เป็น Negative จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้เหลือ แต่ Positive และได้รูปที่สามารถบอกได้ว่าภาพดังกล่าวเป็นภาพอะไรจากลักษณะต่างๆ ภายในภาพ

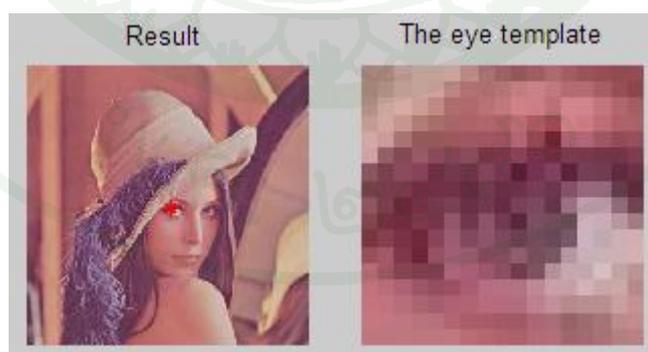


ภาพที่ 33 การทำงานของ Haar Cascade Classifier

ที่มา: Viola and Jones (2001)

4.7 Template Matching

Template Matching เป็นกระบวนการตรวจจับส่วนของภาพต้นฉบับ ที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายคลึงกับภาพต้นแบบ (Template) ที่เราต้องการค้นหา ดังแสดงในภาพที่ 34 ใช้เทคนิคพื้นฐานคือการทำ Image filtering แบบ Convolution โดยนำภาพที่ต้องการค้นหามาสร่างเป็น Subwindow Mask แล้ววนคำนวณกับภาพต้นฉบับจนครบทั้งภาพ ภาพต้นฉบับส่วนที่มีความคล้ายกับ Mask มาก จะมีค่าความเข้มที่สว่างกว่าบริเวณอื่นๆ ทำให้ปรากฏเป็นจุดสีขาวสว่าง



ภาพที่ 34 ภาพผลจากการตรวจจับด้วยภาพต้นแบบที่เป็นรูปตา

กลวิธีของกระบวนการ Template Matching มีหลากหลายกลวิธี หนึ่งในนั้นคือ Correlation coefficient matching ซึ่งกลวิธีนี้ จะใช้ภาพต้นแบบ ที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของ ภาพ

ต้นแบบเอง ดังแสดงในสมการที่ 25 ไปเทียบกับภาพต้นฉบับที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของภาพต้นฉบับเองดังแสดงในสมการที่ 26 และผลจากการตรวจจับด้วยภาพต้นแบบแสดงในสมการที่ 27 ถ้าภาพที่ตรวจจับตรงกับภาพต้นแบบผลที่จะได้ผลมีค่าเป็น 1 ส่วนภาพที่ตรงข้ามกันจะได้ผลเป็น -1 และภาพที่ไม่มีความคล้ายคลึงกัน เช่นตรงกันบางส่วน ไม่ตรงกันบางส่วนจะได้ผลเป็น 0

$$T'(x', y') = T(x', y') - \frac{1}{(w \cdot h) \sum_{x'', y''} T(x'', y'')} \quad (25)$$

$$I'(x + x', y + y') = I(x + x', y + y') - \frac{1}{(w \cdot h) \sum_{x'', y''} I(x + x'', y + y'')} \quad (26)$$

$$R_{coeff}(x, y) = \sum_{x', y'} [T'(x', y') \cdot I'(x + x', y + y')]^2 \quad (27)$$

โดยที่	I	คือ ภาพต้นฉบับ
	T	คือ ภาพต้นแบบ (Template)
	R_{coeff}	คือ ภาพผลจากการตรวจจับด้วยภาพต้นแบบ
	w	คือ ความกว้างของภาพต้นฉบับ
	h	คือ ความสูงของภาพต้นฉบับ
	x, y	คือ จุดใดๆ ในภาพต้นฉบับ และภาพต้นแบบ

กลวิธีดังกล่าวข้างต้นได้มีการพัฒนาต่อ เป็นแบบ Normalized เพื่อลดผลกระทบจากความแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างภาพต้นแบบและภาพต้นฉบับ โดยสมการของผลจากการตรวจจับด้วยภาพต้นแบบถูกแสดงในสมการที่ 29

$$Z(x, y) = \sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2} \quad (28)$$

$$R_{coeff_normed}(x, y) = \frac{R_{coeff}(x, y)}{Z(x, y)} \quad (29)$$

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP Profession Version 2002 Service Pack 3, Intel centrino Core2Duo, 2GB DDR2, 160GB hard drive
2. กล้องดิจิทัลเว็บแคม 1 เครื่อง
3. โปรแกรม Actionscript Adobe Flash CS3
4. โปรแกรม PHP 5
5. โปรแกรม MS Visual C++ 6.0 and MFC
6. โปรแกรม OpenCV Library v3.1
7. โปรแกรม Scale v2.0
8. โปรแกรม MySQL
9. ซอฟต์แวร์ AppServe 2.5.9
10. แวนตาเลนส์สีเขียวและสีแดง

วิธีการ

1. ขั้นตอนการดำเนินการ

- 1.1 ศึกษาข้อมูลของระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นในปัจจุบัน
- 1.2 การออกแบบระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นใหม่
- 1.3 การทดสอบการใช้งานของระบบประเมินความสามารถในการมองเห็น
- 1.4 การออกแบบระบบออนไลน์ และการทดสอบระบบโดยรวม
- 1.5 การพัฒนาซอฟต์แวร์ต่อโดยเพิ่มส่วนการใส่กล้องเพื่อการประเมินความเอียงของศีรษะ
- 1.6 การทดสอบการใช้งานทั้งระบบ และแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น
- 1.7 สรุปผลการวิจัย

2. ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นสำหรับเด็กในปัจจุบัน

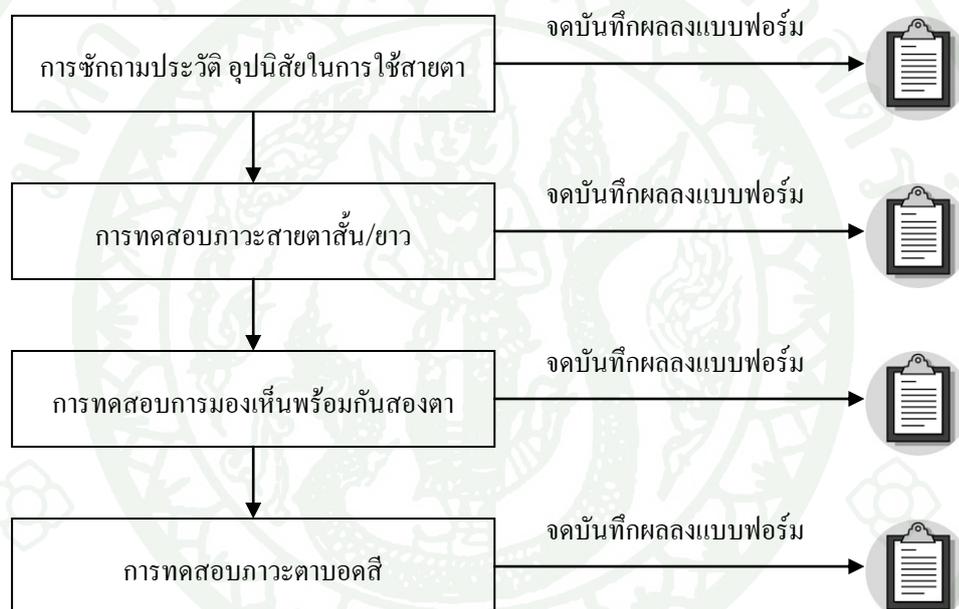
ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้น สำหรับเด็กที่ใช้อุปกรณ์ในประเทศไทยในปัจจุบันมี 4 ขั้นตอนหลักในการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 35 และมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ซักถามประวัติ และ อุปนิสัยในการใช้สายตา ของเด็ก โดยเจ้าหน้าที่ทั่วไป เช่น เจ้าหน้าที่ของกลุ่มผู้ตรวจสอบ สายตา หรือครูของเด็ก ที่ขั้นตอนนี้จะสอบถามประวัติส่วนบุคคล และประวัติครอบครัวของเด็ก รวมไปถึงซัก ถามอุปนิสัยในการใช้สายตา เช่น การกระพริบตา มากกว่าปกติ การชอบขยี้ตาหลังจากอ่านหนังสือ เป็นต้น ระหว่างการซักถามข้อมูลก็จะบันทึกผลลงแบบฟอร์มกระดาษ และส่งต่อแบบฟอร์มกระดาษเพื่อบันทึกผลของขั้นตอนถัดไป

2.2 การทดสอบภาวะสายตาสั้น หรือยาว โดยเจ้าหน้าที่ของกลุ่มผู้ตรวจสอบสายตาที่มีความเชี่ยวชาญ ขั้นตอนนี้เป็นกรทดสอบลำดับแรก เจ้าหน้าที่จะกำกับให้เด็กมองไปยัง แผ่นป้าย สเนลเลน และให้เด็กเริ่มอ่านบรรทัดที่ตัวอักษรมี ตัวเลขเศษส่วนเป็น 20/20 ถ้าเด็กไม่สามารถอ่านตัวอักษรได้ถูกต้องทุกตัว จะต้องเปลี่ยนบรรทัดให้ตัวอักษรมีขนาด ใหญ่ขึ้น และเปลี่ยนไปเรื่อยๆ จนกว่าเด็กจะอ่าน ได้ครบทุกตัวในบรรทัดเดียวกัน และบันทึกผลลงแบบฟอร์มกระดาษ และส่งต่อแบบฟอร์มกระดาษไปยังขั้นตอนถัดไป

2.3 การทดสอบการมองเห็นพร้อมกันสองตา โดยเจ้าหน้าที่ของกลุ่มผู้ตรวจสอบสายตาที่มีความเชี่ยวชาญในเครื่องมือ Keystone ophthalmic telebinocular เป็นพิเศษ เป็นผู้ทดสอบให้กับเด็ก และบันทึกผลลงแบบฟอร์มกระดาษ และส่งต่อแบบฟอร์มกระดาษไปยังขั้นตอนถัดไป

2.4 การทดสอบภาวะตาบอดสี โดยเจ้าหน้าที่กลุ่มผู้ตรวจสอบสายตาที่มีความเชี่ยวชาญเป็นผู้ทดสอบให้กับเด็ก โดยการให้เด็กทำแบบทดสอบ วัดการบอดสีแบบแผ่นภาพ และบันทึกผลลงแบบฟอร์มกระดาษ และ รวบรวมผลส่งต่อให้ผู้เชี่ยวชาญ ทางด้านสายตา หรือ จักษุแพทย์ เพื่อวินิจฉัยและรักษาโรคทางตาต่อไป



ภาพที่ 35 ขั้นตอนการทดสอบของระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นในปัจจุบัน

จากขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าต้องใช้เจ้าหน้าที่ในการดูแลแต่ละขั้นตอนรวมกันแล้วไม่ต่ำกว่า 3 คน และแบบฟอร์มที่ใช้การบันทึกผลนั้นยังมีจำนวนมาก ซึ่งไม่สะดวกอย่างยิ่งในการคัดกรองเด็กที่มีปัญหาสายตาออกจากกลุ่มเด็กที่ไม่มีปัญหาสายตา แล้วส่งต่อให้จักษุแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านสายตาทำการรักษาต่อไป นอกจากนี้ การทดสอบกับเด็กยังต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญทางสายตาเป็นอดีเพื่อผลการประเมินที่ถูกต้องแม่นยำอีกด้วย ทำให้การเข้าถึงเด็กในโรงเรียนพื้นที่ห่างไกลเป็นไปได้ยาก การกระจาย การประเมินสายตาเด็กถึงมีโอกาสเป็นไปได้ยากที่จะจัดตั้งขึ้นได้ทั่วประเทศไทย

3. การออกแบบระบบและเขียนโปรแกรมประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็ก

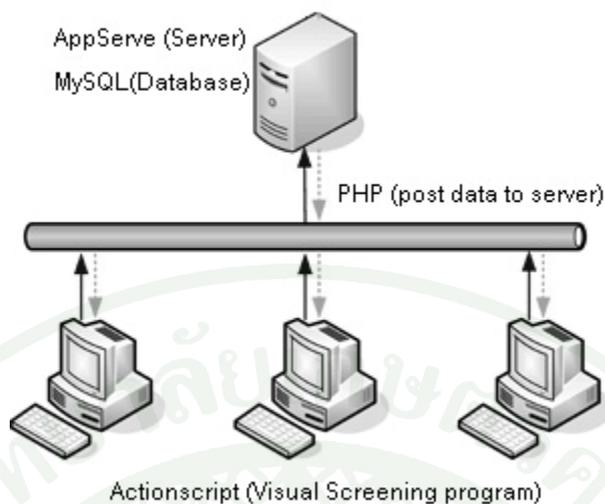
การออกแบบระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นนี้ คำนึงถึงเรื่องความสะดวกและใช้งานง่าย รวมทั้งลดจำนวนเจ้าหน้าที่เกี่ยวข้องับระบบการประเมินสายตาให้น้อยที่สุด ความง่ายต่อการสืบค้นข้อมูล ระบบได้ถูกออกแบบให้มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นเบื้องต้นที่ออกแบบใหม่

เพื่อให้ระบบออนไลน์สามารถเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ลงฐานข้อมูล (Database) ได้ ดังนั้นในส่วนของการออกแบบโปรแกรมจึงใช้ โปรแกรม PHP 5 ควบคุมในส่วนการจับเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล ที่เขียนด้วย MySQL โดยมีเซิร์ฟเวอร์ สร้างด้วย ซอฟต์แวร์ AppServe 2.5.9 และใช้โปรแกรม Actionscript Adobe Flash CS3 ในการสร้างโปรแกรมทดสอบสายตา (Visual Screening program) ที่จะไปแสดงเป็นแบบเว็บเพจที่เครื่องคอมพิวเตอร์ฝั่ง Client ดังแสดงในภาพที่ 37

เหตุผลที่เลือกใช้โปรแกรม Actionscript Adobe Flash CS3 ในการสร้างโปรแกรมทดสอบสายตา เนื่องจากโปรแกรมทดสอบสายตามีความเกี่ยวข้องกับ รูปภาพ เคลื่อนไหว รูปภาพกราฟฟิก และความสามารถในการตอบสนองได้เร็วต่ออินพุตที่รับมาจากผู้ใช้



ภาพที่ 37 ระบบประเมินสายตาแบบออนไลน์ และ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมแต่ละส่วน

โปรแกรมประเมินสายตา (Visual Screening program) ประกอบด้วย

1. การซักถามประวัติ และอุปนิสัยในการใช้สายตา

ข้อมูลประวัติของผู้เข้ารับกา รประเมิน สายตาสามารถ กรอกลงบน เว็บเพจในฝั่ง client ซึ่งเว็บเพจนี้มีทั้งหมด 4 หน้า ในภาพที่ 38 แสดงตัวอย่างเว็บเพจหน้าที่ 1

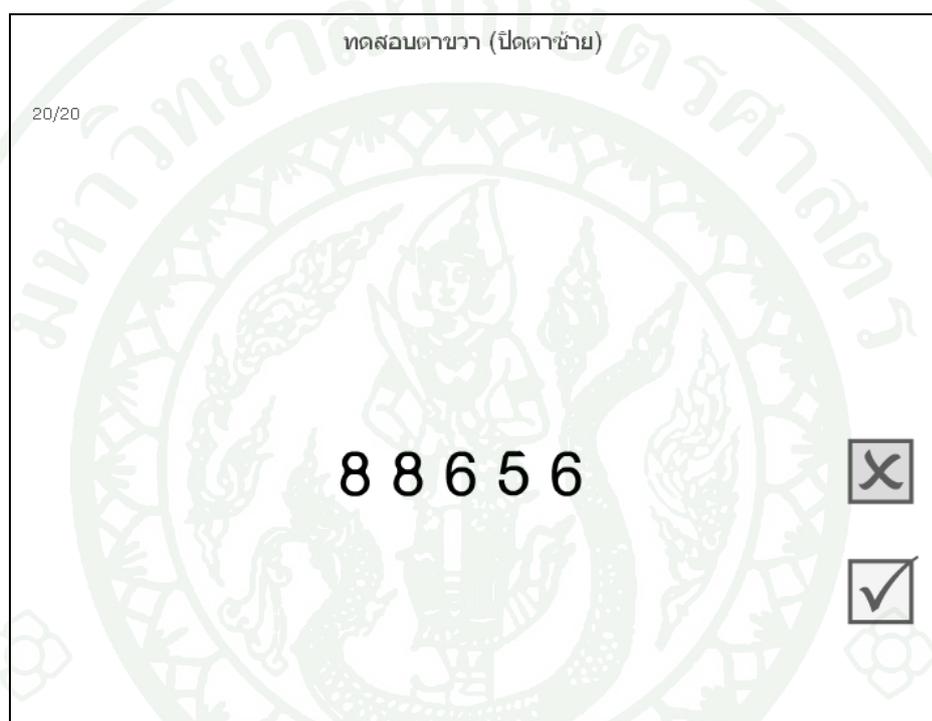
ข้อมูลการตรวจสุขภาพตา

โรงเรียน	<input type="text"/>	วันที่ตรวจ	<input type="text" value="29/3/2010"/>	<input type="button" value="ปัดวัน"/>																																																	
รหัสนักเรียน	<input type="text"/>																																																				
ชื่อผู้ปกครอง	<input type="text"/>	เกิดวันที่	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">March 2010</th> </tr> <tr> <th>S</th> <th>M</th> <th>T</th> <th>W</th> <th>T</th> <th>F</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>22</td> <td>23</td> <td>24</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>29</td> <td>30</td> <td>31</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		March 2010							S	M	T	W	T	F	S		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
March 2010																																																					
S	M	T	W	T	F	S																																															
	1	2	3	4	5	6																																															
7	8	9	10	11	12	13																																															
14	15	16	17	18	19	20																																															
21	22	23	24	25	26	27																																															
28	29	30	31																																																		
ชื่อ	<input type="text"/>	นามสกุล	<input type="text"/>																																																		
วัน/เดือน/ปีเกิด	<input type="text"/>	อายุ	<input type="text"/>																																																		
เพศ	<input checked="" type="radio"/> ชาย (Male) <input type="radio"/> หญิง (Female)																																																				
ระดับการศึกษา	อนุบาล	ประถม	มัธยม																																																		
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																																		
ระดับการศึกษาอื่นๆ	ระย <input type="text"/>																																																				

ภาพที่ 38 โปรแกรมทดสอบสายตาหน้าที่ 1 ในส่วนการซักถามประวัติ

2. การทดสอบภาวะสายตาสั้น/ยาว

โปรแกรมทดสอบสายตาสั้น สามารถแสดงตัวอักษร 5 6 8 และ 9 แบบสุ่มได้ เพื่อป้องกันการเดาคำตอบจากผู้เข้ารับการ ประเมินสายตา และตัวอักษรบางตัวที่ใช้แสดงบนเว็บเพจยังได้ถูกสร้างขึ้นมาใหม่ เพื่อให้การทดสอบได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น เช่นตัวอักษรหมายเลข 5 จะมีการ ออกแบบให้มองผิวเผินคล้ายหมายเลข 6 ดังแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 โปรแกรมทดสอบสายตาสั้นแสดงขนาดตัวอักษรที่มีตัวเลขเศษส่วนเป็น 20/20

การเพิ่มขนาดตัวอักษรในระหว่างการทดสอบ และการบันทึกผลจะเป็นไปตามเงื่อนไข ในภาพที่ 41 ซึ่งจะใช้เงื่อนไขเดียวกันในการทดสอบตาข้างขวา ตาซ้าย งซ้าย และสองตาพร้อมกัน โดยโปรแกรมสามารถแสดงขนาดตัวอักษร ที่มีความสูงดังตารางที่ 2 เพื่อให้สอดคล้องกับระบบ สเนลเลน

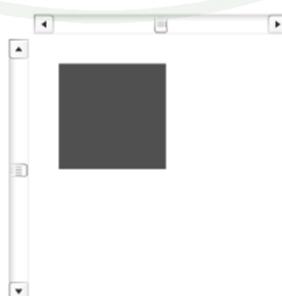
โปรแกรม ทดสอบสายตาวายจะใช้รูปแบบโปรแกรมเดียวกันกับ โปรแกรม ทดสอบ สายตาสั้น เพียงแต่ให้ผู้ทดสอบสวมแว่นตาสายตาวายขนาดเลนส์ +2.0D และทดสอบอ่านตัวอักษร ที่มีตัวเลขเศษส่วนเป็น 20/20 ขนาดเดียว และผลที่บันทึกมีเพียงอ่านถูกต้องทั้งหมดหรือไม่

ตารางที่ 2 ความสูงของตัวอักษรที่สัมพันธ์กับระบบสเนลเลน

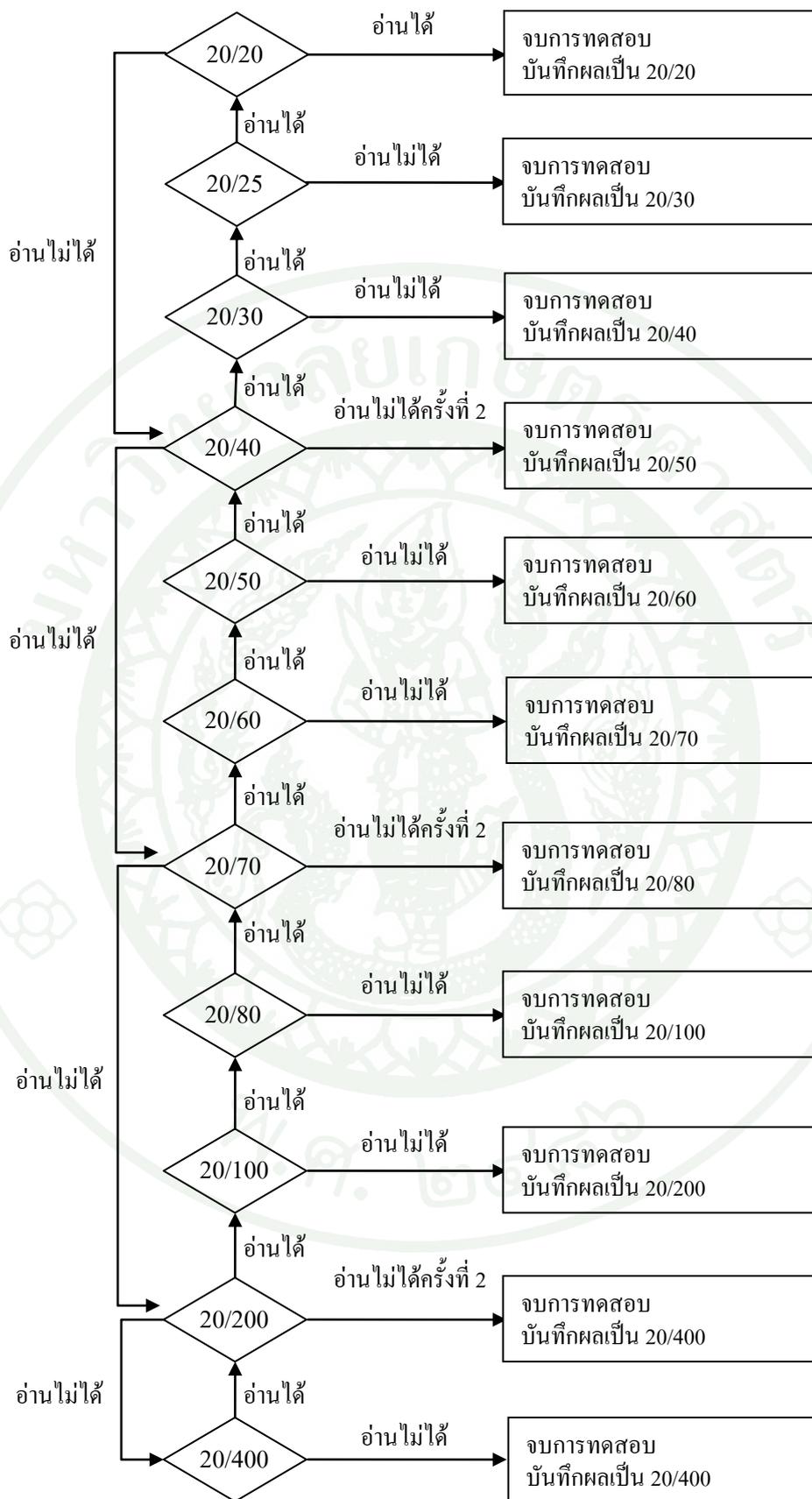
แถวที่	ระบบสเนลเลน (ฟุต)	ความสูงของตัวอักษร (มิลลิเมตร)
1	20/20	8.866
2	20/25	11.083
3	20/30	13.299
4	20/40	17.732
5	20/50	22.165
6	20/60	26.598
7	20/70	31.031
8	20/80	35.464
9	20/100	44.330
10	20/200	88.660
11	20/400	177.320

นอกจากนี้โปรแกรมยังคำนึงถึงขนาดหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันของผู้ใช้งาน โปรแกรมนี้ ทำให้มีการออกแบบเพิ่มเติมในส่วนของการปรับแต่งขนาดที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เทียบกับขนาดจริงโดยจะอ้างอิงกับเครื่องมือวัด เช่น ไม้บรรทัด โดยวาง ไม้บรรทัด ทาบที่หน้าจอ และวัดขนาดสี่เหลี่ยมสีเขียวให้ได้ขนาด 2 เซนติเมตร ถ้าสี่เหลี่ยมที่ปรากฏนี้มีค่าไม่เท่ากับ 2 เซนติเมตร สามารถปรับแต่งโดยการเลื่อน scroll bar ทั้งแนวนิ่ง และแนวอนจนได้ขนาดที่ตรงตามจริง ดังแสดงในภาพที่ 40 และโปรแกรมจะคำนวณค่าอัตราส่วนการปรับแต่งขนาดและนำไปคูณกับขนาดตัวอักษรเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ

ปรับขนาดสี่เหลี่ยมจตุรัส ให้ทั้งสองด้าน
มีขนาด 2 เซนติเมตร บนหน้าจอ



ภาพที่ 40 การปรับแต่งขนาดตัวอักษรที่แสดงจริงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

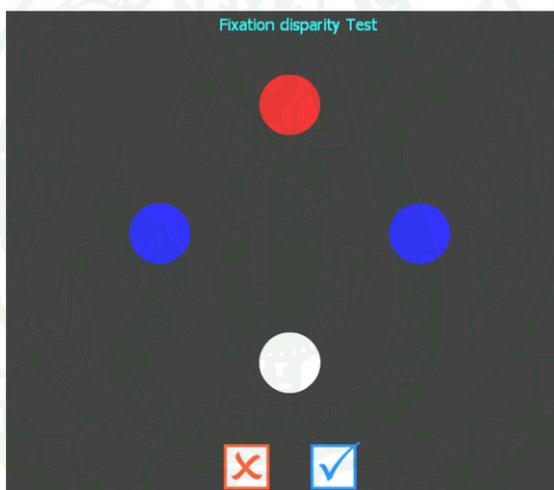


ภาพที่ 41 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบสายตาสั้น

3. การทดสอบการมองเห็นพร้อมกันสองตา

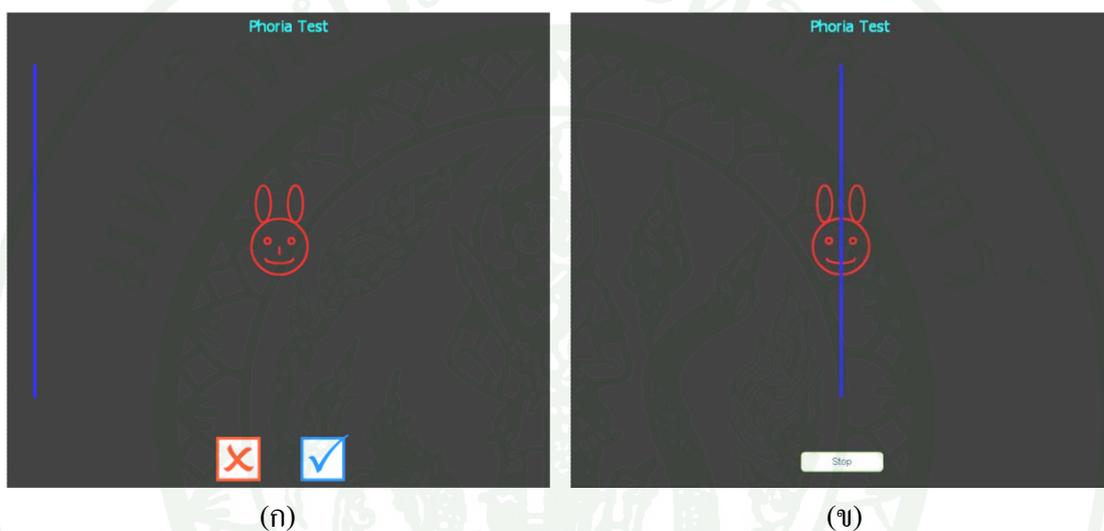
ในส่วนนี้แบ่งการทดสอบเป็น 3 การทดสอบที่บ่งชี้ความสามารถในการมองเห็นพร้อมกันสองตาหลายรูปแบบ นั่นคือ ความแตกต่างระหว่างมุม convergence ในการมองแบบพร้อมกันสองตา (Fixation disparity) ความคลาดเคลื่อนของแนวสายตาสองข้าง ในขณะที่ไม่มีการมองสองตา (Phoria) และ ความสามารถในการมองเห็นภาพ 3 มิติ (Stereopsis)

โปรแกรมทดสอบ Fixation disparity ได้สร้างจุด 4 จุดตามมาตรฐานของการทดสอบแบบ worth four dot คือกำหนดให้มี 2 จุดเป็นสีแดง 1 จุดเป็นสีน้ำเงิน และ 1 จุดเป็นสีขาว อยู่บนพื้นหลังสีดำดังแสดงในภาพที่ 42 โดยในขณะที่ทำการทดสอบ โปรแกรมผู้ทดสอบต้องสวมแว่นตาเลนส์สีเขียวและสีแดง



ภาพที่ 42 โปรแกรมทดสอบ Fixation disparity

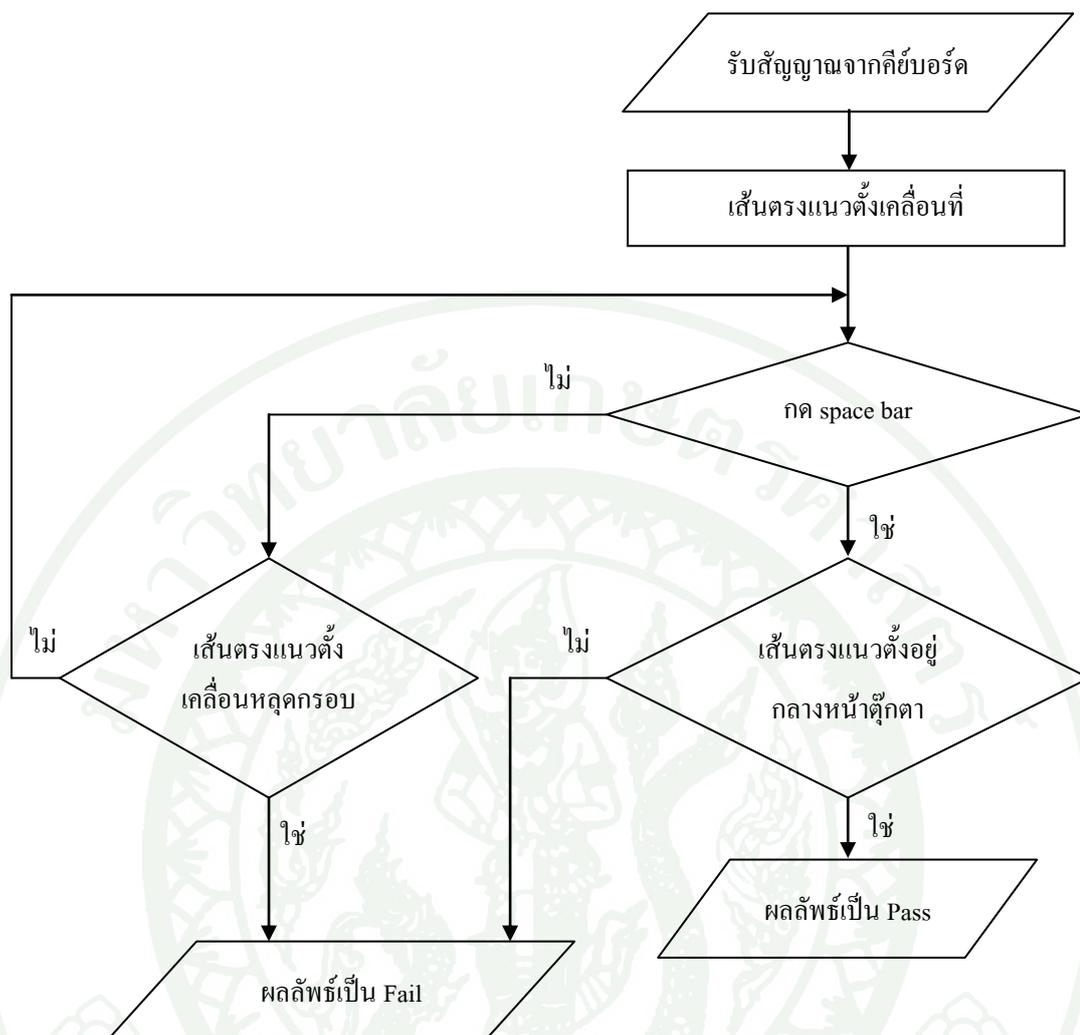
โปรแกรมทดสอบ Phoria ได้สร้างหน้าตุ๊กตาสีแดง และเส้นตรงแนวตั้งสีน้ำเงินอยู่บนพื้นหลังสีดำ ในขณะที่เริ่มต้นเส้นตรงแนวตั้งสีน้ำเงินจะอยู่ด้านซ้ายมือ และหน้าตุ๊กตาสีแดงอยู่ที่กึ่งกลางหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 43 (ก) เมื่อเริ่มทดสอบเส้นตรงแนวตั้งสีน้ำเงินจะเริ่มเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอจนผ่านหน้าตุ๊กตาสีแดง ในการทดสอบผู้ทดสอบต้องกดปุ่ม space bar เพื่อทำการหยุดเส้นตรงแนวตั้งสีน้ำเงินเมื่อผู้ทดสอบมองเห็นว่าอยู่กึ่งกลางหน้าตุ๊กตาสีแดงพอดีดังแสดงในภาพที่ 43 (ข) ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Phoria แสดงในภาพที่ 44 โดยในขณะที่ทำการทดสอบโปรแกรมผู้ทดสอบต้องสวมแว่นตาเลนส์สีเขียวและสีแดง



ภาพที่ 43 โปรแกรมทดสอบ Phoria

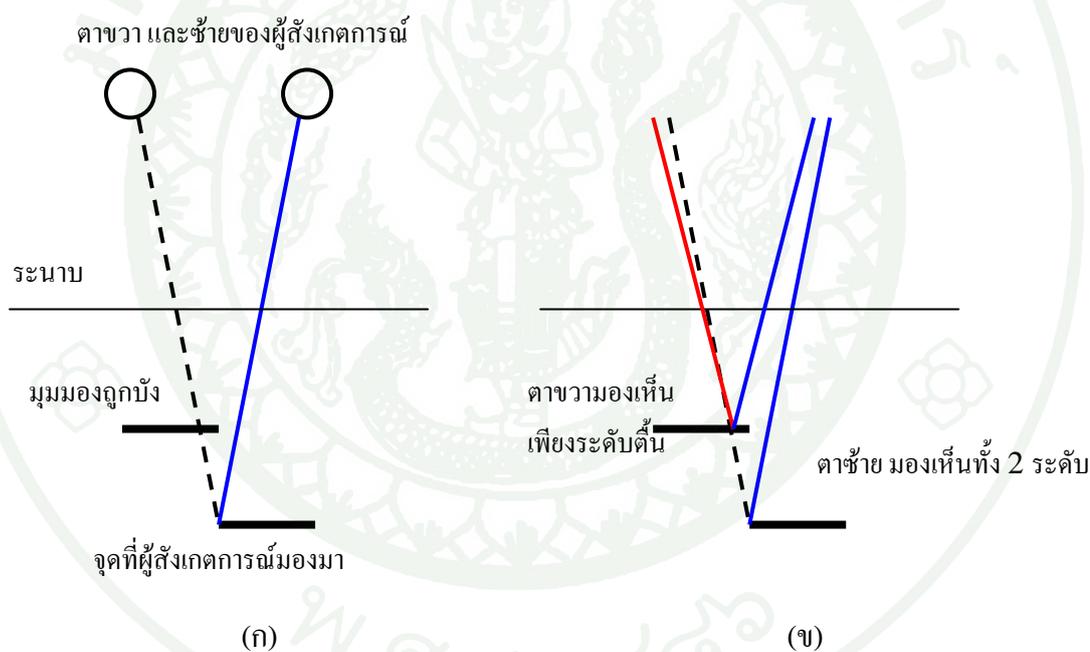
(ก) ขณะเริ่มต้น

(ข) เมื่อเส้นแนวตั้งสีน้ำเงินวิ่งมาถึงกึ่งกลางหน้าตุ๊กตาสีแดง



ภาพที่ 44 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Phoria

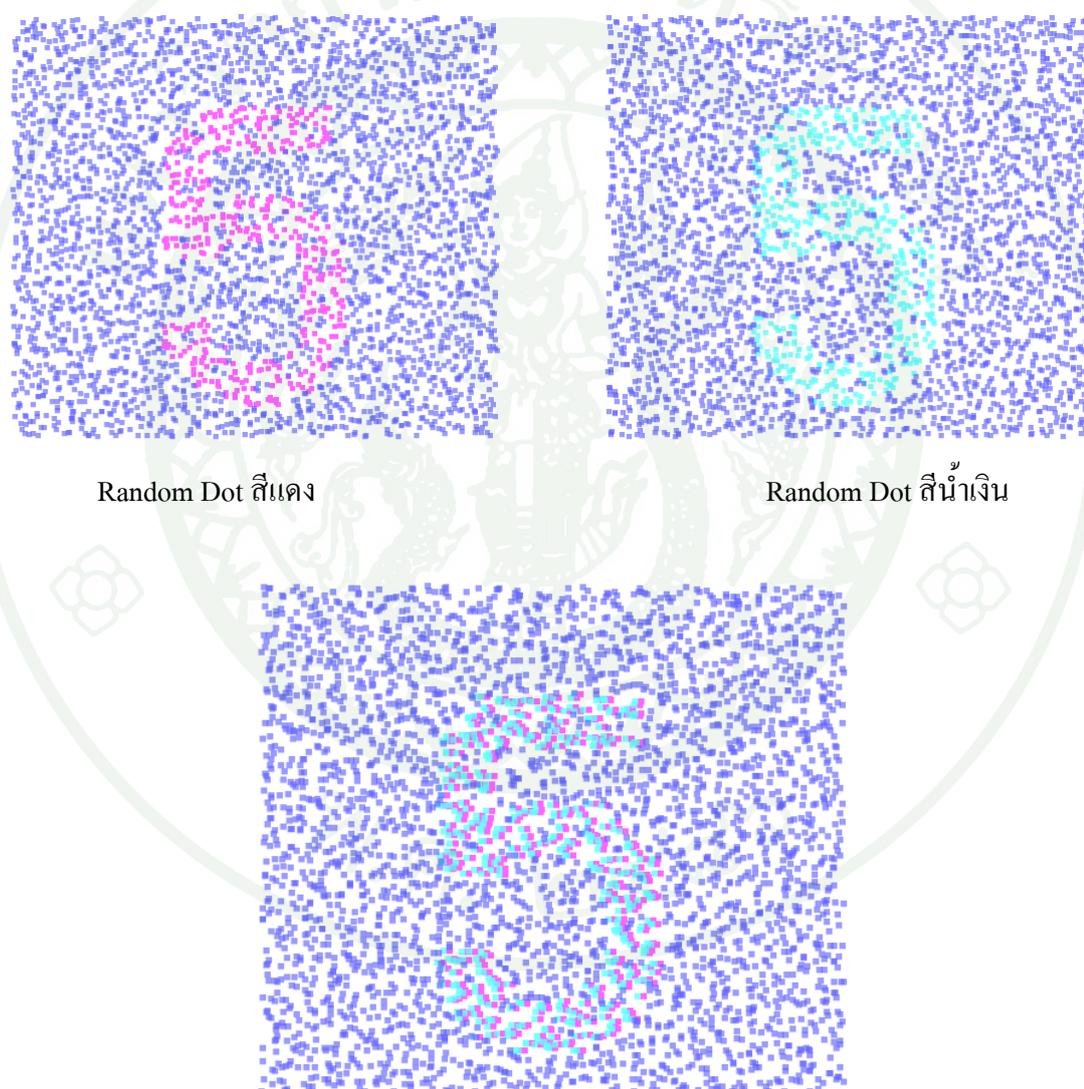
โปรแกรมทดสอบ Stereopsis สร้างภาพตัวเลขสามมิติโดยใช้หลักการแนวการมองปกติของมนุษย์ เมื่อมองไปยังวัตถุใดๆ ที่มีความลึกสองระดับ การมองไปยังจุดที่มีระดับความลึกที่ลึกกว่า แนวการมองของตาข้างหนึ่งจะถูกบังด้วยส่วนที่ตื้นกว่าของวัตถุ ดังแสดงในภาพที่ 45 (ก) เมื่อวางระนาบในสวางระหว่างแนวการมองของทั้งสองตา แนวการมองที่ฉายเงาลงบนระนาบจะปรากฏเพียง 1 จุด คือแนวการมองสีน้ำเงิน และถ้ามองไปยังจุดที่มีระดับความลึกที่ตื้นกว่า แนวการมองของตาทั้งสองข้าง จะเห็นเท่ากัน แนวการมองที่ฉายเงาลงบนระนาบจะปรากฏ 2 จุด คือแนวการมองสีน้ำเงิน และแดง ดังแสดงในภาพที่ 45 (ข) ดังนั้นโปรแกรมจึงได้จำลองระนาบนี้ให้เป็นหน้าจอคอมพิวเตอร์ และแสดงเงาที่ ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ โดยแยกระดับความลึกที่ลึกกว่าด้วยการเลื่อนจุดสีน้ำเงินไปทางขวามือเล็กน้อย เมื่อเทียบกับจุดสีน้ำเงินอื่นๆ ที่ต้องการให้คงระดับความลึกไว้เท่าเดิม ส่วนสีแดงไม่เปลี่ยนแปลงยังคงไว้ที่ตำแหน่งเดิมเสมอเพื่อคงระดับความลึกไว้เท่าเดิม



ภาพที่ 45 แนวการมองไปยังวัตถุใดๆ ที่มีความลึกสองระดับ

- (ก) แนวการมองของตาเมื่อมองวัตถุส่วนที่ลึกแล้วถูกบังด้วยส่วนที่ตื้นกว่า
 (ข) แนวการมองของตาเปรียบเทียบที่สองระดับความลึก

โปรแกรมสร้างจุดสีน้ำเงินและแดงมีตำแหน่งกระจายตัวแบบสุ่ม (Random dot) และแยกกลุ่มจุดสีผสมของน้ำเงินและแดงที่ให้มีระดับความลึกคงที่ อยู่กระจายรอบๆ ตัวเลขที่ต้องการสร้างให้มีความลึกมากกว่า และจุดสีแดงที่กระจายตัวอยู่บนตัวเลขให้มีการกระจายตัวแบบเดียวกับกลุ่มจุดสีรอบๆ ตัวเลข โดยจุดสีน้ำเงินที่กระจายตัวอยู่บนตัวเลขให้ เลื่อนไปทางซ้ายเล็กน้อยเมื่อเทียบกับจุดสีแดงดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 46 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Stereopsis แสดงในภาพที่ 48 โดยในขณะที่ทำการทดสอบโปรแกรมผู้ทดสอบต้องสวมแว่นตาเลนส์สีเขียวและสีแดง



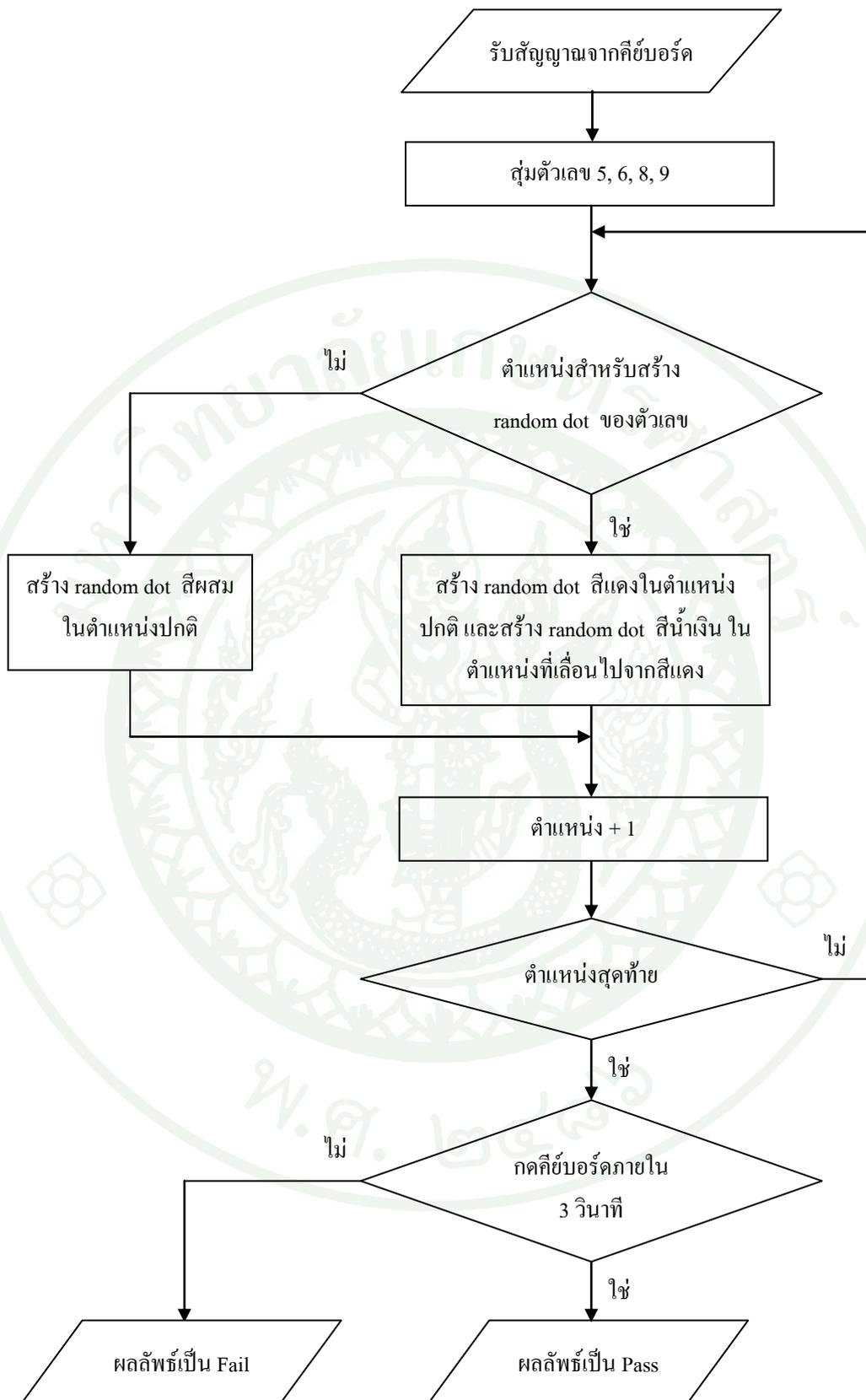
Random Dot ทั้งสองสีเหลื่อมทับกันอยู่ล้อมด้วย Random Dot สีผสม

ภาพที่ 46 โปรแกรมทดสอบ Stereopsis

นอกจากนี้โปรแกรมยังคำนึงถึง สีที่แสดงบน หน้าจอมอนิเตอร์ที่แตกต่าง กันของ ผู้ใช้งาน โปรแกรมนี้ ทำให้มีการออกแบบเพิ่มเติมในส่วนของการปรับแต่ง สีน้ำเงิน สีแดง และสี พื้นหลัง เพื่อให้การ สวมแว่นตาเลนส์สีเขียวและสีแดง มีประสิทธิภาพในการทดสอบมากที่สุด ดัง แสดงในภาพที่ 47 โคนเมื่อมองผ่านเลนส์สีแดงจะมองเห็นสีน้ำเงินกลืนไปกับพื้นหลัง และเมื่อมอง ผ่านเลนส์สีน้ำเงินจะมองเห็นสีแดงกลืนไปกับพื้นหลัง



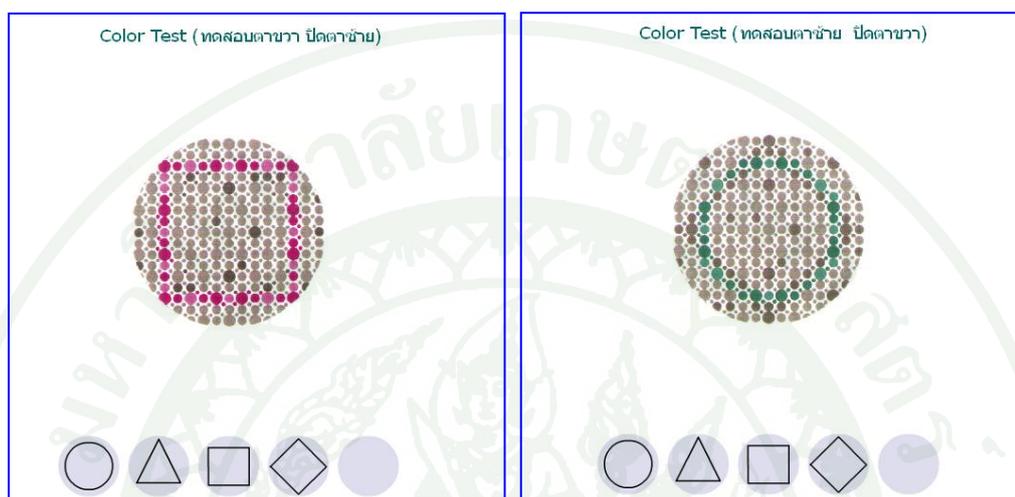
ภาพที่ 47 การปรับสีน้ำเงิน สีแดง และสีพื้นหลัง ที่แสดงบนหน้าจอมอนิเตอร์



ภาพที่ 48 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทดสอบ Stereopsis

4. การทดสอบภาวะตาบอดสี

ในส่วนโปรแกรมทดสอบภาวะตาบอดสีจะใช้ภาพมาตรฐาน ที่ใช้อยู่ในระบบปัจจุบัน เพียงแต่นำมาแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อความง่ายต่อการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 49 โปรแกรมทดสอบภาวะตาบอดสี

4. การประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อตรวจจับการเอียงของศีรษะ

4.1 การออกแบบโปรแกรมตรวจจับการเอียงของศีรษะ

ระบบตรวจจับการเอียงของศีรษะด้วยการประมวลผลภาพ ดิจิทัลในบริเวณที่ให้ความสนใจ ตามขั้นตอนในภาพที่ 50 เริ่มต้นที่ค้นหาใบหน้า และดวงตา จนเมื่อได้ตำแหน่งพิกัด ดวงตา ซ้ายและดวงตาขวาแล้ว สามารถนำค่าพิกัดทั้งสองตำแหน่งนี้มาคำนวณหามุมเอียงของศีรษะได้ การเลือกค้นหาตำแหน่งพิกัดของดวงตา เนื่องจากอวัยวะบนใบหน้าที่มีเป็นคู่ และระยะห่างค่อนข้างจะคงที่ คือระยะห่างระหว่างดวงตาทั้งสองข้างนั่นเอง ส่วนค่านี้นั้นเมื่อมีการเลกคิ้ว ว หรือ ขมวดคิ้ว ก็จะได้ค่าระยะห่างไม่คงที่ การใช้ตำแหน่งพิกัดของดวงตาจึงเป็นทางเลือกที่ทำให้การคำนวณค่ามุมเอียงของศีรษะมีค่าใกล้เคียงกับมุมเอียงของศีรษะจริง ในส่วนการเขียนโปรแกรมตรวจจับการเอียงของศีรษะจะใช้ โปรแกรม MS Visual C++ 6.0 and MFC และ OpenCV Library v3.1 ในการพัฒนาเป็นหลัก



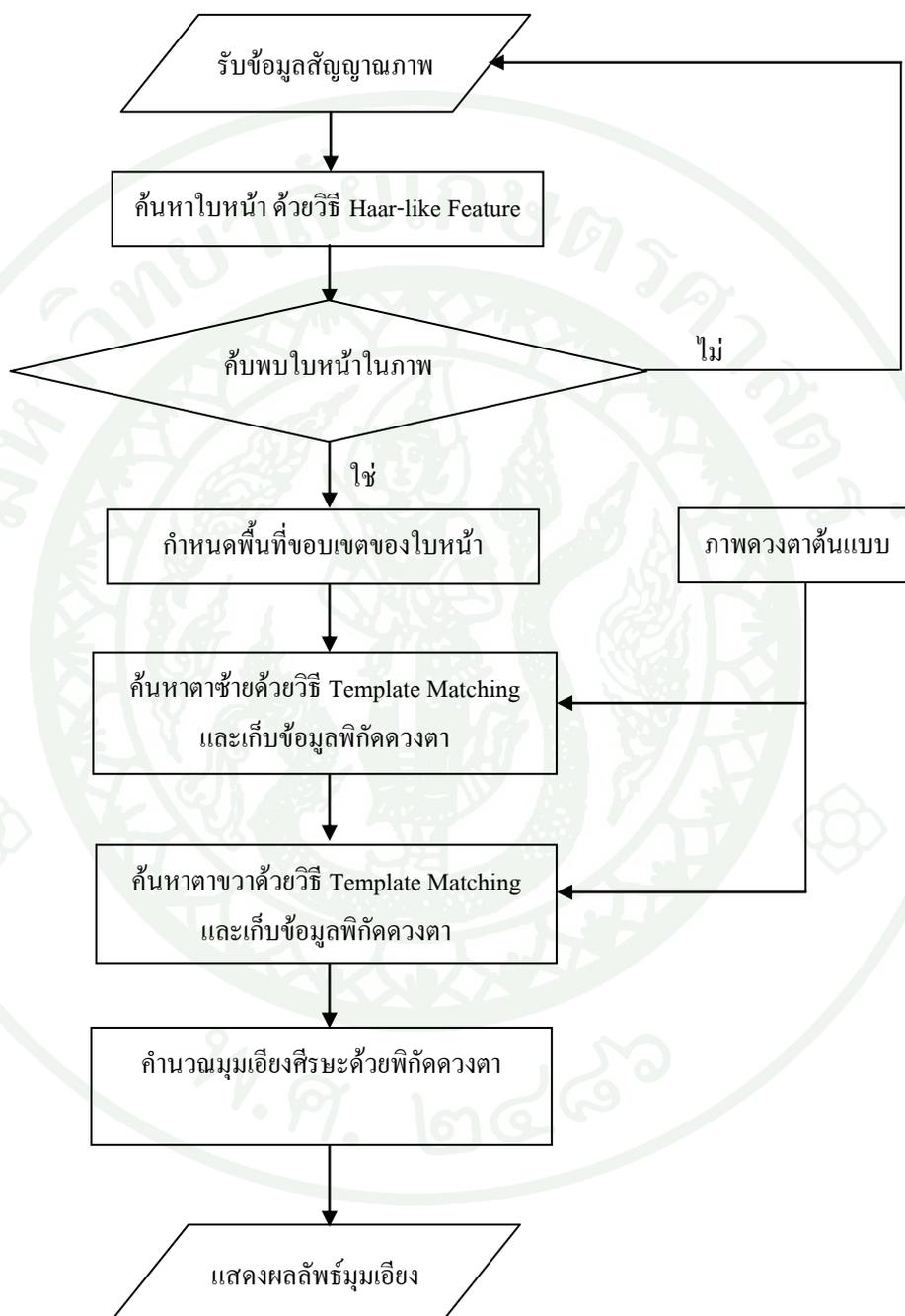
ภาพที่ 50 ขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อหามุมเอียงของศีรษะ

4.2 การทำงานของโปรแกรม

ข้อมูลภาพในงานวิจัยนี้จะประมวลผลภาพที่ ละภาพ และแสดงผลเป็นมุมการเอียง ของศีรษะ บนหน้าจอ ทันที โดยข้อมูลภาพที่ได้จะถูกนำไปประมวล ผลเหมือนกับภาพนิ่ง เรียงต่อเนื่องกันไปทีละภาพ การเก็บข้อมูลภาพนั้นจะใช้ภาพที่ได้จากกล้อง ดิจิทัลแบบเว็บแคม (digital web camara)

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงในภาพที่ 51 เมื่อได้รับข้อมูลภาพ จะเริ่มต้นการประมวลผลภาพค้นหาขอบเขตของใบหน้า (ROI) ด้วยวิธี Haar-like Feature ซึ่งใช้ข้อมูลภาพใบหน้าของมนุษย์จำนวนมากที่เก็บอยู่ใน Library ของ OpenCV ในการคัดเลือกลักษณะของรูปที่ต้องการตรวจจับและตีความหมาย หลังจากกำหนดขอบเขตของใบหน้าได้แล้วจะเริ่มค้นหาคำแหน่งพิกัดของดวงตาด้วยวิธี Template Matching เพื่อตรวจจับส่วนของภาพที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายคลึงกับภาพ ดวงตาดั้งเดิม โดยแยกการตรวจจับตาซ้ายและตาขวาดังแสดงในภาพที่ 52

และเลือกใช้ภาพดวงตาต้นแบบที่มีตำแหน่งดวงตายุ่งกึ่งกลางภาพเพื่อที่จะทำให้หาตำแหน่งพิกัดของดวงตาได้ง่ายดังแสดงในภาพที่ 53



ภาพที่ 51 ขั้นตอนในการเขียน โปรแกรมตรวจจับการเอียงของศีรษะ



ภาพต้นฉบับ



ภาพต้นแบบ



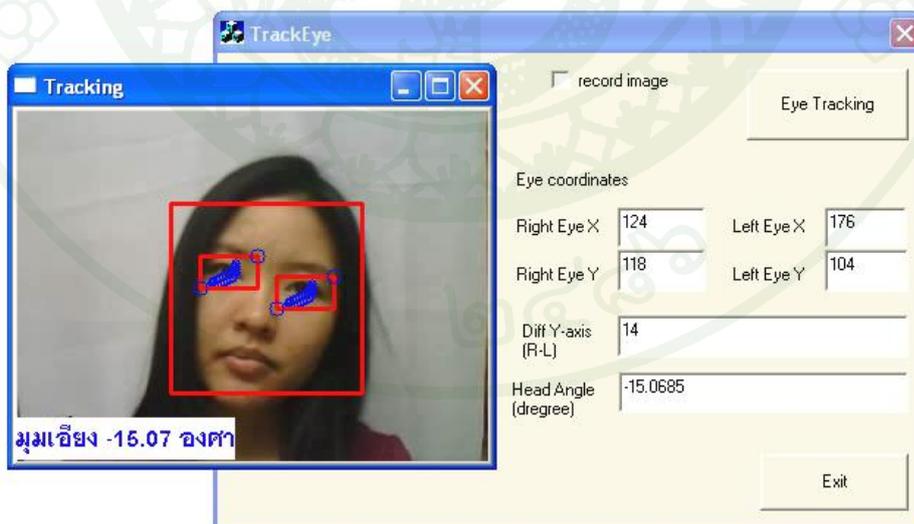
ภาพการตรวจจับด้วยภาพต้นแบบ

ภาพที่ 52 ภาพการตรวจจับส่วนของภาพที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายคลึงกับภาพดวงตาต้นแบบ



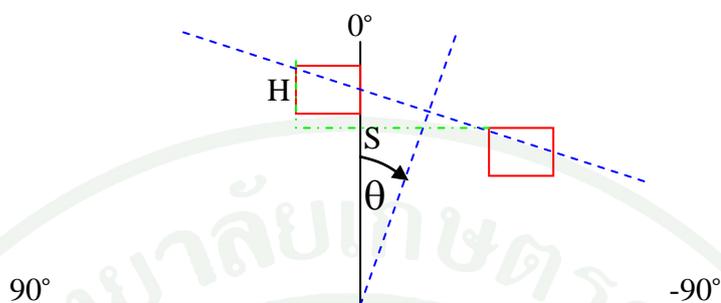
ภาพที่ 53 ภาพดวงตาซ้ายและขวาต้นแบบ

พิกัดของดวงตาสามารถจะกำหนดให้เป็นกึ่งกลางของภาพดวงตาต้นแบบ นั่นคือความกว้างหารสอง และความสูงหารสอง และนำค่านี้ไปหามุมเอียงของศีรษะจะได้ผลดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 โปรแกรมตรวจจับการเอียงของศีรษะพร้อมแสดงผลลัพธ์

การคำนวณมุมเอียงของศีรษะใช้ ทฤษฎีตรีโกณมิติจากรูปสามเหลี่ยมมุมฉากในภาพที่ 55 โดยสามารถคำนวณผลได้ตามสมการที่ 30 โดยมีแกนอ้างอิงแนวตั้งเป็น 0° ดังแสดงในภาพที่ 55



ภาพที่ 55 การคำนวณมุมเอียงของศีรษะ

$$\theta = \pm \arctan\left(\frac{H}{S}\right) \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} \quad (30)$$

เมื่อ H คือ ผลต่างของพิกัดแนวแกน y ของดวงตาทั้งสอง
 S คือ ผลต่างของพิกัดแนวแกน x ของดวงตาทั้งสอง

ผลและวิจารณ์

1. ผลและวิจารณ์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็ก ได้ทำการจัดตั้งกลุ่มเจ้าหน้าที่ พร้อมเครื่องวัดสายตาอีกหลายชนิด ซึ่งกลุ่มเจ้าหน้าที่ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านสายตาจาก เมืองแจ๊คสันวิลล์ (Jacksonville) รัฐฟลอริดา (Florida) 1 ท่าน เจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข 3 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญเครื่องมือวัดสายตา 2 ท่าน เจ้าหน้าที่ทั่วไป 1 ท่าน และผู้ใช้งานโปรแกรมทดสอบความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์ 2 ท่าน ไปทำการทดสอบ ระบบปัจจุบัน เปรียบเทียบผล การทดลองกับระบบออนไลน์ โดยทำการทดลองกับเด็กนักเรียนอนุบาลชั้น ปีที่ 3 และ ประถมศึกษาชั้น ปีที่ 1 รวมกันจำนวน 163 คน โดยเด็กนักเรียนทั้งหมดมีอายุน้อยกว่า 8 ขวบ ที่โรงเรียนวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นระยะเวลา 4 วัน

การทดลองเริ่มต้นเก็บข้อมูลการทดสอบระบบปัจจุบันกับเด็กทีละคน ดังแสดงในภาพที่ 56 ซึ่งต้องใช้เจ้าหน้าที่ในการทดสอบ และให้เด็กคนเดิมมาทำการทดสอบซ้ำที่ระบบออนไลน์ จนครบ ทั้ง 163 คน ดังแสดงในภาพที่ 57



(ก)



(ข)



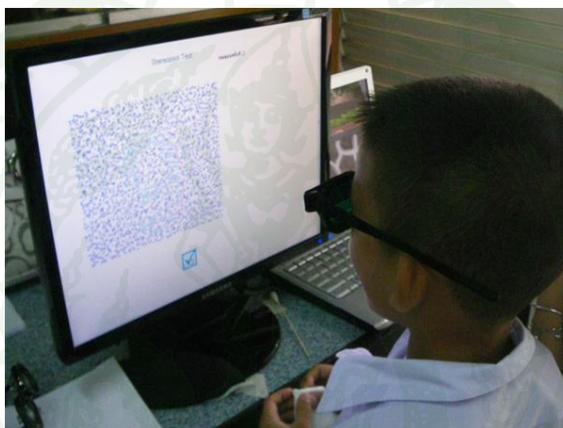
(ค)

ภาพที่ 56 การทดสอบระบบประเมินสายตาแบบเดิม

- (ก) ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสายตาตรวจสอบภาวะสายตาวาว
- (ข) เด็กนักเรียนทดสอบด้วยเครื่องมือวัดการมองเห็นพร้อมกันสองตา
- (ค) เด็กนักเรียนทดสอบภาวะตาบอดสีด้วยแผ่นภาพ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 57 การทดสอบ โปรแกรมของระบบออนไลน์กับเด็กนักเรียน

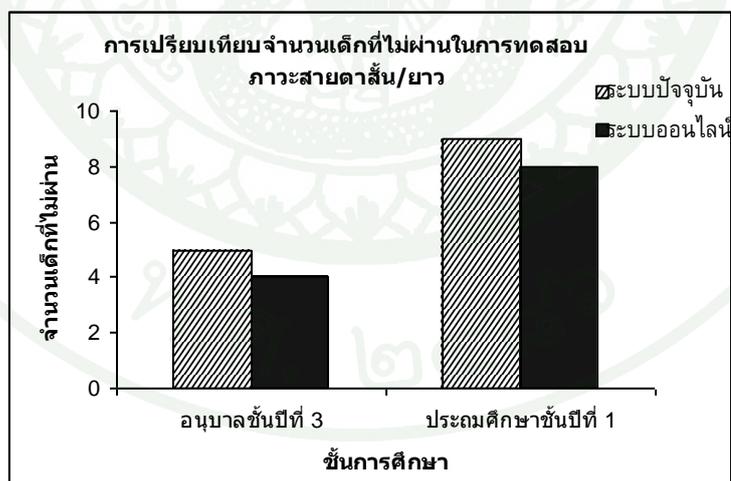
(ก) ขณะทดสอบภาวะสายตาสั้น/ยาว

(ข) ขณะทดสอบการมองเห็นพร้อมกันสองตา

ผลการทดสอบเด็กนักเรียนทั้ง 163 คน โดยแยกวิเคราะห์การทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบคือ ภาวะสายตาสั้น /ยาว การมองเห็นพร้อมกันสองตาและภาวะตาบอดสีพบว่า เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบ ภาวะสายตาสั้น /ยาวมี มีเปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างเทียบกับจำนวนเด็ก นักเรียน ทั้งหมดที่ทดสอบ มีค่า ต่างกัน 1.23 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน ตารางที่ 3 ซึ่งถือว่าแตกต่างกันไม่มากเป็นที่ยอมรับได้เมื่อดูจากภาพที่ 58 จะพบว่าจะมีเด็กนักเรียน เพียงชั้นปีการศึกษาละ 1 คนเท่านั้น

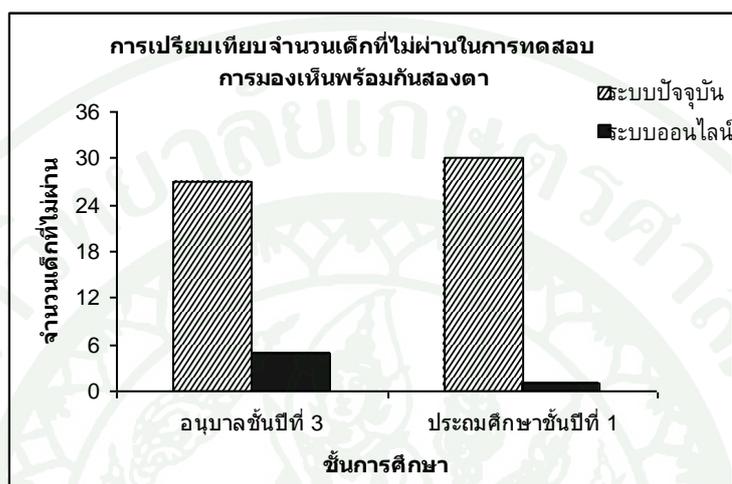
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านจากทั้ง 2 ระบบ

การทดสอบ	จำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่าน (คน)		เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่าง (%)
	ระบบปัจจุบัน	ระบบออนไลน์	
ภาวะสายตาสั้น/ยาว	14	12	1.23
การมองเห็นพร้อมกันสองตา	57	6	31.29
ภาวะตาบอดสี	14	9	3.07



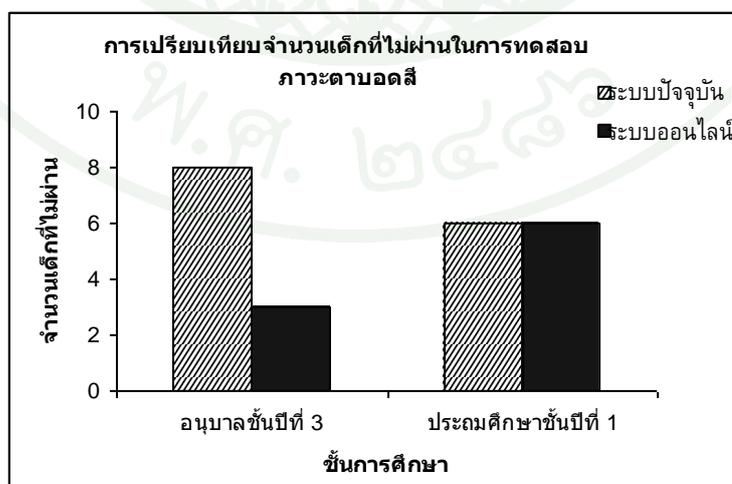
ภาพที่ 58 กราฟเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบภาวะสายตาสั้น/ยาว

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบภาวะการมองเห็นพร้อมกันสองตา มีความแตกต่างกัน 31.29 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการเปรียบเทียบนี้จึงไม่เป็นที่ยอมรับ และวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปเพื่อทำการแก้ไข



ภาพที่ 59 กราฟเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบการมองเห็นพร้อมกันสองตา

สำหรับการเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบภาวะตาบอดสี มีความแตกต่างกัน 3.07 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งถือว่าแตกต่างกันไม่มากเป็นที่ยอมรับได้เมื่อดูจากภาพที่ 60 จะพบว่าผลความแตกต่างมาจากชั้นอนุบาล 3 จำนวน 5 คน



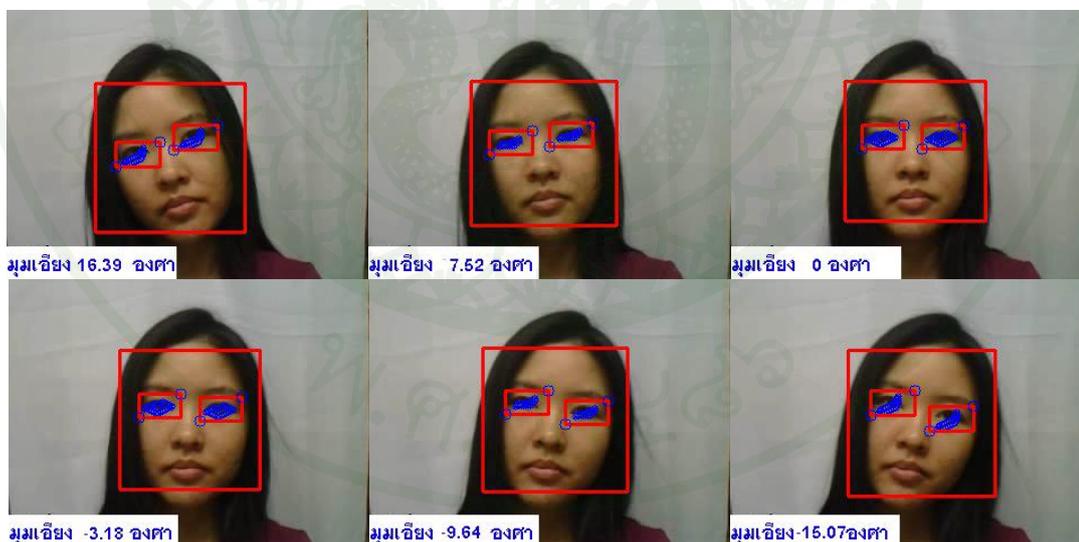
ภาพที่ 60 กราฟเปรียบเทียบจำนวนเด็กนักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบภาวะตาบอดสี

ดังนั้นจากผลการทดสอบ พบว่ามีผลการทดสอบที่ตรงกันและยอมรับได้ อยู่ที่ 2 ใน 3 ของการทดสอบ ทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบออนไลน์ ใช้ทรัพยากรบุคคลซึ่งเป็นผู้ทำการทดสอบสายตาลดลงจากระบบปัจจุบันเป็น 1 ต่อ 3 ในระยะเวลาการทดสอบที่เท่ากัน อีกด้วย

หลังจากทดสอบโปรแกรมกับเด็กนักเรียนอายุน้อยกว่า 8 ขวบไปแล้ว พบว่าผลการทดสอบ 1 ใน 3 ของการทดสอบทั้งหมด ยังมีผลไม่ตรงกัน จึงทำการทดสอบโปรแกรมทั้งหมดเพิ่มเติม โดยจำกัดอายุผู้ทดสอบให้มีอายุมากกว่า 20 ปี เพื่อตัดปัจจัยทางด้านอายุออกไป โดยคัดแยกผู้ที่มีปัญหาสายตา และไม่มีปัญหาสายตา ออกจากกลุ่มมาอย่างละ 1 คน รวมทั้งหมดเป็น 2 คน มาทำการทดสอบโปรแกรม พบว่าทั้ง 3 การทดสอบได้ผลที่ตรงกัน

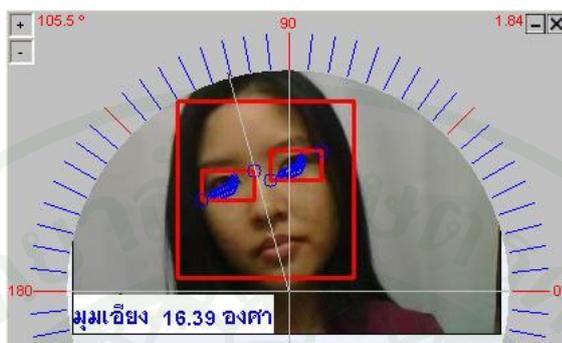
2. ผลและวิจารณ์ผลการทดสอบโปรแกรมวัดมุมเอียงของศีรษะ

ในการทดสอบ โปรแกรมกับภาพการเอียงศีรษะที่มุมขนาดต่างๆ ในสภาวะแสงคงที่ โดยภาพการเอียงศีรษะจะมีทั้งเอียงทำมุมมากกว่าและน้อยกว่า 0° โดยโปรแกรมจะคำนวณมุมเอียงของศีรษะ ดังแสดงตัวอย่างภาพการเอียงศีรษะ และขนาดมุมเอียงต่างๆ ที่คำนวณได้ในภาพที่ 61



ภาพที่ 61 ภาพมุมการเอียงของศีรษะในขนาดมุมต่างๆ ที่วัดจากโปรแกรม

เพื่อเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม กับมุมเอียงจริง จึงได้ใช้โปรแกรม Scale v2.0 มาใช้วัดขนาดมุมเอียงจริงและจดบันทึก ดังแสดงในภาพที่ 62 โดยวัดเป็นแนวเส้นตรง จากกึ่งกลางคาง กึ่งกลางปาก ตามแนวสันจมูกมายังหว่างคิ้ว เพื่อให้ได้ค่าที่มุมที่แม่นยำ



ภาพที่ 62 ภาพการวัดมุมเอียงจริงโดยใช้โปรแกรม Scale v2.0

จากตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดสอบมุมการเอียงของศีรษะในขนาดมุมต่างๆ ทั้งหมด 14 ขนาด พบว่าที่ขนาดมุมเอียงระหว่าง -13.2° ถึง 17.4° ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 31 จะมีค่าไม่เกิน 1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าค่ามุมเอียงมากขึ้นค่า เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนจะยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{90^{\circ} - \text{มุมคำนวณจากโปรแกรม} - \text{มุมที่วัดได้จริง}}{\text{มุมที่วัดได้จริง}} \times 100\% \right| \quad (31)$$

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบมุมการเอียงของศีรษะในขนาดมุมต่างๆ

ลำดับ	90°-มุมที่วัดได้จริง (องศา)	มุมคำนวณจากโปรแกรม (องศา)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
1	17.4	18.78	1.28
2	16	17.1	1.04
3	15.5	16.39	0.84
4	13.8	14.79	0.95
5	11.8	12.41	0.60
6	3.2	3.07	0.14
7	2.5	2.08	0.45
8	0	0	0.00
9	-0.6	-1.1	0.56
10	-2.6	-3.18	0.66
11	-9.1	-10.8	1.36
12	-13.2	-14.3	1.43
13	-14.2	-15.35	1.52
14	-14.6	-17.74	4.16

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ออกแบบระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์ที่มีการทดสอบแบ่งเป็น 3 การทดสอบหลัก คือ ภาวะสายตาสั้น/ยาว การมองเห็นพร้อมกันสองตา และภาวะตาขลาด ซึ่งแสดงอยู่บน เว็บเพจ และเก็บข้อมูลผลการทดลองแบบออนไลน์เข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ของระบบ รวมทั้ง มีการตรวจวัดความเอียงของศีรษะของเด็ก โดยวัดเป็นหน่วยองศา ซึ่งวัดมุมเอียงของศีรษะได้ระหว่าง -13.2° ถึง 17.4° โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกิน 1.5 เปอร์เซ็นต์

การดำเนินงานวิจัยได้เริ่มต้นด้วย การศึกษาระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กในปัจจุบันหรือระบบปัจจุบัน พบว่ามีข้อเสียหลายอย่าง อาทิต้องใช้เจ้าหน้าที่อย่างน้อย 3 คนต่อการทดสอบเด็กหนึ่งคน ต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญทางสายตา ทดสอบเด็กเท่านั้น และการเรียกดูผลการประเมินเพื่อทำผลไปวิเคราะห์หาค่าทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากจำนวนของแบบฟอร์มกระดาษที่บันทึกผลมีปริมาณมาก

หลังจากนั้น ได้ออกแบบและทดสอบระบบประเมินความสามารถในการมองเห็นสำหรับเด็กแบบออนไลน์ขึ้นมาเป็นระบบออนไลน์ ให้ใช้งานด้วยภาษาที่เข้าใจได้ง่ายต่อบุคคลทั่วไป มีการทดสอบที่ครอบคลุมอาการ ของปัญหาทางสายตาสำหรับเด็ก และ มีการจัดเก็บผลการประเมินด้วยคอมพิวเตอร์ ผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อการสืบค้นที่ง่าย และได้ออกแบบระบบเพิ่มเติม คือ โปรแกรมตรวจจับความเอียงของศีรษะ ซึ่งถือเป็นอาการปัญหาทางสายตาของเด็กอย่างหนึ่งด้วย

ในส่วนสุดท้ายเป็นการ ทดลองระบบกับเด็กนักเรียน 163 คน การยอมรับได้ของ ระบบออนไลน์อยู่ที่ 2 ใน 3 ของการทดสอบทั้งหมดที่ ให้ผลตรงกัน ซึ่งในส่วนที่ยอมรับไม่ได้มีการร่วมกันพิจารณาและพบว่าสาเหตุหลักเกิดจกสภาวะแวดล้อมในบริเวณที่ทดสอบไม่ได้ถูกควบคุมให้ดี มีสิ่งกีดขวางสมาธิของเด็กนักเรียน และประการสำคัญคือ การทดสอบครั้งแรก หรือทดสอบระบบปัจจุบันนั้น เด็กยังไม่คุ้นเคยกับวิธีการทดสอบทำให้การสื่อสารกับเจ้าหน้าที่มีข้อผิดพลาด ผลที่ได้จากการทดสอบครั้งแรกจึงมีเด็ก นักเรียนที่ไม่ผ่านการทดสอบจำนวนมากว่าระบบออนไลน์ ซึ่งเป็นการทดสอบครั้งที่สองหลังจากที่เด็กนักเรียนผ่านการทดสอบกับระบบปัจจุบันมาแล้ว

จากการ ดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถ สรุปผลการวิจัย ได้ว่าระบบที่ออกแบบ สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการและมี ประสิทธิภาพที่เพียงพอที่จะนำไปประยุกต์ ใช้ งานให้เกิดประโยชน์ได้ รวมทั้งมีโอกาสนในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในลำดับขั้นต่อไป ได้แก่ การเพิ่มการตรวจจับการเคลื่อนที่ ของลูกตาดำ ซึ่งจะสามารถประเมินปี ญหาทางสายตาได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ในส่วนของระบบ ประเมินสายตา ตี้อาจเพิ่มข้อกำหนด แบ่ง ลำดับความสำคัญของผู้ใช้ เพื่อกำหนดการใช้งานของ ผู้ใช้แต่ละประเภท รวมทั้งกำหนดให้ผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมการใช้งาน โปรแกรมมาแล้วเท่านั้นเข้าใช้ งานในส่วนการทดสอบสายตาได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กำพล ลีลาภรณ์. 2544. **Advanced flash actionscript**, พิมพ์ครั้งที่ 1. โปรวิชั่น

ศิริพจน์ มะโนดี. ม.ป.ป. การประเมินความสามารถในการมองเห็น. แหล่งที่มา:

<http://www.ku.ac.th/agri/com/com.htm>, 13 กันยายน 2551.

ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา นครศรีธรรมราช. 2553. **ภาพสามมิติ**. แหล่งที่มา:

http://www.nakhonsci.com/index.php?option=com_content&task=view&id=32, 29
มีนาคม 2553.

สมชาติ รุ่งเรืองสรการ. 2543. การสร้างภาพสตรีโอ กราฟฟิกด้วยคอมพิวเตอร์. **วารสารวิชาการ
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ** 10(3):18-24.

Anonymous. 2009. **Haar wavelet**. Wikipedia. Available Source:

http://en.wikipedia.org/wiki/Haar_wavelet, March 31, 2010.

Bradski, G. and A. Kaehler. 2008. **Learning OpenCV Computer Vision with the OpenCV
Library**, 1st ed. O'Reilly Media.

Chen, Q. 2006. **Hand Detection with a Cascade of Boosted Classifiers Using Haar-like
Features**. Available Source:

[http://www.discover.uottawa.ca/~qchen/my_presentations/DavidChen_Presentation0605
12/David_Haar.ppt](http://www.discover.uottawa.ca/~qchen/my_presentations/DavidChen_Presentation060512/David_Haar.ppt), March 31, 2010.

Gonzalez, R.C. and R.E. Woods. 2002. **Digital Image Processing**, 3rd ed. Prentice Hall
International.

Thimbleby, H.W., S. Inglis and I.H. Witten. 1994. **Displaying 3D Images: Algorithms for
Single Image Random Dot Stereograms**. *Computer* 27(1994):38-48.

Viola, P. and M. Jones. 2001. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. **IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR 2001**: 511-518.



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาววิไล ศศธราดล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 25 สิงหาคม 2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

