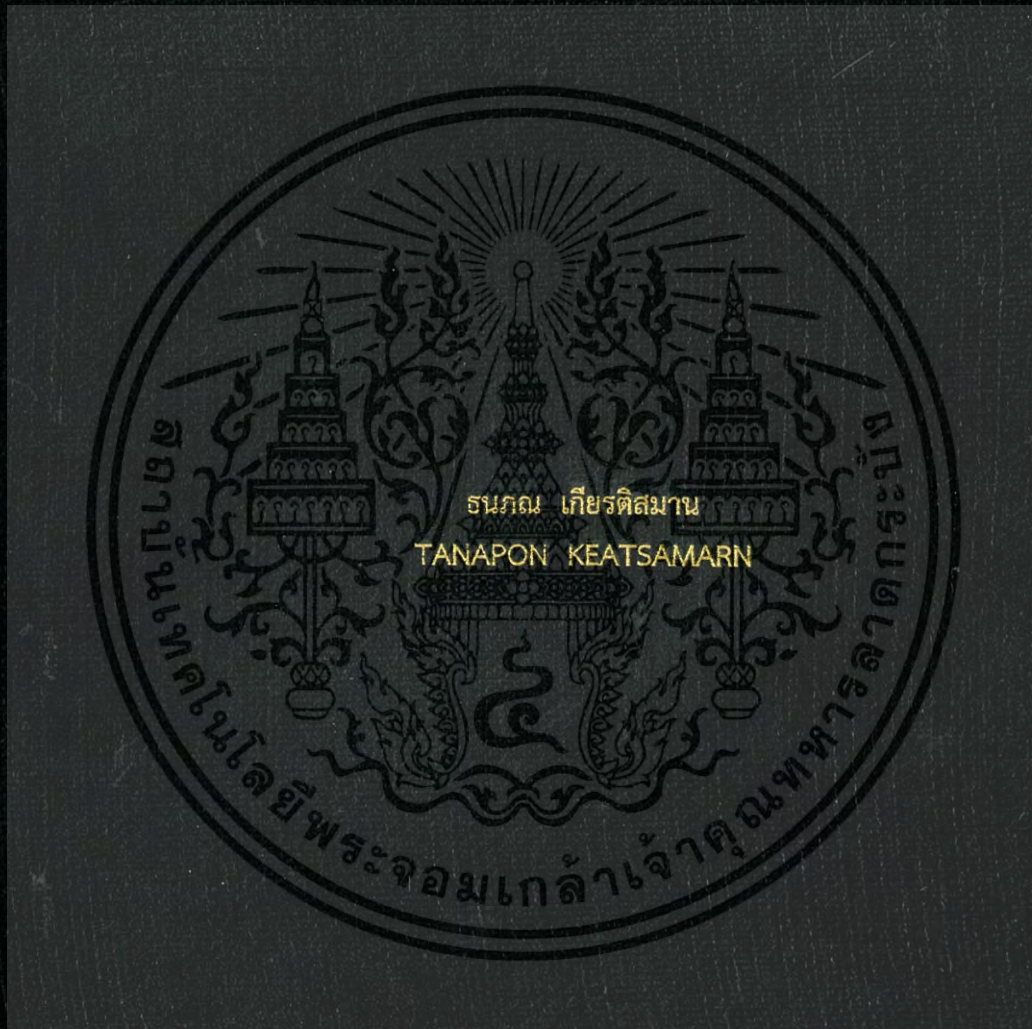


การวัดแรงกดของฝ่าเท้าขณะยืนนิ่งโดยใช้เซนเซอร์ออปติคัล
STATIC FOOT PLANTAR PRESSURE MEASUREMENT SYSTEM
USING OPTICAL SENSORS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

การวัดแรงกดของฝ่าเท้าขณะยืนนิ่งโดยใช้เซนเซอร์ออปติคอล

STATIC FOOT PLANTAR PRESSURE MEASUREMENT SYSTEM
USING OPTICAL SENSORS



T148834



ธนาภณ เกียรติสมาน

TANAPON KEATSAMARN

เลขหมู่ 148834
เลขทะเบียน 23 ม.ธ. 2560
ฉบับเดือน.วิ

b. 100266927
j.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATIC FOOT PLANTAR PRESSURE MEASUREMENT SYSTEM
USING OPTICAL SENSORS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN BIOMEDICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABNAG
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017





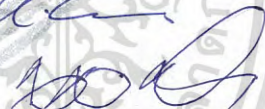
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดแรงกดของฝ่าเท้าขณะยืนนิ่งโดยใช้เซนเซอร์ออปติคัล
Thesis Title Static Foot Plantar Pressure Measurement System using Optical Sensors
นักศึกษา นายธรรณณ เกียรติสมาน
รหัสประจำตัว 59601299
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-040-073

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบุลย์	
ดร.สุรเดช	ตรีไตรลักษณ์	
ผศ.ดร.กิติพล	ชิตสกุล	
รศ.ดร.ชูชาติ	ปิณฑวิรุจน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดแรงกดของฝ่าเท้าขณะยืนนิ่งโดยใช้เซนเซอร์แบบออปติคัล
นักศึกษา	นายธนภณ เกียรติสมาน
รหัสประจำตัว	59601299
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์

บทคัดย่อ

การวัดแรงกดของฝ่าเท้าเป็นเรื่องสำคัญในการระบุหรือจำแนกความผิดปกติของฝ่าเท้าและออกแบบแผ่นรองเท้าสำหรับรองเท้าเฉพาะบุคคล ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เซนเซอร์แบบออปติคัล (กล้องเว็บแคม) เพื่อบันทึกภาพเท้าจากเครื่องวัดแรงกด และใช้การประมวลผลภาพบน Raspberry Pi ด้วย OpenCV ฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดแรงกดนั้นใช้แผ่นอะคริลิกใส และมีเหล็กเป็นฐาน โดยมีกระดาษ glossy สีขาวอยู่ด้านบนแผ่นอะคริลิกใส และครอบเครื่องวัดแรงกดด้วยแผ่น polypropylene หรือทั่วไปที่เรียกว่า แผ่นพีวีเจอรบอร์ด เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้าสู่เครื่องวัดแรงกด แสงภายในระบบถูกปล่อยออกจาก LED strip เข้าสู่ด้านข้างของแผ่นอะคริลิกใส แสงจะเกิดการกระเจิงจากแรงกดของฝ่าเท้าที่เกิดขึ้น และถูกบันทึกโดยกล้องเว็บแคม 4 ตัว ซึ่งติดตั้งอยู่ใต้แผ่นอะคริลิก โดยหันหน้ากล้องขึ้นด้านบนเพื่อทำการบันทึกภาพที่เกิดขึ้น (ซึ่งเท้า 1 ข้างนั้นจะถูกบันทึกเป็น 2 ภาพ) และส่งไปยัง Raspberry Pi จากนั้น Raspberry Pi จะประมวลผลภาพโดยการปรับปรุงภาพ การรวมภาพทั้ง 2 ส่วนเข้าด้วยกัน แล้วแสดงผลบนจอภาพ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการแบ่งประเภทของเท้าและใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ผ่านการประมวลแล้ว รวมถึงไปถึงการประยุกต์ใช้ในอนาคตเพื่อวิธีหาทางป้องกันการเกิดความผิดปกติ เช่น การขึ้นรูปแผ่นรองเท้าพิเศษเฉพาะสำหรับแต่ละบุคคล

Project Title	STATIC FOOT PLANTAR PRESSURE MEASUREMENT SYSTEM USING OPTICAL SENSORS
Student	Mr. Tanapon Keatsamarn
Student ID	59601299
Degree	Master of Engineering
Program	Biomedical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Chuchart Pintavirooj

Abstract

The foot pressure measurement is necessary for classifying disorders of the foot and design the insole for individual person. This present work uses optical sensor (webcam) to collect the foot pictures. Image processing on Raspberry Pi with OpenCV library is applied to process images as color coding. The hardware system uses a transparent acrylic plate and uses the steel as the base of the acrylic plate. The glossy white paper is placed on the top of the transparent acrylic plate and covering with the polypropylene sheet on the system for blocking the environmental light. Lighting the system is LED strip entering around the edge of the acrylic plate. The scattered light occurred in acrylic plate from the foot pressing were recorded by the webcams. The 4 webcams are facing upward placed below for collect images (2 cameras for each foot) and sent to Raspberry Pi where the images are processes such as improvement and stitching and also displaying on the screen. These resulting images can be used to classifying foot type and find methods to prevent the occurrence of disorders such as forming the special insole for individual person.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในเรื่อง “การวัดแรงกดของฝ่าเท้าขณะยืนนิ่งโดยใช้เซนเซอร์แบบออปติคัล (Static foot plantar pressure measurement system using optical sensor)” ขอขอบพระคุณครอบครัวที่เป็นแรงผลักดันและให้การสนับสนุนมาตลอด และสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและการช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ซึ่งได้แนะนำความรู้และแนวคิดต่างๆ ตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น รวมถึงเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจอีกด้วย จนสามารถทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะสามารถทำประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจศึกษา เกิดการเรียนรู้ และนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในทางการแพทย์มากขึ้น



ธนาภณ เกียรติสมาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	I
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 กายวิภาคของเท้า (Foot Anatomy).....	5
2.2.1 กระดูกและข้อต่อ (Bones and Joints).....	5
2.2.2 เส้นเอ็น (Ligaments and Tendons).....	6
2.2.3 กล้ามเนื้อ (Muscles).....	6
2.2.4 เส้นประสาท (Nerves).....	7
2.2.5 เส้นเลือดแดง (Arteries).....	7
2.3 ลักษณะทั่วไปของฝ่าเท้า.....	8
2.2.1 เท้าปกติ (Normal Arch).....	8
2.2.2 เท้าโค้ง (High Arch).....	8
2.2.3 เท้าแบน (Flat Foot).....	8
2.4 ค่าดัชนีความโค้ง (Arch Index).....	9
2.5 โรคเบาหวานและความเกี่ยวข้องกับเท้า.....	10
2.6 แรงกด (Pressure).....	12
2.7 การประเมินประสิทธิภาพ.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 การประมวลผลภาพ (Image Processing).....	14
2.9 พื้นฐานภาพดิจิทัล	21
2.9.1 ภาพดิจิทัล	21
2.9.1.1 ภาพแบบบิตแมป (Bitmap Image)	22
2.9.1.2 ภาพแบบเวกเตอร์ (Vector Image).....	22
2.9.2 ประเภทของภาพแบบบิตแมป (Bitmap)	22
2.9.2.1 ภาพแบบไบนารี (Binary Image).....	22
2.9.2.2 ภาพระดับเทา (Grayscale Image).....	23
2.9.2.3 ภาพสี (Color Image).....	23
2.9.2.4 ภาพแบบอินเด็กซ์ (Index Image)	23
2.9.3 ฮิสโตแกรม (Histogram).....	24
2.10 แบบจำลองสี (Color Model).....	25
2.10.1 แบบจำลองสี RGB	25
2.10.2 แบบจำลองสี YCbCr	26
2.10.3 แบบจำลองสี HSV	26
2.11 คัลเลอร์แม็พ (Colormaps)	26
2.11.1 ประเภทของคัลเลอร์แม็พ	27
2.11.2 ความสว่างของคัลเลอร์แม็พแบบ matplotlib.....	27
2.11.3 การเปลี่ยนเป็นระดับเทา.....	30
2.11.4 การบกพร่องในการมองเห็นสี.....	35
2.12 บอร์ด Raspberry Pi.....	35
2.12.1 การกำเนิดบอร์ด Raspberry Pi	35
2.12.2 จุดเชื่อมต่ออุปกรณ์และความสามารถแต่ละตำแหน่งบนบอร์ด Raspberry Pi.....	36
2.12.3 ข้อดีและข้อเสียของบอร์ด Raspberry Pi	38
2.12.4 บอร์ด Raspberry Pi B+	39
2.12.5 การติดตั้งระบบปฏิบัติการลงไมโครเอสดีการ์ด (Micro SD card).....	39
2.12.6 ไอพี แอดเดรส (IP Address) บนบอร์ด Raspberry Pi	42
2.13 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	43
2.13.1 ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม	44
2.13.1.1 ภาษาเครื่อง (Machine Languages)	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.13.1.2 ภาษาแอสเซมบลี (Assembly)	44
2.13.1.3 ภาษาระดับสูง (High-level Languages)	44
2.13.2 โอเพนซีวี (OpenCV)	47
2.13.3 Shell script ใน Raspberry Pi	48
2.13.4 คำสั่งที่ใช้ใน Shell script	48
2.13.4.1 fswebcam	48
2.13.4.2 convert	52
2.14 เซนเซอร์	54
2.14.1 เซนเซอร์ทั่วไป	54
2.14.1.1 การจำแนกประเภทของข้อผิดพลาดในการวัด	54
2.14.1.2 การเบี่ยงเบนของตัวรับรู้	55
2.14.1.3 ความละเอียด	56
2.14.1.4 ชนิดของเซนเซอร์	56
2.14.1.5 เซนเซอร์ในธรรมชาติ	56
2.14.2 เซนเซอร์รับแรงกด (Force sensor resistor)	57
2.14.3 เซนเซอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric sensor)	59
2.15 เทคโนโลยีการวัดแรงกดที่ผ่านมา	61
2.15.1 การพิมพ์หมึกอย่างง่าย (Simple ink impression)	61
2.15.2 การวัดด้วยวิธี Harris Mat	61
2.15.3 เครื่องวัดแรงกดของเท้า (Pedograph)	62
2.16 การดำเนินการทาง Morphological	63
2.16.1 การขยายและการลดขนาด (Dilation and Erosion)	63
2.16.1.1 การขยายขนาด (Dilation)	63
2.16.1.2 การลดขนาด (Erosion)	65
2.16.2 การดำเนินการ Opening และ Closing	66
2.16.2.1 การดำเนินการ Opening	66
2.16.2.2 การดำเนินการ Closing	66
2.17 นอร์มัลไลเซชัน (Normalization)	67
2.18 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน	70
3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware).....	70
3.1.1 การออกแบบแท่นยืนสำหรับระบบการแสดงผลแรงกดทับของเท้า.....	70
3.1.2 การรับข้อมูลภาพและการประมวลผล.....	71
3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ (Software)	72
3.2.1 ส่วนรับภาพ	72
3.2.2 ส่วนการประมวลผลภาพ.....	75
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	99
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	100
3.4.1 การสร้างเครื่องรับผลแรงกดน้ำหนักของเท้า	100
3.4.2 การสร้างโปรแกรมการรับภาพและการประมวลผล.....	100
3.4.3 การสอบเทียบ (Calibration).....	101
3.4.4 การทดลองเก็บตัวอย่างข้อมูล.....	102
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	103
4.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware).....	103
4.2 ซอฟต์แวร์ (Software).....	104
4.2.1 โปรแกรมการรับภาพ	104
4.2.2 การประมวลผลภาพ.....	106
4.3 การสอบเทียบ (Calibration).....	111
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient).....	113
4.5 การเปรียบเทียบผลกับวิธีการ Harris Mat.....	114
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	116
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	116
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	117
เอกสารอ้างอิง	118
ประวัติผู้เขียน.....	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน่วยที่ใช้ในการวัดแรงกด หรือ ความดัน.....	13
2.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบต่างๆ.....	14
2.3 ลักษณะของนอร์มัลไลเซชัน (normalization)	67
4.1 ผลเปรียบเทียบลักษณะที่ต่างกันของเท้า	110
4.2 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล้องที่ 1 (เท้าซ้ายด้านบน)	111
4.3 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล้องที่ 2 (เท้าซ้ายด้านล่าง)	111
4.4 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล้องที่ 3 (เท้าขวาด้านบน)	112
4.5 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล้องที่ 4 (เท้าขวาด้านล่าง).....	112
4.6 ข้อมูลจากการสอบเทียบจากผลเฉลี่ยทั้งหมด	112
4.7 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	114



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระดูกและข้อต่อ (Bones and Joints)	5
2.2 เส้นเอ็น (Ligaments and Tendons)	6
2.3 กล้ามเนื้อ (Muscles).....	6
2.4 เส้นประสาท (Nerves)	7
2.5 เส้นเลือดแดง (Arteries).....	7
2.6 ลักษณะของเท้า	8
(ก.) การลงน้ำหนัก.....	8
(ข.) อาการเท้าเอียง	8
2.7 การแบ่งพื้นที่ในการหาค่าดัชนีความโค้ง.....	9
2.8 แรงกด หรือ ความดัน	12
2.9 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับระบบประมวลผลภาพ.....	14
2.10 การตรวจลายนิ้วมือโดยใช้ระบบสแกนลายนิ้วมือ.....	15
2.11 การปรับความคมชัดของภาพในการหาเชื้อแบคทีเรีย.....	16
2.12 ตัวอย่างการใช้ CT Scan และ MRI	16
2.13 ภาพการ Ultrasound.....	17
2.14 การแบ่งส่วนภาพทางการแพทย์	18
2.15 ภาพ 3 มิติของฟันเพื่อใช้ในการจำลองการจัดฟัน	20
2.16 การเปรียบเทียบภาพ.....	22
(ก.) ภาพแบบเวกเตอร์.....	22
(ข.) ภาพแบบบิตแมป	22
2.17 ภาพแบบไบนารี (Binary image).....	23
2.18 ภาพระดับเทา (Grayscale image).....	23
2.19 ภาพสี (Color image).....	23
2.20 ภาพแบบอินเด็กซ์ (Index image)	24
2.21 ตัวอย่างการเปรียบเทียบกับตารางสีให้กลายเป็นภาพ.....	24
2.22 ภาพแสดงการทำฮิสโตแกรมของภาพโดยแยกตามแม่สีแสง	25
2.23 การรวมกันของแสงสีแสงทั้ง 3 ทำให้เกิดสีที่หลากหลายมากขึ้น	25
2.24 แบบจำลองสี HSV.....	26
2.25 คัลเลอร์แม็พแบบ Perceptually Uniform	27
2.26 คัลเลอร์แม็พแบบ Sequential.....	28
2.27 คัลเลอร์แม็พแบบ Sequential 2	29

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วย 29

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 คัลเลอร์แม็พแบบ Diverging.....	29
2.29 คัลเลอร์แม็พแบบ Qualitative	30
2.30 คัลเลอร์แม็พแบบ Miscellaneous	31
2.31 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Perceptually Uniform	32
2.32 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Sequential.....	33
2.33 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Sequential 2	33
2.34 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Diverging.....	34
2.35 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Qualitative	34
2.36 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Miscellaneous	35
2.37 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi.....	36
2.38 บอร์ด Raspberry Pi 2 Model B+	39
2.39 ตัวอย่างการ์ดความจำ 8 GB.....	40
2.40 สายไมโครยูเอสบี.....	40
2.41 ตัวแปลง HDMI to DVI	40
2.42 หน้าต่างโปรแกรม SD Formatter 4.0.....	41
2.43 หน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager	41
2.44 การแตกไฟล์ Zip ของไฟล์ระบบปฏิบัติการ Raspbian	42
2.45 การแสดงผลลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่าย.....	42
2.46 แสดงการตั้งค่า IP Address บน Raspberry.....	43
2.47 การแสดงผลหากติดตั้ง fswebcam ไว้เรียบร้อยแล้ว.....	49
2.48 การแสดงผลหากติดตั้ง imagemagick ไว้เรียบร้อยแล้ว.....	52
2.49 ลักษณะโครงสร้างของตัวตรวจจับแรงกด FSR.....	57
2.50 การทำงานของตัวตรวจจับแรงกด FSR.....	58
2.51 ตัวตรวจจับแรงกด FSR ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย	59
2.52 เพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแรงกดเป็นพลังงานไฟฟ้า.....	60
2.53 รูปร่างของเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก	60
2.54 ตัวอย่างของการพิมพ์หมึกอย่างง่าย.....	61
2.55 ตัวอย่างภาพที่ได้จาก Harris Mat	62
2.56 ตัวอย่างการเรียงตัวของ pressure sensor	63
2.57 ค่าของ SE (Structuring Element).....	64
2.58 การทำงานของ Dilation.....	64

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.59 ภาพการทำ Dilation.....	64
(ก.) ภาพต้นฉบับ	64
(ข.) ผลลัพธ์จากการทำ Dilation	64
2.60 การทำงานของ Erosion.....	65
2.61 ภาพการทำ Erosion	65
(ก.) ภาพต้นฉบับ	65
(ข.) ผลลัพธ์จากการทำ Erosion.....	65
2.62 ภาพการทำ Opening	66
(ก.) ภาพต้นฉบับ	66
(ข.) ผลลัพธ์จากการทำ Opening.....	66
2.63 ภาพการทำ Closing.....	66
(ก.) ภาพต้นฉบับ	66
(ข.) ผลลัพธ์จากการทำ Closing	66
3.1 โครงสร้างตัวอย่างของระบบที่สร้างขึ้น.....	71
3.2 ลักษณะการสะท้อนของแสงภายในระบบ.....	72
3.3 แผนผังของการทำงานในส่วนการรับภาพเพื่อนำมาประมวลผล	73
3.4 การเริ่มต้นกระบวนการรับภาพบน Raspberry Pi.....	75
3.5 แผนผังของการทำงานในส่วนของการวิเคราะห์ผล.....	76
3.6 การเริ่มต้นการประมวลผลภาพบน Raspberry Pi	99
3.7 แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi	100
3.8 แผ่นไม้และแผ่นยางที่ใช้ในการสอบเทียบ	102
3.9 แผ่นน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบ	102
4.1 เครื่องวัดแรงกดของเท้า	103
(ก.) ภายนอก	103
(ข.) ภายในกล่อง.....	103
4.2 การทำงานของโปรแกรมการรับภาพ.....	104
4.3 โพลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นจากการทำงานของโปรแกรมรับภาพ	105
4.4 ภาพในโพลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้น	105
4.5 การแสดงผลใน command line ในการประมวลผลภาพ.....	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ภายในโพลเดอร์หลังสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม	106
4.7 การแสดงผลบน command line หลังจบกระบวนการทั้งหมด	107
4.8 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง	108
4.9 โพลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นจากการทำงานของระบบ	109
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดและค่าพิกเซลโดยเฉลี่ย	113
4.11 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบของเครื่องวัดแรงกดที่สร้างขึ้นกับ Harris Mat	115



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อวัยวะของร่างกายที่เป็นโครงสร้างสำคัญซึ่งพบได้ในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง คือ เท้า ซึ่งเป็นส่วนที่มีหน้าที่จำเป็นในการรับน้ำหนักทั้งหมดของร่างกายและทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยในแต่ละคนจะมีลักษณะของฝ่าเท้าที่แตกต่างกัน เท้าแบบปกติสามารถพบได้โดยทั่วไป โดยจะมีพื้นที่สัมผัสที่ช่วยในการรับแรงที่เกิดขึ้นและทำให้การเคลื่อนที่เป็นปกติ ต่อมาเป็นชนิดเท้าโก่ง (high arch) เป็นลักษณะเท้าที่หาได้ยาก จะมีความโค้งของฝ่าเท้ามากกว่าปกติ เป็นเหตุให้มีโอกาสเกิดข้อเท้าพลิกได้สูง และอีกชนิดหนึ่งคือ เท้าแบน (flat foot) เป็นชนิดที่หาได้ยากเช่นกัน ซึ่งฝ่าเท้าจะมีความโค้งน้อย ทำให้ข้อเท้าและหัวเข่าได้รับแรงกระแทกมากกว่าที่ควร อาจจะทำให้ได้รับบาดเจ็บ เช่น เอ็นร้อยหวายอักเสบ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วไม่ทราบว่าเท้าของตนเองนั้นเป็นแบบใด หรือมีความผิดปกติหรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยโรคเบาหวาน ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะพบกับปัญหาในการรับรู้ความรู้สึก โดยเฉพาะในบริเวณเท้า ดังนั้นในขณะที่ผู้ป่วยโรคเบาหวานยืนหรือเดินนั้นจะพบความผิดปกติเกิดขึ้น อาจจะไม่สามารถรับรู้ความรู้สึกเจ็บปวดจากบาดแผลถึงแม้ว่าจะมีการส่งกระแสประสาทบ่งบอกถึงความเจ็บปวดก็ตาม นอกจากนี้การเกิดแผลในตำแหน่งที่มีแรงกดสูงนั้นอาจจะส่งผลให้เกิดแผลเรื้อรังและจำเป็นต้องตัดขาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ดังนั้นการวัดแรงกดของฝ่าเท้านั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อตรวจสอบลักษณะและความผิดปกติของเท้า จึงสร้างเครื่องวัดแรงกดของฝ่าเท้าโดยใช้เซนเซอร์แบบออปติคัล ซึ่งใช้กล้องดิจิทัลในการรับภาพฝ่าเท้าจากผู้ป่วยที่ยืนอยู่บนระบบ และนำภาพที่ได้ผ่านระบบการประมวลผลภาพ (Image Processing) ผ่าน Raspberry Pi เพื่อที่สามารถนำการแสดงผลแรงกดของฝ่าเท้าไปช่วยค้นหาและป้องกันการที่ผู้ป่วยจะต้องสูญเสียขาไปจากการเกิดแผลเรื้อรังเนื่องจากการเกิดแรงกดทับ โดยได้พัฒนาระบบจากงานวิจัยในระดับปริญญาตรี และปรับปรุงการทำงานของระบบให้ดีขึ้น มีการเพิ่มความสามารถในการแยกแยะระดับแรงกดให้ละเอียดมากขึ้น และมีการสอบเทียบเครื่องวัดแรงกดให้สามารถระบุค่าแรงกดที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณของฝ่าเท้าได้ ซึ่งทำให้มีประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบการแสดงผลค่าแรงกดที่เกิดขึ้นของฝ่าเท้า
2. เพื่อการวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นของฝ่าเท้า
3. เพื่อนำเทคนิคของการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในระบบแสดงผลแรงกดของฝ่าเท้า
4. เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ที่ใช้ในการวัดแรงกดของเท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

เครื่องวัดแรงกดของฝ่าเท้าที่สร้างขึ้นนั้นสามารถแสดงผลได้ด้วยการรับภาพจากกล้องดิจิทัลสามารถแสดงแรงกดเป็นค่าตัวเลขและวิเคราะห์ชนิดของเท้าได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ระบบที่สร้างขึ้นจากแผ่นอะคริลิกใสที่มีคุณสมบัติดังนี้
 - ความกว้างและความยาว ด้านละ 40 เซนติเมตร และมีความหนา 1 เซนติเมตร
 - ฐานตั้งซึ่งสร้างจากเหล็กสูง 15 เซนติเมตร
2. แสงสว่างที่ให้แก่ระบบ
 - แลปแอลอีดี ยาว 160 เซนติเมตร ติดรอบแผ่นอะคริลิก
3. การรับภาพเพื่อนำภาพไปประมวลผล
 - กล้องเว็บแคม (Webcam) Logitech C170 4 ตัว
4. การประมวลผลภาพ
 - ประมวลผลผ่าน Raspberry Pi

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย แบ่งเป็น 6 ขั้นตอน คือ

1. วางแผนและศึกษาข้อมูลการทำงานวิจัยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กำหนดวัตถุประสงค์ สมมติฐาน และขอบเขตของงานวิจัย จากนั้นจึงศึกษาข้อมูลและเทคโนโลยีที่ใช้เกี่ยวกับการวัดแรงกดของฝ่าเท้า ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดแรงกดของฝ่าเท้า และการวิเคราะห์ความผิดปกติของฝ่าเท้า ศึกษากระบวนการสร้างระบบและการวิเคราะห์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย โดยจะอธิบายในบทที่ 1 และบทที่ 2

2. การสร้างระบบการรับภาพแรงกดของฝ่าเท้า

ศึกษาและค้นคว้าวัสดุที่ต้องนำมาใช้ในการสร้าง ทั้งในการเลือกแผ่นอะคริลิกและฐานที่สามารถรองรับน้ำหนักคนได้โดยไม่เกิดผลกระทบใดๆ เลือกกระดาษ glossy สีขาว ที่มีความมันที่จะทำให้เกิดการกระเจิงของแสงได้ดีและมีความบางที่จะสามารถแสดงแรงกดจากฝ่าเท้าได้ และในขั้นตอนการรับภาพ เลือกใช้กล้องที่มีความละเอียด ให้ภาพที่มีความคมชัด จะทำให้ได้ภาพที่นำไปประมวลผลได้ดี โดยจะอธิบายในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสร้างโปรแกรมการรับภาพและการประมวลผลภาพ

ศึกษาการใช้งาน Raspberry Pi และศึกษาการเขียนคำสั่งพื้นฐาน รวมไปถึงการเขียนคำสั่งด้วยภาษา c++ และนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรม โดยจะอธิบายในบทที่ 3

4. การสอบเทียบระบบ (Calibration)

เนื่องจากต้องการให้มีการแสดงค่าแรงกด ซึ่งต้องมาจากการสอบเทียบระบบ เพื่อใช้ในการระบุค่าแรงกดที่เกิดขึ้นบนฝ่าเท้า โดยใช้ข้อมูลจากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นน้ำหนักมาตรฐานและค่าพิกเซลโดยเฉลี่ย โดยจะอธิบายในบทที่ 3

5. การตรวจสอบการทำงานของระบบ

เมื่อสร้างระบบการวัดแรงกดของเท้าและสอบเทียบระบบเรียบร้อยแล้ว ต้องมีการตรวจสอบการทำงานโดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) จากการเก็บข้อมูลจากบุคคลเดียวกันเป็นจำนวน 10 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ โดยจะอธิบายในบทที่ 3

6. การทดลองเก็บข้อมูล และการสรุปผลการทดลอง

เมื่อตรวจสอบการทำงานแล้ว นำไปทดสอบเก็บข้อมูลเพื่อดูประสิทธิภาพในการทำงาน นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้จริง และนำข้อมูลมาสรุปผล โดยจะอธิบายในบทที่ 4 และบทที่ 5

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง ระบบแสดงผลการกดน้ำหนักของบริเวณฝ่าเท้า เพื่อการวินิจฉัยความผิดปกติของบริเวณฝ่าเท้าและโครงสร้างกระดูกเบื้องต้น (Foot pressure display system for the initial diagnosis abnormal of foot and bone structure) จัดทำโดย นางสาวจิตภา จงศรีวัฒน์พร, นางสาวชลธิชา เฉลิมฤทธิ์ขจร และ นายเชาวฤทธิ์ ชัยสุริยะพันธ์ [1] สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นงานวิจัยที่น่าสนใจ ได้นำเสนอวิธีการแสดงผลการกดน้ำหนักของบริเวณฝ่าเท้า โดยอาศัยการรับภาพการสะท้อนจากแผ่นอะคริลิกใสผ่านกระจกเงาซึ่งทำมุม 45 องศา โดยมีแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงจำนวน 84 หลอด และเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อการวินิจฉัยความผิดปกติของฝ่าเท้าโดยใช้โปรแกรม VLC Player และ Microsoft Visual Studio C++ 2008 ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อดี คือ สามารถใช้กล้องเพียงตัวเดียวเพื่อรับภาพจากการสะท้อนของกระจกเงา แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวนี้เกิดข้อเสียขึ้น คือ จำเป็นต้องมีฐานที่สูงค่อนข้างมากเพื่อให้สามารถรับภาพได้ครอบคลุมพื้นที่เท้าทั้ง 2 ข้าง และ การควบคุมแสงรบกวนจากภายนอกนั้นยังไม่สมบูรณ์เนื่องจากขณะรับภาพนั้นใช้เพียงผ้าคลุมเท้าไว้ขณะยืนบนเครื่องวัดการกดน้ำหนักของบริเวณฝ่าเท้า ทำให้อาจเกิดแสงจากภายนอกเข้าสู่ระบบได้ นอกจากนี้การสัมผัสแผ่นอะคริลิกใสโดยตรงนั้นย่อมส่งผลเสียโดยตรงกับระบบได้เนื่องจากการเกิดรอยขีดข่วนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดพลาด

งานวิจัยเรื่อง Improvisation of an optical pressure sensor based dynamic foot pressure measurement system จัดทำโดย K Siddique-e Rabbani, SM Zahid Ishraque, M Shahedul Islam และ Rhaad Muasir Rabbani [2] เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการวัดแรงกดน้ำหนักของฝ่าเท้าโดยอาศัยการสะท้อนและการหักเหของแสงจากกระดาษ glossy ที่มีความมัน โดยแสงมีแหล่งกำเนิดมาจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และแสงที่ถูกหักเหออกมาจะถูกบันทึกโดยกล้องเว็บแคมที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งวิธีดังกล่าวมีข้อดี คือ สามารถควบคุมแสงรบกวนจากภายนอกได้ดี เนื่องจากมีกระดาษสีดำปิดทับกระดาษ glossy ที่อยู่บนแผ่นอะคริลิก และวัสดุที่ใช้ทำฐานทำมาจากแผ่นไม้ แต่ย่อมทำให้เกิดข้อเสีย คือ อาจจะมีปัญหาเรื่องการรับน้ำหนัก อาจจะไม่ดีเท่ากับเหล็ก และเนื่องจากจากใช้กล้องเพียงตัวเดียว ย่อมทำให้เครื่องวัดแรงกดดังกล่าวต้องมีความสูงที่ค่อนข้างมากเช่นกัน ดังนั้นหากใช้กล้องที่เพิ่มขึ้น สามารถลดความสูงของเครื่องวัดแรงกดได้ และส่งผลให้ผลลัพธ์มีความละเอียดที่สูงขึ้นอีกด้วย

2.2 กายวิภาคของเท้า (Foot Anatomy)

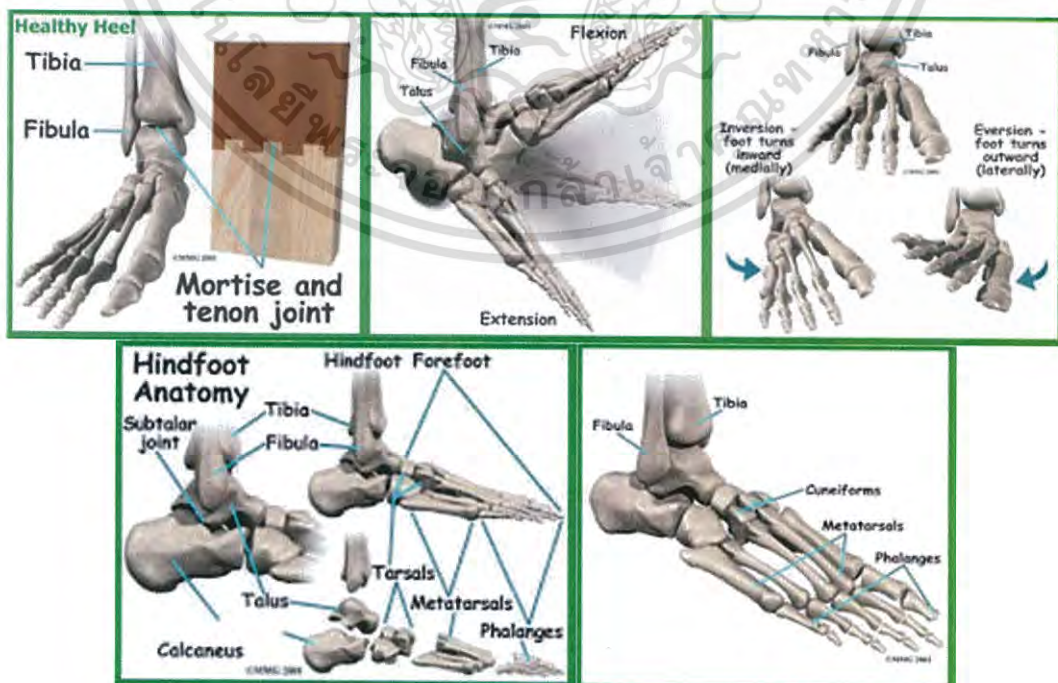
เท้า เป็นโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ของสัตว์หลายชนิด ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ ในสัตว์หลายชนิดมีเท้าเป็นอวัยวะที่แยกออกจากหากอยู่ปลายสุดของขา โดยสามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

2.2.1 กระดูกและข้อต่อ (Bones and Joints)

โครงสร้างกระดูกของเท้าเริ่มต้นที่กระดูก Talus หรือที่เรียกว่า กระดูกข้อเท้า (Ankle Bone) โดยข้อเท้า (Ankle Joint) จะมีกระดูกขาส่วนล่างสองชิ้น ได้แก่ Tibia และ Fibula มาเชื่อมกับ Talus เรียกว่า mortise and tenon joint ซึ่งถือเป็นข้อที่มีความมั่นคงมาก

Back foot ประกอบด้วยกระดูกสองชิ้น คือ Talus และ Calcaneous (Heel bone) จุดที่ทั้งสองกระดูกนี้เชื่อมต่อกันเรียกว่า Subtalar joint Ankle joint ทำให้ข้อเท้าเคลื่อนไหวในแนวบนล่าง (Up-Down) ส่วน Subtalar Joint ทำให้ข้อเท้าเคลื่อนไหวในแนวข้าง (Side to Side)

ต่อมาคือตำแหน่งของกระดูก 5 ชิ้นที่มีชื่อเรียกว่า Tarsal bones กระดูกเหล่านี้ทำงานร่วมกันอย่างลงตัว เมื่อเท้ามีการหมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งจากกล้ามเนื้อเท้าและขา กระดูกเหล่านี้จะมีการล็อคเข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง และทำงานประสานกัน วางตัวให้เข้ากับพื้นผิวที่เท้าสัมผัสอยู่ Tarsal bones เชื่อมต่อกับกระดูกยาว ๆ 5 ชิ้น เรียกว่า Metatarsal bones โดยที่ข้อต่อระหว่าง Tarsal bones และ Metatarsal bones มีการเคลื่อนไหวน้อยมาก ต่อมาคือกระดูกของนิ้วเท้า เรียกว่า Phalanges จุดที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง Metatarsal bones กับ Phalanges เรียกว่า Metatarsophalangeal Joint (MTP) เป็นจุดที่มีความสำคัญมากต่อการเคลื่อนไหวเท้า เรียกจุดนี้ว่า Ball of foot

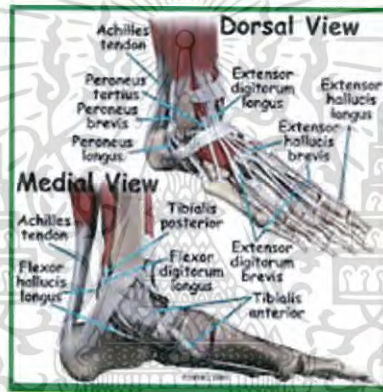


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.1 กระดูกและข้อต่อ (Bones and Joints) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เส้นเอ็น (Ligaments and Tendons)

เป็นโครงสร้างที่เชื่อมต่อระหว่างกระดูกแต่ละชิ้น เป็นเนื้อเยื่อเชื่อมต่อที่ประกอบด้วยเส้นใยเล็ก ๆ รวมกัน Tendon เป็นเส้นใยที่เชื่อมระหว่างกระดูกกับกล้ามเนื้อ ส่วน Ligament เป็นเส้นใยที่เชื่อมต่อระหว่าง กระดูกกับกระดูก

Achilles tendon เป็นเส้นเอ็นขนาดใหญ่มีความสำคัญต่อการเดิน วิ่งและกระโดด เชื่อมต่อระหว่างกล้ามเนื้อน่องและกระดูกสันเท้า ช่วยให้เราสามารถขย่งเท้าได้ Posterior tibial tendon เชื่อมระหว่างกล้ามเนื้อน่องกับด้านล่างของฝ่าเท้า มีหน้าที่พยุงส่วนโค้ง และช่วยในการหมุนฝ่าเท้าเข้าด้านใน (Inward) ในส่วนของ Anterior tibial tendon ช่วยในการยกเท้าและหมุนเท้าออกด้านนอก (Outward) สำหรับนิ้วเท้ามีเส้นเอ็นที่ช่วยในการงอนิ้วเท้าซึ่งจะอยู่ด้านล่างของนิ้วเท้า ส่วนเส้นเอ็นที่ช่วยในการเหยียดเท้าจะอยู่ด้านบนของนิ้วเท้า ligament เล็กๆที่เชื่อมกระดูกแต่ละชิ้นร่วมกับเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่าง ligament มีการรวมตัวกันเพื่อเติมเต็มช่องว่างระหว่างกระดูกและสร้างเป็นถุงน้ำขึ้น



รูปที่ 2.2 เส้นเอ็น (Ligaments and Tendons)

2.2.3 กล้ามเนื้อ (Muscles)

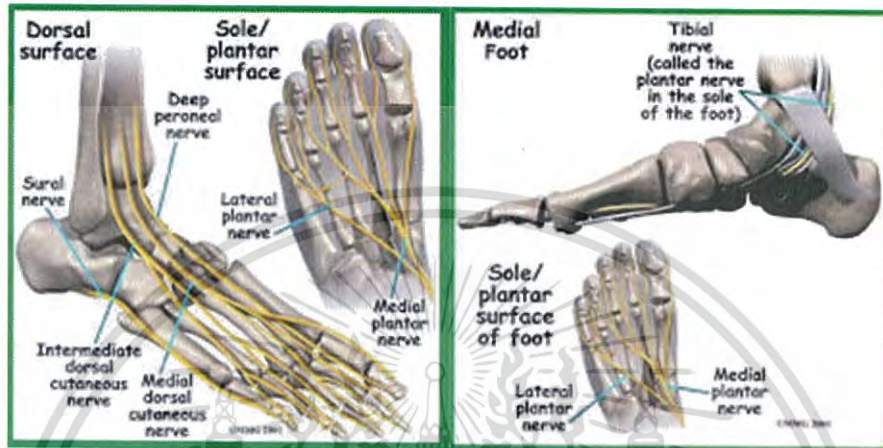
การเคลื่อนไหวส่วนใหญ่ของเท้ามาจากการทำงานของกล้ามเนื้อจากขาส่วนล่าง ส่วนกล้ามเนื้อมัดเล็ก ๆ ที่เท้ามีจำนวนมากแต่ความสำคัญไม่เท่ากับกล้ามเนื้อมัดเล็กๆของมือ ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการขยับนิ้วเท้า และเรียงตัวเป็นชั้นอยู่ใต้ฝ่าเท้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 2.3 กล้ามเนื้อ (Muscles) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เส้นประสาท (Nerves)

เส้นประสาทหลักที่ไปยังเท้าคือ Tibial nerve วิ่งผ่านหลัง Medial malleolus ไปยังฝ่าเท้า เกี่ยวข้องกับการรับความรู้สึกของฝ่าเท้าและนิ้วเท้า และควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อที่ฝ่าเท้า ส่วนเส้นประสาทอื่นๆ ที่วิ่งจากด้านบนเท้าและด้านนอกของเท้า จะคอยดูแลเรื่องประสาทรับความรู้สึกบริเวณที่เส้นประสาทเหล่านั้นวิ่งผ่าน



รูปที่ 2.4 เส้นประสาท (Nerves)

2.2.5 เส้นเลือดแดง (Arteries)

เส้นเลือดแดงหลักที่มาเลี้ยงเท้าคือ Posterior tibial artery วิ่งขนานมากับ เส้นประสาทโดยอยู่ด้านขวาของ Posterior tibial nerve อีกเส้นที่สำคัญคือ Dorsalis pedis artery วิ่งมาจากด้านบนของเท้า สามารถคลำชีพจรของเส้นเลือดเส้นนี้ได้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหลังเท้า



รูปที่ 2.5 เส้นเลือดแดง (Arteries)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลักษณะทั่วไปของฝ่าเท้า

โดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งลักษณะของฝ่าเท้าได้ 3 แบบ ดังนี้

2.3.1 เท้าปกติ (Normal Arch) ลักษณะเท้าแบบนี้เราสามารถพบได้ทั่วไป โดยเท้าลักษณะแบบนี้จะมีอุ้งเท้าที่ช่วยในการลดแรงกระแทกที่เกิดขึ้น และช่วยให้การเคลื่อนไหวของร่างกายเป็นไปอย่างธรรมชาติ ซึ่งช่วยทำให้โอกาสที่จะเกิดอาการบาดเจ็บลดน้อยลง

2.3.2 เท้าโก่ง (High Arch) ลักษณะเท้าแบบนี้เราจะมีโอกาสพบน้อย โดยเท้าลักษณะนี้จะมีโครงกระดูกของอุ้งเท้ามากกว่าปกติ และมีโอกาสเกิดอาการเท้าเอียงออกด้านนอกมากกว่าปกติ (Supination) ในขณะที่เดินหรือวิ่งได้ ซึ่งอาการดังกล่าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการข้อเท้าพลิกได้ง่ายขณะวิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าวิ่งในพื้นที่ผิวไม่เรียบ เนื่องจากเท้าลักษณะนี้มีความยืดหยุ่นค่อนข้างต่ำ ทำให้การเคลื่อนไหวของเท้าไม่สามารถทำได้อย่างที่ควรจะเป็น

2.3.3 เท้าแบน (Flat Foot) ลักษณะเท้าแบบนี้มักจะมีโอกาสพบรองลงมาเทียบกับเท้าปกติ โดยเท้าลักษณะนี้จะมีโครงกระดูกของอุ้งเท้าน้อยมาก ทำให้ข้อเท้าและหัวเข่าต้องรับแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในขณะที่เดินหรือวิ่งมากกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ยังมีโอกาสเกิดเท้าเอียงเข้าด้านใน (Overpronation) ในขณะที่เดินหรือวิ่งได้ ซึ่งอาการดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บตามมาได้อย่างมากมาย เช่น เอ็นร้อยหวายอักเสบ, ปวดบริเวณอุ้งฝ่าเท้า, ปวดบริเวณกระดูกฝ่าเท้าหรือเอ็นฝ่าเท้า, ปวดบริเวณสันเท้า, ปวดข้อเข่า, ปวดบริเวณสันหน้าแข้ง เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ลักษณะของเท้า (ก.) การลงน้ำหนัก (ข.) อาการเท้าเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ค่าดัชนีความโค้ง (Arch Index)

ในการวินิจฉัยความผิดปกติของฝ่าเท้า นั้น ได้ใช้ค่าดัชนีความโค้ง (Arch Index) โดยอ้างอิงจากงานวิจัย Standardizing Foot-Type Classification Using Arch Index Values [3] ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนของพื้นที่ตรงกลางเทียบกับพื้นที่ของแรงกดทั้งหมด เป็นการคำนวณหาพื้นที่ของเท้าว่า บริเวณตรงกลางของฝ่าเท้า นั้นมีอัตราส่วนเป็นเท่าใดเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด จึงสามารถนำมาใช้วินิจฉัยความผิดปกติของฝ่าเท้าได้ เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะของฝ่าเท้า นั้น จะแตกต่างกันที่บริเวณส่วนกลางจนเห็นได้ชัด จึงสามารถใช้อัตราส่วนนี้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างได้ โดยการแบ่งพื้นที่ของแรงกดฝ่าเท้า นั้นจะเป็นไปตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การแบ่งพื้นที่ในการหาค่าดัชนีความโค้ง

โดยสามารถหาค่า ดัชนีความโค้ง ได้จากสมการที่ 2.1

$$\text{Arc Index}(I) = \frac{B}{A + B + C} \quad (2.1)$$

เมื่อคำนวณค่าดัชนีความโค้งแล้ว การวินิจฉัยจะถูกแบ่งแยกออกเป็น 3 แบบ คือ เท้าโค้ง (High Arch) จะมีค่าดัชนีความโค้งน้อยกว่า 0.21 เท้าปกติ (Normal Arch) จะมีค่าดัชนีความโค้งอยู่ระหว่าง 0.21 ถึง 0.26 และ เท้าแบน (Flat Foot) จะมีค่าดัชนีความโค้งมากกว่า 0.26 ซึ่งสามารถนำผลการวินิจฉัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โรคเบาหวานและความเกี่ยวข้องกับเท้า

เบาหวาน (Diabetes mellitus (DM) หรือทั่วไปว่า Diabetes) เป็นกลุ่มโรคเกี่ยวกับการเผาผลาญอาหารซึ่งมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานาน น้ำตาลในเลือดสูงก่อให้เกิดอาการปัสสาวะบ่อย กระหายน้ำและความหิวเพิ่มขึ้น เบาหวานเกิดจากตับอ่อนผลิตอินซูลินไม่เพียงพอหรือเซลล์ร่างกายไม่ตอบสนองอย่างเหมาะสมต่ออินซูลินที่ผลิตได้อย่างใดอย่างหนึ่ง น้ำตาลที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานโดยการควบคุมของอินซูลิน ในเมื่ออินซูลินมีปัญหา ทำให้ไม่สามารถดึงน้ำตาลไปใช้ได้ จึงมีน้ำตาลตกค้างในกระแสเลือดมาก ไตจึงขับของเสียออกมาทางปัสสาวะ อันเป็นเหตุให้ปัสสาวะหวานนั่นเอง

อาการโดยทั่วไปของโรคเบาหวานที่ยังไม่ได้รับการรักษาคือน้ำหนักลด, ปัสสาวะบ่อย, ตื่นน้ำบ่อย, และกินบ่อย อาการเหล่านี้อาจแย่ลงอย่างรวดเร็ว ในโรคเบาหวานประเภทที่ 1, แต่อาการมักแย่ลงอย่างช้าๆ และอาจเบาลงหรือหายไป ในโรคเบาหวานประเภทที่ 2

สัญญาณและอาการอื่นๆอีกหลายอย่างสามารถบ่งบอกถึงการเริ่มมีอาการของโรคเบาหวาน, แม้ว่าพวกมันจะไม่บ่งบอกเฉพาะโรคโดยตรง นอกเหนือจากสัญญาณและอาการที่รู้จักกันข้างต้น, พวกมันรวมถึงการมองเห็นไม่ชัด, ปวดศีรษะ, อ่อนเพลีย, รักษาแผลหายช้า, และคันที่ผิวหนัง. ระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการดูดซึ่มกลูโคสในเลนส์ของตา, ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในรูปร่างของเลนส์, เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสายตา ผื่นผิวหนังจำนวนมากที่สามารถเกิดขึ้นได้ในผู้ป่วยโรคเบาหวานเป็นที่รู้จักกันว่าเป็น dermadromes ของโรคเบาหวาน

โรคเบาหวานเป็นสภาวะที่มีน้ำตาลในเลือดสูงเป็นระยะๆหรือสม่ำเสมอ, และได้รับการวินิจฉัยโดยแสดงให้เห็นอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้:

- ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดขณะอดอาหาร ≥ 7.0 มิลลิโมล/ลิตร (126 mg/dl)
- พลาสมา กลูโคส ≥ 11.1 มิลลิโมล/ลิตร (200 mg/dl) สองชั่วโมงหลังจากป้อนกลูโคส 75 g ในปากในการทดสอบความทนทานต่อกลูโคส
- อาการที่เกิดจากน้ำตาลในเลือดสูงและพลาสมา กลูโคสขณะสบาย ≥ 11.1 มิลลิโมล/ลิตร (200 mg/dl)
- Glycated hemoglobin (Hb A1C) $\geq 6.5\%$

ผลที่เป็นบวก ในกรณีที่ขาดความชัดเจนของการมีน้ำตาลในเลือดสูงหรือไม่, จึงควรได้รับการยืนยันโดยการทำซ้ำในวิธีการใดๆข้างต้นในวันที่แตกต่างกัน. มันเป็นที่นิยมในการวัดระดับน้ำตาลหลังการอดอาหารเพราะความสะดวกในการวัดและความมุ่งมั่นของเวลาที่จะต้องใช้นานมากของการทดสอบความทนทานต่อกลูโคสอย่างเป็นทางการซึ่งจะใช้เวลาสองชั่วโมงกว่าจะเสร็จสมบูรณ์และไม่ได้แนะนำเสนอประโยชน์ที่ดีกว่าการทดสอบแบบการอดอาหาร ตามความหมายปัจจุบัน, การวัดค่าน้ำตาลในเลือดแบบอดอาหารที่สูงกว่า 126 mg/dl (7.0 มิลลิโมล/ลิตร) สองครั้งจะมีการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเบาหวาน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก, บุคคลที่มีระดับน้ำตาลในเลือดขณะอดอาหารที่ 6.1-6.9 มิลลิโมล/ลิตร (110-125 mg/dl) จะมีการพิจารณาที่จะมีน้ำตาลในเลือดบกพร่อง คนที่มีน้ำตาลในเลือดที่ 7.8 มิลลิโมล/ลิตร (140 มิลลิกรัม/เดซิลิตร)หรือสูงกว่า แต่ไม่เกิน 11.1 มิลลิโมล/ลิตร (200 mg/dl) สองชั่วโมงหลังจาก 75 กรัมโกลูโคสในช่องปากได้รับการพิจารณาว่ามีความทนทานต่อกลูโคสบกพร่อง. ในทั้งสองสภาวะก่อนเบาหวานดังกล่าว, โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะตัวหลังเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญสำหรับการพัฒนาไปสู่โรคเบาหวานเต็มตัว, และเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดด้วย สมาคมโรคเบาหวานอเมริกันตั้งแต่ปี 2003 ใช้ช่วงที่แตกต่างกันเล็กน้อยสำหรับกลูโคสบกพร่องขณะอดอาหารที่ 5.6 ถึง 6.9 มิลลิโมล/ลิตร (100-125 mg/dl)

ภาวะแทรกซ้อนในผู้ป่วยโรคเบาหวานนั้น มักจะพบภาวะแทรกซ้อนหลายอย่าง เช่น

- ภาวะแทรกซ้อนทางหลอดเลือด โรคเบาหวานมีความเสี่ยงที่จะเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดมากถึงสองเท่า

- ภาวะแทรกซ้อนทางสายตา เกิดจากการที่น้ำตาลเข้าไปใน endothelium ของ หลอดเลือดเล็กๆ ในลูกตา ทำให้หลอดเลือดเหล่านี้มีการสร้างไกลโคโปรตีนซึ่งจะถูกขนย้ายออกมาเป็น Basement membrane มากขึ้น ทำให้ Basement membrane หนา แต่เพราะ หลอดเลือดเหล่านี้จะฉีกขาดได้ง่าย เลือดและสารบางอย่างที่อยู่ในเลือดจะรั่วออกมา และมีส่วนทำให้ Macula บวม ซึ่งจะทำให้เกิด Blurred vision หลอดเลือดที่ฉีกขาดจะสร้างแขนงของหลอดเลือดใหม่ออกมามากมาย จนบดบังแสงที่มาจากกระทบยัง Retina ทำให้การมองเห็นของผู้ป่วยแยลง

- ภาวะแทรกซ้อนทางไต พยาธิสภาพของหลอดเลือดเล็กๆ ที่ Glomeruli จะทำให้ Nephron ยอมให้ albumin รั่วออกไปกับ filtrate ได้ Proximal tubule จึงต้องรับภาระในการดูดกลับสารมากขึ้น ซึ่งถ้าเป็นนานๆ ก็จะทำให้เกิด Renal failure ได้ ซึ่งผู้ป่วยมักจะเสียชีวิตภายใน 2-3 ปี นับเข้าสู่ภาวะไตวายระยะสุดท้าย หากไม่ได้รับการรักษาอย่างถูกวิธี

นอกจากนี้ยังมีภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญ คือ มีโอกาสที่จะเกิดบาดแผลที่เท้าได้ง่ายกว่าคนทั่วไป และทำให้เป็นเรื่องยากในการรักษา มีสาเหตุมาจาก

1. ผู้ที่เป็นโรคเบาหวานมานานนั้น ส่วนใหญ่พบว่า มีภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาท มีอาการเสื่อมของประสาทส่วนปลายที่ไปเลี้ยงมือและเท้า ทำให้ความสามารถในการรับรู้ความรู้สึกน้อยลง เกิดอาการชา โดยเฉพาะนิ้วเท้าจะเป็นแผลโดยไม่รู้ตัว หรือกว่าจะสังเกตเห็นบาดแผลก็ลุกลามไปมาก เมื่อประสาทที่เลี้ยงกล้ามเนื้อขาและเท้าเสื่อม กล้ามเนื้อจะแฟบลงทำให้รูปร่างของเท้าผิดปกติ นิ้วเท้างอขึ้นเท้ารับน้ำหนักไม่สม่ำเสมอ บริเวณที่รับน้ำหนักมากหรือถูกกดเป็นเวลานาน จะหนาขึ้นเกิดเป็นตาปลาหรือเป็นแผล

2. การไหลเวียนของโลหิตที่ไปสู่ขานั้นลดลง เนื่องจากผนังหลอดเลือดแดงหนาขึ้น ทำให้ขาดออกซิเจน ผิวหนังจะบางลง แผลหายช้า เกิดอาการปวดบวมในขณะเวลาเดิน ถ้าเป็นมากจนหลอดเลือดอุดตันเนื้อเยื่อส่วนปลายจะตาย จนมีสีคล้ำดำขึ้น จนอาจต้องตัดนิ้วหรือนิ้วเท้าดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แรงกด (Pressure)

แรงกด หรือ ความดัน (pressure) เป็นปริมาณชนิดหนึ่งในทางฟิสิกส์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำตั้งฉากซึ่งทำโดยของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ต่อพื้นที่ของสารใด ๆ (ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส) ความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีแต่ขนาดไม่มีทิศทาง จากความหมายของความดันข้างต้นสามารถเขียนเป็นสูตรคณิตศาสตร์ (โดยทั่วไป) ได้ตามสมการที่ 2.2

$$p = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

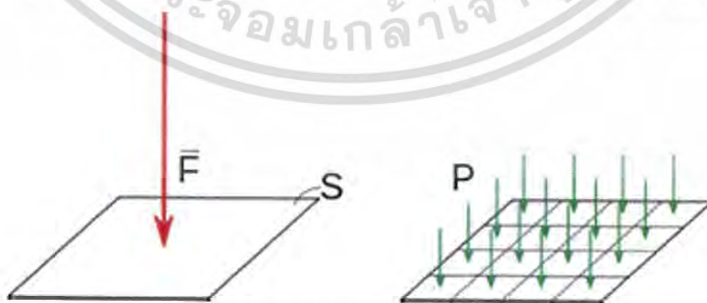
กำหนดให้

p คือ แรงกด หรือ ความดัน (Pressure)

F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น ๆ (Normal Force)

A คือ พื้นที่ (Area) หรืออาจใช้ S (Surface; พื้นผิว)

เนื่องจาก F มีหน่วยเป็น "นิวตัน" (N) และ A มีหน่วยเป็น "ตารางเมตร" (m^2) ความดันจึงมีหน่วยเป็น "นิวตันต่อตารางเมตร" (N/m^2 ; เขียนในรูปหน่วยฐานว่า $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$) ในปี ค.ศ. 1971 (พ.ศ. 2514) มีการคิดค้นหน่วยของความดันขึ้นใหม่ เรียกว่า ปาสกาล (pascal, Pa) และกำหนดให้หน่วยชนิดนี้เป็นหน่วยเอสไอสำหรับความดัน โดยให้ 1 ปาสกาลมีค่าเท่ากับ 1 นิวตันต่อตารางเมตร (หรือ แรง 1 นิวตัน กระทำตั้งฉากกับพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร) โดยความดัน 1 ปาสกาลจะมีค่าประมาณ แรงกดของธนบัตรหนึ่งดอลลาร์ที่วางอยู่เฉย ๆ บนโต๊ะราบ ซึ่งนับว่าเป็นขนาดที่เล็กมาก ดังนั้นในชีวิตประจำวัน ความดันทั้งหลายมักมีค่าตั้งแต่ "กิโลปาสกาล" (kPa) ขึ้นไป



รูปที่ 2.8 แรงกด หรือ ความดัน

นอกจากหน่วยของความดันนอกจากปาสกาลแล้ว ยังมีหน่วยชนิดอื่น ๆ เช่น บาร์, บรรยากาศ (atm), เอที, ทอร์, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับการใช้ในแต่ละสถานการณ์ ค่าเปรียบเทียบของหน่วยแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 หน่วยที่ใช้ในการวัดแรงกด หรือ ความดัน

	ปาสกาล (Pa)	บาร์ (bar)	บรรยากาศ เทคนิค (at)	บรรยากาศ มาตรฐาน (atm)	ทอร์ (Torr)	ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว (psi)
	$\equiv 1 \text{ N/m}^2$	$\equiv 10^5 \text{ dyn/cm}^2$	$\equiv 1 \text{ kp/cm}^2$	$\equiv p_0$	$\equiv 1 \text{ mmHg}$	$\equiv 1 \text{ lbF/in}^2$
1 Pa	= 1	= 10^{-5}	1.0197×10^{-5}	9.8692×10^{-6}	7.5006×10^{-3}	1.450377×10^{-4}
1 bar	= 10^5	= 1	≈ 1.0197	≈ 0.98692	≈ 750.06	≈ 14.50377
1 at	= 0.980665×10^5	= 0.980665	= 1	≈ 0.9678411	≈ 735.5592	≈ 14.22334
1 atm	= 1.01325×10^5	= 1.01325	≈ 1.0332	= 1	$\equiv 760$	≈ 14.69595
1 Torr	≈ 133.3224	1.333224×10^{-3}	1.359551×10^{-3}	1.315789×10^{-3}	= 1	1.933678×10^{-2}
1 psi	$\approx 6.8948 \times 10^3$	6.8948×10^{-2}	7.03069×10^{-2}	6.8046×10^{-2}	≈ 51.71493	= 1

2.7 การประเมินประสิทธิภาพ

ผลการวินิจฉัยนั้นถือเป็นข้อมูลทางสถิติ ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาประเมินประสิทธิภาพ ซึ่งใช้ค่า Positive Predictive Value (PPV) คือ ค่าสัดส่วนของจำนวนการวินิจฉัยว่าเป็นโรคได้ถูกต้อง (True Positive) ต่อจำนวนการวินิจฉัยทั้งหมดที่ระบุว่าเป็นโรค (True Positive รวมกับ False Positive) เป็นค่าที่บ่งบอกว่า การวินิจฉัยนี้มีความถูกต้องมากน้อยเท่าใด อีกหนึ่งค่าที่สามารถเป็นตัวประเมินประสิทธิภาพได้ คือ Negative Predictive Value (NPV) คือ ค่าสัดส่วนของจำนวนการวินิจฉัยว่าไม่เป็นโรคได้ถูกต้อง (True Negative) ต่อจำนวนการวินิจฉัยทั้งหมดที่ระบุว่าเป็นโรค (True Negative รวมกับ False Negative)

นอกจากนี้ ยังมีค่า ความไว (Sensitivity) คือ สัดส่วนของจำนวนการวินิจฉัยว่าเป็นโรคได้ถูกต้อง ต่อจำนวนผู้ป่วยจริง และ ค่าความจำเพาะ (Specificity) คือ สัดส่วนของจำนวนการวินิจฉัยว่าไม่เป็นโรคได้ถูกต้อง ต่อผู้ป่วยทั้งหมดที่ไม่เป็นโรค ก็สามารถใช้ได้เช่นกัน โดยสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.2 และการคำนวณค่า PPV, NPV, Sensitivity และ Specificity นั้น เป็นไปตามสมการที่ 2.3, 2.4, 2.5 และ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบต่างๆ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบที่ใช้วินิจฉัย	ผลการตรวจจากแพทย์		
	ผลการตรวจเป็นบวก	ผลการตรวจเป็นลบ	
ผลการตรวจจาก ระบบที่สร้างขึ้น	ผลการตรวจเป็นบวก	True Positive	False Positive
	ผลการตรวจเป็นลบ	False Negative	True Negative

$$PPV = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Positive}} \quad (2.3)$$

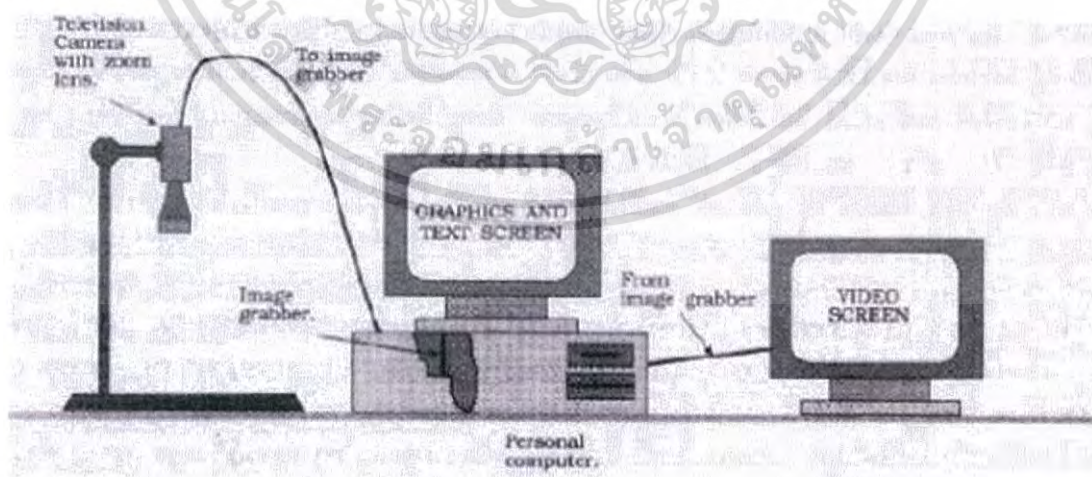
$$NPV = \frac{\text{True Negative}}{\text{True Negative} + \text{False Negative}} \quad (2.4)$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Negative}} \quad (2.5)$$

$$\text{Specificity} = \frac{\text{True Negative}}{\text{False Positive} + \text{True Negative}} \quad (2.6)$$

2.8 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์รูปที่ 2.9 มาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เรากำลังต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับระบบประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น ระบบระบุลายนิ้วมือ เพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติ เพื่อคัดแยกปลายทางของจดหมายที่มีจำนวนมากในแต่ละวันโดยใช้ภาพถ่ายของรหัสไปรษณีย์ที่อยู่บนซอง ระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้าและออกอาคารโดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนนโดยการนับจำนวนรถบนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา ระบบระบุใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือในเขตคนเข้าเมือง เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้ หากให้มนุษย์วิเคราะห์เอง มักต้องใช้เวลามากและใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดอาการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ อีกทั้งเป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่า คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากในเวลาอันสั้น จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.10 การตรวจลายนิ้วมือโดยใช้ระบบสแกนลายนิ้วมือ

นอกจากตัวอย่างระบบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว งานที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับชีวิตและสุขภาพเราอย่างมาก คือ งานวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ ก็จำเป็นต้องนำศาสตร์ทางด้าน การประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้เช่นกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการวินิจฉัยโรคต่าง ๆ หรือตรวจหาความผิดปกติของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายของผู้ป่วยได้รวดเร็ว ยิ่งขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างการนำภาพถ่ายมาทำการวิเคราะห์ที่ใช้หลักการของการประมวลผลภาพให้ภาพคมชัดมากยิ่งขึ้นในการหาเชื้อแบคทีเรีย

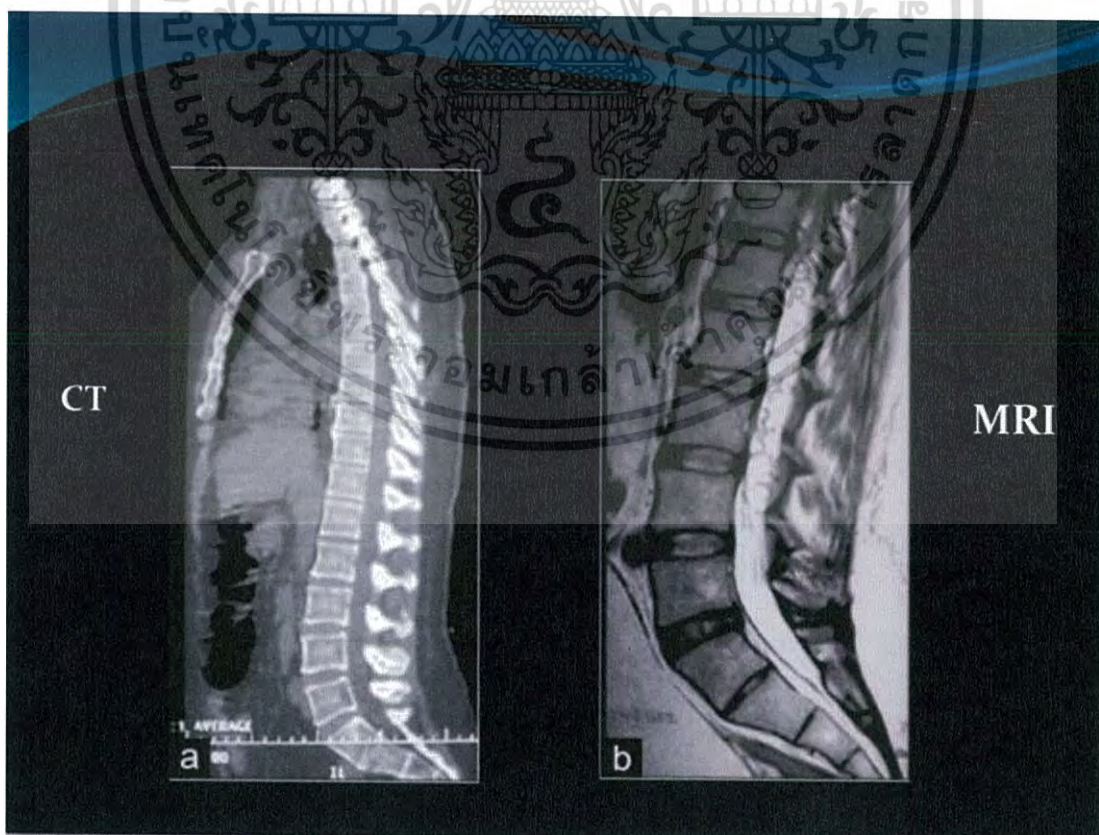
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การปรับความคมชัดของภาพในการหาเชื้อแบคทีเรีย

ในปัจจุบัน เทคนิคการถ่ายภาพทางการแพทย์ ซึ่งทำให้แพทย์สามารถตรวจดูอวัยวะสำคัญ ๆ ต่าง ๆ ภายในร่างกายได้โดยไม่ต้องผ่าตัด ได้พัฒนาไปไกลมาก เริ่มจากเครื่องเอกซเรย์ (X-Ray) ซึ่งสามารถถ่ายภาพโครงสร้างกระดูกและอวัยวะบางอย่างได้ เช่น ปอด เป็นต้น ต่อมาได้มีการพัฒนาสร้างเครื่อง CT (Computed Tomography) ซึ่งสามารถจับภาพอวัยวะต่าง ๆ ในแนวระนาบตัดขวางได้ ทำให้เราเห็นข้อมูลภาพได้มากขึ้น

อีกทั้งยังมีเครื่อง MRI (Magnetic Resonance Imaging) ซึ่งใช้ถ่ายภาพส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อที่ไม่ใช่กระดูก (soft tissues) ได้ดี ภาพ MRI นั้นนอกจากจะให้ข้อมูลทางกายภาพแล้วยังให้ข้อมูลทางเคมีได้อีกด้วย เครื่อง MRI ยังสามารถถ่ายภาพอวัยวะที่ต้องการในระนาบต่าง ๆ ได้ด้วย โดยไม่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายตำแหน่งของผู้ป่วย

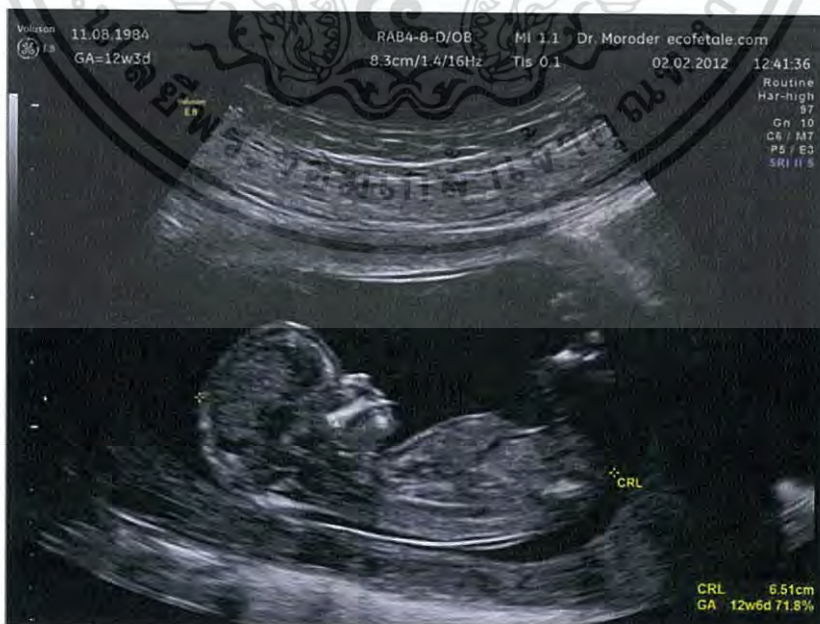


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการใช้ CT Scan และ MRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือแม้กระทั่ง เทคนิคการถ่ายภาพด้วยอัลตราซาวด์ (Ultrasound) ซึ่งใช้ตรวจดูความสมบูรณ์ของทารกในครรภ์มารดา หรือตรวจดูขนาดของ ตับ ม้าม ถุงน้ำดี และ ไต เพื่อหาความผิดปกติของอวัยวะเหล่านี้ ในปัจจุบันก็ยังมีใช้กันอย่างแพร่หลาย ด้วยเทคนิคใหม่ๆในการถ่ายภาพทางการแพทย์เหล่านี้ บวกกับเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้น ซึ่งเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานเครื่องถ่ายภาพเหล่านี้ ทำให้มีการถ่ายภาพทางการแพทย์เพื่อเป็นแนวทางในการวินิจฉัยโรคต่างๆกันอย่างแพร่หลาย นั้นหมายความว่า ปัจจุบันมีภาพทางการแพทย์ที่จำเป็นต้องนำมาประมวลผลเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจจะเกินกำลังที่จะให้บุคลากรทางการแพทย์แต่ละคนมาวิเคราะห์ได้ในแต่ละวัน จึงมีความจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีทางการประมวลผลภาพเข้ามาช่วย

เนื่องจากภาพทางการแพทย์ต่างๆเหล่านี้ ปัจจุบันได้ถูกพัฒนาให้สามารถเก็บอยู่ในรูปแบบดิจิทัลได้แล้ว ทำให้สะดวกในการจัดเก็บ รักษา และส่งข้อมูลภาพ และที่สำคัญเรายังสามารถวิเคราะห์ภาพเหล่านี้ได้ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวินิจฉัยโรคได้รวดเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งในการถ่ายภาพเพื่อตรวจดูการทำงาน หรือตรวจหาความผิดปกติของอวัยวะหนึ่งๆนั้นในแต่ละครั้งนั้น อาจต้องใช้ภาพจำนวนมากในการเปรียบเทียบวิเคราะห์ เช่น การถ่ายภาพหัวใจด้วยเครื่อง MRI จำเป็นต้องถ่ายภาพตลอดระยะเวลาการเต้นของหัวใจในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจได้ภาพออกมาเป็นจำนวนร้อยๆภาพ เป็นต้น ดังนั้น ในการทำงานของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญกับภาพถ่ายจำนวนมากเหล่านี้ จึงทำให้ต้องเสียเวลาและใช้แรงงานของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญอย่างมากเกินจำเป็น อีกทั้งผู้เชี่ยวชาญเองอาจเกิดการล้าได้ หากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นเวลาติดต่อกันเป็นเวลานานด้วยเหตุนี้เอง จึงได้มีการนำการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ ซึ่งถือเป็นศาสตร์ใหม่ เรียกว่า การประมวลผลภาพทางการแพทย์ (Medical Image Processing) เพื่อให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ภาพจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวินิจฉัยโรคได้ดียิ่งขึ้นด้วย



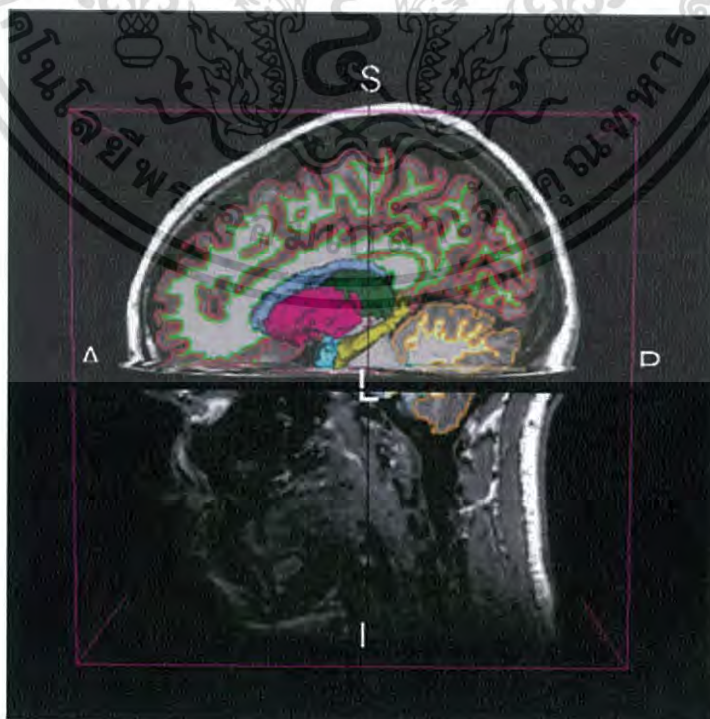
รูปที่ 2.13 ภาพการ Ultrasound

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

148834

การประมวลผลภาพทางการแพทย์ เป็นการนำเทคนิคหรือวิธีการต่าง ๆ ของการประมวลผลภาพ มาใช้กับภาพทางการแพทย์ โดยการเลือกใช้เทคนิคต่าง ๆ กับภาพทางการแพทย์นี้ จะขึ้นอยู่กับเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์นั้นๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ช่วยให้แพทย์สามารถวิเคราะห์ภาพเหล่านั้นได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น โดยเทคนิคของการประมวลผลภาพมีมากมายหลายวิธีการ ซึ่งส่วนใหญ่แล้ว ในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์มักจะใช้หลายวิธีร่วมกัน เพื่อให้ได้สิ่งที่ต้องการตามเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์นั้น ๆ เทคนิคของการประมวลผลภาพที่สำคัญ ๆ ในการจัดการกับภาพทางการแพทย์ มีดังตัวอย่างต่อไปนี้

- การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นวิธีการแบ่งส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่เราสนใจออกมาจากภาพที่เราต้องการ ซึ่งการแบ่งส่วนภาพนี้ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นขั้นตอนเบื้องต้นและสำคัญอย่างมากของการประมวลผลภาพทางการแพทย์ เนื่องจากภาพทางการแพทย์ที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพแบบต่าง ๆ นั้น โดยปกติมักจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกับอวัยวะที่ทำการถ่ายภาพมา เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก อวัยวะข้างเคียง หรือแม้กระทั่งสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นในขณะถ่ายภาพ ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์เฉพาะอวัยวะที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้การแบ่งส่วนภาพมาทำหน้าที่ตัดแยกส่วนที่เราต้องการออกมา ตัวอย่างเช่น การแบ่งส่วนเนื้อสมองจากภาพสมอง การแบ่งส่วนภาพหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพหัวใจ MRI การแบ่งส่วนเฉพาะเส้นโลหิต การแบ่งส่วนข้อกระดูกสันหลังจากภาพลำกระดูกสันหลัง หรือ การแบ่งส่วนของทารกจากภาพอัลตราซาวด์ เป็นต้น การแบ่งส่วนภาพทางการแพทย์มีทั้งการแบ่งส่วนภาพแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ขึ้นอยู่ความจำเป็นและวัตถุประสงค์ของการนำไปวิเคราะห์ โดยวิธีการแบ่งส่วนภาพที่กำลังได้รับความนิยมในงานวิจัยเกี่ยวกับภาพทางการแพทย์ ได้แก่ แอ็กทีฟคอนทัวร์ (Active Contour) และ แอ็กทีฟเซอร์เฟซ (Active Surface) เป็นต้น



รูปที่ 2.14 การแบ่งส่วนภาพทางการแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การซ้อนทับภาพ (Image Registration) เป็นวิธีการนำข้อมูลของสองภาพหรือมากกว่ามารวมกันเพื่อให้เกิดภาพใหม่ที่มีข้อมูลภาพสมบูรณ์มากขึ้น โดยภาพใหม่ที่ได้นี้ จะเป็นการรวมตัวกันของข้อมูลหรือรายละเอียดในแต่ละภาพที่นำมาผสมผสานกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดและข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน หรือการนำภาพไปวิเคราะห์ โดยส่วนใหญ่แล้วภาพที่จะนำมาซ้อนทับกันนั้น อาจเป็นภาพถ่ายของอวัยวะเดียวกัน ที่ถ่ายต่างเวลากัน ต่างมุมมองกัน หรือ ใช้เทคนิคในการถ่ายภาพที่แตกต่างกัน เป็นต้น การนำวิธีการซ้อนทับภาพมาใช้กับภาพถ่ายทางการแพทย์ มีประโยชน์ในหลายๆด้าน ตัวอย่างเช่น การตรวจ การติดตาม หรือ การหาความผิดปกติของอวัยวะต่างๆ ทำได้โดยการนำภาพถ่ายของอวัยวะที่ต้องการตรวจ ที่ได้ถ่ายไว้ในอดีตมาทำการซ้อนทับกับภาพถ่ายของอวัยวะเดียวกันที่ถ่ายไว้ในปัจจุบัน โดยทำให้ตำแหน่งของอวัยวะต่าง ๆ ของทั้งสองภาพตรงกัน ซึ่งการทำในลักษณะนี้ จะทำให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของอวัยวะนั้นๆว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้างในช่วงเวลาที่ผ่านไป หรือมีแนวโน้มที่จะเป็นอย่างไรต่อไป เช่น มีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ มีอวัยวะที่โตขึ้นผิดปกติหรือไม่ เป็นต้น

การนำภาพทางการแพทย์ที่ใช้เทคนิคในการถ่ายภาพแตกต่างกัน มาทำการซ้อนทับภาพ เป็นอีกหนึ่งประโยชน์ของวิธีการนี้ เนื่องจากภาพทางการแพทย์ที่ถ่ายโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพเพียงแบบเดียว อาจจะทำให้ได้ข้อมูลไม่ครบถ้วนตามที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการถ่ายภาพหลาย ๆ แบบ เพื่อให้ได้ รายละเอียดของอวัยวะ หรือองค์ประกอบรอบข้าง ของอวัยวะนั้นๆ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะ เป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่น การนำภาพสมองที่ถ่ายด้วยเครื่อง CT ซึ่งมีรายละเอียดที่ชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นกระดูก มาซ้อนทับกับภาพสมองที่ถ่ายด้วยเครื่อง MRI ซึ่งให้รายละเอียดของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในสมองได้ดีกว่าภาพที่ถ่ายด้วยเครื่อง CT และเห็นได้ว่า ภาพใหม่ที่ได้จากการซ้อนทับของข้อมูลจากภาพทั้งสองนี้ จะมีรายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น คือ มีทั้งส่วนที่เป็นกะโหลกศีรษะและรายละเอียดของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในสมอง จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ภาพใหม่นี้เพียงภาพเดียวได้ โดยไม่ต้องพิจารณาภาพทั้งสองแยกกัน

- การสร้างภาพ 3 มิติ (3D Image Reconstruction) การวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ โดยใช้ภาพ 3 มิติ กำลังได้รับความต้องการอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากภาพ 3 มิติ สามารถแสดงให้เห็นถึงภาพรวมหรือรายละเอียดในมุมมองต่าง ๆ ของอวัยวะได้ จึงมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ โดยอวัยวะหรือส่วนของร่างกายที่ได้มีการวิเคราะห์ในรูปแบบ 3 มิติ ตัวอย่างเช่น สมอง หัวใจ กระดูก ฟัน และขากรรไกร เป็นต้น

ภาพ 3 มิติสำหรับภาพทางการแพทย์นั้น มักสร้างมาจากภาพ 2 มิติหลาย ๆ ภาพ ทำได้โดยการนำภาพเหล่านั้น มาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ เช่น การแบ่งส่วนภาพ เป็นต้น เพื่อให้ได้รายละเอียด ส่วนประกอบต่าง ๆ หรือข้อมูลที่จำเป็นของอวัยวะที่ต้องการ จากนั้น นำมาประกอบกันเพื่อขึ้นรูปเป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งภาพ 3 มิติที่ได้นี้ จะมีลักษณะหรือรูปร่างที่เหมือนกับอวัยวะจริงเพียงใด ขึ้นอยู่กับข้อมูลของภาพ 2 มิติที่นำมาประมวลผล ถ้าภาพ 2 มิติที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพมีภาพจำนวนมากเพียงพอ ถ่ายในทุกส่วนตัดอย่างละเอียด หรือ ได้ถ่ายไว้ในหลายมุมมอง ก็ยิ่งทำให้ภาพ 3 มิติที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของภาพ 3 มิติ คือ สามารถพิจารณาในลักษณะเชิงปริมาตรหรือขนาดได้ ทำให้สามารถตรวจหาความผิดปกติของอวัยวะได้ โดยดูจากขนาดที่เห็น หรือดูจากค่าที่คำนวณออกมาเป็นตัวเลข เช่น ปริมาตร หรือค่าความบ่งชี้ต่าง ๆ ทางกายภาพ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ว่าอวัยวะนั้น ๆ มีขนาดที่ใหญ่หรือเล็กผิดปกติหรือไม่ ตัวอย่างการนำภาพ 3 มิติมาช่วยงานในด้านการวางแผนการรักษา เช่น การวางแผนการฝังรากฟันเทียม ทำได้โดยการจัดการวางแผนกับภาพฟัน 3 มิติในคอมพิวเตอร์ ที่สร้างมาจากภาพฟันและขากรรไกร 2 มิติของผู้ป่วย หรือการวางแผนการจัดฟัน ที่ทำให้ผู้ป่วยสามารถเห็นลักษณะฟันของตนเอง ก่อนและหลังการจัดฟันได้ เพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจว่าจะเข้ารับการรักษาหรือไม่ และ ในด้านการวางแผนการผ่าตัดฝังวัสดุในส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย จะช่วยให้แพทย์สามารถวางแผนและจัดการฝังวัสดุได้อย่างมีความถูกต้อง แม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.15 ภาพ 3 มิติของฟันเพื่อใช้ในการจำลองการจัดฟัน

ทั้งนี้ การประมวลผลภาพทางการแพทย์ ไม่ได้มีจุดประสงค์เพื่อเข้ามาทำหน้าที่หลักแทนแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ แต่เข้ามาทำหน้าที่เป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกหรือเป็นผู้ช่วยในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ต่าง ๆ เพื่อให้แพทย์สามารถวิเคราะห์ภาพเหล่านั้นได้สะดวก มีความรวดเร็วขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ให้ดีขึ้น ปัจจุบันยังมีความจำเป็นและต้องการผู้รู้ ผู้เชี่ยวชาญในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพทางการแพทย์อีกมาก ทั้งนี้ ผู้ที่พัฒนาระบบการประมวลผลภาพทางการแพทย์นี้ นอกจากจะต้องรู้วิธีการใช้งานคอมพิวเตอร์ได้แล้ว ยังต้องเข้าใจความสามารถในการวิเคราะห์ภาพของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในงานนั้น ๆ อีกด้วย เพื่อจะสามารถผสมผสานศาสตร์ทั้งสองนั้น ให้สามารถนำมาพัฒนาศักยภาพในการประมวลผลภาพได้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 พื้นฐานภาพดิจิทัล

2.9.1 ภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัล เป็นการแสดงผลภาพในลักษณะสองมิติในหน่วยที่เรียกว่าพิกเซล

ภาพดิจิทัลสามารถนิยามเป็นฟังก์ชันสองมิติ $f(x, y)$ โดยที่ x และ y เป็นพิกัดของภาพ และ แอมพลิจูดของ f ที่พิกัด (x, y) ใดๆ ภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้นๆ และเมื่อ x, y และแอมพลิจูดของ f เป็นค่าจำกัด (Finite value) จึงเรียกรูปภาพนี้ว่าเป็นภาพดิจิทัล (Digital Image) และถ้ากำหนดให้ภาพ $f(x, y)$ มีขนาด M แถวและ N คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพคือที่ตำแหน่ง $(x, y) = (0, 0)$ แล้ว จะสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

ค่าแต่ละค่าที่อยู่ในเมทริกซ์จะ เรียกว่า พิกเซล (Pixel) โดยตำแหน่ง $(0,0)$ จะอยู่ทางด้านซ้ายมือสุดด้านบนของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นจุด และจัดลำดับของเส้นจุดจะเรียงจากบนลงล่างการเก็บค่าของความเข้มแสงของภาพดิจิทัลลงหน่วยความจำในลักษณะเส้นจุด (raster) นี้จะเรียกภาพบิตแมป (Bitmap image) หรือภาพแรสเตอร์ (raster image) แต่ภาพที่จัดเก็บในลักษณะนี้จะมีขนาดใหญ่จึงมีการบีบอัดภาพ (image compression) เพื่อให้ข้อมูลภาพมีขนาดเล็กลง

การสร้างภาพดิจิทัลสามารถสร้างได้จากอุปกรณ์รับภาพเช่น กล้องดิจิทัล (digital cameras) เครื่องกราดภาพ (scanners) เป็นต้น ภาพดิจิทัลยังสามารถสร้างโดยการสังเคราะห์จากสิ่งที่ไม่ใช่ข้อมูลภาพเช่น ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ หรือ แบบจำลองเรขาคณิตแบบสามมิติซึ่งการสร้างภาพลักษณะนี้เป็นส่วนหนึ่งในงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ (computer graphics)

คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ (computer graphics) คือหนึ่งในศาสตร์ องค์ความรู้ ของระเบียบวิธีการแก้ปัญหาเชิงคอมพิวเตอร์ (computing methodology) ที่แก้ปัญหาเกี่ยวกับเรื่องของภาพหรือการแสดงผลภาพ โดยเน้นการประมวลผลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ ให้ข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลตัวเลขตัวอักษร หรือสัญญาณต่างๆ แทน ตำแหน่งพิกัด สี รูปทรง ความสว่าง

ขั้นตอนแรกเริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลอง (modeling) เพื่อแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ เหล่านั้นให้สามารถประมวลผลได้ด้วยคอมพิวเตอร์ ตามด้วย การแปรเป็นภาพสุดท้าย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเร็นเดอร์ (render) เป็นการแปรหรือแสดงผลลัพธ์ทางอุปกรณ์แสดงผลลัพธ์ เช่น จอภาพ หรือ อุปกรณ์อื่น ๆ ออกมาเป็นภาพเชิงเรขาคณิต โดยมองเห็น รูปทรง สี สัน ลวดลาย ลายผิว หรือ ลักษณะแสงเงา รวมถึงข้อมูลอื่นๆ ของภาพ เช่น ข้อมูลการเคลื่อนไหว การเปลี่ยนแปลงลักษณะการเชื่อมต่อ และความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุหรือสิ่งของในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วเราสามารถที่จะแบ่งรูปภาพดิจิทัลออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.9.1.1 ภาพแบบบิตแมป (Bitmap Image)

ภาพบิตแมป เป็นภาพที่ประกอบขึ้นจากจุดขนาดเล็ก ๆ หรือที่เรียกว่าพิกเซลจำนวนมากที่เรียงต่อกันจนเป็นภาพภาพหนึ่ง เพื่อให้เห็นภาพลักษณะนี้ชัดเจนยิ่งขึ้น ให้นึกถึงการสร้างภาพบนตารางสี่เหลี่ยมเล็กๆ เราจะใช้สีแต้มลงในช่องสี่เหลี่ยมแต่ละช่องจนกลายเป็นภาพสมบูรณ์ที่มีขนาดใหญ่ ภาพแบบบิตแมปนี้จะมีจำนวนจุดขนาดเล็กๆจำนวนมาก ดังนั้นดวงตาของมนุษย์ไม่สามารถที่จะมองเห็นและแยกแยะรายละเอียดส่วนย่อยเล็กๆนั้นได้ แต่เมื่อลองขยายภาพดูจะเห็นเป็นรูปตาราง ยิ่งขยายใหญ่มากเท่าใด ตารางสี่เหลี่ยมก็ยิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจนทำให้มองเห็นจุดของภาพหรือพิกเซล จึงมีผลทำให้รายละเอียดของภาพมีความไม่ชัดเจนมากขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้กันมาในภาพถ่าย

2.9.1.2 ภาพแบบเวกเตอร์ (Vector Image)

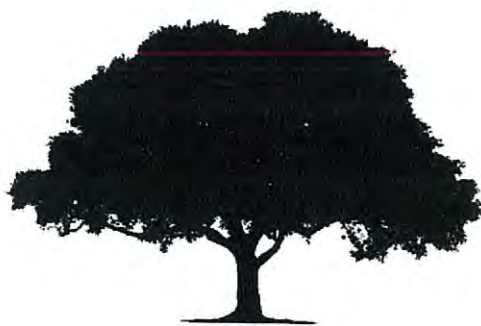
ภาพประเภทนี้ไม่ว่าจะขยายใหญ่เท่าใด ก็ยังมีรายละเอียดและความคมชัดเหมือนเดิม เนื่องจากภาพแบบเวกเตอร์นั้นประกอบด้วยเส้นตรงเส้นโค้ง และรูปทรงต่าง ๆ ภาพที่ได้จะสร้างขึ้นจากคำสั่งที่บอกถึงลักษณะของภาพในรูปแบบทางเรขาคณิตด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นโปรแกรมที่ต้องการเปิดรูปภาพจะต้องนำสมการต่างๆ ที่บันทึกเอาไว้มาคำนวณและสร้างรูปทรงของภาพขึ้นมาใหม่ ทำให้ภาพที่เกิดขึ้นมามีความคมชัด จึงเหมาะกับงานที่มีความแม่นยำและต้องการความละเอียดสูง เช่น การสร้างภาพโลโก้ การสร้างภาพสามมิติ



รูปที่ 2.16 การเปรียบเทียบภาพ (ก.) ภาพแบบเวกเตอร์ และ (ข.) ภาพแบบบิตแมป

2.9.2 ประเภทของภาพแบบบิตแมป (Bitmap)

2.9.2.1 ภาพแบบไบนารี (Binary Image) : ในแต่ละพิกเซลนั้นจะแสดงด้วยค่าเพียง 1 บิต ซึ่งประกอบไปด้วยค่าเพียง 2 อย่าง คือ 0 และ 1 โดยถ้าจุดของภาพมีค่าเป็น 0 จุดของภาพนั้นจะเป็นสีดำ และถ้าจุดของภาพนั้นมีค่าเป็น 1 จุดของภาพนั้นจะเป็นสีขาว



รูปที่ 2.17 ภาพแบบไบนารี (Binary image)

2.9.2.2 ภาพระดับเทา (Grayscale Image) : ในแต่ละพิกเซลของภาพนั้น จะมีค่าความเข้มแสงในแต่ละระดับที่แตกต่างกันไป โดยค่าความเข้มสีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด คือ 0 จะเป็นสีดำ และ ค่าความเข้มแสงมากที่สุด คือ 255 จะเป็นสีขาว



รูปที่ 2.18 ภาพระดับเทา (Grayscale image)

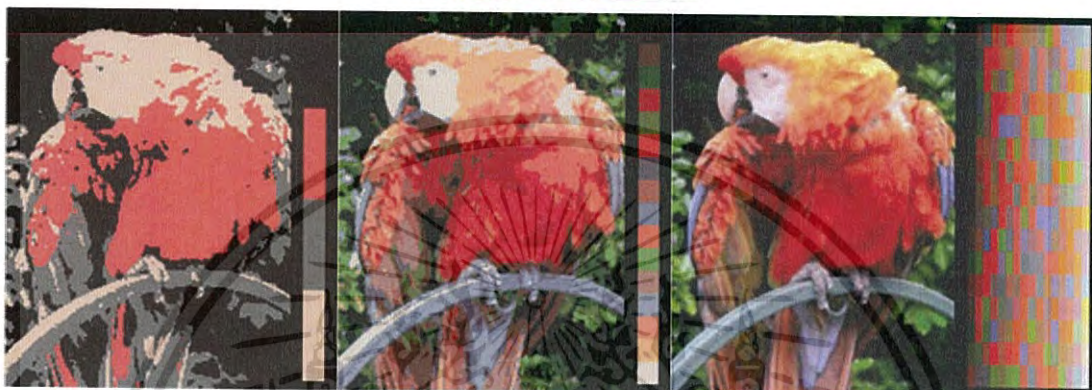
2.9.2.3 ภาพสี (Color Image) : ในแต่ละพิกเซลของภาพจะเก็บค่าระดับความเข้มแสงของแต่ละแถบแสงทั้ง 3 แม่สีหลัก คือ R = Red, B = Blue และ G = Green ซึ่งในแต่ละพิกเซลนั้นจะแสดงผลค่าของสีตามระดับความเข้มของแสงในแต่ละแถบสีนั้น



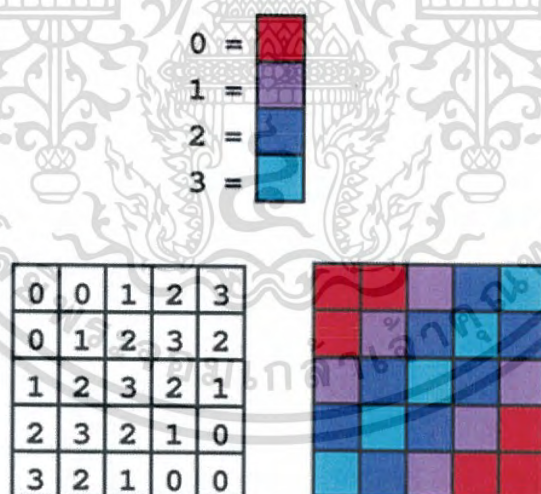
รูปที่ 2.19 ภาพสี (Color image)

2.9.2.4 ภาพแบบอินเด็กซ์ (Index Image) : ภาพประเภทนี้ ในแต่ละพิกเซลจะเก็บค่าดัชนี (Index Number) ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม ซึ่งจะถูกนำไปเทียบกับตารางสี (Color Table) ซึ่งเป็นตารางแสดงค่าสีแม่สีแสง 3 สีในอัตราส่วนต่างๆ ดังนั้น ค่าดัชนีจะเป็นตัวชี้วัดว่าที่ตำแหน่งพิกเซลนั้นจะมีค่าอัตราส่วนของแม่สีแสงเป็นเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ภาพแบบอินเด็กซ์ (Index Image)



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการเปรียบเทียบกับตารางสีให้กลายเป็นภาพ

2.9.3 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรมของภาพ คือ กราฟที่แสดงจำนวนพิกเซลของข้อมูลภาพตามค่าระดับความเข้มแสงของภาพดิจิทัล ตัวอย่างการทำฮิสโตแกรมแสดงตามรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



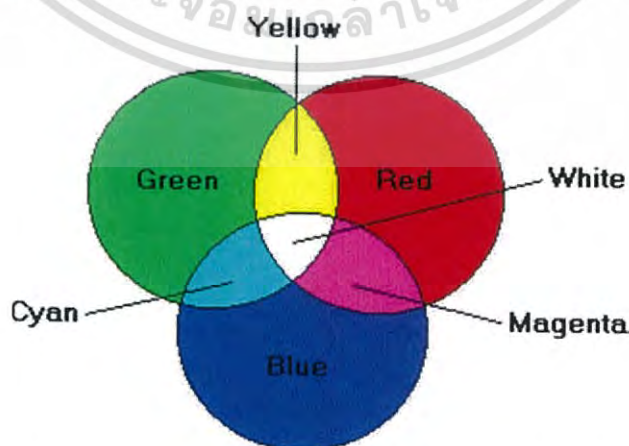
รูปที่ 2.22 ภาพแสดงการทำฮิสโตแกรมของภาพโดยแยกตามแม่สีแสง

2.10 แบบจำลองสี (Color Model)

แบบจำลองสี เป็นวิธีการกำหนดสีต่างๆให้เป็นแบบมาตรฐาน ซึ่งในการจำลองสีในแต่ละแบบนี้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ทำให้มีความเหมาะสมกับการทำงานที่แตกต่างกันไป ในแบบจำลองของสีนั้น จะใช้สีหลักๆที่เรียกว่าแม่สีมาผสมกลมกลืนกันเพื่อใช้ในการแสดงค่าสีอื่นๆ โดยแม่สีหลักนั้นก็แตกต่างกันไปตามแบบจำลองของสีในแต่ละชนิด

2.10.1 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสี RGB นี้เป็นแบบจำลองของแม่สีหลัก 3 สี (Primary Color) ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดจากการรวมกันของแสง (Additive Color) ประกอบด้วย 3 สีสำคัญ คือ สีแดง (R) สีเขียว (G) และ สีน้ำเงิน (B) ถูกนำมาใช้งานในด้านการแสดงผลข้อมูลบนจอภาพ และ รวมไปถึงการเก็บข้อมูลของภาพในระบบคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.23 การรวมกันของแสงสีแสงทั้ง 3 ทำให้เกิดสีที่หลากหลายมากขึ้น

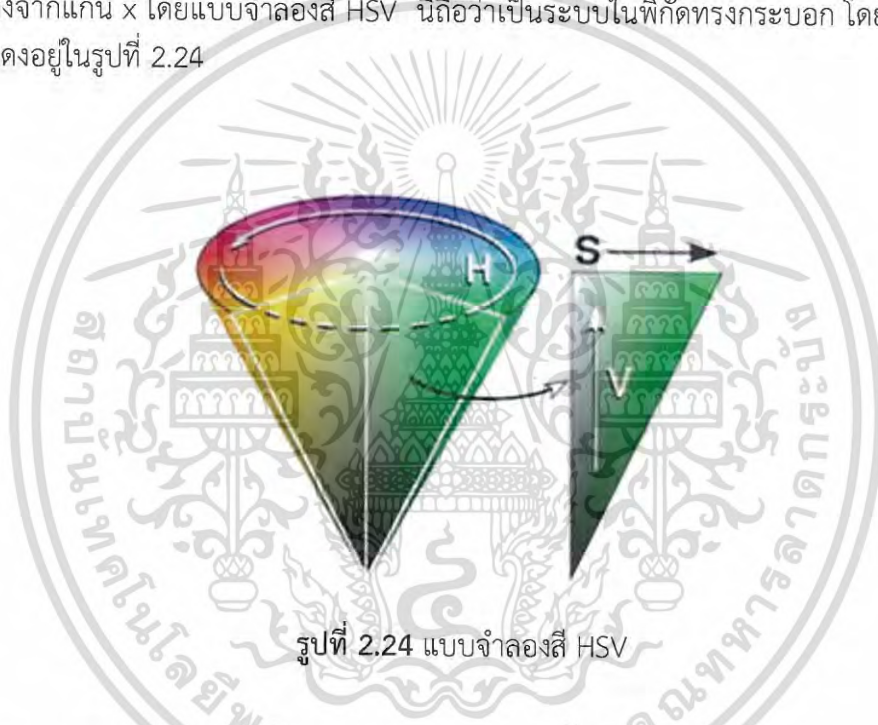
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 แบบจำลองสี YCbCr

แบบจำลองสี YCbCr นี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในสัญญาณวิดีโอดิจิทัล มีการประยุกต์ใช้งานในด้านการลดขนาดของข้อมูลภาพชนิด JPEG และขนาดของข้อมูลวิดีโอ MPEG โดยในแบบจำลอง YCbCr นั้น Y จะเก็บข้อมูลของค่าความเข้มแสง (Luminance) ส่วน ค่า Cb และ Cr จะเก็บข้อมูลของแสงสี

2.10.3 แบบจำลองสี HSV

แบบจำลองสี HSV นี้ ถูกสร้างขึ้นโดยการมองจากลูกบาศก์สี RGB ตามแนวแกนสีเทา (Gray Axis) ซึ่งก็คือแกนที่เชื่อมระหว่างจุดมุมสีขาวและสีดำ องค์ประกอบโทนสี H คือ มุมในรูปหกเหลี่ยม โดยถือว่าแกนสีแดงมีมุมเป็นศูนย์ องค์ประกอบ V ถูกวัดตามแนวแกนตั้ง และองค์ประกอบ S วัดจากรยะทางจากแกน x โดยแบบจำลองสี HSV นี้ถือว่าเป็นระบบในพิกัดทรงกระบอก โดยแบบจำลอง HSV แสดงอยู่ในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แบบจำลองสี HSV

2.11 คัลเลอร์แมป (Colormaps)

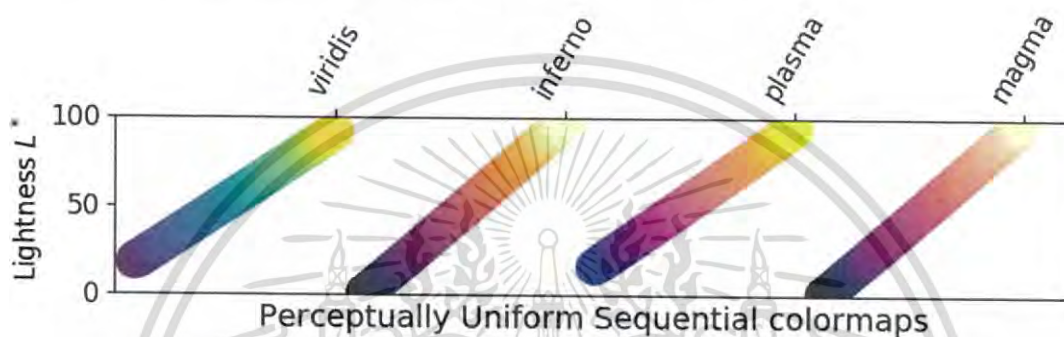
คัลเลอร์แมปนั้นใช้ในการแสดงผลของภาพหรือกลุ่มของข้อมูลออกมาเป็นระดับสี ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าและการเลือกใช้ โดยได้อ้างอิงจากข้อมูล Choosing Colormaps [4] จากเว็บไซต์ของ matplotlib โดยในการเลือกใช้คัลเลอร์แมปให้ดีขึ้น เพื่อเลือกการแสดงผลที่ดีของกลุ่มข้อมูล การใช้คัลเลอร์แมปที่ถูกต้องสำหรับกลุ่มข้อมูลใดๆนั้น ขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย ได้แก่

- รูปแบบหรือข้อมูลที่ต้องการแสดง
- มาตรฐานที่ใช้ใน field หรือสาขาที่ต้องแสดงข้อมูล
- ความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับค่าตัวแปรที่นำเสนอ
- พื้นฐานความรู้ของกลุ่มข้อมูล เช่น ข้อมูลที่สำคัญมากกว่าข้อมูลอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้งานหลากหลายประเภท คัลเลอร์แม็พแบบ perceptually uniform เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด เป็นหนึ่งในขั้นตอนที่เท่าเทียมของข้อมูลซึ่งจะถูกมองว่าเป็นขั้นตอนที่เท่าเทียมของพื้นที่สี นักวิจัยพบว่าสมองของมนุษย์นั้นรับรู้การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างในการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้ดีกว่า ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงความเข้มของสี ดังนั้น การทำคัลเลอร์แม็พที่มีการเพิ่มความสว่างผ่านตารางสีจะสามารถถูกตีความได้ดีกว่า

สีสามารถนำเสนอในพื้นที่ในรูปแบบที่หลากหลาย วิธีการหนึ่งที่ใช้ คือ การใช้ CIELAB เป็นการนำเสนอด้วยความสว่าง (L^*) : สีแดง-เขียว (a^*) และ สีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ตัวแปรความสว่าง L^* สามารถนำมาใช้ศึกษาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับคัลเลอร์แม็พแบบ matplotlib



รูปที่ 2.25 คัลเลอร์แม็พแบบ Perceptually Uniform

2.11.1 ประเภทของคัลเลอร์แม็พ จะถูกแบ่งประเภทโดยขึ้นอยู่กับการทำงาน ดังนี้

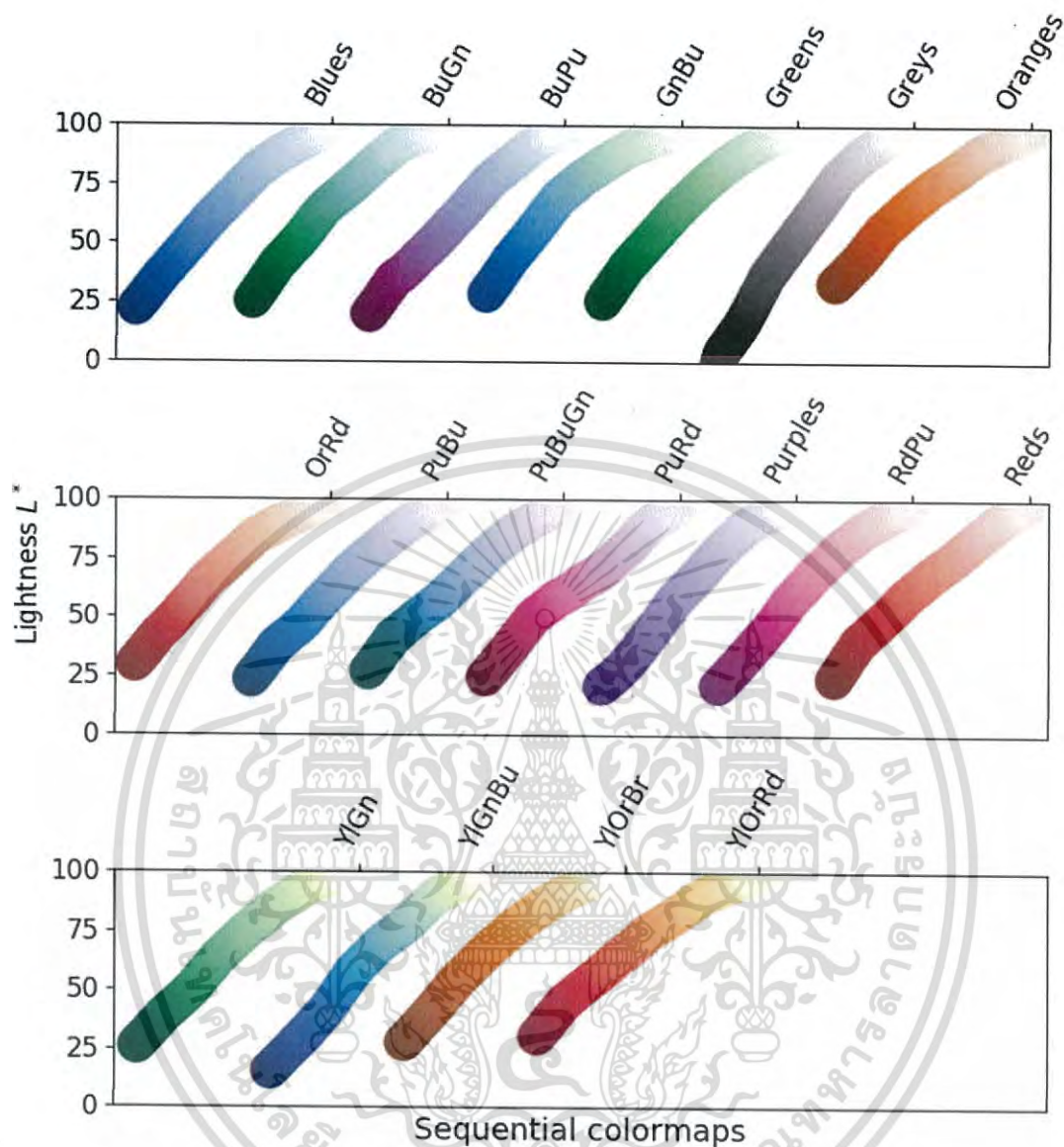
- Sequential การเปลี่ยนแปลงของความสว่างและมักจะมีค่าความเข้มตัวของสีที่เพิ่มขึ้น มักใช้กับความเข้มของสีเดียว ควรใช้กับการนำเสนอข้อมูลที่มีการเรียงลำดับ
- Diverging การเปลี่ยนแปลงของความสว่างและอาจมีความเข้มตัวของ 2 สีที่แตกต่างกันที่จะเจอกันที่ตรงกลางที่สีไม่เข้มตัว ควรจะใช้เมื่อข้อมูลจะถูกแสดงมีค่ากลางที่สำคัญ (critical middle value) เช่น สภาพภูมิประเทศ หรือ ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงรอบศูนย์
- Qualitative มักจะเป็นสีอื่นๆ ควรใช้เพื่อแสดงข้อมูลที่ไม่มีลำดับหรือไม่มีความสัมพันธ์กัน

2.11.2 ความสว่างของคัลเลอร์แม็พแบบ matplotlib

เมื่อวัดค่าความสว่างของคัลเลอร์ แม็พแบบ matplotlib จะสามารถแบ่งประเภทของคัลเลอร์แม็พได้ดังนี้

- Sequential ค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นผ่านคัลเลอร์แม็พบางค่าของ L^* ในคัลเลอร์แม็พจะครอบคลุมตั้งแต่ 0 ถึง 100 และส่วนอื่นๆจะเริ่มที่ประมาณ $L^* = 20$ ถ้าหากมีช่วงที่เล็กกว่า ก็จะทำให้ช่วงการแสดงผลเล็กลงไปด้วย ทำให้ทราบว่าฟังก์ชันของ L^* จะเปลี่ยนแปลงไปตามคัลเลอร์แม็พ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

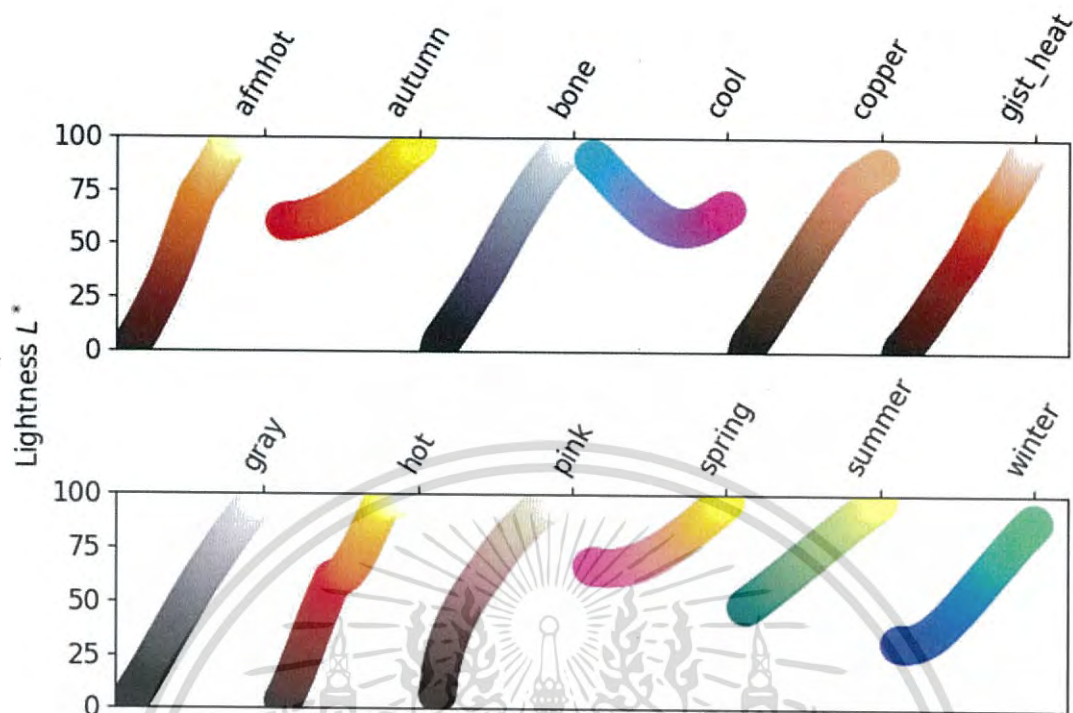


รูปที่ 2.26 คัลเลอร์แม็พแบบ Sequential

- Sequential 2 หลายค่าของ L^* จะเพิ่มขึ้นอย่าง monotonically แต่บางอย่าง (autumn, cool, spring, และ winter) จะแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออาจจะมีทั้งการเพิ่มและลดของพื้นที่ L^* ส่วนอื่นๆ (afmhot, copper, gist_heat, และ hot) จะมีการโค้งงอของฟังก์ชัน L^* ทำให้ข้อมูลที่นำเสนอบนคัลเลอร์แม็พที่โค้งงอจะนำไปสู่การรับรู้ของขอบเขตของข้อมูลในค่าเหล่านั้นบนคัลเลอร์แม็พ

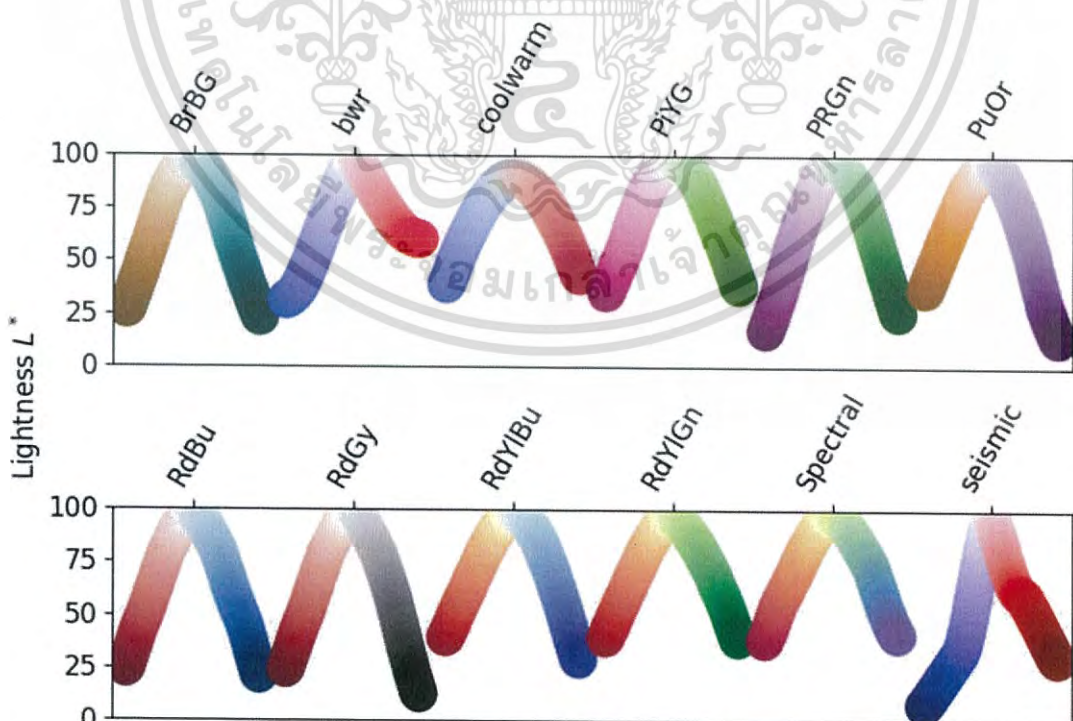
- Diverging เราต้องการเพิ่มค่า L^* ไปจนถึงค่าสูงสุด จึงเลือก L^* ให้ใกล้เคียง 100 ตามด้วยค่าที่ลดลง เลือกการประมาณค่า L^* ที่ต่ำสุดที่ปลายสุดด้านตรงข้ามของคัลเลอร์แม็พ จากการวัดเหล่านี้ BrBG และ RdBu เป็นตัวเลือกที่ดี coolwarm ก็เป็นตัวเลือกที่ดีแต่ไม่สามารถประเมินช่วงของค่า L^* ที่หลากหลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Sequential (2) colormaps

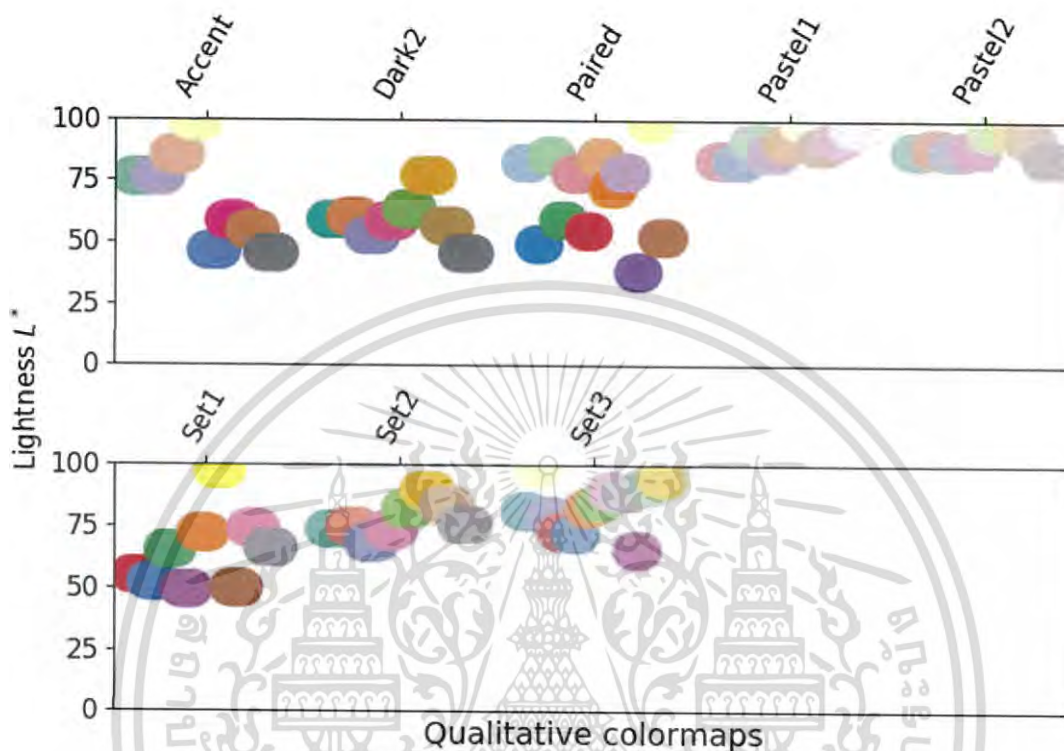
รูปที่ 2.27 คัลเลอร์แม็พแบบ Sequential 2



Diverging colormaps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ใช้วงจรรีเสิร์ชเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.28 คัลเลอร์แม็พแบบ Diverging
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Qualitative ไม่ได้มุ่งไปยังผลที่สามารถรับรู้ได้ แต่เน้นไปที่ค่าของความสว่างสามารถยืนยันได้ ค่า L^* จะย้ายไปทั่วตลอดทั้งคอลเลอร์แม็พและไม่ได้เป็นการเพิ่มขึ้นแบบ monotonically จึงทำให้ไม่เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับผลลัพธ์ที่ต้องการการรับรู้ตามลำดับของความเข้มสีหรือความสว่าง

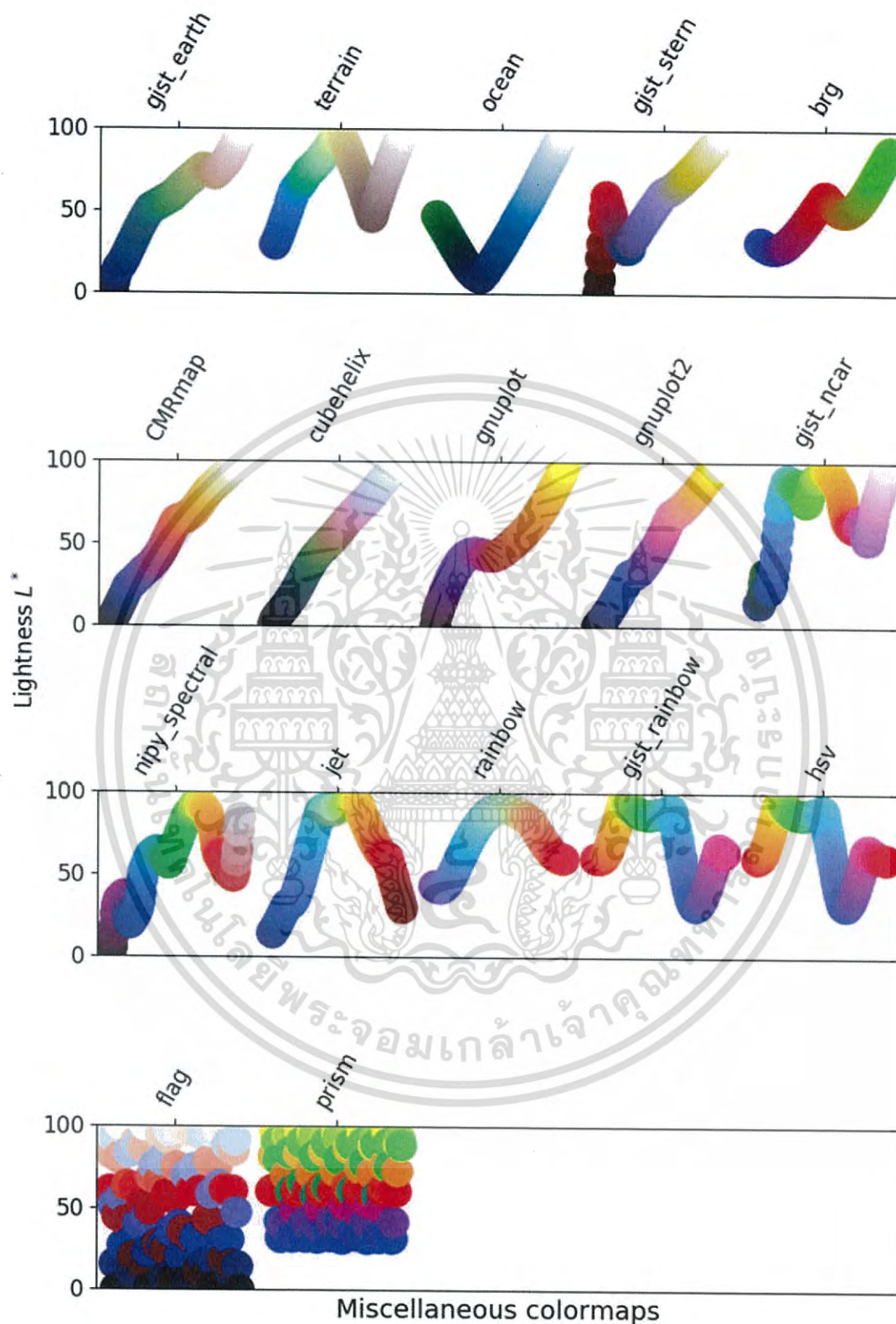


รูปที่ 2.29 คอลเลอร์แม็พแบบ Qualitative

- Miscellaneous บางส่วนของคอลเลอร์แม็พแบบนี้มีการใช้ที่เฉพาะสำหรับสิ่งที่ถูกสร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น `gist_earth`, `ocean` และ `terrain` ล้วนแต่ถูกสร้างขึ้นเพื่อการแสดงผลภูมิประเทศ (green/brown) และ ความลึกของน้ำ (blue) ซึ่งทำให้เห็นถึงความแตกต่างบนคอลเลอร์แม็พ ส่วน CMRmap ถูกสร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นภาพระดับเทา และที่ถูกใช้เป็นประจำ คือ `jet` เราจะเห็นว่า ค่า L^* จะแตกต่างกันไปทั่วพื้นที่คอลเลอร์แม็พ

2.11.3 การเปลี่ยนเป็นระดับเทา เป็นเรื่องที่มีความสำคัญในการเปลี่ยนเป็นระดับสีเทาในการแสดงผล เนื่องจากอาจจะจำเป็นต้องพิมพ์ด้วยเครื่องปริ้นขาวดำ ถ้าไม่พิจารณาอย่างรอบคอบ ผู้ที่มาศึกษาอาจจะอ่านไม่ออกและไม่สามารถเข้าใจถึงผลลัพธ์ที่ต้องการแสดงได้

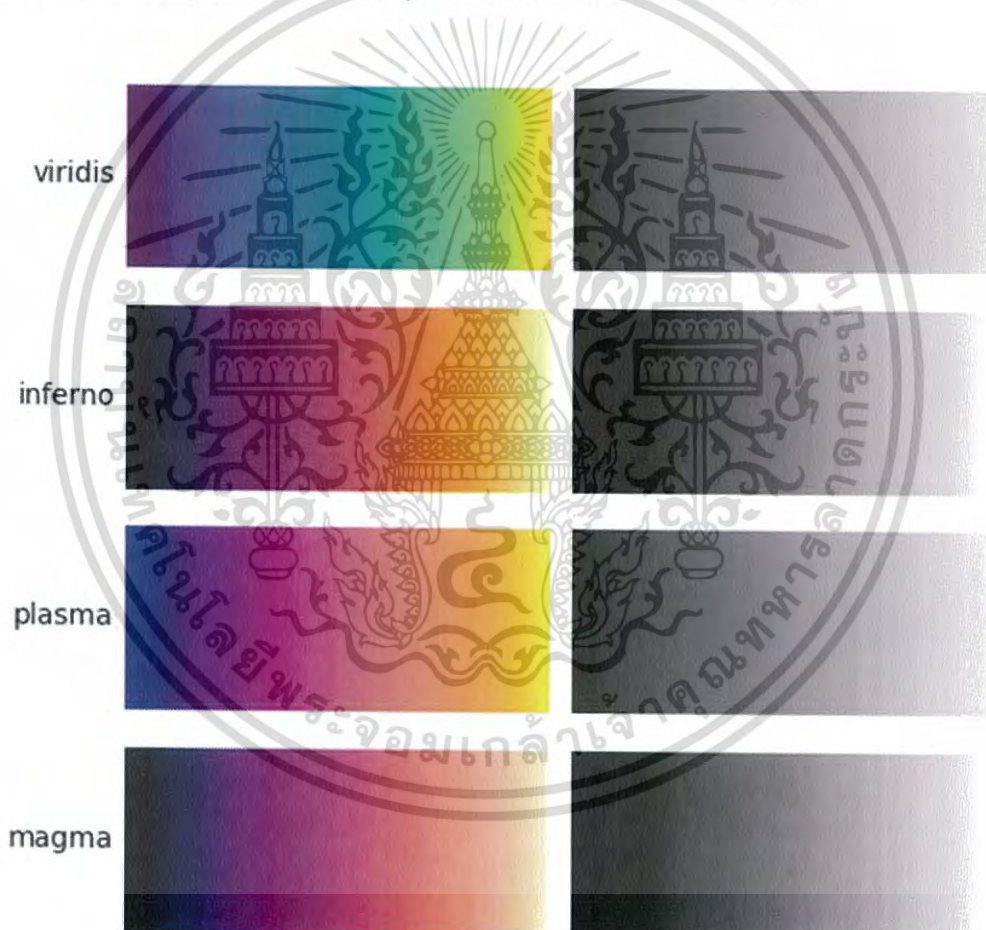
การแปลงให้เป็นภาพระดับเทา นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การรวมกันเชิงเส้นของค่า RGB ของพิกเซล แต่มีการถ่วงน้ำหนักตามวิธีการที่เรารับรู้ความเข้มสี ส่วนวิธีที่ไม่เป็นเชิงเส้นนั้นจะใช้ค่า L^* ของพิกเซล โดยทั่วไปหลักการที่คล้ายคลึงกันสามารถใช้นำเสนอข้อมูลตามที่ต้องการได้ นั่นคือถ้าคอลเลอร์แม็พที่เลือกมีการเพิ่มขึ้นของ L^* มันจะมีการแสดงรูปแบบที่เหมาะสมเป็นภาพระดับเทา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 คัลเลอร์แม็พแบบ Miscellaneous

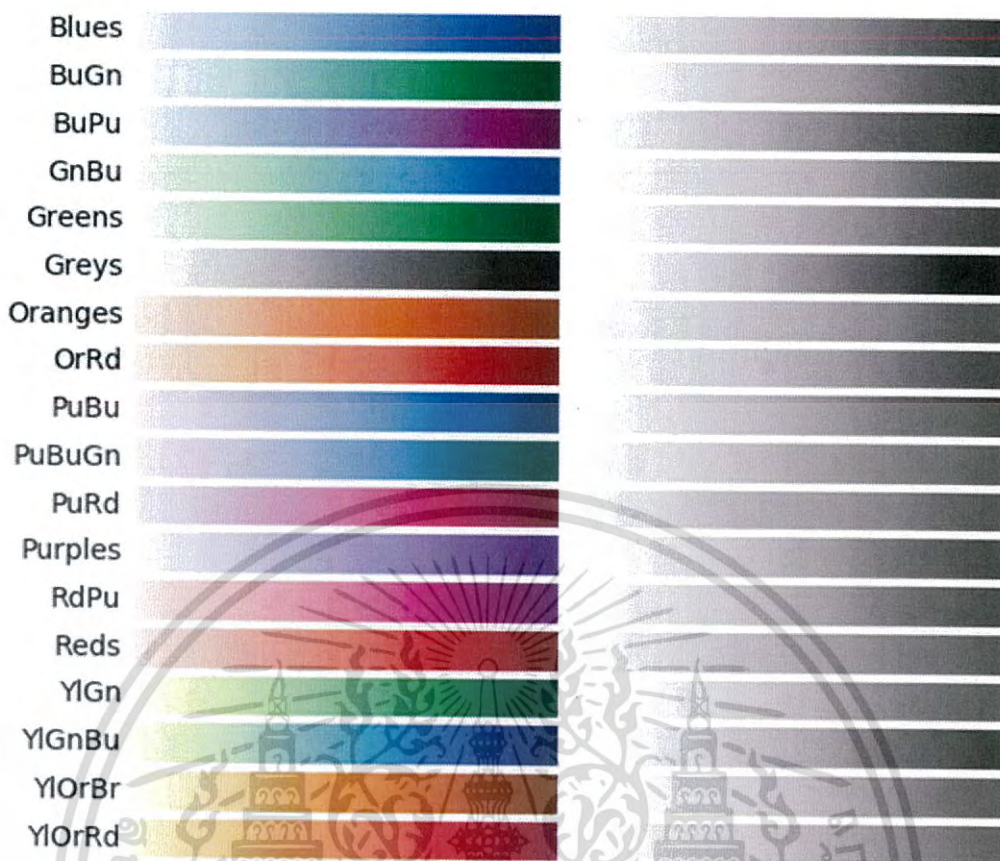
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทา พบว่า แบบ sequential มีการแสดงผลที่เหมาะสมในภาพระดับเทา และบางชนิดของ sequential 2 ก็มีการแสดงผลที่ดีพอ แม้ว่าบางชนิด (autumn, spring, summer และ winter) จะมีการเปลี่ยนแปลงภาพระดับเทาที่น้อย ถ้าตารางสีดังกล่าวถูกใช้ในการแสดงผลและพิมพ์ออกมาในภาพระดับเทา ข้อมูลส่วนใหญ่อาจจะถูกแสดงด้วยค่าสีเทาที่เท่ากัน ส่วนในแบบ diverging จะแตกต่างกันส่วนมากจากสีเทาเข้มที่บริเวณขอบเมื่อเทียบกับสีขาวที่บริเวณตรงกลาง ซึ่งในบางชนิดนั้น (PuOr และ seismic) จะมีสีเข้มมากกว่าอีกด้านหนึ่ง ทำให้ไม่มีความสมมาตร ชนิด colorwarm จะมีช่วงของระดับเทาที่น้อยและมีการแสดงผลที่สม่ำเสมอและสมมาตร ทำให้สูญเสียรายละเอียดของการแสดงผลเป็นระดับเทา จึงทำให้ยากในการนำมาใช้ในภาพระดับเทา และหลายชนิดของคัลเลอร์แม้แบบ qualitative และ miscellaneous เช่น accent, hsv และ jet จะเปลี่ยนจากสีเข้มไปเป็นสีอ่อนและกลับไปเป็นสีเข้มอีกครั้ง ซึ่งทำให้เป็นไปได้สำหรับผู้อ่านข้อมูลในการตีความข้อมูลในการแสดงผลที่เป็นภาพระดับเทา

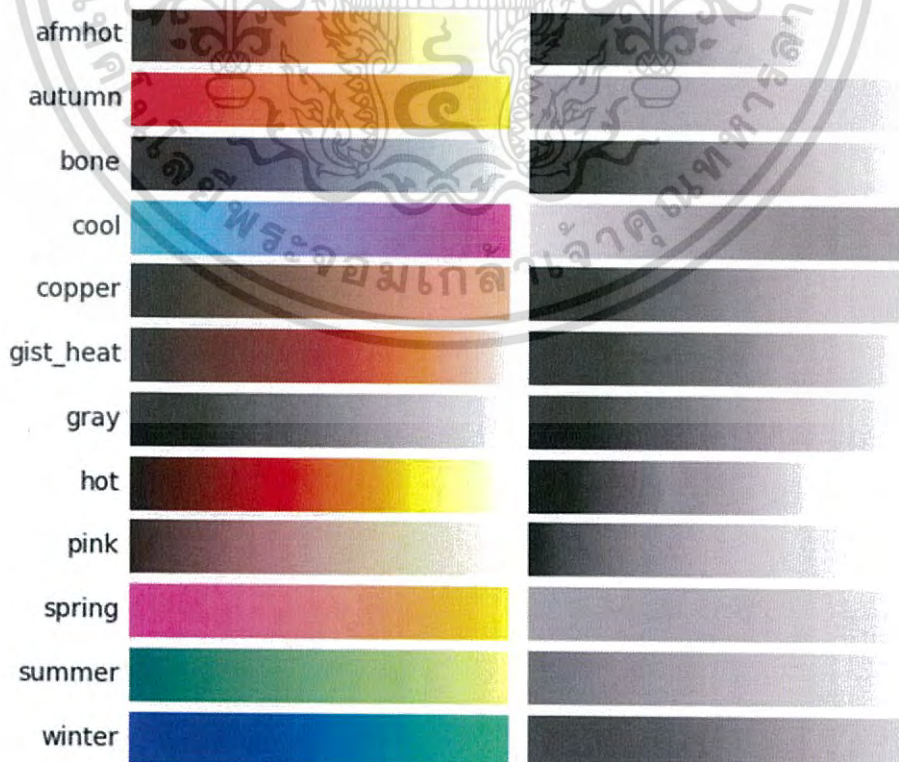


รูปที่ 2.31 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม้แบบ Perceptually Uniform

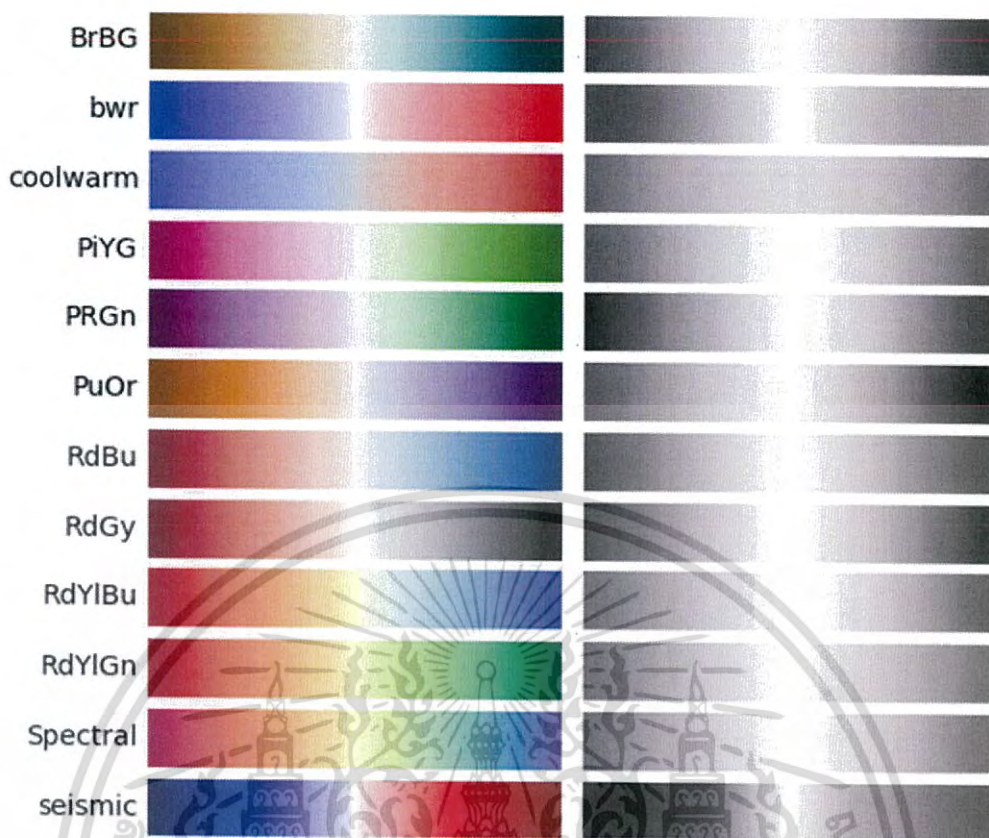
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



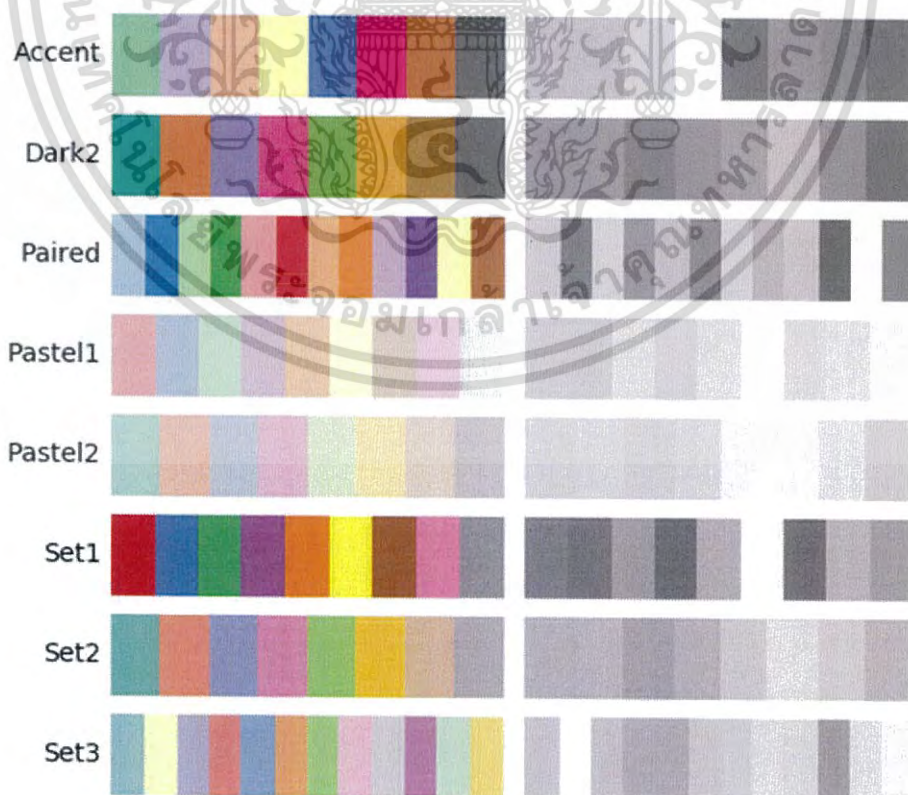
รูปที่ 2.32 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Sequential



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.33 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Sequential 2 ขันด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

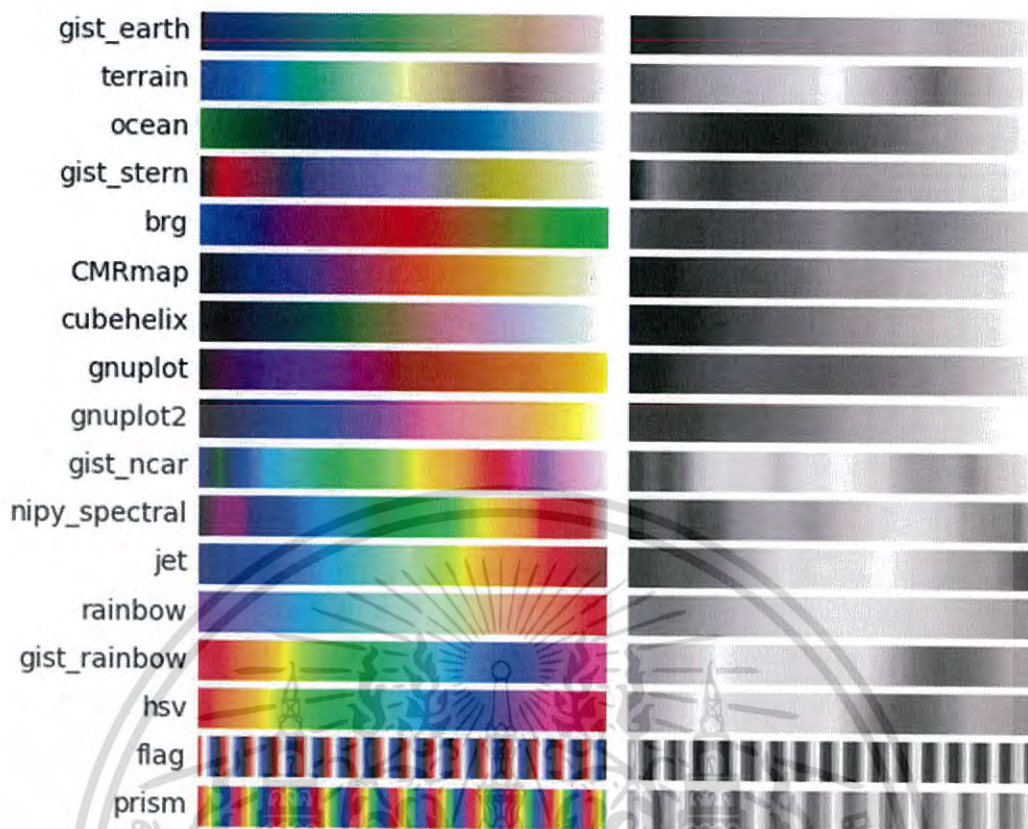


รูปที่ 2.34 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Diverging



รูปที่ 2.35 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็พแบบ Qualitative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ข้อมูลที่ใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 การเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาของคัลเลอร์แม็ปแบบ Miscellaneous

2.11.4 การบกพร่องในการมองเห็นสี

มีข้อมูลเป็นจำนวนมากที่สามารถเข้าถึงได้สำหรับการตาบอดสี และยังสามารถเปลี่ยนแปลงภาพเพื่อให้บุคคลเหล่านี้เห็นถึงความแตกต่างได้แม้ว่าจะมีความบกพร่องในการมองเห็นสีก็ตาม รูปแบบที่พบมากที่สุดของการบกพร่องในการมองเห็นสีจะเกี่ยวข้องกับความแตกต่างระหว่างสีแดงและสีเขียว ดังนั้นการหลีกเลี่ยงคัลเลอร์แม็ปที่มีทั้งสีแดงและสีเขียว จะสามารถช่วยกำจัดปัญหาได้มากมายในทั่วไป

2.12 บอร์ด Raspberry Pi

2.12.1 การกำเนิด Raspberry Pi

Raspberry ถูกวางตลาดครั้งแรกในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ.2012 โดยกำเนิดจากนักออกแบบคอมพิวเตอร์ชาวสหราชอาณาจักร Eben Upton โดยมีแนวความคิดที่จะออกแบบและสร้าง Raspberry คือ ในขณะที่ทำงานของเขากับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ของ Cambridge University เกิดความไม่พอใจในการทำงานเพราะนักศึกษาที่มีความสามารถในการเขียนโปรแกรมลดลงเมื่อเทียบกับนักศึกษาที่ผ่านมา อีกทั้งผู้คนทั่วไปก็คิดว่าคอมพิวเตอร์ก็คือ เครื่องมือสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต พิมพ์เอกสาร หรือ คำนวณตาราง Excel เท่านั้น ไม่ได้รู้ว่าคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้อีกหลากหลาย เอกสารที่เขียนขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Upton คิดเช่นนั้น จึงตั้งใจจะสร้างคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก และราคาถูกลง และยังสามารถทำงานได้หลายอย่างแบบที่คอมพิวเตอร์สมัยนี้ทำได้อีก เขาคาดหวังว่าจะทำได้คนกลับมาเข้าใจการทำงานของคอมพิวเตอร์มากขึ้น สามารถเข้าถึงได้มากขึ้นเพราะมีราคาที่ถูกลง และฝึกเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์กันมากขึ้น เขาได้คิดและลงมือทำอยู่ 6 ปี Raspberry Pi Model A จึงได้เปิดตัวขึ้นและได้ให้เปิดจองกันในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ.2012 และแล้วภายใน 3 เดือนก็มีคนสั่งจองกันราว 5 แสนเครื่อง และต้องรอนานกันเป็นเดือนกว่าจะได้ของมา และเมื่อผ่านไปเพียงปีเดียวก็สามารถขายได้เกิน 1 ล้านเครื่องทั่วโลก และในเดือนตุลาคม ค.ศ.2012 ได้ปล่อย Raspberry Pi Model B ออกมาขาย โดยปรับปรุง RAM เป็น 512 MB และเพิ่มพอร์ตเครือข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณ (LAN) เข้าไปด้วย และยังมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอีก

เนื่องจากต้องการให้มีราคาถูก นอกจากฮาร์ดแวร์ที่ใช้แล้ว ซอฟต์แวร์ก็จำเป็นต้องใช้แบบที่เป็น Open source นั่นก็คือ Linux ดังนั้นระบบปฏิบัติการต่างๆ ของ Raspberry Pi จึงมีพื้นฐานมาจาก Linux แล้วพัฒนาต่อให้มี Graphic User interface ที่คล้ายกับ Windows

ความแตกต่างของ Raspberry Pi เมื่อเทียบกับ Arduino นั้น ถ้าเปรียบเทียบกันในเรื่องของการใช้งานแล้ว Raspberry Pi จะคล้ายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มี Windows หรือเครื่อง Mac นั่นคือสามารถเปิดไปยังเว็บไซต์ต่างๆ โดยสามารถลงโปรแกรมที่เป็น Open Office เครื่องคิดเลข ดูหนัง ฟังเพลง ฝึกเขียนโปรแกรม และอื่นๆอีกมากมาย จึงสามารถกล่าวได้ว่า Raspberry Pi สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับ Windows เลยทีเดียว ซึ่งจะแตกต่างจาก Arduino ที่เป็นเพียงแค่มicrocontroller เท่านั้น ไม่มีระบบปฏิบัติการ (Operating system) เป็นของตัวเอง เขียนโปรแกรมแล้วสั่งให้ทำงานเป็นเรื่องๆไปเท่านั้น

2.12.2 จุดเชื่อมต่ออุปกรณ์และความสามารถแต่ละตำแหน่งบนบอร์ด Raspberry Pi



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.37 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 1 คือ ช่องเสียบไฟหรือช่องเสียบอะแดปเตอร์ (adapter) เมื่อต้องการจะจ่ายไฟให้บอร์ด Raspberry Pi จำเป็นต้องจ่ายไฟเข้าตรงนี้ และ ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายต้องมีแรงดันไฟไม่เกิน 3.3 v. ดังนั้นจำเป็นต้องหาอะแดปเตอร์ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานด้วย

หมายเลข 2 คือช่องเสียบสาย HDMI (High Definition Multimedia Interface) ซึ่งมีไว้เพื่อเสียบสาย HDMI จากตัวบอร์ด Raspberry Pi เพื่อเข้าสู่จอแสดงผลที่รองรับการเชื่อมต่อภาพด้วย HDMI เช่น จอคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ หรือ Smart TV ในปัจจุบันก็รองรับการเชื่อมต่อเช่นกัน ซึ่งสามารถหาอุปกรณ์เหล่านี้และสาย HDMI ได้ง่ายตามร้านขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป

หมายเลข 3 คือ CSI Connector ไว้สำหรับต่อกับโมดูลกล้องที่ออกแบบมาเพื่อบอร์ด Raspberry Pi โดยเฉพาะ โดยลักษณะการต่อจะเป็นสายแพรที่มากับตัวกล้องต่อเข้าไปกับพอร์ชนี้ และสามารถตั้งค่าการใช้งานกล้องได้อย่างสมบูรณ์แบบว่าการนำกล้องแบบอื่นมาต่อเพราะกล้องที่นำมาต่อกับพอร์ชนี้ถูกออกแบบมาเพื่อ Raspberry Pi โดยเฉพาะนั่นเอง

หมายเลข 4 คือ ช่องสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณ (Ethernet Port) มีไว้สำหรับเชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi เข้ากับระบบเครือข่าย คอมพิวเตอร์โดยผ่านสายแลน (หัว RJ 45) โดยการเชื่อมต่อนี้จะนำบอร์ด Raspberry Pi เข้าสู่ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณ และสามารถออกเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) ได้ด้วยทำให้เราสามารถอัปเดตซอฟต์แวร์ได้อิสระตามต้องการมากขึ้น และเป็นปัจจัยหลักในการติดตั้งซอฟต์แวร์ต่างๆอีกด้วย เพราะเกือบจะทั้งหมด โปรแกรมจะถูกติดตั้งซอฟต์แวร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (ยกเว้น OS) ในส่วนของระบบเครือข่าย บอร์ด Raspberry Pi สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สายได้โดยการเพิ่ม wifi dongle เสียบเข้าทางพอร์ตยูเอสบี (USB) ก็สามารถทำงานได้เหมือนกันกับการเสียบสายและทุกประการแต่มีข้อเสียคือความเร็วต่ำกว่าการเสียบสายอยู่พอสมควร

หมายเลข 5 คือพอร์ทที่จำเป็นที่มีในทุกๆอุปกรณ์ในปัจจุบันนั่นก็คือพอร์ทยูเอสบีนั่นเอง เช่นเดียวกับกับพอร์ทยูเอสบีของ Raspberry Pi นั่นก็สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นยูเอสบีได้หลากหลายมาก เช่น กล้องเว็บแคม, เม้าส์, คีย์บอร์ด, หรือแม้แต่ wifi dongle ก็สามารถเชื่อมต่อและใช้งานได้เช่นกัน และยังมีอุปกรณ์อีกมากมายที่สามารถใช้งานเข้ากันได้

หมายเลข 6 คือสถานะไฟแอลอีดี (LED) เพื่อแสดงว่าสถานะของบอร์ด เช่น เป็นการแสดงว่าเราเสียบไฟเข้าหรือไม่, มีการเชื่อมต่อเครือข่ายหรือไม่ และมีไฟกระพริบที่บ่งบอกว่าบอร์ดมีการส่งข้อมูลกับเครือข่ายนั่นเอง

หมายเลข 7 คือ ช่องเสียบแจ็คเสียงเอาต์พุท หรือก็คือช่องเสียบลำโพงนั่นเอง แน่นอนว่า Raspberry Pi สามารถมีเสียงและเปิดเพลงหรือ media ที่มีเสียงได้ในซอฟต์แวร์ของบอร์ด Raspberry Pi นั่นเอง

หมายเลข 8 คือ ช่องต่อสัญญาณภาพเป็นชนิด แจ็ค RCA แบบธรรมดาสามารถต่อเข้ากับทีวีทั่วไปได้โดยประโยชน์ของมันคือเวลาเราเริ่มต้นใช้งานสามารถต่อสัญญาณภาพออกจากตรงนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 9 คือ GPIO (General Purpose Input Output) คือพอร์ตเชื่อมต่อที่สามารถกำหนดให้มันเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยการเขียนโปรแกรมขึ้นมาหรือใช้ซอฟต์แวร์ (software) ที่มีมาให้ดาวน์โหลดใช้ ทั้งนี้ GPIO สามารถทำงานได้หลายอย่างโดยเชื่อมต่อเซนเซอร์ต่างๆ ที่ต้องการแล้วป้อนค่าให้กับโปรแกรมตามที่ต้องการได้เลยขึ้นอยู่กับโปรแกรม ทั้งนี้สามารถที่จะเขียน UI ออกมาเป็นหน้าเว็บเพจเพื่อการใช้งานที่สะดวกได้อีกด้วย

หมายเลข 10 (อยู่ด้านล่างบอร์ด) คือ ช่องเสียบ SD Card ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่เก็บระบบปฏิบัติการ และ ซอฟต์แวร์ทั้งหมดที่เราติดตั้งลงไปไว้

หมายเลข 11 คือ หน่วยแสดงผลแบบ DSI ทำหน้าที่ไว้ต่อกับจอชนิดที่เป็นสายแพร

2.12.3 ข้อดีและข้อเสียของบอร์ด Raspberry Pi

ข้อดี

- มีขนาดเล็ก กะทัดรัด เคลื่อนย้ายสะดวก และประหยัดพลังงาน
- เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่เหมาะสมกับการเริ่มต้นเขียนโปรแกรม
- มี GPIO สามารถเชื่อมต่อกัน เซนเซอร์ต่างๆหรือบอร์ดคอนโทรลอื่นๆ ได้อย่างอิสระ
- มีทั้ง หน้าจอ GUI และ command Line (Terminal)
- ราคาประหยัดและสามารถหาอุปกรณ์เสริมอื่นๆได้ง่าย

ข้อเสีย

- มีความเร็วค่อนข้างต่ำ (แต่เมื่อใช้งานในโหมด command line (Terminal) จะเร็ว)
- ราคาคือ Linux OS ซึ่งอาจจะยากแก่ผู้ที่ไม่คุ้นเคย
- การ config บางอย่างจำเป็นต้องใช้คำสั่ง command line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.4 บอร์ด Raspberry Pi Model B+



รูปที่ 2.38 บอร์ด Raspberry Pi 2 Model B+

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Raspberry Pi Model B+ ในการประมวลผลข้อมูล เชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคมทั้ง 4 ตัว รวมไปถึง SD card, หน้าจอ, เมาส์และคีย์บอร์ดที่จำเป็นต้องใช้ โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

- แหล่งจ่ายไฟ Dual step-down (buck) ที่ 3.3V and 1.8V
- สามารถเสียบและถอดยูเอสบีได้ โดยไม่ต้องรีเซ็ตบอร์ด
- ช่องยูเอสบีมีจำนวน 4 ช่อง และมีช่องสำหรับการ์ดความจำ
- 40 GPIO pins. 26 pins แรกจะเหมือนกับรุ่นเดิม, 9 GPIO pins เพิ่มเติม และ 2 EEPROM Plate identification pins
- ช่องต่อสัญญาณชนิด 3.5mm 'headphone' jack
- ขนาดของ PCB คือ 56mm x 85mm x 1.4mm.
- ความสูงเมื่อรวมช่องยูเอสบี คือ 17mm.

2.12.5 การติดตั้งระบบปฏิบัติการลงไมโครเอสดีการ์ด (Micro SD card)

ก่อนเริ่มต้นการใช้งานบอร์ด Raspberry Pi จำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบปฏิบัติการให้กับบอร์ดก่อน เนื่องจากบอร์ดไม่มีหน่วยความจำแบบแฟลชเมมโมรี่มาบนบอร์ดด้วย ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมเพื่อให้สามารถใช้งานบอร์ดได้ ซึ่งมีรายละเอียดอุปกรณ์ดังนี้

1. บอร์ด Raspberry Pi
2. SD Card สำหรับติดตั้งระบบปฏิบัติการ Linux ต้องมีความจุมากกว่า 2GB ขึ้นไป แต่ควรให้ใช้ ขนาด 4GB หรือมากกว่า โดยการติดตั้งนี้ จะมีขนาด 8GB ควรเลือกใช้การ์ดที่มีความเร็วสูงอย่าง Class 10 เพื่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 ตัวอย่างการ์ดความจำ 8 GB

3. เม้าส์และคีย์บอร์ดแบบยูเอสบี

4. สายไมโครยูเอสบี เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร สามารถเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟจากพอร์ทยูเอสบีของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 2.40 สายไมโครยูเอสบี

5. สาย HDMI เพื่อเชื่อมต่อกับจอภาพแสดงผล หากเลือกใช้จอ Monitor ที่ไม่มีพอร์ต HDMI รองรับต้องใช้ตัวแปลง HDMI to VGA หรือ HDMI to DVI ด้วย อย่างใดอย่างหนึ่ง

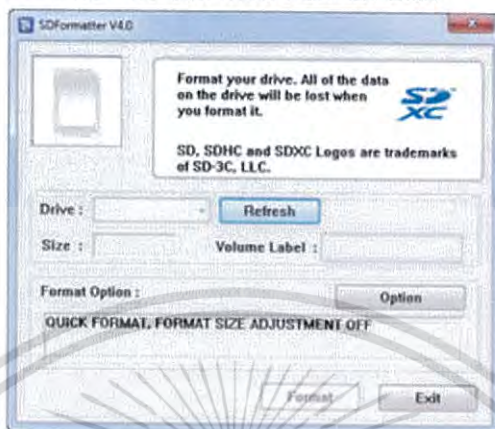


รูปที่ 2.41 ตัวแปลง HDMI to DVI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

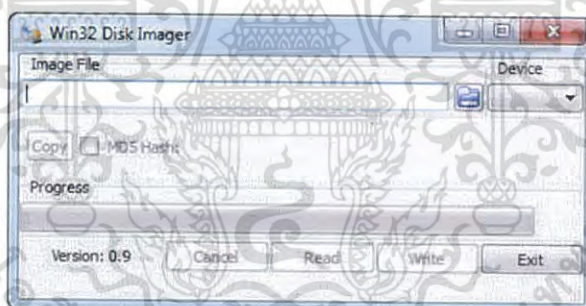
ขั้นตอนในการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Linux ลงบอร์ด Raspberry Pi
 ในขั้นตอนการติดตั้งนั้น การจัดเตรียมซอฟต์แวร์ที่รองรับ จะใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 7 เป็นหลัก และต้องติดตั้งลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ดังนี้

1. โปรแกรม SD Formatter 4.0 ใช้สำหรับ Format Disk



รูปที่ 2.42 หน้าต่างโปรแกรม SD Formatter 4.0

2. โปรแกรม Win32 Disk Imager ใช้สำหรับเขียนไฟล์ระบบปฏิบัติการที่เป็นไฟล์ Image (*.img) ลงบน SD Card



รูปที่ 2.43 หน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager

3. ไฟล์ระบบปฏิบัติการ การติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspbian เป็นระบบปฏิบัติการ Debian Wheezy ที่ถูกปรับแต่งให้ใช้สำหรับบอร์ด Raspberry Pi โดยเฉพาะ เป็น Linux ที่ให้ใช้งานได้ฟรี

ขั้นตอนการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspbian ให้กับบอร์ด Raspberry Pi

1. หากมีข้อมูลอยู่ใน SD Card ให้ทำการ Format ด้วยโปรแกรม SD Formatter 4.0 หรือโปรแกรมอื่นๆ ก็ได้ ถ้าหาก Format แล้วให้ข้ามขั้นตอนนี้ได้เลย
2. เมื่อดาวน์โหลดไฟล์ระบบปฏิบัติการ Raspbian มาแล้วจะได้เป็นไฟล์ Zip ให้แตกไฟล์จะได้เป็นไฟล์ Image (*.img) มาแสดงดังรูปที่ 2.44

Name

2013-09-25-wheezy-raspbian.img

รูปที่ 2.44 การแตกไฟล์ Zip ของไฟล์ระบบปฏิบัติการ Raspbian

2.12.6 ไอที แอคเตรส (IP Address) บนบอร์ด Raspberry Pi

IP Address จำเป็นในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อการถ่ายโอนข้อมูลจากคอมพิวเตอร์มายัง Raspberry Pi หรือ จาก Raspberry Pi ไปยังคอมพิวเตอร์ โดยการกำหนดค่าเกี่ยวกับเครือข่ายนั้นใช้

ifconfig

โดยจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการเชื่อมต่อเครือข่ายในขณะนั้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.45

```

File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi ~ $ ifconfig
eth0:   Link encap:Ethernet  HWaddr 58:27:eb:07:18:4d
        UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
        RX packets:881 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
        TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
        collisions:0 txqueuelen:1000
        RX bytes:71406 (69.7 KiB)  TX bytes:0 (0.0 B)

lo:     Link encap:Local Loopback
        inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
        UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
        RX packets:302 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
        TX packets:302 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
        collisions:0 txqueuelen:0
        RX bytes:32208 (31.4 KiB)  TX bytes:32208 (31.4 KiB)

wlan0:  Link encap:Ethernet  HWaddr 88:e4:d3:15:23:24
        inet addr:192.168.137.74  Bcast:192.168.137.255  Mask:255.255.255.0
        UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
        RX packets:1150 errors:0 dropped:525 overruns:0 frame:0
        TX packets:409 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
        collisions:0 txqueuelen:1000
        RX bytes:294162 (287.2 KiB)  TX bytes:50321 (49.6 KiB)
  
```

รูปที่ 2.45 การแสดงผลลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่าย

โดยที่ eth0, lo, wlan0 เป็นชื่อของลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายที่ใช้งานภายในระบบ

- eth0 มักจะแสดงถึงการเชื่อมต่อ NIC กับเครือข่ายผ่านสายเคเบิล ซึ่งรวมถึงสายของเครือข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณด้วย
- lo เป็นการเชื่อมต่อพิเศษที่ระบบสามารถสื่อสารกับตัวเองได้
- wlan0 เป็นชื่อการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายอันแรกในระบบ

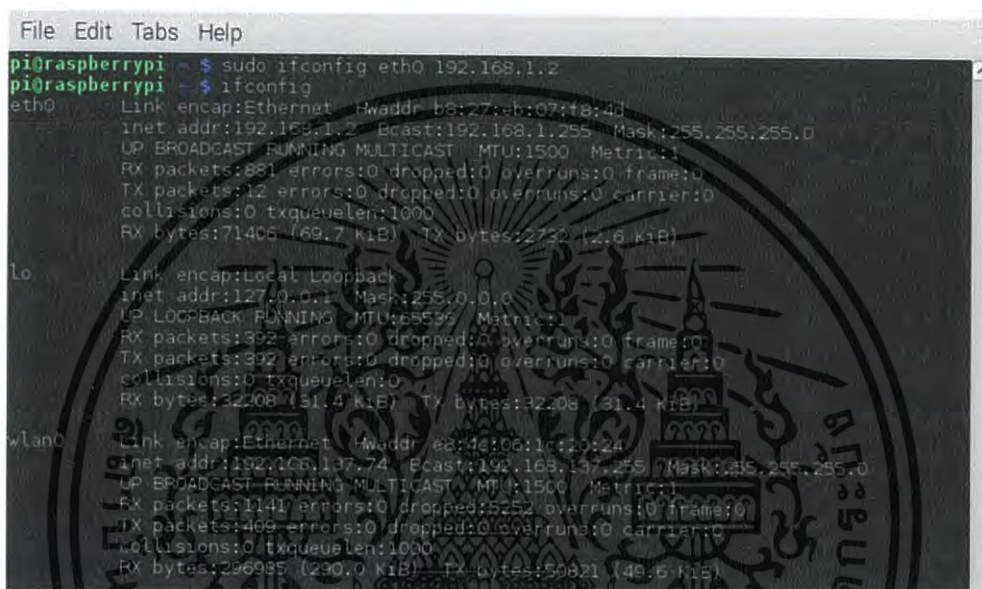
ในการตั้งค่า IP Address ของ Raspberry Pi เพื่อการเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านสายเครือข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณนั้นจึงต้องตั้งค่าในส่วนของ eth0 โดยพิมพ์คำสั่งบน command line ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิมพ์คำสั่งนี้ลงไป ใน command line แล้ว ค่า IP Address จะถูกเปลี่ยนไป ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.46 ในผลลัพธ์บรรทัดที่ 2 ของ eth0 จะพบดังนี้

```
inet addr:192.168.1.2
```

แสดงให้เห็นว่า ค่า IP จะถูกตั้งค่าเป็น 192.168.1.2 แล้วเพื่อสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านสายเครือข่ายคอมพิวเตอร์เฉพาะบริเวณได้ สร้างความสะดวกในการสื่อสารกันระหว่าง Raspberry Pi และ คอมพิวเตอร์



```
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi ~ $ sudo ifconfig eth0 192.168.1.2
pi@raspberrypi ~ $ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr b8:27:eb:07:18:4d
          inet addr:192.168.1.2  Bcast:192.168.1.255  Mask:255.255.255.0
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:881 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:12 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:71406 (69.7 KiB)  TX bytes:2732 (2.6 KiB)

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:392 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:392 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:0
          RX bytes:32208 (31.4 KiB)  TX bytes:32208 (31.4 KiB)

wlan0     Link encap:Ethernet  HWaddr ea:4e:06:11:10:24
          inet addr:192.168.137.74  Bcast:192.168.137.255  Mask:255.255.255.0
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:1141 errors:0 dropped:5252 overruns:0 frame:0
          TX packets:409 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:296985 (290.0 KiB)  TX bytes:50821 (49.6 KiB)
```

รูปที่ 2.46 แสดงการตั้งค่า IP Address บน Raspberry

2.13 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer programming) เป็นขั้นตอนการเขียน ทดสอบและดูแลซอร์สโค้ดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งซอร์สโค้ดนั้นจะเขียนด้วยภาษา โปรแกรม ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมต้องการความรู้ในหลายด้านด้วยกัน เกี่ยวกับโปรแกรมที่ต้องการ จะเขียน และขั้นตอนวิธีที่จะใช้

ภาษาโปรแกรมแต่ละภาษาจะมีลักษณะหรือรูปแบบการเขียนที่แตกต่างกัน การเลือกภาษา โปรแกรมหรือภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาเขียนโปรแกรมนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น นโยบาย ของบริษัท ความเหมาะสมของโปรแกรมกับลักษณะงาน การเข้ากันได้กับโปรแกรมอื่นๆ หรือ ความ ถนัดของแต่ละบุคคล ภาษาโปรแกรมที่มีแนวโน้มในการนำมาเขียนมักเป็นภาษาที่มีคนที่สามารถ เขียนได้ทันที หรือหากมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ภาษาอื่น เช่น ต้องการเน้นประสิทธิภาพในการ ทำงานของโปรแกรม ก็อาจจำเป็นต้องหานักเขียนโปรแกรมซึ่งมีความรู้ความเข้าใจในภาษาโปรแกรม ที่ต้องการ และต้องมีคอมพิวเตอร์ที่รองรับภาษานั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.1 ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม

ภาษาโปรแกรม คือภาษาประดิษฐ์ชนิดหนึ่งที้ออกแบบขึ้นมาเพื่อสื่อสารชุดคำสั่งแก่เครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพิวเตอร์ ภาษาโปรแกรมสามารถใช้สร้างโปรแกรมที่ควบคุมพฤติกรรมของเครื่องจักร และ/หรือ แสดงออกด้วยอัลกอริทึม (algorithm) อย่างตรงไปตรงมา ผู้เขียนโปรแกรมซึ่งหมายถึงผู้ที่ใช้ภาษาโปรแกรมเรียกว่า โปรแกรมเมอร์ (programmer)

ภาษาโปรแกรมในยุคแรกเริ่มนั้นเกิดขึ้นก่อนที่คอมพิวเตอร์จะถูกประดิษฐ์ขึ้น โดยถูกใช้เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องทอผ้าของแจ็กการ์ดและเครื่องเล่นเปียโน ภาษาโปรแกรมต่าง ๆ หลายพันภาษาถูกสร้างขึ้นมา ส่วนมากใช้ในวงการคอมพิวเตอร์ และสำหรับวงการอื่นภาษาโปรแกรมก็เกิดขึ้นใหม่ทุก ๆ ปี ภาษาโปรแกรมส่วนใหญ่อธิบายการคิดคำนวณในรูปแบบเชิงคำสั่ง

ภาษาโปรแกรมนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ

2.13.1.1 ภาษาเครื่อง (Machine Languages)

ภาษาเครื่อง คือ กลุ่มของคำสั่งเครื่องที่กระทำการโดยตรงโดยหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ของคอมพิวเตอร์ คำสั่งเครื่องแต่ละคำสั่งจะปฏิบัติงานเฉพาะกิจงานเดียวเท่านั้น เช่น การบรรจุ, การกระโดด หรือการดำเนินการผ่านหน่วยคำนวณและตรรกะ (ALU) บนหน่วยของข้อมูลในหน่วยความจำหรือรีจิสเตอร์ ทุกๆโปรแกรมที่กระทำการโดยหน่วยประมวลผลกลางสร้างขึ้นจากอนุกรมของคำสั่งเครื่องเช่นว่านั้น

2.13.1.2 ภาษาแอสเซมบลี (Assembly)

ภาษาแอสเซมบลี (อังกฤษ: Assembly Language) หมายถึง ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่งซึ่งจะทำงานโดยขึ้นกับรุ่นของไมโครโพรเซสเซอร์ หรือ "หน่วยประมวลผล" (CPU) ของเครื่องคอมพิวเตอร์

การใช้ภาษาแอสเซมบลีจำเป็นต้องผ่านการแปลภาษาด้วยคอมไพเลอร์เฉพาะเรียกว่า แอสเซมเบลอร์ ให้อยู่ในรูปของรหัสคำสั่งก่อน (เช่น .OBJ) โดยปกติ ภาษานี้ค่อนข้างมีความยุ่งยากในการใช้งาน และการเขียนโปรแกรมเป็นจำนวนบรรทัดมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ภาษาระดับสูง เช่น ภาษา C หรือภาษา BASIC แต่จะทำให้ได้ผลลัพธ์การทำงานของโปรแกรมเร็วกว่า และขนาดของตัวโปรแกรมมีขนาดเนื้อที่น้อยกว่าโปรแกรมที่สร้างจากภาษาอื่นมาก จึงนิยมใช้ภาษานี้เมื่อต้องการประหยัดเวลาทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ และเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรม

2.13.1.3 ภาษาระดับสูง (High-level Languages)

ภาษาโปรแกรมระดับสูง หมายถึงภาษาโปรแกรมที่มีภาวะนามธรรมอย่างสูงจากรายละเอียดการทำงานของคอมพิวเตอร์ หากเปรียบเทียบกับภาษาโปรแกรมระดับต่ำแล้ว ภาษาโปรแกรมระดับสูงอาจมีองค์ประกอบเป็นภาษาธรรมชาติ ใช้งานง่ายกว่า ทำให้กระบวนการพัฒนาโปรแกรมตามข้อกำหนดเรียบง่ายกว่าและสามารถทำความเข้าใจได้ดีกว่า ระดับของภาวะนามธรรมที่ภาษาโปรแกรมจัดเตรียมไว้ให้ เป็นตัวกำหนดว่าภาษานั้นมี "ระดับสูง" มากน้อยแค่ไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของภาษาโปรแกรมระดับสูงที่ใช้กัน มีหลากหลาย เช่น

- ภาษาซี (C)

ภาษาซี (C) เป็นภาษาโปรแกรมสำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป ภาษาซีเป็นภาษาที่มีความยืดหยุ่นในการเขียนโปรแกรมและมีเครื่องมืออำนวยความสะดวกสำหรับการเขียนโปรแกรมเชิงโครงสร้างและอนุญาตให้มีขอบข่ายตัวแปร (scope) และการเรียกซ้ำ (recursion) ในขณะที่ระบบชนิดตัวแปรอพลวัตก็ช่วยป้องกันการดำเนินการที่ไม่ตั้งใจหลายอย่าง เหมือนกับภาษาโปรแกรมเชิงคำสั่งส่วนใหญ่ในแบบแผนของภาษาอัลกอล การออกแบบของภาษาซีมีคอนสตรัคต์ (construct) ที่โยงกับชุดคำสั่งเครื่องทั่วไปได้อย่างพอเพียง จึงทำให้ยังมีการใช้ในโปรแกรมประยุกต์ซึ่งแต่ก่อนลงรหัสเป็นภาษาแอสเซมบลี คือซอฟต์แวร์ระบบอันโดดเด่นอย่างระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ยูนิกซ์

ภาษาซีเป็นภาษาโปรแกรมหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และตัวแปลโปรแกรมของภาษาซีมีให้ใช้งานได้สำหรับสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์และระบบปฏิบัติการต่าง ๆ เป็นส่วนมาก

ภาษาซีเป็นภาษาที่ใช้ในการมีปฏิสัมพันธ์เช่น เชิงคำสั่ง (หรือเชิงกระบวนการ) ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้แปลด้วยตัวแปลโปรแกรมแบบการเชื่อมโยงที่ตรงไปตรงมา สามารถเข้าถึงหน่วยความจำในระดับล่าง เพื่อสร้างภาษาที่จับคู่อย่างมีประสิทธิภาพกับชุดคำสั่งเครื่อง และแทบไม่ต้องการสนับสนุนใด ๆ ขณะทำงาน ภาษาซีจึงเป็นประโยชน์สำหรับหลายโปรแกรมที่ก่อนหน้านี้เคยเขียนในภาษาแอสเซมบลีมาก่อน

- ภาษาซีพลัสพลัส (C++)

ภาษาซีพลัสพลัส (อังกฤษ: C++) เป็นภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์อเนกประสงค์ มีโครงสร้างภาษาที่มีการจัดชนิดข้อมูลแบบสแตติก (statically typed) และสนับสนุนรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่หลากหลาย (multi-paradigm language) ได้แก่ การโปรแกรมเชิงกระบวนการ, การนิยามข้อมูล, การโปรแกรมเชิงวัตถุ, และการโปรแกรมแบบเจเนริก (generic programming)

- ภาษาซีชาร์ป (C#)

ภาษาซีชาร์ป เป็นภาษาโปรแกรมแบบหลายโมเดล ที่ใช้ระบบชนิดข้อมูลแบบรัดกุม (strong typing) และสนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงคำสั่ง การเขียนโปรแกรมเชิงประกาศ การเขียนโปรแกรมเชิงกระบวนการ และการเขียนโปรแกรมเชิงส่วนประกอบ พัฒนาเริ่มแรกโดยบริษัทไมโครซอฟท์เพื่อทำงานบนดอตเน็ตเฟรมเวิร์ก โดยมีแอนเดอร์ เฮลส์เบิร์ก (Anders Hejlsberg) เป็นหัวหน้าโครงการ และมีรากฐานมาจากภาษาซีพลัสพลัสและภาษาอื่นๆ โดยมีจุดมุ่งหมายให้เป็นภาษาสมัยใหม่ที่ไม่ซับซ้อน ใช้งานได้ทั่วไป (general-purpose) และเป็นเชิงวัตถุเป็นหลัก

- ภาษาเบสิก (BASIC)

ภาษาเบสิก (BASIC programming language) เป็นภาษาโปรแกรมที่ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย และยังได้รับความนิยมมาจนถึงทุกวันนี้ เบสิกออกแบบมาให้ใช้กับคอมพิวเตอร์ตามบ้าน ชื่อภาษาเบสิก หรือ BASIC ย่อมาจาก Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code ต้องเขียนด้วยตัวพิมพ์ใหญ่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัทไมโครซอฟท์ได้นำภาษาเบสิกมาปรับปรุงให้ทันสมัย และพัฒนาเครื่องมือพัฒนาโปรแกรม Visual Basic ทำให้เบสิกได้รับความนิยมในการพัฒนาโปรแกรมยุคใหม่ รุ่นล่าสุดของวิซวลเบสิกเรียกว่า VB.NET

- ภาษาจาวา (Java)

ภาษาจาวา (Java programming language) เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุ (อังกฤษ: Object Oriented Programming) พัฒนาโดย เจมส์ กอสลิง และวิศวกรคนอื่นๆ ที่ ซัน ไมโครซิสเต็มส์ ภาษาจาวาถูกพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2534 (ค.ศ. 1991) โดยเป็นส่วนหนึ่งของ โครงการกรีน (the Green Project) และสำเร็จออกสู่สาธารณะในปี พ.ศ. 2538 (ค.ศ. 1995) ซึ่งภาษานี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้แทนภาษาซีพลัสพลัส (C++) โดยรูปแบบที่เพิ่มเติมขึ้นคล้ายกับภาษาอ็อบเจกต์ทีฟซี (Objective-C) แต่เติมภาษานี้เรียกว่า ภาษาโอ๊ก (Oak) ซึ่งตั้งชื่อตามต้นโอ๊กใกล้ที่ทำงานของ เจมส์ กอสลิง แต่ว่ามีปัญหาทางลิขสิทธิ์ จึงเปลี่ยนไปใช้ชื่อ "จาวา" ซึ่งเป็นชื่อกาแฟแทน

แม้จะมีชื่อคล้ายกัน แต่ภาษาจาวาไม่มีความเกี่ยวข้องกับภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ปัจจุบันมาตรฐานของภาษาจาวาดูแลโดย Java Community Process ซึ่งเป็นกระบวนการอย่างเป็นทางการ ที่อนุญาตให้ผู้ที่มีสนใจเข้าร่วมกำหนดความสามารถในจาวาแพลตฟอร์มได้

- ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript)

จาวาสคริปต์ (JavaScript) เป็นภาษาสคริปต์ ที่มีลักษณะการเขียนแบบโพรโตไทป์ (Prototyped-based Programming) ส่วนมากใช้ในหน้าเว็บเพื่อประมวลผลข้อมูลที่ฝั่งของผู้ใช้งาน แต่ก็ยังมีใช้เพื่อเพิ่มเติมความสามารถในการเขียนสคริปต์โดยฝังอยู่ในโปรแกรมอื่นๆ

- ภาษาพีเอชพี (PHP)

พีเอชพี (PHP) คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ในลักษณะเซิร์ฟเวอร์-ไซด์ สคริปต์ โดยลิขสิทธิ์อยู่ในลักษณะโอเพนซอร์ส ภาษาพีเอชพีใช้สำหรับจัดทำเว็บไซต์ และแสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML โดยมีรากฐานโครงสร้างคำสั่งมาจากภาษา ภาษาซี ภาษาจาวา และ ภาษาเพิร์ล ซึ่งภาษาพีเอชพี นั้นง่ายต่อการเรียนรู้ ซึ่งเป้าหมายหลักของภาษานี้ คือให้นักพัฒนาเว็บไซต์สามารถเขียน เว็บเพจ ที่มีการตอบโต้ได้อย่างรวดเร็ว พีเอชพีรุ่นล่าสุดคือ PHP 5.4.0 ส่วนรุ่นพัฒนาคือ PHP 6.0.0-dev

- ภาษาไพทอน (Python)

ภาษาไพทอน (Python programming language) เป็นภาษาโปรแกรมระดับสูง เพื่อใช้งานทั่วไป แบบอินเทอร์พรีเตอร์ ที่สร้างโดยกิดโด ฟาน รอสซัม (Guido van Rossum) ในพ.ศ. 2533 ปัจจุบันดูแลโดย มูลนิธิซอฟต์แวร์ไพทอน จุดเด่นของภาษาไพทอน คือ

ความเป็นภาษาสคริปต์ : เนื่องจากไพทอนเป็นภาษาสคริปต์ ทำให้ใช้เวลาในการเขียนและคอมไพล์ไม่มาก ทำให้เหมาะกับงานด้านการดูแลระบบ (System administration) เป็นอย่างยิ่ง

ไวยากรณ์ที่อ่านง่าย : ไวยากรณ์ของไพทอนได้กำจัดการใช้สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแบ่งบล็อกของโปรแกรม และใช้การย่อหน้าแทน ทำให้สามารถอ่านโปรแกรมที่เขียนได้ง่าย นอกจากนั้นยังมีการสนับสนุนการเขียน docstring ซึ่งเป็นข้อความสั้นๆ ที่ใช้อธิบายการทำงานของฟังก์ชัน, คลาส, และโมดูลอีกด้วย

ความเป็นภาษา Glue : ไพทอนเป็นภาษา Glue ได้อย่างดีเนื่องจากสามารถเรียกใช้ภาษาโปรแกรมอื่นๆ ได้หลายภาษา ทำให้เหมาะที่จะใช้เขียนเพื่อประสานงานโปรแกรมที่เขียนในภาษาต่างกันได้

- ภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซี (Objective-C)

ภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซี (อังกฤษ: Objective-C หรือ ObjC) เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุและมีสมบัติการสะท้อน โดยแรกเริ่ม ภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซี พัฒนาขึ้นจากภาษาซีโดยยังคงคุณลักษณะของภาษาซีไว้ครบทุกประการเพียงแต่เพิ่มระบบส่งข้อความ (messaging) แบบเดียวกับภาษาสมอลล์ทอล์กเข้าไปเท่านั้น (Objective-C runtime) ปัจจุบันภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซีมีคุณสมบัติอื่นๆเพิ่มเติมจากการพัฒนาภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซี 2.0 โดยบริษัทแอปเปิล

ปัจจุบันภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซีถูกใช้มากใน Cocoa (API) ใน Mac OS X, GNUstep (API) และ Cocotron (API) เป็นต้น ซึ่งระบบเหล่านี้ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีพื้นฐานจากมาตรฐาน OpenStep (API) ใน Nextstep โดยมีภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซีเป็นภาษาหลัก ปัจจุบัน Mac OS X ใช้ Cocoa เป็นเฟรมเวิร์กสำหรับสร้างโปรแกรมประยุกต์ โดย ไลบรารีและ/หรือ API เหล่านี้เป็นเพียงส่วนเพิ่มขยาย (Software extension) เท่านั้น โปรแกรมที่ใช้ภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซีทั่วไปที่ไม่ได้ใช้ส่วนเพิ่มขยายเหล่านี้ก็ยังสามารถคอมไพล์ได้ เช่นอาจใช้แต่ gcc ซึ่งรองรับภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซี

2.13.2 โอเพ่นซีวี (OpenCV)

โอเพ่นซีวีเป็น library ที่มีใบอนุญาต BSD และเป็น open-source เป็น library ที่มีอัลกอริทึมอยู่มากมาย โอเพ่นซีวีมีโครงสร้างแบบแยกส่วน ซึ่งหมายความว่า แพคเกจจะรวม library ต่างๆที่ใช้ร่วมกันไว้ โดยโมดูล (modules) มีมากมาย เช่น

- core

โมดูลสำหรับการอธิบายถึงโครงสร้างของข้อมูลขั้นพื้นฐาน รวมถึง array หลายมิติ และฟังก์ชันพื้นฐานต่างๆที่ใช้ในโมดูลอื่นๆ

- improc

โมดูลสำหรับการประมวลผลภาพ รวมถึงการกรองภาพ (filtering) ทั้งแบบ linear และ non-linear การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตของภาพ (การปรับขนาด, warping, remapping) การทำฮิสโตแกรมและอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- video

โมดูลเพื่อการวิเคราะห์วิดีโอ การประมาณการเคลื่อนที่ และขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ

- calib3d

อัลกอริทึมทางเรขาคณิตแบบหลายมุมมอง, การสอบเทียบกล้องเพื่อการสร้าง 3D

- features2d

การตรวจจับลักษณะเด่นของวัตถุ

- highgui

เพื่อให้่ายต่อการจับภาพจากวิดีโอ การแปลงสัญญาณวิดีโอและรูปภาพ

- gpu

อัลกอริทึมของ GPU-accelerated จากโมดูลอื่น

2.13.3 Shell script ใน Raspberry Pi

Shell script เป็นไฟล์ที่เพิ่มข้อมูลที่บันทึกชุดคำสั่งใน command line ไว้ โดย Shell จะดำเนินการเสมือนว่าป้อนข้อมูลลง command line โดยตรง วิธีการนี้ช่วยลดเวลาหากต้องการใช้คำสั่งลงบน command line จำนวนมาก เพื่อให้ประมวลผลให้สมบูรณ์

Shell script มีประโยชน์อย่างมากถ้าต้องการป้อนคำสั่งที่มีลำดับยาวลงบน command line การดำเนินการส่วนใหญ่สามารถทำงานได้ด้วยคำสั่งเดียว บางสิ่งที่สามารถทำได้ เช่น

- เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ระบุ
- ใช้เอาท์พุท (Output) จากคำสั่งอันหนึ่งไปเป็นอินพุท (Input) ในอีกคำสั่งหนึ่ง
- ใช้ในการเปลี่ยนชื่อและเปลี่ยนตำแหน่งไฟล์
- ใช้ในการเปลี่ยนรูปแบบของไฟล์

2.13.4 คำสั่งที่ใช้ใน Shell script

2.13.4.1 fswebcam

การรับภาพจากกล้องเว็บแคมสามารถใช้ shell script ในการรับภาพได้ โดยใช้คำสั่ง fswebcam นี้ได้ เริ่มต้นด้วยการลง fswebcam บน Raspberry Pi ผ่าน command line ด้วยคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sudo apt-get install fswebcam
```

หากติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะขึ้นตามรูปที่ 2.47



```
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi ~ $ sudo apt-get install fswebcam
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
fswebcam is already the newest version.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 79 not upgraded.
```

รูปที่ 2.47 การแสดงผลหากติดตั้ง fswebcam ไว้เรียบร้อยแล้ว

การใช้งานคำสั่ง fswebcam สามารถพิมพ์ใน command line ได้เลย หรือ จะสร้างเป็น script ก็สามารถทำงานได้เช่นเดียวกัน โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

```
fswebcam [<options>] <filename>
```

[<options>] เป็นการระบุลักษณะเพิ่มเติมให้กับภาพที่ต้องการบันทึก โดยจะบันทึกออกมาจากการระบุชื่อที่ <filename> การใช้งานขั้นพื้นฐานโดยไม่กำหนดลักษณะเพิ่มเติมใดๆจะใช้คำสั่ง

```
fswebcam image.jpg
```

ผลลัพธ์ที่ได้นั้น จะได้ภาพที่ชื่อ image เป็นประเภท jpg ออกมานั่นเอง แต่ถ้าต้องการระบุลักษณะเพิ่มเติมลงไปนั้นสามารถเพิ่มเติมคำสั่งเข้าไปที่ [<options>] ได้ โดยมีคำสั่ง 2 แบบ คือ

- **Capture Options** เป็นการตั้งค่าขณะทำการเก็บภาพ โดยมีคำสั่งที่สำคัญดังนี้

```
-d, --device [<prefix>:]<device name>
```

การตั้งค่าเลือกกล้องที่ต้องการบันทึกภาพจากกล้องนั้น หากไม่ได้กำหนดไว้ จะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าเริ่มต้นจะเป็น /dev/video0.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-p, --palette <name>

การตั้งค่ารูปแบบของรูปภาพที่ได้ โดยรูปแบบที่สนับสนุนนั้นมี PNG, JPEG, MJPEG, RGB32, RGB24, BGR32, BGR24, YUYV, UYVY, YUV420P, BAYER, RGB565, RGB555, GREY

-r, --resolution <dimensions>

การตั้งค่าความละเอียดของกล้อง โดยความละเอียดที่ได้อาจจะไม่ตรงหากกล้องไม่สามารถเก็บภาพตามที่กำหนดความละเอียดไว้ ซึ่งค่าเริ่มต้นหากไม่มีการกำหนดไว้จะเป็น 384x288 พิกเซล

-F, --frames <number>

การตั้งค่าจำนวนเฟรมในการจับภาพ ค่าที่สูงจะทำให้การรบกวนน้อยลง แต่จะใช้เวลาในการจับภาพนาน ซึ่งจะส่งผลให้วัตถุที่เคลื่อนที่แสดงจะเบลอ โดยมีค่าเริ่มต้นเป็น 1

-S, --skip <number>

การตั้งค่าจำนวนเฟรมที่ต้องการข้ามไป โดยเฟรมเหล่านี้จะถูกจับภาพไว้แต่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ โดยควรจะใช้คำสั่งนี้หากกล้องที่ใช้มีเฟรมที่ไม่แสดงหรือเสียออกมาเมื่อเริ่มทำการจับภาพ ค่าเริ่มต้นจะเป็น 0

-D, --delay <delay>

การตั้งค่า delay ไว้หลังจากเปิดกล้องและก่อนที่กล้องจะจับภาพ เพราะกล้องบางแบบจำเป็นต้องมีการเตรียมความพร้อมให้กับตัวมันเองก่อน

-R, --read

ใช้ในการจับภาพ อาจจะช้าแต่ภาพจะมีความเสถียรมากขึ้น

- Output Options เป็นการตั้งค่าขณะทำการบันทึกภาพ โดยมีคำสั่งที่สำคัญดังนี้

--no-banner

คำสั่งลบ banner บนภาพออกไป

--banner-colour <#AARRGGBB>

การตั้งค่าสีของ banner โดยใช้รูปแบบของเลขฐาน 16 (#RRGGBB) เพื่ออธิบายสี ตัวอย่างเช่น "#FF0000" คือ pure red, "#80000000" คือ semi-transparent black. โดยค่าเริ่มต้นคือ "#40263A93".

--line-colour <#AARRGGBB>

การตั้งค่าสีของ divider line โดยมีค่าเริ่มต้น คือ "#00FF0000".

--text-colour <#AARRGGBB>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าสีของข้อความ โดยมีค่าเริ่มต้น คือ "#00FFFFFF".

--font <[file or font name]:[font size]>

การตั้งค่าลักษณะและขนาดของตัวอักษรที่อยู่บน banner โดยมีค่าเริ่มต้น คือ "luxisr:10".

--no-shadow

คำสั่งทำการลบเงาของข้อความ

--title <text>

การเพิ่มข้อความลงบน banner ที่ตำแหน่งซ้ายบนของ banner

--subtitle <text>

การเพิ่มข้อความลงบนตำแหน่งซ้ายล่างของ banner

--timestamp <text>

การเพิ่มการระบุเวลาที่ด้านขวาบนของ banner ซึ่งมีรูปแบบ คือ "%Y-%m-%d %H:%M (%Z)"

--info <text>

การเพิ่มข้อความข้อมูลที่ตำแหน่งขวาล่างของ banner

--jpeg <factor>

การตั้งค่าให้รูปแบบของภาพเป็น jpeg และสามารถตั้ง แพคเตอร์การบีบอัด (compression factor) ระหว่าง 0 ถึง 95 โดยมีค่าเริ่มต้นที่ -1

--save <filename>

การตั้งค่าชื่อของภาพที่ทำการบันทึกไว้

--crop <dimensions,offset>

การตัดภาพเฉพาะในส่วนที่ต้องการเท่านั้น โดยมีการกำหนดขนาด (dimensions) และ จุดเริ่มต้น (offset) ของภาพที่ตัด ตัวอย่างเช่น

--crop 10x10,0x0 ตัดภาพขนาด 10x10 ที่มุมซ้ายบนของภาพ

--crop 20x20,50x50 ตัดภาพขนาด 20x10 ที่ตำแหน่งเริ่ม 50x50 ของภาพ

--scale <dimensions>

การปรับขนาดของภาพ แต่จะทำให้อัตราส่วนของภาพเปลี่ยนแปลงไปด้วย

--rotate <angle>

การหมุนภาพที่มุมทวนขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

--invert

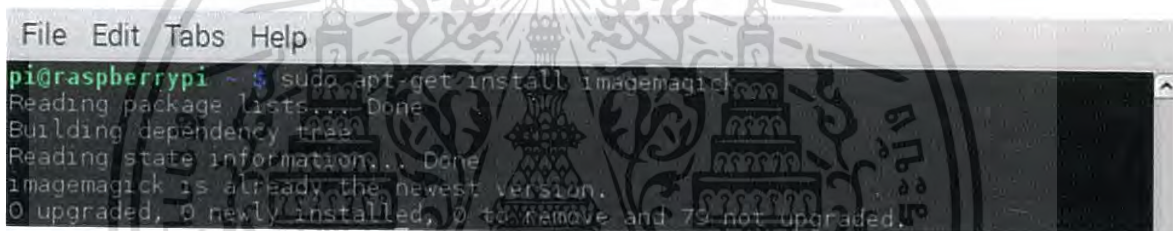
เปลี่ยนสีทุกสีบนภาพให้กลายเป็นลบ (negative)

2.13.4.2 convert

การปรับเปลี่ยนลักษณะของรูปภาพ สามารถใช้คำสั่ง convert บน command line หรือ บน shell script ได้เช่นเดียวกัน โดยสามารถติดตั้ง ImageMagick เพื่อใช้คำสั่ง convert ได้โดย

```
sudo apt-get install imagemagick
```

หากติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะขึ้นตามรูปที่ 2.48



```
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi ~ $ sudo apt-get install imagemagick
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
imagemagick is already the newest version.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 79 not upgraded.
```

รูปที่ 2.48 การแสดงผลหากติดตั้ง imagemagick ไว้เรียบร้อยแล้ว

การใช้งานคำสั่ง convert นั้น มีรูปแบบของคำสั่งโดยทั่วไป ดังนี้

```
convert <filenameinput> (option) <filenameoutput>
```

โดย <filenameinput> นั้นคือ ชื่อไฟล์ที่ต้องการนำมาปรับเปลี่ยนและแก้ไข พร้อมระบุรูปแบบของภาพไว้ ส่วน (option) เป็นคำสั่งต่างๆที่ไว้ใช้ในการปรับเปลี่ยนและแก้ไข และ <filenameoutput> เป็นชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกใหม่ พร้อมระบุรูปแบบของภาพไว้ ซึ่งหากต้องการเปลี่ยนรูปแบบก็สามารถเปลี่ยนได้โดยแก้ไขที่รูปแบบของภาพที่บันทึกใหม่

โดยคำสั่งที่สำคัญที่ใช้ใน (option) นั้น มีดังนี้

- background *color* ตั้งค่าสีพื้นหลัง โดยมีค่าเริ่มต้นเป็นสีขาว
- black-threshold *value* เปลี่ยนให้ pixel ที่มีค่าต่ำกว่า ค่าที่กำหนดไว้ ให้มีสีดำ
- caption *string* ใส่ข้อความลงไปบนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 เซนเซอร์

2.14.1 เซนเซอร์โดยทั่วไป

ตัวรับรู้ หรือ เซนเซอร์ (sensor) เป็นวัตถุชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่ตรวจจับเหตุการณ์หรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมของตัวมันเอง จากนั้นมันก็จะให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันออกมา ตัวรับรู้เป็นตัวแปรสัญญาณ (transducer) ชนิดหนึ่ง มันสามารถให้สัญญาณออกมาได้หลากหลายชนิด แต่โดยทั่วไปจะใช้สัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณแสง เช่น คู่ควบความร้อน (thermocouple) จะแปลงค่าอุณหภูมิ (สิ่งแวดล้อม) ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่สอดคล้องกัน ในทำนองที่คล้ายกัน เทอร์มอมิเตอร์แบบปรอทในหลอดแก้วจะเปลี่ยนอุณหภูมิที่วัดได้ให้อยู่ในรูปการขยายตัวหรือการหดตัวของของเหลว ซึ่งสามารถอ่านได้บนหลอดแก้วที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว ตัวรับรู้ทุกชนิดจะต้องผ่านการสอบเทียบ โดยเทียบกับค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ

ตัวรับรู้ถูกใช้ในอุปกรณ์ประจำวัน เช่น บุ่มกคลิฟท์แบบไวต่อการสัมผัส (เซนเซอร์สัมผัส) และ โคมไฟที่สลับหรือสว่างขึ้นโดยการสัมผัสที่ฐาน นอกจากนี้ยังมีการใช้งานเซนเซอร์นับไมถั่ว้นที่คนส่วนใหญ่ไม่ได้รับรู้ ด้วยความก้าวหน้าทางเครื่องกลจุลภาคและแพลตฟอร์มไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ง่ายต่อการใช้งาน การใช้งานของตัวรับรู้ได้ขยายออกไปไกลเกินกว่าการวัดอุณหภูมิ, ความดันหรือการไหลแบบเดิมส่วนมา ยิ่งไปกว่านั้น ตัวรับรู้แบบอนาล็อก เช่น โปเทนชิโอมิเตอร์และตัวต้านทานที่ไวต่อแรงยังคงถูกใช้อย่างกว้างขวาง การใช้งานจะรวมถึงการผลิตเครื่องจักร, เครื่องบินและยานอวกาศ, รถยนต์, เครื่องไฟฟ้า, การแพทย์, หุ่นยนต์ และในชีวิตประจำวัน

ความไวของตัวรับรู้ หมายถึง สัญญาณส่งออกของตัวรับรู้จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเพียงใดก็ตามเมื่อปริมาณของสัญญาณที่ป้อนเข้าเพื่อทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น ถ้าปรอทในเทอร์มอมิเตอร์เครื่องไหวไป 1 ซม. เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส ดังนั้นความไวจะมีค่าเป็น 1 เซนติเมตร/°C (สมมติว่าสโลป Dy/Dx มีลักษณะเป็นเชิงเส้น) ตัวรับรู้บางตัวอาจมีผลกระทบกับสิ่งที่วัด เช่น เทอร์มอมิเตอร์ที่อุณหภูมิห้องถูกใส่ลงในถ้วยร้อนที่ใสของเหลว ความเย็นของเทอร์มอมิเตอร์จะทำให้ของเหลวเย็นลงในขณะที่ของเหลวทำให้เทอร์มอมิเตอร์ร้อนขึ้น ตัวรับรู้จำเป็นจะต้องมีการออกแบบเพื่อให้มีผลกับสิ่งที่ถูกวัด การทำให้ตัวรับรู้มีขนาดเล็กลงจะปรับปรุงให้ดีขึ้น และอาจทำให้เกิดข้อได้เปรียบอื่นๆ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีจะช่วยให้มีการสร้างตัวรับรู้อื่นๆมากขึ้นอีกมากมายในขนาดจุลภาค เช่น ไมโครเซนเซอร์โดยใช้เทคโนโลยี MEMS (Microelectromechanical systems)

2.14.1.1 การจำแนกประเภทของข้อผิดพลาดในการวัด

ตัวรับรู้ที่ดีต้องทำตามกฎต่อไปนี้

- มีความไวต่อคุณสมบัติที่จะวัด
- มีความไวต่อคุณสมบัติอื่นๆที่อาจจะพบได้ในการประยุกต์ใช้ของมัน
- ไม่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติที่จะวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรับรู้ในอุดมคติจะถูกออกแบบมาให้เป็นแบบเชิงเส้นหรือเป็นเส้นตรงกับบางฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายของการวัดซึ่งปกติเป็นค่าลอการิทึม เอาท์พุทของตัวรับรู้ดังกล่าวเป็นสัญญาณแอนะล็อกและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าหรือฟังก์ชันที่เรียบง่ายของคุณสมบัติที่ถูกวัด จากนั้น ความไวจะถูกกำหนดให้เป็นอัตราส่วนระหว่างสัญญาณเอาท์พุทกับคุณสมบัติที่ถูกวัด ตัวอย่างเช่น ถ้าเซนเซอร์ตัวหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิและมีเอาท์พุทเป็นแรงดันค่าหนึ่ง ความไวจะเป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็น โวลต์/เคลวิน [V/K] เซนเซอร์นี้ทำงานเป็นเชิงเส้นเพราะอัตราส่วนเป็นค่าคงที่ที่ทุกจุดของการวัด

สำหรับสัญญาณเซนเซอร์ที่เป็นอนาล็อกที่จะต้องถูกประมวล หรือถูกใช้ในอุปกรณ์ดิจิทัล มันจะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล (analog-to-digital converter หรือ ADC)

2.14.1.2 การเบี่ยงเบนของตัวรับรู้

ถ้าเซนเซอร์ไม่เป็นอุดมคติ การเบี่ยงเบนหลายประเภทสามารถสังเกตได้ดังนี้

- ความไวอาจแตกต่างกันทางปฏิบัติจากค่าที่ระบุไว้ สิ่งนี้เรียกว่า ข้อผิดพลาดของความไว
- เนื่องจากช่วงของสัญญาณเอาท์พุทจะถูกจำกัดเสมอ ดังนั้นในที่สุดสัญญาณเอาท์พุทก็จะตกลงถึงขั้นต่ำสุดหรือขึ้นสูงถึงขั้นสูงสุดเมื่อคุณสมบัติที่จะทำการวัดมีค่าเกินขีดจำกัด ช่วงเต็มสเกลจะกำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดของคุณสมบัติที่จะทำการวัด
- ถ้าสัญญาณเอาท์พุทไม่เป็นศูนย์เมื่อคุณสมบัติที่ถูกวัดเป็นศูนย์ ตัวรับรู้จะมีการชดเชยหรือไบอัส สิ่งนี้ถูกกำหนดว่าเป็นเอาท์พุทของตัวรับรู้ที่อินพุทเป็นศูนย์
- ถ้าความไวไม่คงที่ตลอดช่วงการทำงานของตัวรับรู้ สิ่งนี้เรียกว่าการไม่เป็นเชิงเส้น มักจะถูกกำหนดโดยปริมาณเอาท์พุทที่แตกต่างจากพฤติกรรมในอุดมคติตลอดช่วงที่เต็มสเกลของตัวรับรู้ มักจะหมายถึงเป็นร้อยละของจำนวนเต็มสเกล
- ถ้าค่าความเบี่ยงเบนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของคุณสมบัติที่ถูกวัดตลอดช่วงเวลา มันจะมีข้อผิดพลาดแบบไดนามิก บ่อยครั้งที่พฤติกรรมนี้จะถูกอธิบายด้วยการพล็อตกราฟที่เป็นลางแสดงให้เห็นข้อผิดพลาดที่มีความไวกับเฟสชิฟที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของสัญญาณอินพุทที่เป็นระยะๆ
- ถ้าสัญญาณเอาท์พุทเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆเป็นอิสระจากคุณสมบัติที่ถูกวัด สิ่งนี้ถูกกำหนดให้เป็น ตรีฟท์ (drift) ตรีฟท์ระยะยาวมักจะบ่งบอกถึงการเสื่อมสมรรถภาพอย่างช้า ๆ ของคุณสมบัติของตัวรับรู้ตลอดช่วงเวลาอันยาวนาน
- เสี่ยงรบกวนเป็นการเบี่ยงเบนแบบสุ่มของสัญญาณที่แปรตามเวลา
- hysteresis เป็นข้อผิดพลาดอันหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยเมื่อคุณสมบัติที่ถูกวัดเปลี่ยนทิศทางเป็นตรงกันข้าม แต่มีความล่าช้าของเวลาที่แน่นอนบางอย่างสำหรับตัวรับรู้ที่จะตอบสนอง เป็นการสร้างข้อผิดพลาดในการชดเชยที่แตกต่างกันในทิศทางหนึ่งมากกว่าอีกทิศทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าตัวรับรู้มีสัญญาณเอาท์พุทเป็นดิจิทัล เอาท์พุทจะเป็นค่าประมาณที่สำคัญของคุณสมบัติที่ถูกวัด ข้อผิดพลาดโดยประมาณจะถูกระบุว่า ข้อผิดพลาดจากการแปลงเป็นค่าดิจิทัล (อังกฤษ: digitization error)

- ถ้าสัญญาณถูกตรวจสอบแบบดิจิทัล ข้อจำกัดของความถี่ที่ใช้เพื่อสุ่มตัวอย่างยังสามารถทำให้เกิดข้อผิดพลาดแบบไดนามิกด้วยเช่นกัน หรือถ้าเสียงรบกวนที่มีการแปรเปลี่ยนหรือมีการเพิ่มเข้ามาทำการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะที่ความถี่ที่ใกล้อัตราการสุ่มตัวอย่างหลายกลุ่มอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดได้

- ตัวรับรู้อาจไวต่อคุณสมบัติอื่นบ้างไม่มากนักน้อยนอกเหนือจากคุณสมบัติที่กำลังถูกวัด ตัวอย่างเช่น ตัวรับรู้ส่วนใหญ่จะได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมของพวกมัน

- การเบี่ยงเบนทั้งหลายเหล่านี้สามารถแยกประเภทได้ว่าเป็นข้อผิดพลาดอย่างเป็นระบบหรือข้อผิดพลาดจากการสุ่ม ข้อผิดพลาดอย่างเป็นระบบบางครั้งอาจจะได้รับการชดเชยด้วยวิธีการบางอย่างของการสอบเทียบ เสียงรบกวนเป็นข้อผิดพลาดแบบสุ่มที่สามารถทำให้ลดลงได้โดยการประมวลผลสัญญาณ เช่นการกรอง ปกติจะอยู่ที่ค่าใช้จ่ายของพฤติกรรมแบบไดนามิกของตัวรับรู้

2.14.1.3 ความละเอียด

ความละเอียดของตัวรับรู้คือการเปลี่ยนแปลงที่เล็กที่สุดที่มันจะสามารถตรวจพบได้ในปริมาณที่มันกำลังวัด เช่นในจอแสดงผลแบบดิจิทัล หลักที่สำคัญน้อยที่สุดจะกระพริบ เป็นการแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดนั้นเท่านั้นที่จะถูกปรับละเอียด ความละเอียดจะเกี่ยวข้องกับความแม่นยำที่จะทำการวัด ตัวอย่างเช่นหัววัดอุโมงค์การสแกน (ปลายแหลมใกล้พื้นผิวใช้รวบรวมกระแสอุโมงค์อิเล็กตรอน) สามารถสร้างความละเอียดในการวัดอะตอมและโมเลกุล

2.14.1.4 ชนิดของเซนเซอร์ มีหลากหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น

- เซนเซอร์วัดแรงกด (Pressure sensor)
- เซนเซอร์อัลตราโซนิค (Ultrasonic sensor)
- เซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity sensor)
- เซนเซอร์แก๊ส (Gas sensor)
- เซนเซอร์ความเร่ง (Acceleration sensor)
- เซนเซอร์วัดระยะทาง (Displacement sensor)
- เซนเซอร์สี (Color sensor)

2.14.1.5 เซนเซอร์ในธรรมชาติ

อวัยวะของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดมีเซนเซอร์ทางชีวภาพที่มีหน้าที่คล้ายกับอุปกรณ์เชิงกลที่ได้อธิบายไว้ เซนเซอร์เหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นเซลล์พิเศษที่มีความไวต่อคุณสมบัติต่างๆ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แสง, การเคลื่อนไหว, อุณหภูมิ, สนามแม่เหล็ก, แรงโน้มถ่วง, ความชื้น, การสัมผัส, แรงดัน, สนามไฟฟ้า, เสียงและลักษณะทางกายภาพอื่นๆของสภาพแวดล้อมภายนอก
- ลักษณะทางกายภาพของสภาพแวดล้อมภายใน เช่น แรงยึด, การเคลื่อนไหวของอวัยวะ และตำแหน่งของอวัยวะที่ยื่นออกมาจากร่างกาย (การรับรู้การเคลื่อนไหวของอวัยวะ)
- โมเลกุลสิ่งแวดล้อมรวมทั้ง สารพิษ, สารอาหาร, และ พีโรโมน
- การประมาณค่าของการปฏิสัมพันธ์สารชีวโมเลกุลและตัวแปรทางจลนศาสตร์
- สภาพแวดล้อมการเผาผลาญภายใน เช่น ระดับน้ำตาล, ระดับออกซิเจน หรือ osmolality
- โมเลกุลสัญญาณภายใน เช่น ฮอรโมน, สารสื่อประสาท และ cytokines
- ความแตกต่างระหว่างโปรตีนของอวัยวะตัวเองและสภาพแวดล้อมหรือสิ่งมีชีวิตต่างด้าว

2.14.2 เซนเซอร์รับแรงกด (Force sensor resistor)

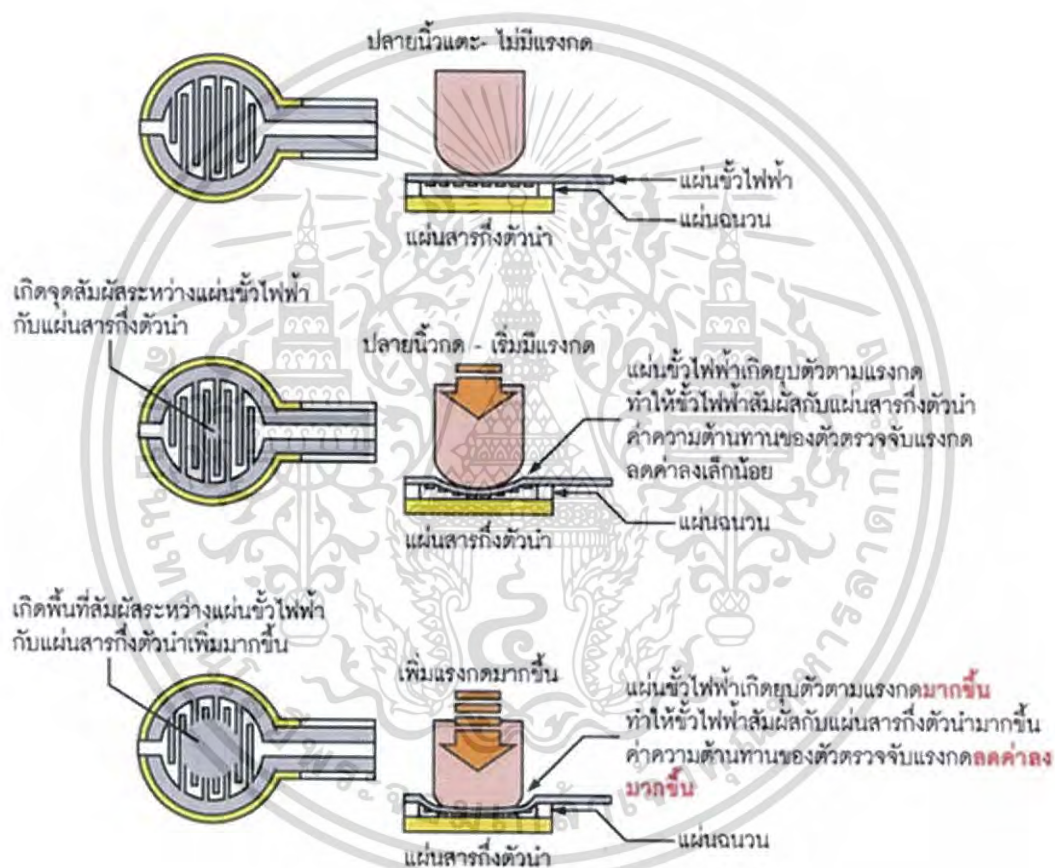
ในระบบวัดแรงกดนั้นนิยมใช้เซนเซอร์วัดแรงที่กระทำแบบค่าความต้านทาน เพื่อหาแรงกดที่เกิดขึ้น โดยเซนเซอร์รับแรงกดนั้น มีลักษณะดังรูปที่ 2.49



รูปที่ 2.49 ลักษณะโครงสร้างของตัวตรวจจับแรงกด FSR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

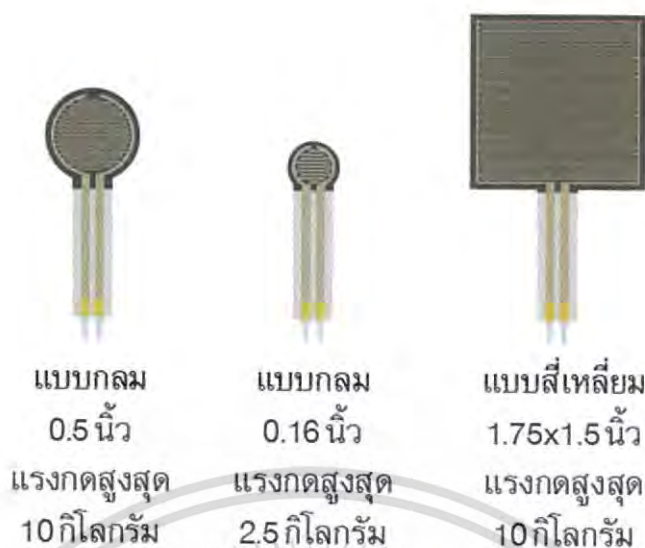
ตัวตรวจจับแรงกดมีหลายประเภท โดยได้อธิบายประเภท ตัวตรวจจับแรงกดแบบค่าความต้านทาน หรือ Force Sensing Resistor (FSR) ที่ใช้เทคโนโลยีฟิล์มโพลิเมอร์แบบหนา (Polymer Thick Film) โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวตรวจจับจะลดลง เมื่อมีแรงกดมากกระทำบนแผ่นตรวจจับ มีโครงสร้างของตัวตรวจจับแสดงในรูปที่ 2.50 ประกอบด้วยแผ่นสารกึ่งตัวนำแบบอ่อนที่เป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้า ประคบเข้ากับแผ่นขั้วไฟฟ้าแบบอ่อน โดยมีแผ่นฉนวนแบบอ่อนคั่นกลาง ทำให้เกิดค่าความต้านทานไฟฟ้าขึ้นระหว่างขาต่อใช้งาน เมื่อมีการกดลงบนแผ่นขั้วนำไฟฟ้า จะทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารกึ่งตัวนำกับขั้วไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงกระบวนการทำงานในรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 การทำงานของตัวตรวจจับแรงกด FSR

ดังนั้นตัวตรวจจับแรงกดแบบนี้จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการรับรู้ว่ามีแรงกดเกิดขึ้นหรือไม่ เนื่องจากค่าที่ได้จากตัวตรวจจับเป็นการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับพื้นที่ของการกด โดยตัวตรวจจับแรงกด FSR ที่มีจำหน่ายหลักๆ มี 3 ขนาดดังรูปที่ 2.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.51 ตัวตรวจจับแรงกด FSR ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

นอกจากเซนเซอร์รับแรงกดแล้ว ยังมีเซนเซอร์ชนิดอื่นที่นิยมใช้ในระบบการวัดแรงกด นั่นคือ เซนเซอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric sensor) ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 2.14.3

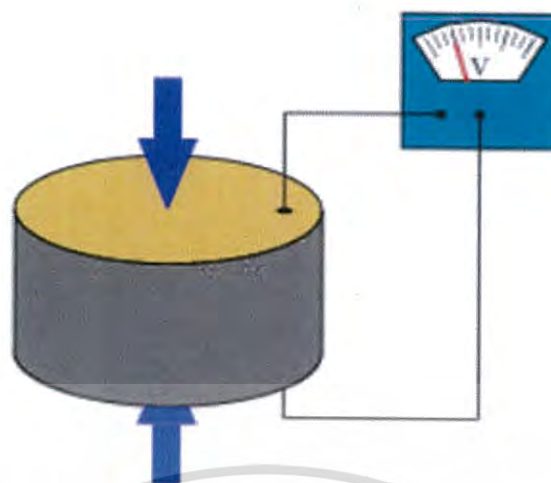
2.14.3 เซนเซอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric sensor)

เพียโซอิเล็กทริก คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแรงกดต่างๆ เช่น แรงดัน ความเร่ง การสั่น แรงเครียด หรือแรงกระทำอื่นๆ โดยเปลี่ยนพลังงานกลต่างๆ เหล่านี้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ในทางกลับกันเมื่อให้พลังงานไฟฟ้าแก่วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นเพียโซอิเล็กทริก วัสดุนั้นก็จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้เช่นกัน

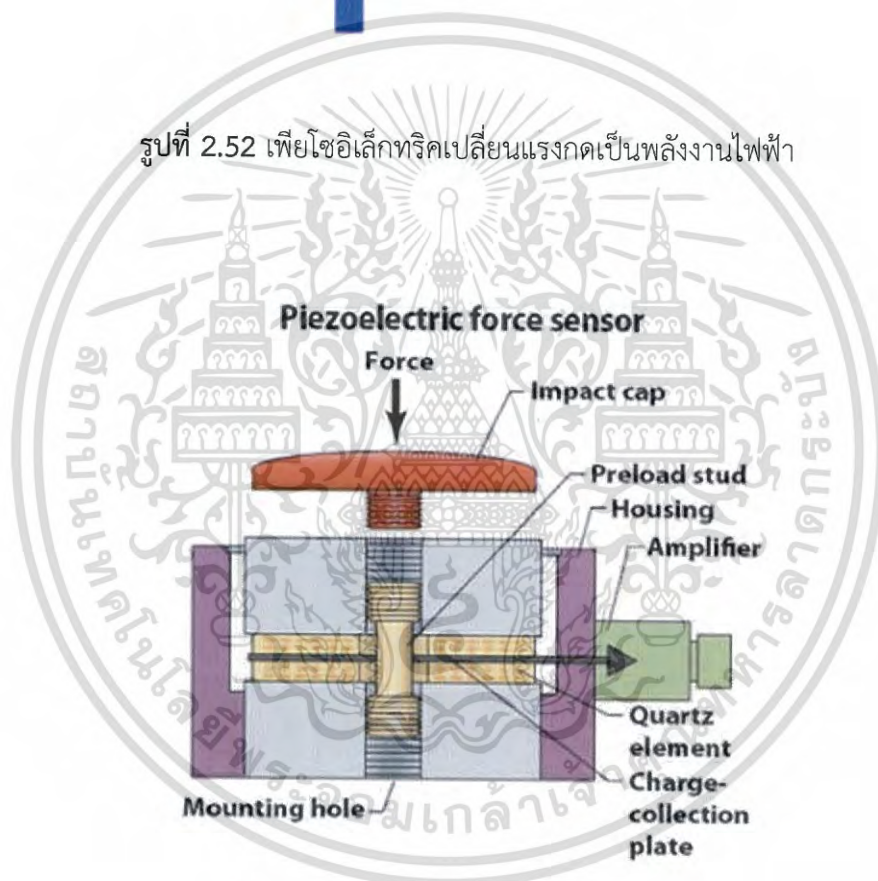
วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (inverse piezoelectric effect) การเปลี่ยนไปมาระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

สมบัติเพียโซอิเล็กทริก จะเกิดขึ้นในวัสดุที่มีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้าเท่านั้น วัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีทั้งที่พบในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ เช่น คริสตอล (gallium phosphate, quartz, tourmaline) เซรามิก โพลีเมอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.52 เพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแรงกดเป็นพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.53 รูปร่างของเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก

เซนเซอร์เพียโซสามารถนำไปใช้วัดการบิดตัว วัดการสัมผัส วัดแรงสั่นสะเทือน วันแรงดัน และวัดแรงกระแทก เนื่องจากมีความสามารถพิเศษคือ สามารถเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ และในทางกลับกันก็สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ด้วยเช่นกัน เพราะฉะนั้น เซนเซอร์ตัวนี้เลยถูกนำไปใช้ในวงการต่างๆมากมาย เช่น ในด้านวงการแพทย์ได้นำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องวัดความดันโลหิต (IOP) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริก ที่ผลิตขึ้นมา ใช้ตะกั่วเป็นตัวประกอบ ซึ่งตะกั่ว นั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างการนำเซนเซอร์เพียโซมาเชื่อมต่อกับวงจร ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์กำลังศึกษาหาวิธีผลิต เพียโซอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วขึ้น แม้จะทำสำเร็จได้บ้างแล้ว แต่คุณภาพยังไม่สามารถเทียบเท่าเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้ตะกั่วได้

2.15 เทคโนโลยีการวัดแรงกดที่ผ่านมา

2.15.1 การพิมพ์หมึกอย่างง่าย (Simple Ink Impression)

Simple ink impression หรือ การพิมพ์หมึกลงบนกระดาษ เป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันเป็นเวลานานแล้ว โดยอาศัยหลักการพิมพ์หมึกลงบนกระดาษ โดยใช้การพิมพ์เท้าโดยตรงจากเท้า สามารถดูจุดที่แรงกดสูงได้จากพื้นที่มีสีดำมากกว่าบริเวณอื่น แต่ไม่สามารถระบุค่าออกมาเป็นตัวเลขได้ ระบุได้เพียงว่าพื้นที่ใดมีแรงกดมากกว่าบริเวณอื่นเท่านั้น



รูปที่ 2.54 ตัวอย่างของการพิมพ์หมึกอย่างง่าย

2.15.2 การวัดด้วยวิธี Harris Mat

วิธีการนี้คล้ายกับ Simple ink impression โดยใช้แผ่นรองพื้นที่มีหมึกทาอยู่ด้านล่าง เพื่อพิมพ์ภาพแรงกดของเท้าขณะเดินเหยียบบนแผ่นรองลงบนกระดาษที่อยู่ด้านล่าง ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณตามแรงกดที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

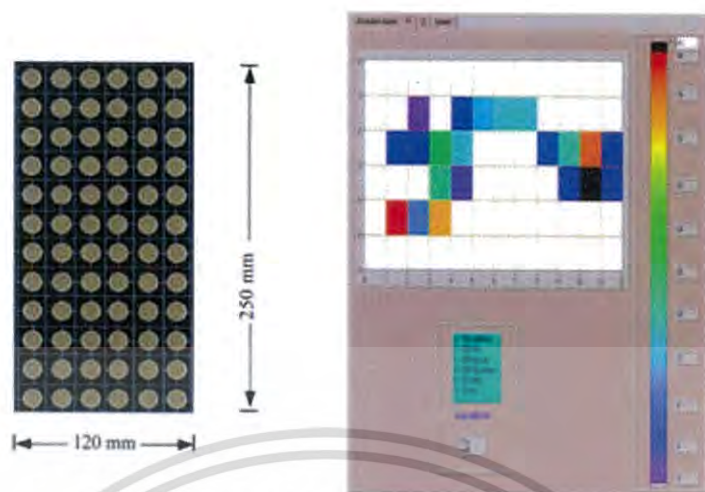


รูปที่ 2.55 ตัวอย่างภาพที่ได้จาก Harris Mat

ผลที่ได้นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Simple ink impression แล้ว จะพบว่า มีความละเอียดมากกว่า มีตารางเล็กๆแบ่งพื้นที่ทำออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบในแต่ละจุด แต่ก็แยกแยะได้ยาก เนื่องจากยังต้องใช้การสังเกตความแตกต่างด้วยตาเปล่าเท่านั้น

2.15.3 เครื่องวัดแรงกดของเท้า (Pedograph)

เครื่องวัดแรงกดของเท้า นั้นจะใช้ pressure sensor ขนาดเล็กวางเรียงตัวเป็นเมทริกซ์เพื่อใช้เป็นพื้นที่ในการรับแรงที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีผู้ป่วยยืนอยู่บนเครื่อง ตามที่แสดงในรูปที่ 2.56 จะเห็นว่าเมื่อวางเซนเซอร์ทั้ง 72 ตัว เรียงตัวเป็นเมทริกซ์ 6x12 เพื่อใช้ในการรับแรงกดจากผู้ป่วย ผลลัพธ์ที่ได้นั้น จะความละเอียดอยู่ 72 พิกเซลนั่นเอง



รูปที่ 2.56 ตัวอย่างการเรียงตัวของ pressure sensor

วิธีนี้สามารถหาแรงกดที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งบนพื้นเท้าได้อย่างชัดเจน เนื่องจากมีเซนเซอร์วัดแรงกดโดยตรง โดยความละเอียดของผลลัพธ์นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเซนเซอร์ที่ใช้ และขนาดของเซนเซอร์ด้วยเช่นกัน เมื่อใช้เซนเซอร์ขนาดใหญ่จะทำให้มีความละเอียดที่ได้นั้นจะน้อย เกิดการประมาณค่าที่ผิดไปซึ่งเป็นผลมาจากการหาค่าเฉลี่ยแรงกดของบริเวณนั้น ในทางตรงกันข้าม หากใช้เซนเซอร์ที่ขนาดเล็กลง ย่อมได้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูงขึ้น ความแม่นยำเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากต้องทำให้เซนเซอร์ที่ขนาดเล็กลง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเซนเซอร์นั้นสูงขึ้นไปด้วย

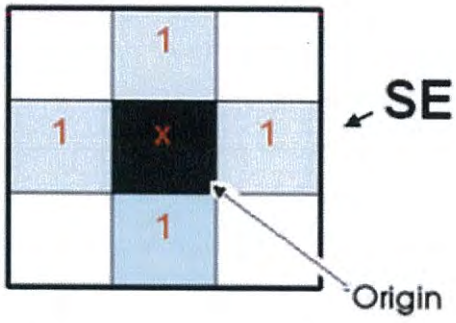
2.16 การดำเนินการทาง Morphological

Mathematical morphology เป็นเครื่องมือที่ใช้งานด้าน digital image processing สำหรับตัดต่อ หรือ แต่งเติมส่วนขอบของภาพ โครงสร้างของภาพ โดยใช้ทฤษฎีของเซต ซึ่งเซตใน Morphology จะแทนรูปร่างหรือรูปทรงของวัตถุในภาพ เช่นกลุ่มของสีค่าทั้งหมดในภาพไบนารี สำหรับการทำให้ Morphological สามารถใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวน ขยายพื้นที่ของวัตถุ และกำจัดส่วนเกินของวัตถุได้อีกด้วย

2.16.1 การขยายและการลดขยาย (Dilation and Erosion)

2.16.1.1 การขยายขนาด (Dilation) คือการขยายพิกเซลของภาพ โดยการสแกนค่าของ SE (Structuring Element) ดังรูปที่ 2.57 ลงบนแต่ละพิกเซล โดยทำการสแกนจากตำแหน่งบนซ้ายไปยังตำแหน่งล่างขวา ซึ่งจะเปลี่ยนค่าของพิกเซลที่มีค่าเป็น 0 ให้เป็น 1 เมื่อค่าของพิกเซลใดๆ พิกเซลหนึ่งบน SE มีค่าตรงกับค่าของพิกเซลของภาพ และจะมีค่าคงเดิม เมื่อทุกค่าของ SE มีค่าตรงกับทุกค่าของพิกเซลภาพ แสดงตามรูปที่ 2.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

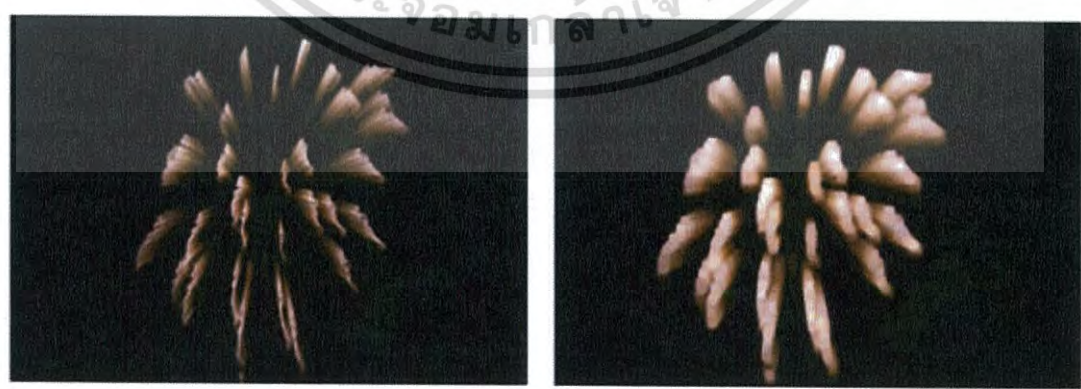


รูปที่ 2.57 ค่าของ SE (Structuring Element)



รูปที่ 2.58 การทำงานของ Dilation

จากรูปที่ 2.58 เมื่อค่าของพิกเซลใน SE ตรงกับค่าของพิกเซลใดๆ พิกเซลหนึ่งของภาพพิกเซลที่ตำแหน่ง Origin จะเปลี่ยนเป็น 1 โดยผลลัพธ์ของ Dilation แสดงดังรูปที่ 2.59 (ข)



(ก.)

(ข.)

รูปที่ 2.59 ภาพการทำ Dilation (ก.) ภาพต้นฉบับ (ข.) ผลลัพธ์จากการทำ Dilation

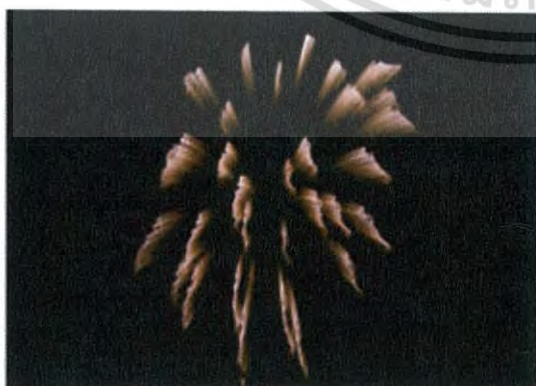
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.1.2 การลดขนาด (Erosion) เป็นวิธีการที่ทำงานตรงข้ามกับ Dilation คือจะลดขนาดของพิกเซล จากการสแกนค่าของ SE บนแต่ละค่าของพิกเซลภาพ โดยทำการสแกนจากตำแหน่งบนซ้ายไปยังตำแหน่งล่างขวา ซึ่งจะเปลี่ยนค่าของพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 ให้มีค่าเป็น 0 เมื่อพิกเซลใดพิกเซลหนึ่งบน SE มีค่าตรงกับค่าของพิกเซลภาพ และจะมีค่าคงเดิม เมื่อทุกพิกเซลของ SE มีค่าตรงกับค่าของพิกเซลภาพ แสดงดังรูปที่ 2.60



รูปที่ 2.60 การทำงานของ Erosion

จากภาพที่ 2.60 เมื่อค่าของพิกเซลใน SE ทุกๆพิกเซลมีค่าตรงกับค่าของพิกเซลในภาพทุกตำแหน่ง พิกเซลที่ตำแหน่ง Origin จะมีค่าคงเดิม และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อค่าของ SE ตรงกับค่าของพิกเซลใดพิกเซลหนึ่งของภาพ ผลลัพธ์ของ Erosion แสดงดังรูปที่ 2.61 (ข)



(ก)

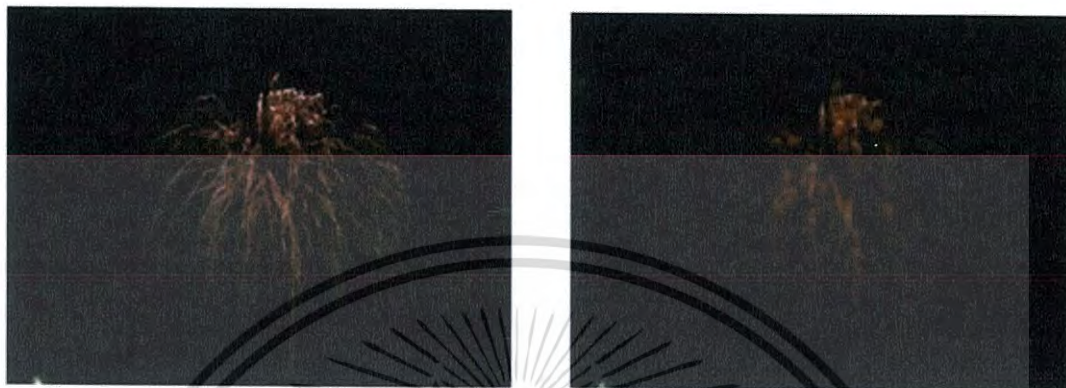


(ข)

รูปที่ 2.61 ภาพการทำ Erosion (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลลัพธ์จากการทำ Erosion เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.2 การดำเนินการ Opening and Closing

2.16.2.1 การดำเนินการ Opening ใช้เพื่อกำจัดรายละเอียดขนาดเล็กของภาพ และการทำ Opening จะทำให้พิกเซลของภาพจะถูกเปิดกว้างมากขึ้นดังรูปที่ 2.62 และวิธีการของ Opening คือการทำ Erosion ก่อน จากนั้นจึงทำ Dilation



(ก)

(ข)

ภาพที่ 2.62 ภาพการทำ Opening (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลลัพธ์จากการทำ Opening

2.16.2.2 การดำเนินการ Closing ทำในวิธีตรงข้ามกับ Opening เป็นการทำให้ภาพมีการเชื่อมต่อกันมากขึ้น และการทำ Closing จะทำให้พิกเซลของภาพจะถูกปิดเชื่อมต่อกันมากขึ้น ดังรูปที่ 2.63 วิธีการทำ Closing คือการทำ Dilation ก่อน จากนั้นจึงทำ Erosion



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.63 ภาพการทำ Closing (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลลัพธ์จากการทำ Closing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 นอร์มัลไลเซชัน (Normalization)

ในทางสถิติและการประยุกต์ใช้เรื่อง normalization สามารถระบุขอบเขตของความหมายได้ในกรณีที่ง่ายที่สุดนั้น การนอร์มัลไลเซชันของข้อมูลนั้นหมายถึงการปรับค่าจากการวัดที่มีระดับสเกลแตกต่างกันให้เป็นระดับสเกลพื้นฐาน มักจะใช้ก่อนที่จะมีการเฉลี่ย ในกรณีที่ซับซ้อนขึ้น การนอร์มัลไลเซชันนั้นอาจจะหมายถึงการปรับที่ซับซ้อนขึ้นในที่ที่สนใจให้เป็นการแจกแจงทางความน่าจะเป็น (probability distributions) หรือเป็นนำข้อมูลที่ปรับเข้าสู่การจัดตำแหน่ง และในกรณีของการ normalization ของคะแนนในการประเมินผลทางการศึกษา อาจจะมีความตั้งใจที่จะปรับการแจกแจงให้เป็นการแจกแจงปกติ (normal distributions) วิธีที่แตกต่างในการนอร์มัลไลเซชันของการแจกแจงทางความน่าจะเป็น คือ การนอร์มัลไลเซชันแบบควอนไทล์ (quantile normalization) ที่นำเอาค่าควอนไทล์ ของค่าที่แตกต่างกันมาใช้ในการจัดตำแหน่ง

ในการใช้งานอื่นๆทางสถิติ การนอร์มัลไลเซชันอาจหมายถึงการขยับและการปรับขนาดของรูปแบบทางสถิติที่ทำให้ค่าที่ผ่านการนอร์มัลไลเซชันแล้วจะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ผ่านการนอร์มัลไลเซชันของชุดข้อมูลที่สอดคล้องกัน ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากอิทธิพลขั้นต้นบางอย่าง บางชนิดของนอร์มัลไลเซชันจะเกี่ยวข้องเฉพาะการปรับขนาดที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบกับตัวแปรบางขนาดที่ต้องการ

การนอร์มัลไลเซชันชนิดต่างๆในทางสถิตินั้น ถูกแสดงตัวอย่างลงในตารางที่ 2.3 ซึ่งต้องเข้าใจว่าในแง่ของระดับการวัดนั้น อัตราส่วนเหล่านี้ใช้เฉพาะการวัดอัตราส่วน ไม่ใช่การวัดช่วงเวลา

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของนอร์มัลไลเซชัน (normalization)

ชื่อ	สมการ	การใช้งาน
Standard score	$\frac{X - \mu}{\sigma}$	Normalizing errors เมื่อตัวแปรของประชากรเป็นที่รู้จัก สามารถทำงานได้สำหรับประชากรที่มีการแจกแจงปกติ
Student's t-statistic	$\frac{X - \bar{X}}{s}$	Normalizing residual เมื่อตัวแปรของประชากรไม่เป็นที่รู้จัก (ประมาณ)
Studentized residual	$\frac{\epsilon}{\hat{\sigma}} = \frac{X_i - \mu}{\hat{\sigma}}$	Normalizing residual เมื่อตัวแปรถูกประมาณค่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้ามจุดข้อมูลที่ต่างกันบนการวิเคราะห์การถดถอย
Standardized moment	$\frac{\mu_k}{\sigma^k}$	Normalizing moment ใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เป็นตัววัดสเกล
Coefficient of variation	$\frac{\sigma}{\mu}$	Normalizing dispersion ใช้ค่าเฉลี่ย (μ) เป็นตัววัดสเกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการแจกแจงทางบวก
Feature scaling	$X' = \frac{(X - X_{min})(b - a)}{X_{max} - X_{min}}$	ถูกใช้เพื่อปรับค่าทั้งหมดลงในช่วง 0 ถึง 1 ($a = 0$ และ $b = 1$) เรียกว่า 'unity-base normalization' ซึ่งสามารถนำไปใช้ทั่วไป ในการสร้างช่วงจำกัดของข้อมูลระหว่างจุดใดๆ a ถึง b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หรือคุณลักษณะของข้อมูล 2 ประเภท และนำผลของความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ไปคาดเดาค่าของตัวแปรหรือคุณลักษณะของข้อมูลได้ ในการวิเคราะห์การถดถอยนั้นจะมีการจำแนกตัวแปรที่จะศึกษาเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable : y) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable : x) โดยตัวแปรอิสระนั้น คือ ตัวแปรหรือคุณลักษณะของข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ตัวแปรตาม

การวิเคราะห์การถดถอย จะแตกต่างจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เพราะการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยสนใจเพียงว่าตัวแปรที่กำหนดมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ สัมพันธ์มากเท่าใด และไปในทิศทางใด โดยไม่ได้สนใจชนิดของตัวแปร เพราะการวิเคราะห์สหสัมพันธ์จะไม่มีผลกระทบซึ่งจะแตกต่างจากการวิเคราะห์การถดถอย เพราะเป็นการพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ซึ่งจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient)

โดยการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์การถดถอยจะเป็นการหาพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม ณ ค่าตัวแปรอิสระ (x) ที่กำหนด ถ้าค่า x ที่ใช้ในการพยากรณ์อยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของการสังเกตของตัวแปรอิสระจากการเก็บข้อมูล เรียกการพยากรณ์นี้ว่า Interpolation แต่ถ้าเป็นการพยากรณ์จากค่า x ที่อยู่นอกช่วงของค่าที่ได้จากการสังเกตหรือเก็บข้อมูลของตัวแปรอิสระ จะถูกเรียกว่า Extrapolation

ในการคำนวณหาสมการถดถอย (Regression line) ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น (linear) นั้น จะมีสมการพื้นฐาน คือ

$$y = \alpha + \beta x \quad (2.7)$$

โดยที่

y คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล y หรือก็คือ ชุดข้อมูลตัวแปรตาม

x คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล x หรือก็คือ ชุดข้อมูลตัวแปรอิสระ

α คือ ค่าคงที่ (constant) หรือ ค่าตัดแกน y

β คือ ค่าความชัน (slope) ของเส้นกราฟ

เนื่องจากการวิเคราะห์การถดถอยนั้น ตัวแปร x จะถูกกำหนดค่าไว้ก่อน และ ค่า y จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปร x และเมื่อนำชุดข้อมูลทั้ง 2 ไปพล็อตบนกราฟ เส้นกราฟของ regression line ที่สร้างนั้นจะเป็นเส้นกราฟที่ระบุหรือคาดเดาค่าความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ชุดข้อมูลออกมาเป็นกราฟเส้นตรง โดยสร้างขึ้นมาจากสมการถดถอยตามสมการที่ 2.7 โดยสามารถคำนวณค่า α และ β ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \frac{\sum y - \beta \sum x}{N} \quad (2.8)$$

และ

$$\beta = \frac{N \sum(xy) - (\sum x)(\sum y)}{N \sum(x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.9)$$

นอกจากนี้การวิเคราะห์การถดถอยนั้นสามารถคำนวณถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ว่า ข้อมูลทั้ง 2 ชุดนั้นมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตัวแปรทั้ง 2 ชุด โดยที่ r^2 จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของกาตัดสินใจ (coefficient of determination) ทำให้สามารถพยากรณ์ได้คร่าวๆโดยไม่จำเป็นต้องหาสมการถดถอย สามารถคำนวณค่า r^2 ได้จากสมการที่ 2.10

$$r^2 = \frac{[N \sum(xy) - (\sum x)(\sum y)]^2}{(N \sum(x^2) - (\sum x)^2)(N \sum(y^2) - (\sum y)^2)} \quad (2.10)$$

หรือก็คือ ค่า r จะมีค่าเท่ากับ

$$r = \frac{[N \sum(xy) - (\sum x)(\sum y)]}{\sqrt{(N \sum(x^2) - (\sum x)^2)(N \sum(y^2) - (\sum y)^2)}} \quad (2.11)$$

ค่า r นั้นมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 โดยหากเป็นค่าบวกจะหมายความว่า ชุดข้อมูล y นั้นจะเพิ่มขึ้น เมื่อชุดข้อมูล x เพิ่มขึ้น และหากยังมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ที่เข้าใกล้ความเป็นเชิงเส้นมาก ในทางตรงกันข้าม หากเป็นค่าลบจะหมายความว่า ชุดข้อมูล y นั้นจะลดลง เมื่อชุดข้อมูล x เพิ่มขึ้น และหากยังมีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ที่เข้าใกล้ความเป็นเชิงเส้นมาก แต่ถ้าหากค่า r นั้นเข้าใกล้ 0 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ที่แทบจะไม่เป็นเชิงเส้น ข้อมูลอาจจะมาจากการสุ่ม หรือเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น

บทที่ 3

การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้นำงานวิจัยในระดับปริญญาตรี “การวัดแรงกดของเท้าโดยใช้กล้องดิจิทัล” [5] เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาระบบ แก๊ไขส่วนที่บกพร่องให้ดีขึ้น และดำเนินงานส่วนอื่นๆต่อ โดยในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

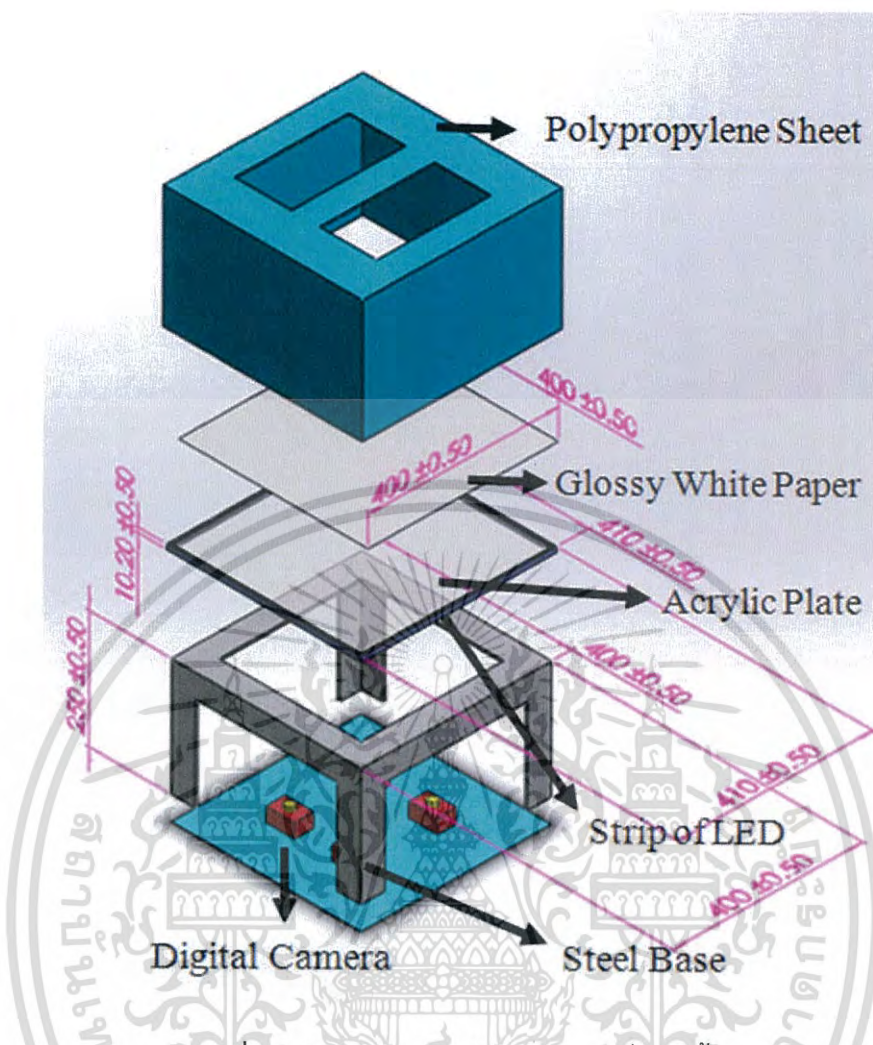
3.1.1 การออกแบบแท่นยืนสำหรับระบบการแสดงผลแรงกดทับของเท้า

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่

1. แผ่นอะคริลิกใส มีขนาดดังนี้
 - ความกว้าง 40 เซนติเมตร
 - ความยาว 40 เซนติเมตร
 - ความหนา 1 เซนติเมตร
2. แล็บแอลอีดี ความยาว 160 เซนติเมตร
3. กระดาษ glossy 120 แกรม
4. เหล็กฉาก
5. แผ่นโพลีโพรพิลีน (ฟิวเจอร์บอร์ด) ทึบสีดำ หนา 0.2 เซนติเมตร
6. แท่นไม้ ความหนา 4 เซนติเมตร

แท่นยืนสำหรับระบบการแสดงผลแรงกดบริเวณฝ่าเท้า นั้น ฐานที่ใช้รับแผ่นอะคริลิกนั้น ใช้เหล็กฉากประกอบขึ้นเป็นฐานรองรับน้ำหนัก โดยโครงสร้างเป็นรูปแบบโต๊ะ มีความสูง 15 เซนติเมตร เพื่อรับน้ำหนักของคนและแผ่นอะคริลิกได้ เนื่องจากเหล็กเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน สามารถรับน้ำหนักได้ดี ในส่วนของแผ่นอะคริลิกใส นั้น เนื่องจากอะคริลิกเป็นพลาสติก มีความยืดหยุ่นมากกว่ากระจก ทำให้มีโอกาสเกินอันตรายจากการแตกหักน้อยกว่ากระจก และด้านบนของแผ่นอะคริลิกจะมีกระดาษ glossy สีขาว ที่มีความหนา 120 แกรม ปิดอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้สำหรับการวางเท้า นอกจากนี้ยังสร้างฝาครอบด้วยแผ่นโพลีโพรพิลีนหรือฟิวเจอร์บอร์ดเพื่อครอบแท่นยืนไว้ ใช้ในการป้องกันแสงรบกวนจากภายนอกระบบด้วย

เลือกใช้แล็บแอลอีดีแบบ Cool White เพื่อให้แสงสว่างแก่ระบบ โดยล้อมรอบแผ่นอะคริลิกทั้ง 4 ด้าน และเนื่องจากแล็บแอลอีดีสามารถงอทำมุมได้ จึงง่ายต่อการติดตั้งให้กับระบบ โดยแสงที่ปล่อยออกมาจะเกิดการสะท้อนภายในแผ่นอะคริลิกและหักเหลงสู่ด้านล่างและถูกรับภาพโดยเซ็นเซอร์แบบออปติคัล หรือ กล้องดิจิทัลทั้ง 4 ตัว เพื่อนำไปประมวลผลภาพต่อใน Raspberry Pi ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างตัวอย่างของระบบที่สร้างขึ้น

3.1.2 การรับข้อมูลภาพและการประมวลผล

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. กล้องเว็บแคม รุ่น C170 4 ตัว

โดยกล้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ความละเอียดสูงสุด : 1024 x 768 พิกเซล
- เทคโนโลยี Logitech Fluid Crystal™
- รับรองการใช้งาน Hi-Speed ยูเอสบี 2.0

2. Raspberry Pi

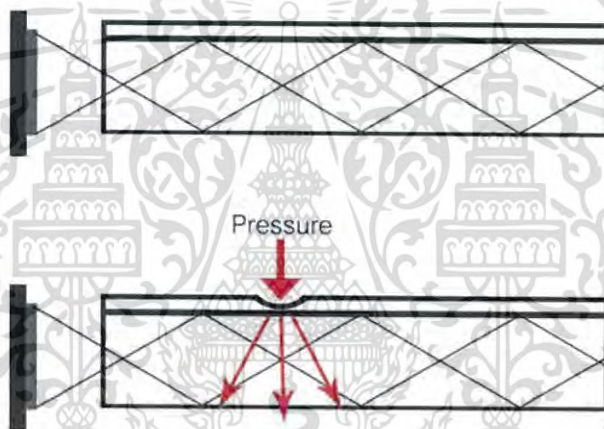
3. จอภาพแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการรับข้อมูลภาพการวางเท้าบนแท่นยืนนั้น ต้องใช้กล้องเว็บแคม C170 ทั้งหมด 4 ตัว ติดตั้งไว้ใต้ตำแหน่งสำหรับการวางเท้าอย่างเหมาะสม เพื่อให้สามารถรับภาพได้ทั้ง 2 เท้า เพื่อนำภาพเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพต่อไป โดยวางบนแผ่นพีวีเจอร์บอร์ด และใช้แท่งไม้เสริมใต้ระบบ ทำให้ช่วยเพิ่มความสูงให้ระบบและช่วยในการยึดตำแหน่งในการวางแท่นยืนให้ตรงกับกล้องอีกด้วย

ในขณะที่ปกติ เมื่อไม่มีแรงกดใดๆบนแท่นยืน หรือ ไม่มีคนยืนอยู่บนแท่นยืน กล้องจะรับภาพได้เพียงแค่พื้นหลังสีดำเท่านั้น (จากการควบคุมแสงจากภายนอกไม่ให้เข้ามา) แต่เมื่อมีแรงกดเกิดขึ้น อากาศระหว่างแผ่นกระดาษ glossy กับแผ่นอะคริลิก จะหายไป เนื่องจากถูกแทนที่ด้วยแรงกดที่เกิดขึ้น เป็นผลให้เกิดการสะท้อนของแสงที่ตำแหน่งนั้นเปลี่ยนแปลงไป ทำให้แสงเกิดการหักเหและสะท้อนไปยังแผ่นกระดาษ glossy และเกิดการหักเหลงด้านล่าง ซึ่งจะเกิดเป็นจุดสว่างขึ้น (Bright Spots) โดยที่ความสว่างจะเพิ่มขึ้นตามแรงกดที่เพิ่มมากขึ้น

กล้องเว็บแคม C170 ที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างจะรับภาพที่เกิดขึ้น เข้าสู่ Raspberry Pi เพื่อนำข้อมูลภาพที่ได้ไปใช้ประมวลผล และแสดงผลขึ้นสู่จอภาพ



รูปที่ 3.2 ลักษณะการสะท้อนขอแสงภายในระบบ

3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ (Software)

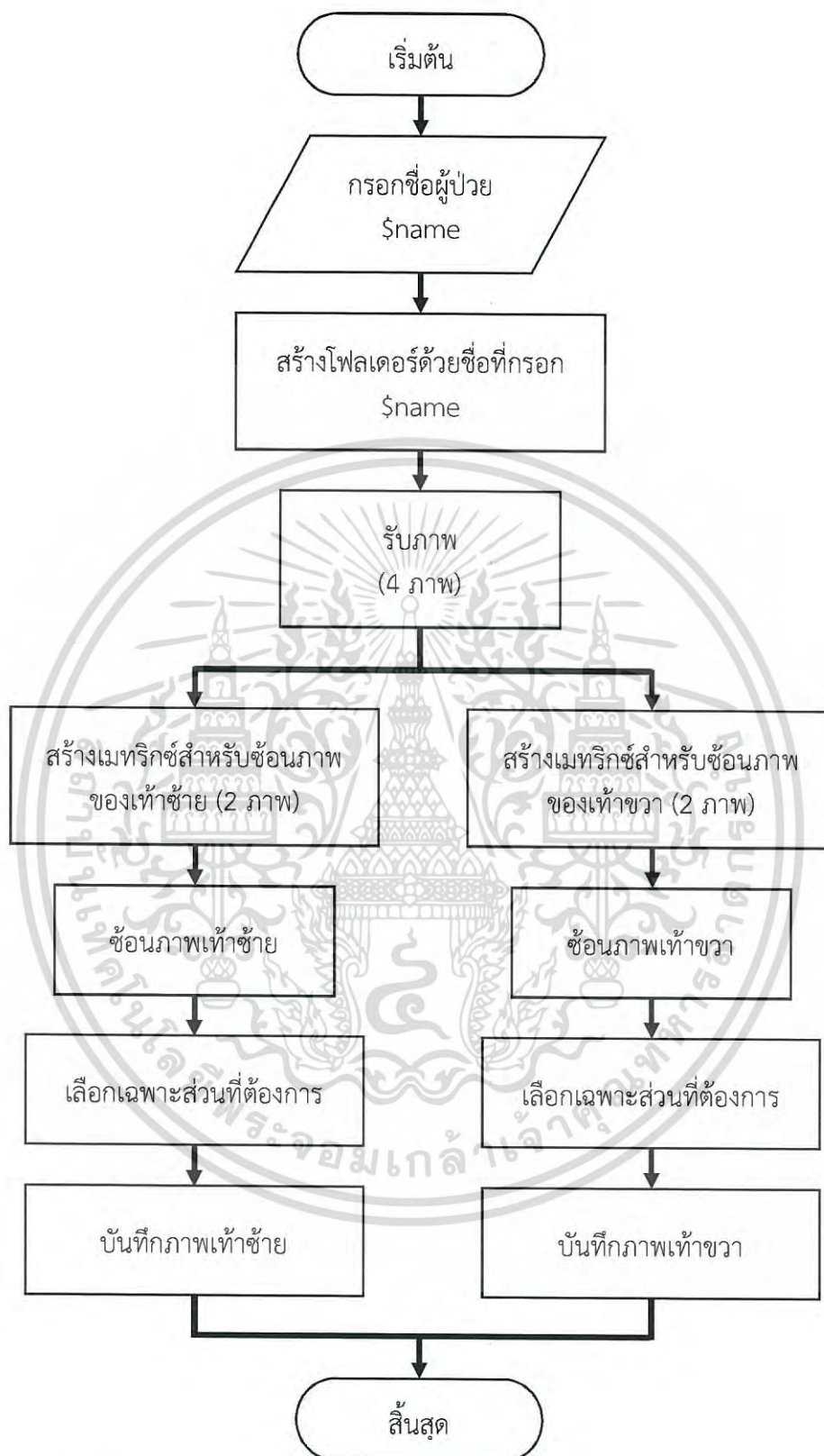
ซอฟต์แวร์ที่ออกแบบนั้น จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ส่วนที่ใช้รับภาพ
- ส่วนที่ใช้ประมวลผลภาพ

3.2.1 ส่วนที่ใช้รับภาพ

ขั้นตอนในส่วนนี้จะอาศัยการทำงานของ Shell Script บน Raspberry Pi เพื่อการรับภาพและประมวลผลภาพที่ได้ ให้สามารถนำภาพไปวิเคราะห์ผลต่อไปได้ โดยขั้นตอนการทำงานโดยรวมสามารถแสดงได้แผนผัง ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังของการทำงานในส่วนการรับภาพเพื่อนำมาประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการรับภาพก่อนนำเข้าสู่ Raspberry Pi นั้น จากแผนผังจะพบว่า เริ่มต้นจากการเรียกไฟล์คำสั่งขึ้นมาและกรอกชื่อของผู้ป่วยเข้าสู่ระบบด้วยตัวแปร \$name หลังจากนั้น Raspberry Pi จะทำการสร้างโฟลเดอร์เป็น directory ขึ้นมาเป็นชื่อของผู้ป่วย เพื่อเก็บข้อมูลต่างๆของผู้ป่วย หลังจากนั้นจะเริ่มทำการเก็บภาพจากกล้องดิจิตอลทั้ง 4 ตัว เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการรวมภาพ และเนื่องจากกล้องมีตำแหน่งติดตั้งที่แน่นอน จึงสามารถใช้การซ้อนทับภาพในตำแหน่งที่แน่นอนได้ โดยเริ่มจากการสร้างพื้นที่เมทริกซ์ (matrix) เพื่อการวางภาพและซ้อนทับภาพของแต่ละเท่าที่ละภาพ แยกจากกัน และจึงตัดส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งออกไป เลือกเฉพาะส่วนที่ต้องการ แล้วบันทึกภาพลงไปในโฟลเดอร์ที่สร้างขึ้น จึงจะจบกระบวนการในขั้นตอนนี้ และ เข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพ

โดยโค้ดคำสั่งของกระบวนการในส่วนนี้ มีดังนี้

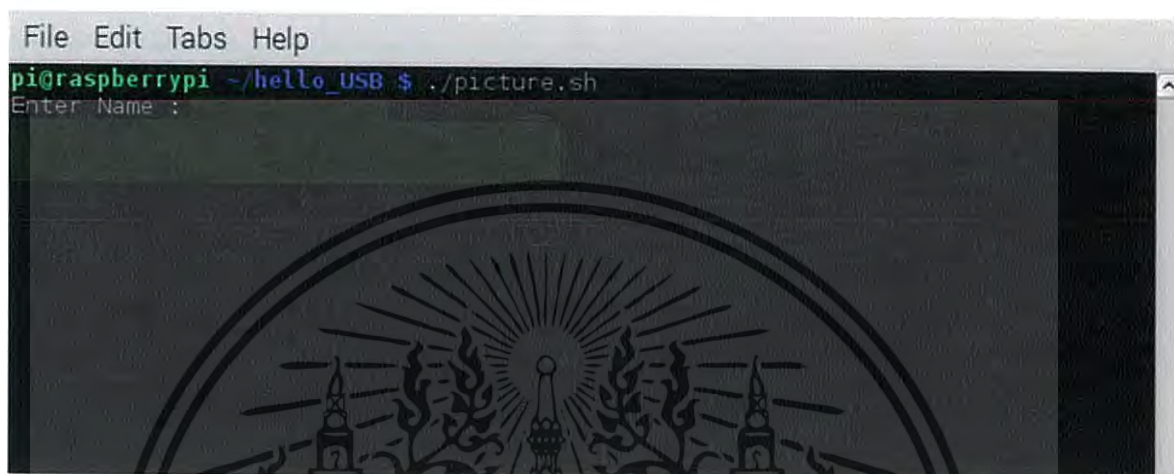
```

1  #!/bin/bash
2  echo -n "Enter Name : "
3  read name
4  mkdir $name
5  fswebcam -p YUYV -d /dev/video0 -r 1024x768 -S 15 --scale 640x480 --no-banner
   /home/pi/hello_USB/$name/1_$name.jpg
6  fswebcam -p YUYV -d /dev/video1 -r 1024x768 -S 15 --scale 640x480 --no-banner
   /home/pi/hello_USB/$name/2_$name.jpg
7  fswebcam -p YUYV -d /dev/video2 -r 1024x768 -S 15 --scale 640x480 --no-banner
   /home/pi/hello_USB/$name/3_$name.jpg
8  fswebcam -p YUYV -d /dev/video3 -r 1024x768 -S 15 --scale 640x480 --no-banner
   /home/pi/hello_USB/$name/4_$name.jpg
9  convert black.jpg $name/3_$name.jpg -geometry +0+75 -composite
   $name/Rhalf_$name.jpg
10 convert $name/Rhalf_$name.jpg $name/1_$name.jpg -geometry +430+100 -
   composite $name/Rfull_$name.jpg
11 convert $name/Rfull_$name.jpg -crop 1100x700+0+0 -rotate "-90>"
   $name/Rcrop_$name.jpg
12 convert black.jpg $name/2_$name.jpg -geometry +0+80 -composite
   $name/Lhalf_$name.jpg
13 convert $name/Lhalf_$name.jpg $name/4_$name.jpg -geometry +440+60 -
   composite $name/Lfull_$name.jpg
14 convert $name/Lfull_$name.jpg -crop 1100x700+0+0 -rotate "-90>"
   $name/Lcrop_$name.jpg

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโค้ดดังกล่าวจะอยู่ใน shell script ที่มีชื่อ picture.sh โดยขณะทำการเปิด script ผ่าน command line บน Raspberry Pi นั้น จะมีคำว่า “Enter name:” ปรากฏขึ้นมา ตามรูปที่ 3.4 เพื่อกรอกชื่อหรือรหัสของผู้ป่วยเข้าไปเพื่อสร้างที่จัดเก็บข้อมูลรูปภาพทั้งหมดของผู้ป่วย ซึ่งในช่วงขั้นตอนนี้จะถูกระบุจากโค้ดบรรทัดที่ 2-4 ที่จัดเก็บข้อมูลนี้สร้างขึ้นเพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการตรวจสอบภาพทั้งหมดของผู้ป่วยในภายหลังจากชื่อหรือรหัสที่บ้านทักไว้



รูปที่ 3.4 การเริ่มต้นกระบวนการรับภาพบน Raspberry Pi

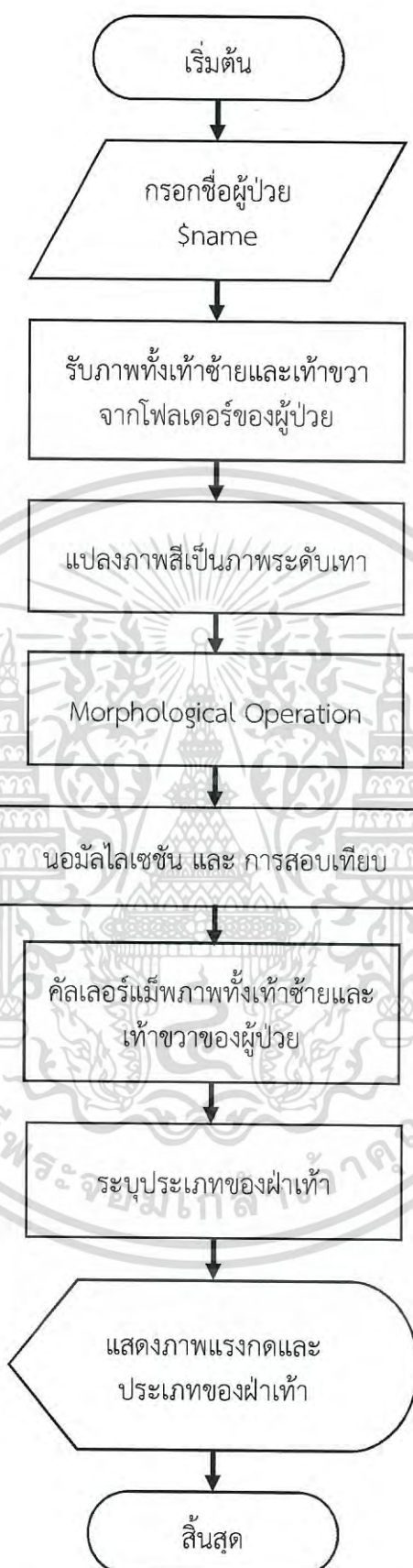
ในส่วนของการเก็บภาพนั้นจำเป็นต้องข้ามเฟรมของกล้องหลังการเปิดกล้องก่อนการเก็บภาพด้วย เพื่อให้กล้องพร้อมใช้งานเสียก่อน โดยจะเห็นว่าในโค้ดบรรทัดที่ 5-8 จะเป็นการรับภาพจากทั้ง 4 กล้องนั้น มีคำสั่งเสริม “-S 15” จะเป็นการข้ามเฟรมไป 15 เฟรมแล้วจึงจะเก็บภาพ เพื่อให้กล้องทำงานให้สมบูรณ์ขณะเริ่มเรียกใช้งาน จะทำให้ได้ภาพที่ได้มีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม

ภาพที่ได้นั้น จะมีความละเอียดอยู่ที่ 1024x768 พิกเซล และมีขนาด 640x480 พิกเซล ทั้ง 4 ภาพ โดย 2 ภาพจะเป็นของเท้าข้างขวา และอีก 2 ภาพที่เหลือจะเป็นเท้าด้านซ้าย ภาพจะถูกบันทึกลงในโฟลเดอร์ที่มีชื่อของผู้ป่วย เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบในภายหลัง ต่อมา กระบวนการซ้อนทับภาพเท้าข้างขวา จะอยู่ในบรรทัดที่ 9-11 และ บรรทัดที่ 12-14 จะเป็นของเท้าด้านซ้าย และเช่นเดียวกันกับการรับภาพ คือ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วจะบันทึกภาพลงในโฟลเดอร์ของผู้ป่วยเช่นเดิม โดยผลจากกระบวนการในขั้นตอนนี้จะอธิบายต่อไปในบทที่ 4 ผลการทดลอง

3.2.2 ส่วนการประมวลผลภาพ

ในขั้นตอนนี้ จะทำการดึงภาพจากขั้นตอนแรกมาใช้ เพื่อทำการประมวลผลวิเคราะห์ความผิดปกติของฝ่าเท้า โดยใช้การเขียนโปรแกรม c++ ในการวิเคราะห์ผล โดยขั้นตอนการทำงานแสดงตามแผนผัง ในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนผังของการทำงานในส่วนของการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

30 //Convex
31     int thresh = 90;
32     int max_thresh =255;
33     RNG rng(12345);
34 //function convex header
35     void thresh_callbackR(int, void*);
36     void thresh_callbackL(int, void*);
37
38 int main()
39 {
40
41 //Load Raw Image
42     cv::Mat LFull, Lgray, RFull, Rgray;
43     char str[80];
44     printf("Enter Name : ");
45     scanf("%79s", str);
46
47     string x, L, R;
48     x = str;
49     L = x+"/Lcrop_" +x+".jpg";
50     R = x+"/Rcrop_" +x+".jpg";
51     LFull = cv::imread(L);
52     RFull = cv::imread(R);
53
54 //Gray Image
55     string GL, GR;
56     GL = x+"/Lgray_" +x+".jpg";
57     GR = x+"/Rgray_" +x+".jpg";
58
59     cvtColor(LFull, Lgray, CV_BGR2GRAY);
60     cv::imwrite(GL, Lgray);
61     cvtColor(RFull, Rgray, CV_BGR2GRAY);
62     cv::imwrite(GR, Rgray);
63
64 //Image Improvement
65     int morph_size = 1;
66     Mat element = getStructuringElement( MORPH_RECT, Size(
        2*morph_size + 1, 2*morph_size + 1), Point( morph_size, morph_size));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

67
68     for(int i=0; i<20; i++){
69         cv::morphologyEx( Lgray, Lgray, MORPH_CLOSE, element, Point(-1,-1), i);
70         cv::morphologyEx( Rgray, Rgray, MORPH_CLOSE, element, Point(-1,-1), i);
71     }
72
73     for(int a=0; a<10; a++){
74         for (int i=0; i<Lgray.cols; i++){
75             for (int j=0; j<Lgray.rows; j++){
76                 if (Lgray.at<uchar>(j,i) > 0){
77                     int sum = Lgray.at<uchar>(j-1,i-1)+Lgray.at<uchar>(j-1,i)+
Lgray.at<uchar>(j-1,i+1)+Lgray.at<uchar>(j,i-1)+Lgray.at<uchar>(j,i+1)+
Lgray.at<uchar>(j+1,i-1)+Lgray.at<uchar>(j+1,i)+Lgray.at<uchar>(j+1,i+1);
78                         Lgray.at<uchar>(j,i) = sum/8;
79                 }}}}
80
81     for(int b=0; b<10; b++){
82         for (int i=0; i<Rgray.cols; i++){
83             for (int j=0; j<Rgray.rows; j++){
84                 if (Rgray.at<uchar>(j,i) > 0){
85                     int sum = Rgray.at<uchar>(j-1,i-1)+Rgray.at<uchar>(j-1,i)+
Rgray.at<uchar>(j-1,i+1)+Rgray.at<uchar>(j,i-1)+Rgray.at<uchar>(j,i+1)+
Rgray.at<uchar>(j+1,i-1)+Rgray.at<uchar>(j+1,i)+Rgray.at<uchar>(j+1,i+1);
86                         Rgray.at<uchar>(j,i) = sum/8;
87                 }}}}
88
89     for(int i=0; i<10; i++){
90         medianBlur(Lgray, Lgray, 5);
91         medianBlur(Rgray, Rgray, 5);
92     }
93
94     for(int i=0; i<5; i++){
95         GaussianBlur(Lgray, Lgray, Size(11,11), 0, 0);
96         GaussianBlur(Rgray, Rgray, Size(11,11), 0, 0);
97     }
98
99     //normalize
100     for (int i=0; i<Lgray.cols; i++){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

101         for (int j=0; j<Lgray.rows; j++){
102             if (Lgray.at<uchar>(j,i) >= 100){
103                 }
104             else {
105                 Lgray.at<uchar>(j,i) = 100;
106             }}}
107
108     for (int i=0; i<Rgray.cols; i++){
109         for (int j=0; j<Rgray.rows; j++){
110             if (Rgray.at<uchar>(j,i) >= 100){
111                 }
112             else {
113                 Rgray.at<uchar>(j,i) = 100;
114             }}}
115
116     for (int i=0; i<Lgray.cols; i++){
117         for (int j=0; j<Lgray.rows; j++){
118             if (Lgray.at<uchar>(j,i) <= 215){
119                 }
120             else {
121                 Lgray.at<uchar>(j,i) = 215;
122             }}}
123
124     for (int i=0; i<Rgray.cols; i++){
125         for (int j=0; j<Rgray.rows; j++){
126             if (Rgray.at<uchar>(j,i) <= 215){
127                 }
128             else {
129                 Rgray.at<uchar>(j,i) = 215;
130             }}}
131
132     for (int i=0; i<Rgray.cols; i++){
133         for (int j=0; j<Rgray.rows; j++){
134             if (Rgray.at<uchar>(j,i) >= 100){
135                 if (Rgray.at<uchar>(j,i) <= 215){
136                     Rgray.at<uchar>(j,i) = (255 * (Rgray.at<uchar>(j,i) - 100))/115;
137                 }
138     }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

139     for (int i=0; i<Lgray.cols; i++){
140         for (int j=0; j<Lgray.rows; j++){
141             if (Lgray.at<uchar>(j,i) >= 100){
142                 if (Lgray.at<uchar>(j,i) <= 215){
143                     Lgray.at<uchar>(j,i) = (255 * (Lgray.at<uchar>(j,i) - 100))/115;
144                 }
145             }
146         }
147     //calibration
148     /*
149         int Lcal = 0;
150         int Lsum = 0;
151         int Ln = 0;
152
153         for (int i=0; i<Lgray.cols; i++){
154             for (int j=0; j<Lgray.rows; j++){
155                 if (Lgray.at<uchar>(j,i) > 0){
156                     Lcal = Lgray.at<uchar>(j,i);
157                     Lsum = Lsum + Lcal;
158                     Ln++;
159                 }
160             }
161             int Lavg = Lsum/Ln;
162             printf("Lcal : %d \n", Lavg);
163         */
164
165     //Color Coding
166     string ML, MR;
167     ML = x+"/MorL_"+x+".jpg";
168     MR = x+"/MorR_"+x+".jpg";
169     cv::imwrite(ML, Lgray);
170     cv::imwrite(MR, Rgray);
171
172     Mat Leftcustom, Rightcustom;
173     cvtColor(Lgray.clone(), Leftcustom, COLOR_GRAY2BGR);
174     cvtColor(Rgray.clone(), Rightcustom, COLOR_GRAY2BGR);
175     Mat Left = applyCustomColorMap(Leftcustom);
176     Mat Right = applyCustomColorMap(Rightcustom);

```

```

177
178     string codeL, codeR;
179     codeL = x+"/Left_" +x+".jpg";
180     codeR = x+"/Right_" +x+".jpg";
181     cv::imwrite(codeL, Left);
182     cv::imwrite(codeR, Right);
183
184 //Display Foot Pressure
185     Size s1 = Right.size();
186     Size s2 = Left.size();
187
188     cv::Mat Foot(s1.height, s1.width+s2.width, CV_8UC3);
189
190     cv::Mat left(Foot, Rect(0, 0, s1.width, s1.height));
191     Right.copyTo(left);
192
193     cv::Mat right(Foot, Rect(s1.width, 0, s2.width, s2.height));
194     Left.copyTo(right);
195
196     cv::Mat Flip;
197     cv::flip(Foot, Flip, 1);
198     cv::resize(Flip, Flip, Size(), 0.7, 0.7, INTER_LINEAR);
199
200     string Pressure, FootFlip;
201     Pressure = x+"/Foot_" +x+".jpg";
202     FootFlip = x+"/Flip_" +x+".jpg";
203
204     cv::imwrite(Pressure, Foot);
205     cv::imwrite(FootFlip, Flip);
206     cv::imshow("Foot.jpg", Flip);
207
208 //Convex
209     L = x+"/Left_" +x+".jpg";
210     R = x+"/Right_" +x+".jpg";
211     srcL = cv::imread(L);
212     srcR = cv::imread(R);
213
214

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

215     cvtColor(srcL,srcL_gray,CV_BGR2GRAY);
216     cvtColor(srcR,srcR_gray,CV_BGR2GRAY);
217     blur(srcL_gray, srcL_gray,Size(3,3));
218     blur(srcR_gray, srcR_gray,Size(3,3));
219     createTrackbar("Threshold:","Source",&thresh, max_thresh, thresh_callbackR);
220     thresh_callbackR(0,0);
221     thresh_callbackL(0,0);
222
223 //Right Foot Classification
224     Mat Rcon = imread("conR.jpg");
225     cvtColor(Rcon, Rcon, CV_BGR2GRAY);
226     float Rmaxj, Rmaxi, Rminj, Rmini;
227
228     for (int i=0; i<Rcon.rows; i++){
229         for (int j=0; j<Rcon.cols; j++){
230             if (Rcon.at<uchar>(i,j) > 0){
231                 Rmaxj = j;
232                 Rmaxi = i;
233                 goto theEnd;
234             }
235         }
236         theEnd:
237         for (int i=Rcon.rows-1; i>0; i--){
238             for (int j=0; j<Rcon.cols; j++){
239                 if (Rcon.at<uchar>(i,j) > 0){
240                     Rminj = j;
241                     Rmini = i;
242                     goto theEnd2;
243                 }
244             }
245             theEnd2:
246             for( int i =0; i<Rcon.cols; i++){
247                 Rcon.at<uchar>(Rmaxi,i) = 255;
248             }
249             for( int i =0; i<Rcon.cols; i++){
250                 Rcon.at<uchar>(Rmini,i) = 255;
251             }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

252 Point pt1 = Point(Rmaxj,Rmaxi);
253 Point pt2 = Point(Rminj,Rmini);
254 Scalar color = Scalar(128,128,128);
255 line(Rcon,pt1,pt2,color,2);
256
257 string Rc;
258 Rc = x+"/Rcon_"+x+".jpg";
259 cv::imwrite(Rc, Rcon);
260
261 double slopeR = ((Rmaxi-Rmini)/(Rmaxj-Rminj));
262 double angleR = atan(slopeR)*(180.0/(3.14159265));
263 if(Rmaxj > Rminj){
264 angleR = 90 - abs(angleR);
265 }
266 else{ angleR = abs(angleR) - 90;
267 }
268
269 Mat dstR;
270 cv::Point2f pcR(Rcon.cols/2.0, Rcon.rows/2.0);
271 Mat r = cv::getRotationMatrix2D(pcR, angleR,1.0);
272 cv::warpAffine(Rcon, dstR, r, Rcon.size());
273
274 //imshow("Rcon.jpg",dst);
275
276 string Rcc;
277 Rcc = x+"/Rconrotate_"+x+".jpg";
278 cv::imwrite(Rcc, dstR);
279
280 double countR = 0;
281 double countmidR = 0;
282 for (int i=Rmaxi; i<Rmini; i++){
283     for (int j=0; j<Rcon.cols; j++){
284         if (Rcon.at<uchar>(i,j) > 0){
285             countR++;
286         }
287     }
288     int midareaR = ((Rmini-Rmaxi)/3);
289

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

290     for (int i=Rmaxi+midareaR; i<Rmini-midareaR; i++){
291         for (int j=0; j<Rcon.cols; j++){
292             if (Rcon.at<uchar>(i,j) > 0){
293                 countmidR++;
294             }}}
295     double indexR = countmidR/countR;
296
297     printf("Rmax : %.2f,%.2f \n", Rmaxi,Rmaxj);
298     printf("Rmin : %.2f,%.2f \n", Rmini,Rminj);
299     printf("AngleR : %.2f \n", angleR);
300     printf("WholeR : %.2f \n", countR);
301     printf("MiddleR : %.2f \n", countmidR);
302     printf("IndexR : %4.2f \n", indexR);
303
304     if(indexR<0.21){
305         printf("\n Your Right Foot Type is High Arch \n\n");
306     }
307     else if(indexR<=0.26){
308         printf("\n Your Right Foot Type is Normal Foot \n\n");
309     }
310     else{
311         printf("\n Your Right Foot Type is Flat Foot \n\n");
312     }
313
314 //Left Foot Classification
315
316     Mat Lcon = imread("conL.jpg");
317     cvtColor(Lcon, Lcon, CV_BGR2GRAY);
318     float Lmaxj, Lmaxi, Lminj, Lmini;
319
320     for (int i=0; i<Lcon.rows; i++){
321         for (int j=0; j<Lcon.cols; j++){
322             if (Lcon.at<uchar>(i,j) > 0){
323                 Lmaxj = j;
324                 Lmaxi = i;
325                 goto theEnd3;
326             }}}
327     theEnd3:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

328
329     for (int i=Lcon.rows-1; i>0; i--){
330         for (int j=0; j<Lcon.cols; j++){
331             if (Lcon.at<uchar>(i,j) > 0){
332                 Lminj = j;
333                 Lmini = i;
334                 goto theEnd4;
335             }
336         theEnd4:
337
338         for( int i =0; i<Lcon.cols; i++){
339             Lcon.at<uchar>(Lmaxi,i) = 255;
340         }
341         for( int i =0; i<Lcon.cols; i++){
342             Lcon.at<uchar>(Lmini,i) = 255;
343         }
344
345         Point pt3 = Point(Lmaxj,Lmaxi);
346         Point pt4 = Point(Lminj,Lmini);
347         Scalar color2 = Scalar(128,128,128);
348         line(Lcon,pt3,pt4,color2,2);
349
350         string Lc;
351         Lc = x+"/Lcon_"+x+".jpg";
352         cv::imwrite(Lc, Lcon);
353
354         double slopeL = ((abs(Lmaxi-Lmini))/(abs(Lmaxj-Lminj)));
355         double angleL = atan(slopeL)*(180.0/(3.14159265));
356         if(Lmaxj > Lminj){
357             angleL = 90 - abs(angleL);
358         }
359         else{ angleL = abs(angleL) - 90;
360         }
361
362         Mat dstL;
363         cv::Point2f pCL(Lcon.cols/2.0, Lcon.rows/2.0);
364         Mat l = cv::getRotationMatrix2D(pCL, angleL,1.0);
365         cv::warpAffine(Lcon, dstL, l, Lcon.size());

```

```

366 //imshow("Lcon.jpg",dstL);
367
368 string Lcc;
369 Lcc = x+"/Lconrotate_"+x+".jpg";
370 cv::imwrite(Lcc, dstL);
371
372 double countL = 0;
373 double countmidL = 0;
374 for (int i=Lmaxi; i<Lmini; i++){
375     for (int j=0; j<Lcon.cols; j++){
376         if (Lcon.at<uchar>(i,j) > 0){
377             countL++;
378         }}}
379
380 int midareaL = ((Lmini-Lmaxi)/3);
381
382 for (int i=Lmaxi+midareaL; i<Lmini-midareaL; i++){
383     for (int j=0; j<Lcon.cols; j++){
384         if (Lcon.at<uchar>(i,j) > 0){
385             countmidL++;
386         }}}
387 double indexL = countmidL/countL;
388
389 printf("Lmax : %.2f,%.2f \n", Lmaxi,Lmaxj);
390 printf("Lmin : %.2f,%.2f \n", Lmini,Lminj);
391 printf("AngleL : %.2f \n", angleL);
392 printf("WholeL : %.2f \n", countL);
393 printf("MiddleL : %.2f \n", countmidL);
394 printf("IndexL : %4.2f \n", indexL);
395
396 if(indexL<0.21){
397     printf("\n Your Left Foot Type is High Arch \n\n");
398 }
399 else if(indexL<=0.26){
400     printf("\n Your Left Foot Type is Normal Foot \n\n");
401 }
402 else{
403     printf("\n Your Left Foot Type is Flat Foot \n\n");

```

```

404     }
405
406 //Correlation Coefficient
407
408     char str2[80];
409     printf("Enter Name : ");
410     scanf("%79s", str2);
411
412     string y, c1, c2, c3, c4;
413     y = str2;
414     c1 = x+"/MorR_" + x + ".jpg";
415     c2 = y+"/MorR_" + y + ".jpg";
416     c3 = x+"/MorL_" + x + ".jpg";
417     c4 = y+"/MorL_" + y + ".jpg";
418     Mat image_1R = cv::imread(c1);
419     Mat image_2R = cv::imread(c2);
420     Mat image_1L = cv::imread(c3);
421     Mat image_2L = cv::imread(c4);
422
423     cv::resize(image_1R, image_1R, Size(), 0.5, 0.5, INTER_LINEAR);
424     cv::resize(image_2R, image_2R, Size(), 0.5, 0.5, INTER_LINEAR);
425     cv::resize(image_1L, image_1L, Size(), 0.5, 0.5, INTER_LINEAR);
426     cv::resize(image_2L, image_2L, Size(), 0.5, 0.5, INTER_LINEAR);
427
428 // Correlation Coefficient Right
429     double R1sumavg = 0;
430     double R1sum = 0;
431     double R1n = 0;
432     double R1sumstd = 0;
433     double R1sums = 0;
434     double R2sumavg = 0;
435     double R2sum = 0;
436     double R2n = 0;
437     double R2sumstd = 0;
438     double R2sums = 0;
439     double Rsumall = 0;
440     double Rsumalls = 0;
441

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

442 for (int i=0; i<image_1R.cols; i++){
443     for (int j=0; j<image_1R.rows; j++){
444         if (image_1R.at<uchar>(j,i) > 0){
445             R1sumavg = image_1R.at<uchar>(j,i);
446             R1sum = R1sum + R1sumavg;
447             R1n++;
448         }}}
449
450 double R1avg = R1sum/R1n;
451
452 for (int i=0; i<image_1R.cols; i++){
453     for (int j=0; j<image_1R.rows; j++){
454         if (image_1R.at<uchar>(j,i) > 0){
455             R1sumstd = pow(image_1R.at<uchar>(j,i)- R1avg,2);
456             R1sums = R1sums + R1sumstd;
457         }}}
458
459 double R1std = sqrt(R1sums/R1n);
460
461 for (int j=0; j<image_2R.cols; j++){
462     for (int i=0; i<image_2R.rows; i++){
463         if (image_2R.at<uchar>(j,i) > 0){
464             R2sumavg = image_2R.at<uchar>(j,i);
465             R2sum = R2sum + R2sumavg;
466             R2n++;
467         }}}
468
469 double R2avg = R2sum/R2n;
470
471 for (int i=0; i<image_2R.cols; i++){
472     for (int j=0; j<image_2R.rows; j++){
473         if (image_2R.at<uchar>(j,i) > 0){
474             R2sumstd = pow(image_2R.at<uchar>(j,i)- R2avg,2);
475             R2sums = R2sums + R2sumstd;
476         }}}
477
478 double R2std = sqrt(R2sums/R2n);
479

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

480 for (int i=0; i<image_1R.cols; i++){
481     for (int j=0; j<image_1R.rows; j++){
482         if (image_1R.at<uchar>(j,i) > 0 && image_2R.at<uchar>(j,i) > 0){
483             Rsumall = (image_1R.at<uchar>(j,i)- R1avg)*(image_2R.at<uchar>(j,i)- R2avg);
484             Rsumalls = Rsumalls + Rsumall;
485         }}}
486
487 double ccR = Rsumalls/((sqrt(R1sums))*(sqrt(R2sums)));
488
489 printf("R1avg : %f \n", R1avg);
490 printf("R1std : %f \n", R1std);
491 printf("R2avg : %f \n", R2avg);
492 printf("R2std : %f \n", R2std);
493 printf("correlation coefficient right foot : %4.4f \n", ccR);
494
495 // Correlation Coefficient Left
496     double L1sumavg = 0;
497     double L1sum = 0;
498     double L1n = 0;
499     double L1sumstd = 0;
500     double L1sums = 0;
501     double L2sumavg = 0;
502     double L2sum = 0;
503     double L2n = 0;
504     double L2sumstd = 0;
505     double L2sums = 0;
506     double Lsumall = 0;
507     double Lsumalls = 0;
508
509 for (int i=0; i<image_1L.cols; i++){
510     for (int j=0; j<image_1L.rows; j++){
511         if (image_1L.at<uchar>(j,i) > 0){
512             L1sumavg = image_1L.at<uchar>(j,i);
513             L1sum = L1sum + L1sumavg;
514             L1n++;
515         }}}
516
517 double L1avg = L1sum/L1n;

```

```

518
519 for (int i=0; i<image_1L.cols; i++){
520     for (int j=0; j<image_1L.rows; j++){
521         if (image_1L.at<uchar>(j,i) > 0){
522             L1sumstd = pow(image_1L.at<uchar>(j,i)- L1avg,2);
523             L1sums = L1sums + L1sumstd;
524     }}}
525
526 double L1std = sqrt(L1sums/L1n);
527
528 for (int i=0; i<image_2L.cols; i++){
529     for (int j=0; j<image_2L.rows; j++){
530         if (image_2L.at<uchar>(j,i) > 0){
531             L2sumavg = image_2L.at<uchar>(j,i);
532             L2sum = L2sum + L2sumavg;
533             L2n++;
534     }}}
535
536 double L2avg = L2sum/L2n;
537
538 for (int i=0; i<image_2L.cols; i++){
539     for (int j=0; j<image_2L.rows; j++){
540         if (image_2L.at<uchar>(j,i) > 0){
541             L2sumstd = pow(image_2L.at<uchar>(j,i)- L2avg,2);
542             L2sums = L2sums + L2sumstd;
543     }}}
544
545 double L2std = sqrt(L2sums/L2n);
546
547 for (int i=0; i<image_2L.cols; i++){
548     for (int j=0; j<image_2L.rows; j++){
549         if (image_1L.at<uchar>(j,i) > 0 && image_2L.at<uchar>(j,i) > 0){
550             Lsumall = (image_1L.at<uchar>(j,i)- L1avg)*(image_2L.at<uchar>(j,i)- L2avg);
551             Lsumalls = Lsumalls + Lsumall;
552     }}}
553
554 double ccl = Lsumalls/((sqrt(L1sums))*(sqrt(L2sums)));
555

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

556 printf("L1avg : %f \n", L1avg);
557 printf("L1std : %f \n", L1std);
558 printf("L2avg : %f \n", L2avg);
559 printf("L2std : %f \n", L2std);
560 printf("correlation coefficient left foot : %4.4f \n", ccL);
561
562 cv::waitKey(0);
563 return(0);
564 }
565
566 void thresh_callbackL(int, void* )
567 {
568
569     Mat srcL_copy = srcL.clone();
570     Mat thresholdL_output;
571
572     vector<vector<Point> > contoursL;
573     vector<Vec4i> hierarchy;
574
575     //Detect edges using Threshold
576     threshold(srcL_copy, thresholdL_output, thresh, 255, THRESH_BINARY);
577
578     //Find Contours
579     cv::findContours( thresholdL_output, contoursL, hierarchy,
CV_RETR_TREE, CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE, Point(0,0));
580
581     int Llargest_area = 0;
582     int Llargest_contours_index = 0;
583     int Lsub_contours = 0;
584     Rect Lbounding_rect;
585     int sizeL = contoursL.size()-1;
586     int subL[sizeL], subLL[sizeL];
587
588     for(int i=0; i<contoursL.size(); i++){
589         double b = contourArea(contoursL[i],false);
590         subL[i] = b;
591         subLL[i] = b;
592         if(b>Llargest_area){

```

```

593     Llargest_area = b;
594     Llargest_contours_index = i;
595     Lbounding_rect = boundingRect(contoursL[i]);
596     }}
597
598     int templ;
599     for(int i=0;i<contoursL.size();i++){
600         for(int j=i+1;j<contoursL.size();j++){
601             if(subL[i]<subL[j]){
602                 templ=subL[j];
603                 subL[j]=subL[i];
604                 subL[i]=templ;
605             }}}
606
607     for(int i=0;i<contoursL.size();i++){
608         if(subLL[i] == subL[1]){
609             Lsub_contours = i;
610         }}
611
612     //Find the convex hull object for each contour
613     vector<vector<Point> >hullL(contoursL.size());
614     for(int i=0;i<contoursL.size();i++)
615         {convexHull(Mat(contoursL[i]),hullL[i],false);
616     }
617
618     //Draw contours plus hull results
619     Mat drawingL = Mat::zeros( thresholdL_output.size(), CV_8UC3 );
620     Scalar color = Scalar(255,255,255);
621     drawContours(drawingL, contoursL, Llargest_contours_index,
622     color,CV_FILLED,8,vector<Vec4i>(),0,Point());
623     if(subL[1]>=0.2*Llargest_area){
624         drawContours(drawingL, contoursL, Lsub_contours,
625     color,CV_FILLED,8,vector<Vec4i>(),0,Point());
626     }
627
628     //Show in a window
629     cv::imwrite("conL.jpg", drawingL);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

629     //namedWindow("Hull demo", CV_WINDOW_AUTOSIZE);
630     //imshow("Hull demo" , drawingR);
631     //imshow("Hull demo" , drawingL);
632     }
633
634 void thresh_callbackR(int, void* )
635     {
636     Mat srcR_copy = srcR.clone();
637     Mat thresholdR_output;
638     vector<vector<Point> > contoursR;
639     vector<Vec4i> hierarchy;
640
641     //Detect edges using Threshold
642     threshold(srcR_copy, thresholdR_output, thresh, 255, THRESH_BINARY);
643
644     //Find Contours
645     cv::findContours( thresholdR_output, contoursR, hierarchy,
CV_RETR_TREE, CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE, Point(0,0));
646
647     int Rlargest_area = 0;
648     int Rlargest_contours_index = 0;
649     int Rsub_contours = 0;
650     Rect Rbounding_rect;
651     int sizeR = contoursR.size()-1;
652     int subR[sizeR], subRR[sizeR];
653
654     for(int i=0; i<contoursR.size(); i++){
655     double a = contourArea(contoursR[i],false);
656     subR[i] = a;
657     subRR[i] = a;
658     if(a>Rlargest_area){
659     Rlargest_area = a;
660     Rlargest_contours_index = i;
661     Rbounding_rect = boundingRect(contoursR[i]);
662     }}
663
664     int tempR;
665     for(int i=0;i<contoursR.size();i++){

```

```

666         for(int j=i+1;j<contoursR.size();j++){
667             if(subR[i]<subR[j]){
668                 tempR=subR[j];
669                 subR[j]=subR[i];
670                 subR[i]=tempR;
671             }}}
672
673     for(int i=0;i<contoursR.size();i++){
674         if(subRR[i] == subR[1]){
675             Rsub_contours = i;
676         }}
677
678     //Find the convex hull object for each contour
679     vector<vector<Point> >hullR(contoursR.size());
680     for(int i=0;i<contoursR.size();i++){
681         {convexHull(Mat(contoursR[i]),hullR[i],false);
682     }
683
684
685     //Draw contours plus hull results
686     Mat drawingR = Mat::zeros( thresholdR_output.size(), CV_8UC3 );
687     Scalar color = Scalar(255,255,255);
688     drawContours(drawingR, contoursR, Rlargest_contours_index,
689 color,CV_FILLED,8,vector<Vec4i>(),0,Point());
689     if(subR[1]>=0.2*Rlargest_area){
690         drawContours(drawingR, contoursR, Rsub_contours,
691 color,CV_FILLED,8,vector<Vec4i>(),0,Point());
692     }
693
694     //Show in a window
695     cv::imwrite("conR.jpg", drawingR);
696
697     //namedWindow("Hull demo", CV_WINDOW_AUTOSIZE);
698     //imshow("Hull demo" , drawingR);
699     //imshow("Hull demo" , drawingL);
700     }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของคำสั่งชุดนี้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 13 ส่วน ดังนี้

1. บรรทัดที่ 12 – 27

คำสั่งการสร้างคัลเลอร์แม็พเพื่อนำไปใช้สร้างการแสดงผลแรงกดของฝ่าเท้าในฟังก์ชัน main บรรทัดที่ 165 – 182 โดยการสร้าง channel ทั้ง 3 จากแม็สสีทั้ง 3 ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน แล้วรวมเข้าด้วยกันเป็นฟังก์ชัน applyCustomColorMap ขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ในฟังก์ชัน main

2. บรรทัดที่ 29 – 36

คำสั่งการเตรียมฟังก์ชันที่เกี่ยวกับ convex เพื่อการหาขอบภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเท้า โดยการสร้าง header ของฟังก์ชันขึ้นมา เพื่อนำไปสร้างฟังก์ชันของ convex ในภายหลัง ด้วยฟังก์ชัน thresh_callbackR ของเท้าขวา และ thresh_callbackL ของเท้าซ้าย

3. บรรทัดที่ 41 – 52

คำสั่งเพื่อใช้การกรอกชื่อหรือรหัสของผู้ป่วย ในการดึงภาพที่ได้จากการบันทึกในกระบวนการรับภาพ และเพื่อง่ายต่อการจัดเก็บภาพที่ได้จากขั้นตอนต่างๆของกระบวนการนี้ โดยภาพที่บันทึกนั้นจะอยู่ในโฟลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นจากชื่อหรือรหัส ทำให้ภาพทั้งหมดของผู้ป่วยคนนี้จะถูกเก็บในโฟลเดอร์เดียวกันทั้งหมด เพื่อง่ายต่อการค้นหาข้อมูลภาพในการนำไปใช้ต่อ

รวมไปถึง คำสั่งเพื่อการอ่านภาพจากชื่อหรือรหัสที่ถูกกรอกเข้ามา ด้วยคำสั่ง imread โดยจะอ่านภาพที่มาจากโฟลเดอร์ที่ถูกระบุไว้ตามที่กรอกเข้ามา ภาพที่ได้จากการอ่านนั้นจะเป็นภาพที่ถูกตัดส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งไปแล้วจากขั้นตอนการรับภาพ เพื่อเข้าสู่การปรับปรุงภาพและวิเคราะห์ต่อไป

4. บรรทัดที่ 54 – 62

คำสั่งเพื่อการแปลงภาพสี RGB ที่ได้จากการอ่านภาพให้ภาพเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทา ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนที่จะเข้าสู่การปรับปรุงภาพ โดยภาพผลลัพธ์ที่ได้จะถูกบันทึกลงในโฟลเดอร์ที่ดึงภาพมาอีกด้วย

5. บรรทัดที่ 64 – 97

คำสั่งเพื่อใช้ในการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น ให้สามารถนำไปใช้ขั้นตอนต่อไปได้ โดยการใช้คำสั่งเพื่อปรับปรุงภาพทั้งหมด 4 ขั้นตอน ได้แก่

- บรรทัดที่ 65 – 71 : Morphology ของโอเพ่นซีวี

- บรรทัดที่ 73 – 87 : การเฉลี่ยค่าความเข้มของระดับสีเทาของ 8 พิกเซลรอบพิกเซลนั้นๆ แล้วบันทึกเป็นค่าความเข้มที่พิกเซลนั้น

- บรรทัดที่ 89 – 92 : คำสั่ง medianBlur

- บรรทัดที่ 94 – 97 : คำสั่ง GaussianBlur

ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงภาพนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับภาพก่อนเริ่มการปรับปรุงภาพ จะพบว่า ภาพที่ได้จะดูภาพเท้าที่สมบูรณ์ และจะนำภาพเข้าสู่กระบวนการถัดไป

6. บรรทัดที่ 99 - 145

คำสั่ง `normalization` เนื่องจากค่าความเข้มของระดับสีเทาของภาพเท่านั้น โดยส่วนมากแล้วจะอยู่ระหว่างช่วงค่าความเข้มช่วงหนึ่ง ซึ่งทำให้ไม่สามารถเห็นถึงความแตกต่างของระดับแรงกดที่ชัดเจนได้ จึงจำเป็นต้องใช้คำสั่งในการ `normalization` เพื่อลดความซับซ้อนในการแสดงผลข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกันมาก ให้เกิดการแสดงผลความแตกต่างที่ชัดเจนขึ้น

7. บรรทัดที่ 147 - 163

คำสั่งการสอบเทียบเป็นคำสั่งเพื่อหาค่าของแรงกดของเท้าจากการใช้แผ่นน้ำหนักที่มีน้ำหนักที่แน่นอนในการช่วยระบุความสัมพันธ์ของค่าพิกเซลและแรงกด โดยจะอธิบายวิธีการโดยละเอียดอีกครั้งในขั้นตอนการดำเนินงาน

8. บรรทัดที่ 165 - 182

คำสั่ง `color coding` จากฟังก์ชัน `applyCustomColorMap` ในบรรทัดที่ 12 - 27 เพื่อใช้ในการแสดงภาพที่ผ่านการปรับปรุงภาพและ `normalization` แล้ว ให้ได้เป็นภาพเท้าที่แสดงระดับสีของคัลเลอร์แม็พแบบ `jet`

9. บรรทัดที่ 184 - 206

คำสั่งในการแสดงผลแรงกดของเท้าจากคำสั่ง `color coding` เริ่มจากการรวมภาพเท้าซ้ายและขวาให้เป็นรูปเดียวกันด้วยคำสั่งในบรรทัดที่ 185 - 194 เป็นการสร้างเมทริกซ์ว่างแล้ววางภาพทั้ง 2 ต่อกันในแนวนอน และ บันทึกภาพเก็บไว้ที่โฟลเดอร์เดิม และแสดงภาพออกมา จากคำสั่งบรรทัดที่ 196 - 206 จะได้ภาพแรงกดของเท้าทั้งคู่แสดงออกมาทางจอภาพ

10. บรรทัดที่ 208 - 221

คำสั่ง `convex` เพื่อการหาขอบภาพ ซึ่งนำไปใช้ในการช่วยการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไปได้ โดยใช้ฟังก์ชัน `thresh_callbackR` และ `thresh_callbackL` จากบรรทัดที่ 566 - 699

11. บรรทัดที่ 223 - 404

คำสั่งในการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพของเท้า ได้แก่ มุมของเท้าที่ทำกับแนวตามยาวของเท้า ค่า `arch index` ของเท้า เพื่อใช้ในการแบ่งประเภทของเท้า ซึ่งได้แก่ เท้าปกติ (`normal`) เท้าโค้ง (`high arch`) และ เท้าแบน (`flat foot`) โดยในบรรทัดที่ 223 - 312 จะเป็นการวิเคราะห์เท้าขวา และในบรรทัดที่ 314 - 404 จะเป็นการวิเคราะห์เท้าซ้าย

12. บรรทัดที่ 406 - 560

คำสั่งในการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของภาพจากการเก็บข้อมูลในครั้งนี้อย่างละเอียดจากครั้งอื่น ซึ่งใช้คำสั่งในบรรทัดที่ 408 - 426 ในการดึงภาพจากกรอกชื่อหรือหมายเลขของผู้ป่วยเพิ่มขึ้นมา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลหาความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลทั้งสอง ในการจำแนกลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล โดยแบ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 2 ส่วน คือ ในบรรทัดที่ 428 - 493 เป็นคำสั่งของการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเท้าขวา และ ในบรรทัดที่ 495 - 560 เป็นคำสั่งในการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเท้าซ้าย โดยจะแสดงค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ บน `command line`

เอกสารนี้เป็นเพียงแบบมาตรฐาน และ คำสั่งประสิทธิ์สหสัมพันธ์ บน `command line` ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. บรรทัดที่ 566 – 699

คำสั่งในการสร้างฟังก์ชัน `thresh_callbackR` และ `thresh_callbackL` หรือก็คือ การหาขอบภาพ เพื่อใช้คำสั่งในฟังก์ชัน `main` บรรทัดที่ 208 – 221 โดยภาพเท้าซ้ายและเท้าขวาจะถูกนำไปหาขอบภาพด้วยคำสั่งในบรรทัดที่ 566 – 632 และ บรรทัดที่ 634 – 699 ตามลำดับ

โดยขณะเริ่มต้นการทำงานของชุดคำสั่งนี้ จะพบว่า เมื่อเริ่มต้นด้วย คำสั่ง `./display_image` ที่เป็นชุดคำสั่งของภาษา `c++` แล้ว จะมีคำว่า `“Enter name:”` ปรากฏขึ้นมา (รูปที่ 3.6) เช่นเดียวกับขั้นตอนการรับภาพ เพื่อกรอกชื่อหรือรหัสของผู้ป่วยเข้าไปอีกครั้ง เพื่ออ่านภาพจากไฟล์เตอร์ของผู้ป่วยนั้นๆมาทำการประมวลผล โดยผลจากการทดสอบจะแสดงอยู่ในบทที่ 4 ผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.6 การเริ่มต้นการประมวลผลภาพบน Raspberry Pi

จากนั้นเมื่อผ่านการทำงานในขั้นตอนวิเคราะห์ภาพแล้ว หากต้องการเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่เคยผ่านการทำงานการวิเคราะห์ภาพแล้วเพื่อการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้น จะทำการกรอกชื่อหรือหมายเลขของผู้ป่วยอีกครั้งเพื่อดึงข้อมูลจากไฟล์เตอร์ของผู้ป่วย นำมาเปรียบเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องรับผลแรงกดน้ำหนักของฝ่าเท้า

3.3.2 Raspberry Pi

3.3.3 หน้าจอสำหรับการแสดงผล

3.3.4 คีย์บอร์ด และ เมาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไปสำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1 การสร้างเครื่องรับผลแรงกดน้ำหนักของเท้า

การสร้างเครื่องรับผลแรงกดน้ำหนักของฝ่าเท้าเพื่อนำมาวิเคราะห์ความผิดปกติของฝ่าเท้า นั้นสร้างตามขั้นตอนการออกแบบ หัวข้อ 3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ซึ่งได้บอกรายละเอียดทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างและลักษณะระบบที่ถูกสร้างขึ้น

3.4.2 การสร้างโปรแกรมการรับภาพและการประมวลผล

จากหัวข้อ 3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์นั้น จะเห็นว่า แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการรับภาพเพื่อนำมาประมวลผล และ ส่วนของการวิเคราะห์ผล

ขั้นแรก ตรวจสอบการเชื่อมต่อของกล้องเว็บแคม โดยพิมพ์ใน command line ด้วยคำสั่ง

lsusb

จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.7 โดยจะพบอุปกรณ์ของ Logitech ทั้งหมด 6 อุปกรณ์ คือ กล้องเว็บแคม 4 ตัว คีย์บอร์ด และ เมาส์ โดยกล้องทั้ง 4 ตัวนั้นจะมี ID ที่เหมือนกัน คือ 046d:082b ได้แก่ Device 010, 008, 011 และ 012 จะเป็นกล้องเว็บแคม c170 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

```

pi@raspberrypi ~ $ lsusb
Bus 001 Device 002: ID 0424:9514 Standard Microsystems Corp.
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 001 Device 010: ID 046d:082b Logitech, Inc.
Bus 001 Device 003: ID 0424:ec00 Standard Microsystems Corp.
Bus 001 Device 006: ID 046d:c077 Logitech, Inc.
Bus 001 Device 009: ID 046d:c31d Logitech, Inc.
Bus 001 Device 004: ID 0bda:3175 Realtek Semiconductor Corp. RTL8188CUS 802.11n WLAN Adapter
Bus 001 Device 005: ID 05e3:0608 Genesys Logic, Inc. USB-2.0 4-Port HUB
Bus 001 Device 007: ID 05e3:0608 Genesys Logic, Inc. USB-2.0 4-Port HUB
Bus 001 Device 008: ID 046d:082b Logitech, Inc.
Bus 001 Device 011: ID 046d:082b Logitech, Inc.
Bus 001 Device 012: ID 046d:082b Logitech, Inc.

```

รูปที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi

ในส่วนของขั้นตอนการดำเนินงานด้านการเขียนโปรแกรมด้านซอฟต์แวร์นั้น ได้อธิบายอยู่ในหัวข้อ 3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ไว้เรียบร้อยแล้ว

3.4.3 การสอบเทียบ (calibration)

ในขั้นตอนการสอบเทียบนั้น จะใช้อุปกรณ์ดังนี้

- แผ่นไม้ กว้าง 11 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตรหนา 1.1 เซนติเมตร
- แผ่นยาง รัศมี 1.25 เซนติเมตรหนา 0.5 เซนติเมตร
- แผ่นน้ำหนักที่มีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม จำนวน 4 แผ่น
- แผ่นน้ำหนักที่มีน้ำหนัก 1.25 กิโลกรัม จำนวน 4 แผ่น

โดยแรงกดหรือแรงดัน (pressure) นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 ซึ่งใช้ค่าแรงที่กระทำ (force) และค่าพื้นที่สัมผัส (area) มาหาค่าแรงกดที่เกิดขึ้น

$$\text{pressure} = \frac{\text{force}}{\text{area}} \quad (3.1)$$

แรงที่กระทำที่ใช้แผ่นน้ำหนักนั้น สามารถคำนวณจากน้ำหนักที่ใช้ได้ และค่าคงที่ g ที่มีค่า 9.80665 ตามสมการที่ 3.2

$$\text{force} = \text{weight} \cdot g \quad (3.2)$$

และพื้นที่สัมผัสที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากการหาพื้นที่วงกลมของแผ่นยางที่เป็นพื้นที่สัมผัสสัมผัสน้ำหนักที่ตกลงไป ดังสมการที่ 3.3

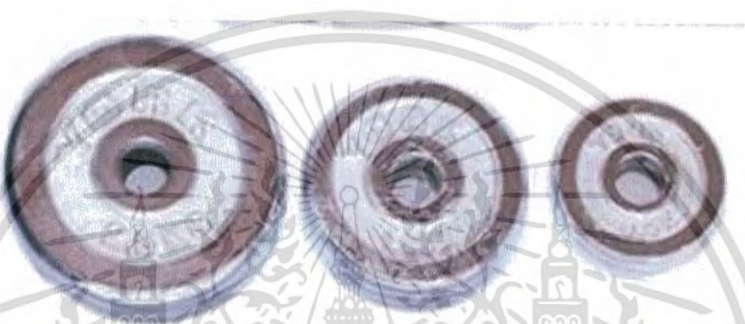
$$\begin{aligned} \text{area} &= \pi r^2 \\ &= \pi (0.0125)^2 \\ &= 4.9087 \cdot 10^{-4} \text{ ตารางเมตร} \end{aligned} \quad (3.3)$$

โดยนำแผ่นไม้และยางติดเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.8 วางคว่ำลงบนเครื่องที่สร้างขึ้น แผ่นยางจึงเป็นพื้นที่สัมผัสกับระบบ ซึ่งคำนวณพื้นที่ได้เป็น 4.9087×10^{-4} ตารางเมตร จากนั้นวางแผ่นน้ำหนักลงบนแผ่นไม้ โดยเริ่มใช้แผ่นน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม (49.9453 กิโลปาสกาล) (แผ่นน้ำหนักขนาดต่างๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.9) โดยวัดทั้งหมด 3 ครั้ง (ยกออกและวางใหม่ทุกครั้ง) จากนั้นจึงเพิ่มน้ำหนักขึ้นทีละ 1.25 กิโลกรัม (24.9726 กิโลปาสกาล) และวัดเช่นเดิม โดยเพิ่มน้ำหนักจนถึง 10 กิโลกรัม (199.7810 กิโลปาสกาล) จากนั้นจึงนำข้อมูลค่าพิคเชลที่ได้ระบบไปคำนวณหาสมการถดถอย (regression line) เพื่อหาแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น โดยผลที่ได้จะอธิบายอยู่ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผ่นไม้และแผ่นยางที่ใช้ในการสอบเทียบ



รูปที่ 3.9 แผ่นน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบ

3.3.4 การทดลองเก็บตัวอย่างข้อมูล

ใช้การทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากบุคคลเดียวกัน ด้วยการเก็บข้อมูลเป็นจำนวน 10 ครั้ง เพื่อทดสอบความสามารถของระบบในการจำแนกบุคคลจากภาพ และเก็บตัวอย่างข้อมูลเพิ่มเติมจากนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ เพื่อทดสอบระบบการแสดงผล นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากและจะแสดงผลจากการเก็บข้อมูลในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานในบทที่ 3 นั้น ได้ผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

จากโครงสร้างใน 3.3.1 การสร้างเครื่องวัดแรงกดตามการออกแบบนั้น ประกอบไปด้วย แผ่นอะคริลิกหนา 1 เซนติเมตร โดยมีฐานเป็นเหล็กฉากสูงประมาณ 15 เซนติเมตร ด้านบนของแผ่นอะคริลิกนั้นมีกระดาษ glossy ปิดทับอยู่ ส่วนด้านล่างของระบบนั้นติดตั้งกล้องดิจิทัลทั้งหมด 4 ตัว และฐานด้านล่างจะถูกเสริมด้วยไม้มีความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ตำแหน่งการจับภาพที่แน่นอน โดยรวมแล้วเครื่องวัดดังกล่าวจะมีความกว้างและความยาวด้านละประมาณ 41 เซนติเมตร และความสูงประมาณ 20 เซนติเมตร ซึ่งระบบจะมีลักษณะตามรูปที่ 4.1



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 4.1 เครื่องวัดแรงกดของเท้า (ก.) ภายนอก (ข.) ภายในกล่อง

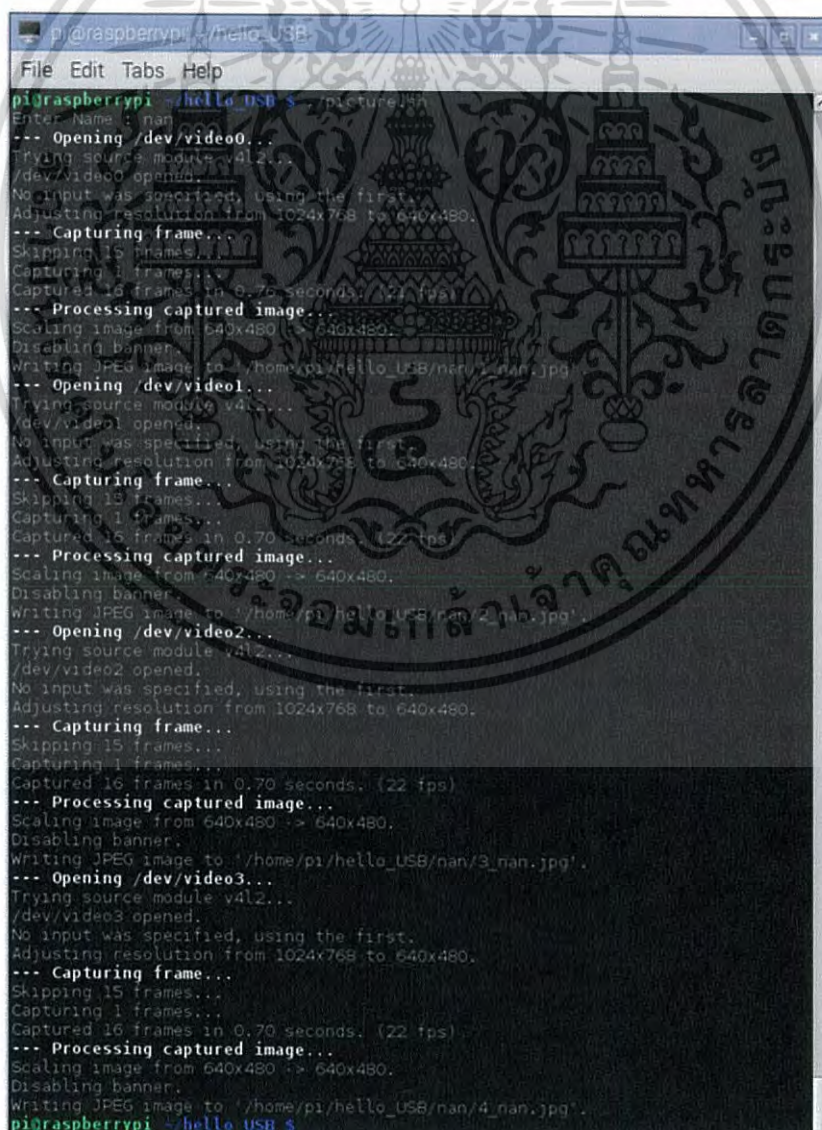
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

4.2.1 โปรแกรมการรับภาพ

การรับภาพนั้นจะใช้ shell script ในขั้นตอนนี้ โดยเริ่มจาก การสร้างโพลเดอร์เพื่อเก็บข้อมูลภาพทั้งหมด, การรับภาพ, ซอนทับภาพ และ การตัดส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งออกไป โดยเมื่อเรียก script นี้จาก command line บน Raspberry Pi ด้วยคำสั่ง ./picture.sh จะขึ้นให้ทำการกรอกชื่อหรือรหัสของผู้ป่วยขึ้นมา เมื่อพิมพ์ชื่อหรือรหัสเรียบร้อยแล้วจึงกด enter จะทำให้โปรแกรมทำงานแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 จะพบว่า ได้กรอกชื่อเป็น “nan” ระบบจะเปิดกล้องทั้ง 4 เพื่อรับภาพจากเครื่องวัด แล้วบันทึกเข้าสู่โพลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้น แสดงให้เห็นโพลเดอร์ที่มีชื่อ “nan” ในรูปที่ 4.3

สิ่งที่สำคัญคือ ลักษณะทำยีนของบุคคล ควรจะระบุทำยีนที่แน่นอนในการเก็บข้อมูล เช่น ยีนตัวตรง สันเท่าซิด ปลายเท้าแยก และมีทั้ง 2 ข้าง แบบลำตัว เนื่องจากการยีนในลักษณะที่ต่างกัน ย่อมมีผลต่อการแสดงผลที่เกิดขึ้นอย่างแน่นอน

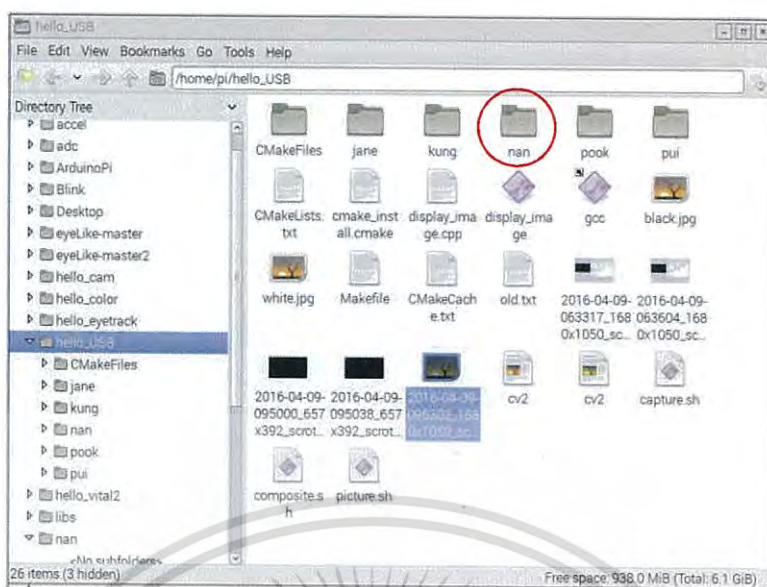


```

pi@raspberrypi ~/$ ./hello_USB/picture.sh
Enter Name : nan
--- Opening /dev/video0...
Trying source module v4l2...
/dev/video0 opened.
No input was specified, using the first.
Adjusting resolution from 1024x768 to 640x480.
--- Capturing frame...
Skipping 15 frames...
Capturing 1 frames...
Captured 16 frames in 0.70 seconds. (22 fps)
--- Processing captured image...
Scaling image from 640x480 -> 640x480.
Disabling banner.
Writing JPEG image to '/home/pi/hello_USB/nan/1_nan.jpg'.
--- Opening /dev/video1...
Trying source module v4l2...
/dev/video1 opened.
No input was specified, using the first.
Adjusting resolution from 1024x768 to 640x480.
--- Capturing frame...
Skipping 15 frames...
Capturing 1 frames...
Captured 16 frames in 0.70 seconds. (22 fps)
--- Processing captured image...
Scaling image from 640x480 -> 640x480.
Disabling banner.
Writing JPEG image to '/home/pi/hello_USB/nan/2_nan.jpg'.
--- Opening /dev/video2...
Trying source module v4l2...
/dev/video2 opened.
No input was specified, using the first.
Adjusting resolution from 1024x768 to 640x480.
--- Capturing frame...
Skipping 15 frames...
Capturing 1 frames...
Captured 16 frames in 0.70 seconds. (22 fps)
--- Processing captured image...
Scaling image from 640x480 -> 640x480.
Disabling banner.
Writing JPEG image to '/home/pi/hello_USB/nan/3_nan.jpg'.
--- Opening /dev/video3...
Trying source module v4l2...
/dev/video3 opened.
No input was specified, using the first.
Adjusting resolution from 1024x768 to 640x480.
--- Capturing frame...
Skipping 15 frames...
Capturing 1 frames...
Captured 16 frames in 0.70 seconds. (22 fps)
--- Processing captured image...
Scaling image from 640x480 -> 640x480.
Disabling banner.
Writing JPEG image to '/home/pi/hello_USB/nan/4_nan.jpg'.
pi@raspberrypi ~/$

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 การทำงานของโปรแกรมการรับภาพ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 โฟลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นจากการทำงานของโปรแกรมการรับภาพ

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า ในขณะที่เรียก script ขึ้นมา หากกรอกชื่อ “nan” ลงไป เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน โฟลเดอร์ที่ชื่อ “nan” จะถูกสร้างขึ้น เพื่อบันทึกภาพที่รับเข้ามา

ภายในโฟลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยชื่อ “nan” นั้นแสดงในรูปที่ 4.4 จะพบว่ามีไฟล์รูปที่เกิดจากโปรแกรมบันทึกไว้ในแต่ละขั้นตอน และมีการกำกับด้วย “_nan” ต่อท้ายไว้ทุกภาพ เพื่อให้ง่ายต่อการดึงไปใช้งานหรือค้นหาได้ในภายหลัง เมื่อจบกระบวนการการรับภาพแล้ว สามารถเก็บข้อมูลของผู้ป่วยรายอื่นต่อเพื่อใช้ประมวลผลในภายหลังได้ หรือสามารถเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อสร้างภาพแรงกดของเท้าและวิเคราะห์ผลต่อไปได้

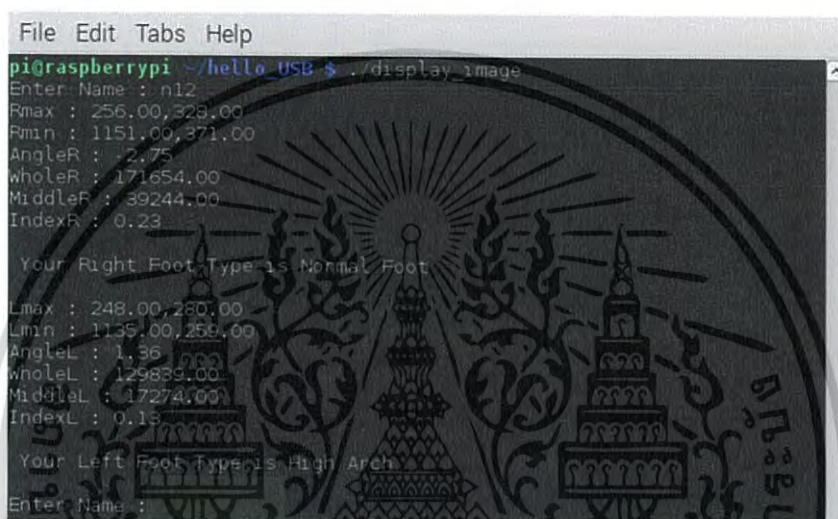


รูปที่ 4.4 ภาพในโฟลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การประมวลผลภาพ

ในขั้นตอนนี้ เริ่มต้นจากการเรียกใช้คำสั่ง `./display_image` บน command line เมื่อกรอกชื่อ “n12” ลงไป จะทำงานดึงภาพจากโฟลเดอร์ที่ชื่อ “n12” เพื่อการอ่านภาพและประมวลผล โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะแสดงภาพแรงกดของฝ่าเท้าออกมาทางจอภาพหลังโปรแกรมทำงานเสร็จสิ้น ภาพในแต่ละขั้นตอนนี้ทั้งหมดจะถูกบันทึกลงไปโนโฟลเดอร์เดียวกันทั้งหมด และทุกไฟล์บันทึกตามท้ายด้วย “_n12” เช่นเดียวกับภาพในขั้นตอน 4.2.1 เพื่อสามารถดึงไปใช้ได้ง่าย เมื่อสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมแล้ว ใน command line นั้นจะแสดงค่า parameter ของเท้า เพื่อจำแนกประเภทของเท้าออกมา ดังรูปที่ 4.5 โดยภายในโฟลเดอร์ที่สร้างขึ้นนั้นจะมีภาพที่ถูกบันทึกเพิ่มขึ้น ตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 การแสดงผลใน command line ในการประมวลผลภาพ

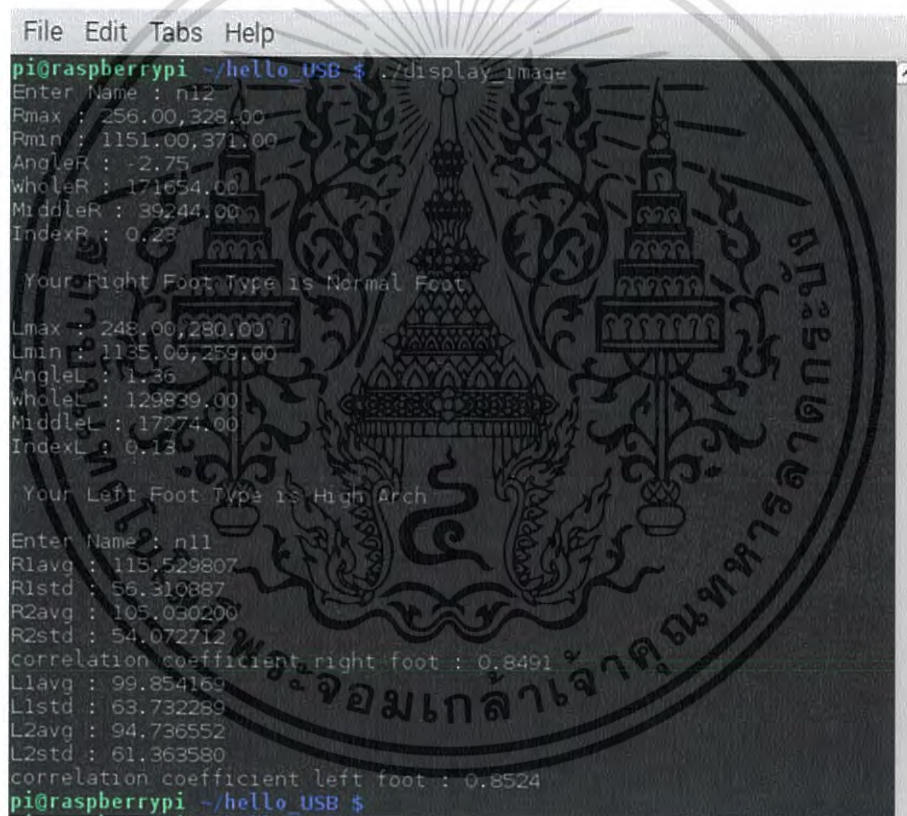


รูปที่ 4.6 ภายในโฟลเดอร์หลังสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักศึกษาเห็นว่าไม่เหมาะสมหรือมีข้อผิดพลาดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 จะพบว่า บน command line นั้นจะมีการกรอกชื่อหรือหมายเลขประจำตัวผู้ช่วยอีกครั้ง เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลที่เพิ่งผ่านการประมวลผลมาและที่ชุดข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลมาแล้วซึ่งได้เก็บบันทึกไว้ก่อนหน้านี้ เป็นการเปรียบเทียบความเหมือนกันเพื่อจำแนกลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล โดยค่าดังกล่าวจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยหากมีค่าเป็นลบ จะมีความสัมพันธ์แบบสหสัมพันธ์ลบ (negative correlation) คือ มีความสัมพันธ์กันในทางตรงข้ามกัน และ หากมีค่าเป็นบวก จะมีความสัมพันธ์แบบสหสัมพันธ์บวก (positive correlation) คือ มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน โดยหากมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ -1 หรือ 1 นั้น จะแสดงถึงข้อมูลมีค่าเหมือนกันอย่างสมบูรณ์

ดังนั้นเมื่อต้องการหาค่าดังกล่าว จึงใช้การทำงานของระบบต่อ โดยการกรอก “n11” ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลมาแล้ว เมื่อกด enter แล้ว ระบบจะทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ออกมาแสดงผลบน command line ดังรูปที่ 4.7

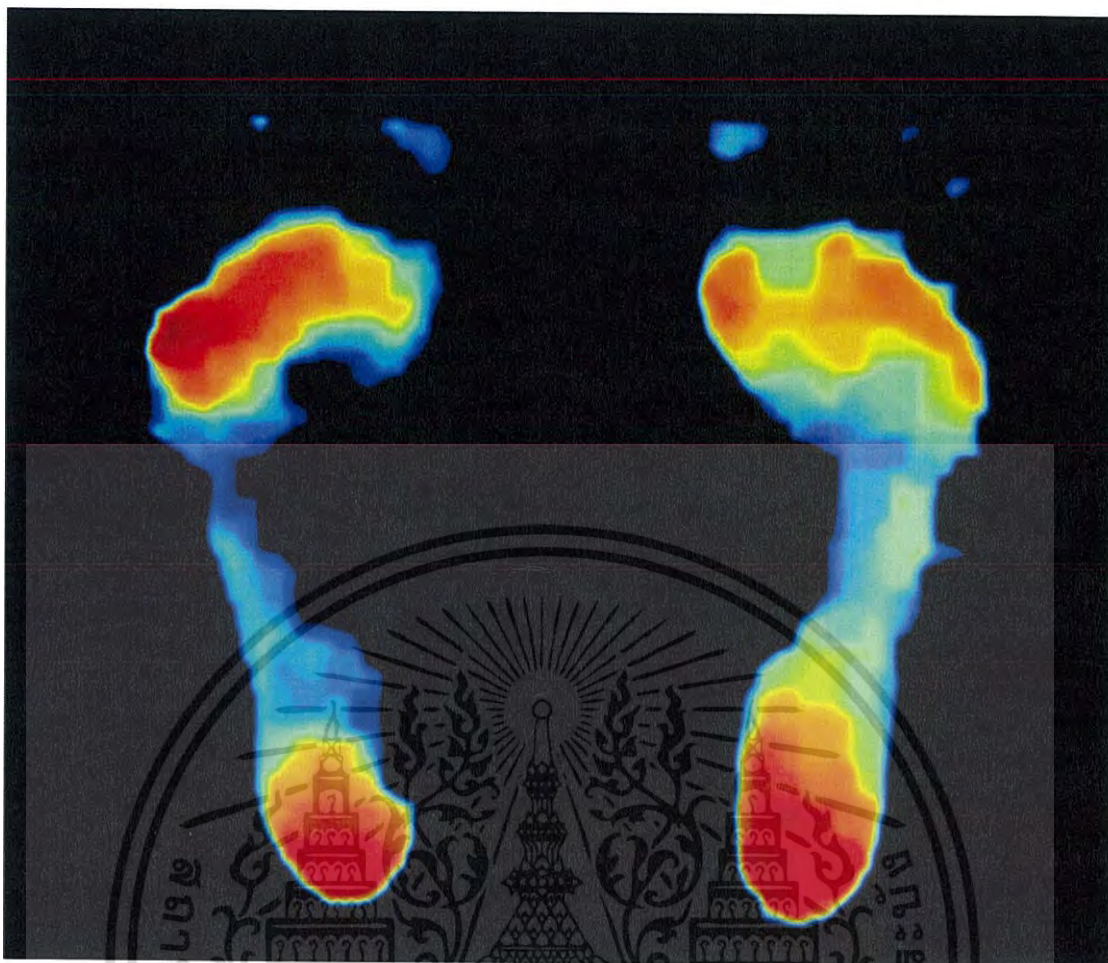


```
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi ~/hello_USB $ ./display_image
Enter Name : n12
Rmax : 256.00,328.00
Rmin : 1151.00,371.00
Angler : -2.75
WholeR : 171654.00
MiddleR : 39244.00
IndexR : 0.23
Your Right Foot Type is Normal Foot
Lmax : 248.00,280.00
Lmin : 1135.00,259.00
AnglerL : 1.36
WholeL : 129839.00
MiddleL : 17274.00
IndexL : 0.13
Your Left Foot Type is High Arch
Enter Name : n11
R1avg : 115.529807
R1std : 56.310887
R2avg : 105.030200
R2std : 54.072712
correlation coefficient right foot : 0.8491
L1avg : 99.854169
L1std : 63.732289
L2avg : 94.736552
L2std : 61.363580
correlation coefficient left foot : 0.8524
pi@raspberrypi ~/hello_USB $
```

รูปที่ 4.7 การแสดงผลบน command line หลังจบกระบวนการทั้งหมด

โดยภาพการแสดงผลดังกล่าว เมื่อจบกระบวนการทั้งหมดแล้ว จะถูกแสดงผลออกมาบนหน้าจอ หรือ สามารถเข้าไปดูในไฟล์เตอร์ที่บันทึกไว้ได้ เพื่อเปิดเปรียบเทียบกับ ข้อมูลอื่นๆได้ โดยจะแสดงผลตัวอย่างตามรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 4.7 เป็นการแสดงข้อมูลต่างๆของเท้าที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นข้อมูลจากโพลเดอร์ที่ชื่อ “n12” โดยข้อมูลต่างๆที่ปรากฏนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

- Rmax และ Rmin เป็นตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหามุมที่เท้าชวากับแนวเส้นตั้งตรง (AngleR) เช่นเดียวกับ Lmax และ Lmin เป็นตัวแปรที่ใช้คำนวณหามุมของเท้าซ้าย (AngleL)
- WholeR เป็นพื้นที่ทั้งหมดของเท้าขวา และ MiddleR เป็นพื้นที่บริเวณตรงกลางของเท้าขวา เพื่อนำไปหาอัตราส่วนของพื้นที่ตรงกลางต่อพื้นที่ทั้งหมด หรือที่เรียกว่า ค่าดัชนีความโค้ง (arch index) ซึ่งแสดงตามตัวแปร IndexR

จากค่าดัชนีความโค้งนี้ สามารถระบุลักษณะของเท้าได้ 3 ประเภท คือ เท้าปกติ (ค่าดัชนี : 0.21 – 0.26) เท้าโค้ง (ค่าดัชนี < 0.21) และ เท้าแบน (ค่าดัชนี > 0.26)

- R1avg : ค่าเฉลี่ยภาพเท้าขวา ในข้อมูลชุดแรก หรือ ข้อมูลที่กรอกชื่อก่อน
- R1std : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานภาพเท้าขวา ในข้อมูลชุดแรกเช่นกัน
- R2avg : ค่าเฉลี่ยภาพเท้าขวา ในข้อมูลชุดที่ 2 หรือ ข้อมูลที่กรอกชื่อภายหลัง
- R2std : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานภาพเท้าขวา ในข้อมูลชุดที่ 2 เช่นกัน

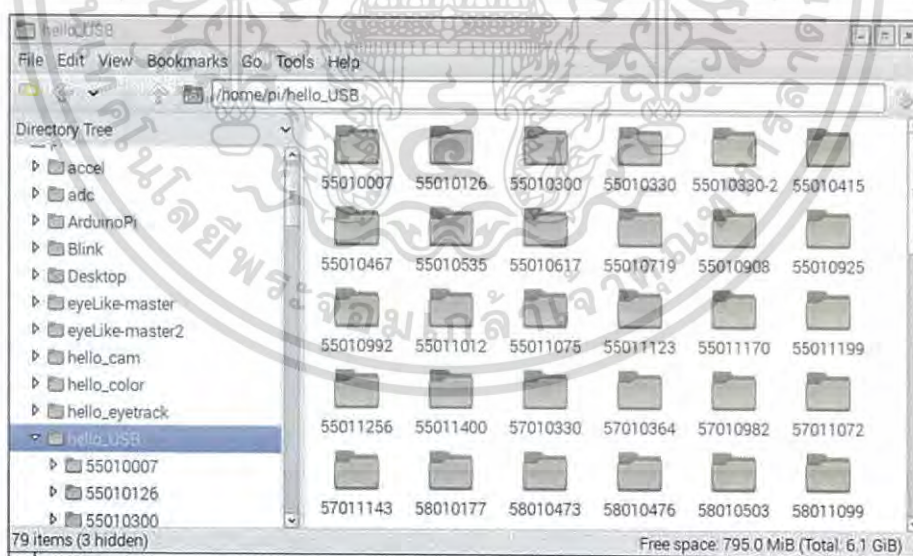
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- L1avg : ค่าเฉลี่ยภาพเท่าซ้าย ในข้อมูลชุดแรก หรือ ข้อมูลที่กรอกชื่อก่อน
- L1std : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานภาพเท่าซ้าย ในข้อมูลชุดแรกเช่นกัน
- L2avg : ค่าเฉลี่ยภาพเท่าซ้าย ในข้อมูลชุดที่ 2 หรือ ข้อมูลที่กรอกชื่อภายหลัง
- L2std : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานภาพเท่าซ้าย ในข้อมูลชุดที่ 2 เช่นกัน

จึงสามารถนำค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งข้อมูลทั้ง 2 ชุด ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งได้อธิบายการคำนวณนี้ไว้ใน 2.17 ซึ่งหลังจากการคำนวณแล้ว ค่าที่ได้จะถูกแสดงอยู่ใน command line เช่นเดียวกัน

โดยจากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำมาตีความอย่างคร่าวๆได้ คือ เท่าขวา มีลักษณะเท่าที่ปกติ และ เท่าซ้ายมีความเป็นเท่าโก่ง และเมื่อนำมาเปรียบกันระหว่างข้อมูล “n12” และ “n11” จะพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเท่าขวาเท่ากับ 0.8491 และเท่าซ้าย มีค่าเท่ากับ 0.8524 แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลทั้ง 2 ชุดที่เปรียบเทียบกับกันนั้น มีความสัมพันธ์กันแบบสหสัมพันธ์บวกและ มีค่าใกล้เคียงกันเกือบจะสมบูรณ์ (มีค่าเข้าใกล้ 1) นอกจากนี้ยังมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อแสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 4.4

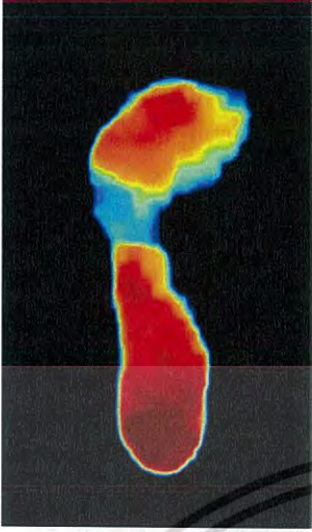

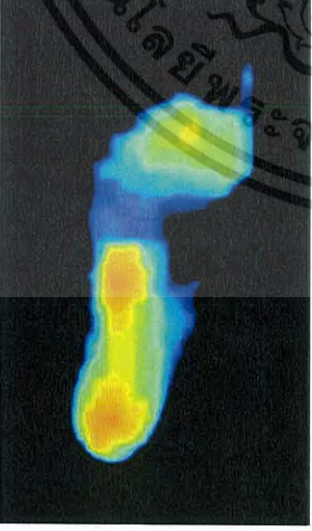
ข้อมูลในแต่ละครั้งจะถูกบันทึกไว้ในแต่ละโฟลเดอร์ซึ่งสร้างตามรหัส หรือ หมายเลข ที่กรอกเข้าไปในขณะที่เริ่มการทำงาน โดยตัวอย่างโฟลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นนั้น แสดงดังรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า มีโฟลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นตามรหัสต่างๆ เพื่อง่ายต่อการดึงไปใช้งานต่อไปได้



รูปที่ 4.9 โฟลเดอร์ที่ถูกสร้างขึ้นจากการทำงานของระบบ

เมื่อทดลองเก็บผลตัวอย่างจากหลายบุคคลจะพบความแตกต่างในเท่าของแต่ละคน แต่ละเท่า นั้นจะมีค่าพื้นฐานอย่าง ค่าดัชนีความโค้งที่แตกต่างกัน ทำให้แยกประเภทของเท่าออกมาเป็น 3 แบบ ได้แก่ เท่าปกติ เท่าโก่ง และ เท่าแบน โดยได้แสดงผลเปรียบเทียบตามตารางที่ 4.1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลเปรียบเทียบลักษณะที่ต่างกันของเท้า

	<p>Arch index : 0.24</p> <p>Foot type : Normal Foot</p> <p>Male</p> <p>Age : 24</p> <p>Height : 173</p> <p>Weight : 81</p>
	<p>Arch index : 0.18</p> <p>Foot type : High arch</p> <p>Female</p> <p>Age : 19</p> <p>Height : 166</p> <p>Weight : 58</p>
	<p>Arch index : 0.28</p> <p>Foot type : Flat Foot</p> <p>Female</p> <p>Age : 21</p> <p>Height : 163</p> <p>Weight : 59</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสอบเทียบ (Calibration)

จากกระบวนการที่อธิบายใน 3.4.3 การสอบเทียบนั้น ได้ค่าเพื่อนำมาใช้ คือ พื้นที่สัมผัส 4.9087×10^{-4} ตารางเมตร เพื่อใช้การคำนวณแรงกดจากแรงที่กระทำ เพื่อนำไปหาค่าพิกเซลจากแรงกดที่เกิดขึ้น โดยทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อนำค่าเฉลี่ยมาหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและค่าพิกเซล สามารถนำไปใช้ในการคำนวณว่าที่แรงกดแต่ละค่านั้น จะแสดงออกมาเป็นค่าพิกเซลเท่าใด

ผลจากการสอบเทียบของกล่องที่ 1-4 นั้น แสดงในตารางที่ 4.2 – 4.5 ตามลำดับ และได้นำมาหาค่าเฉลี่ยจากทั้ง 4 กล่องในตารางที่ 4.6 เมื่อนำข้อมูลแรงกดและค่าพิกเซลที่เฉลี่ยพล็อตลงบนกราฟแล้วจะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.10 และคำนวณสมการถดถอย หรือ regression line เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและค่าพิกเซลออกมาเป็นสมการที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล่องที่ 1 (เท้าซ้ายด้านบน)

น้ำหนัก weight	แรงที่กระทำ force	แรงกด pressure	Pixel Value			
			Round 1	Round 2	Round 3	Average1
kg	N.	kPa	Round 1	Round 2	Round 3	Average1
2.50	24.5	49.9453	131	133	135	133.0
3.75	36.8	74.9179	143	145	143	143.7
5.00	49.0	99.8905	151	153	153	152.3
6.25	61.3	124.8631	159	163	162	161.3
7.50	73.5	149.8358	174	174	175	174.3
8.75	85.8	174.8084	181	180	180	180.3
10.00	98.1	199.7810	193	189	195	192.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล่องที่ 2 (เท้าซ้ายด้านล่าง)

น้ำหนัก weight	แรงที่กระทำ force	แรงกด pressure	Pixel Value			
			Round 1	Round 2	Round 3	Average2
kg	N.	kPa	Round 1	Round 2	Round 3	Average2
2.50	24.5	49.9453	132	133	135	133.3
3.75	36.8	74.9179	142	144	144	143.3
5.00	49.0	99.8905	151	152	153	152.0
6.25	61.3	124.8631	160	163	162	161.7
7.50	73.5	149.8358	173	174	174	173.7
8.75	85.8	174.8084	179	183	182	181.3
10.00	98.1	199.7810	192	195	193	193.3

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล่องที่ 3 (เท้าขวาด้านบน)

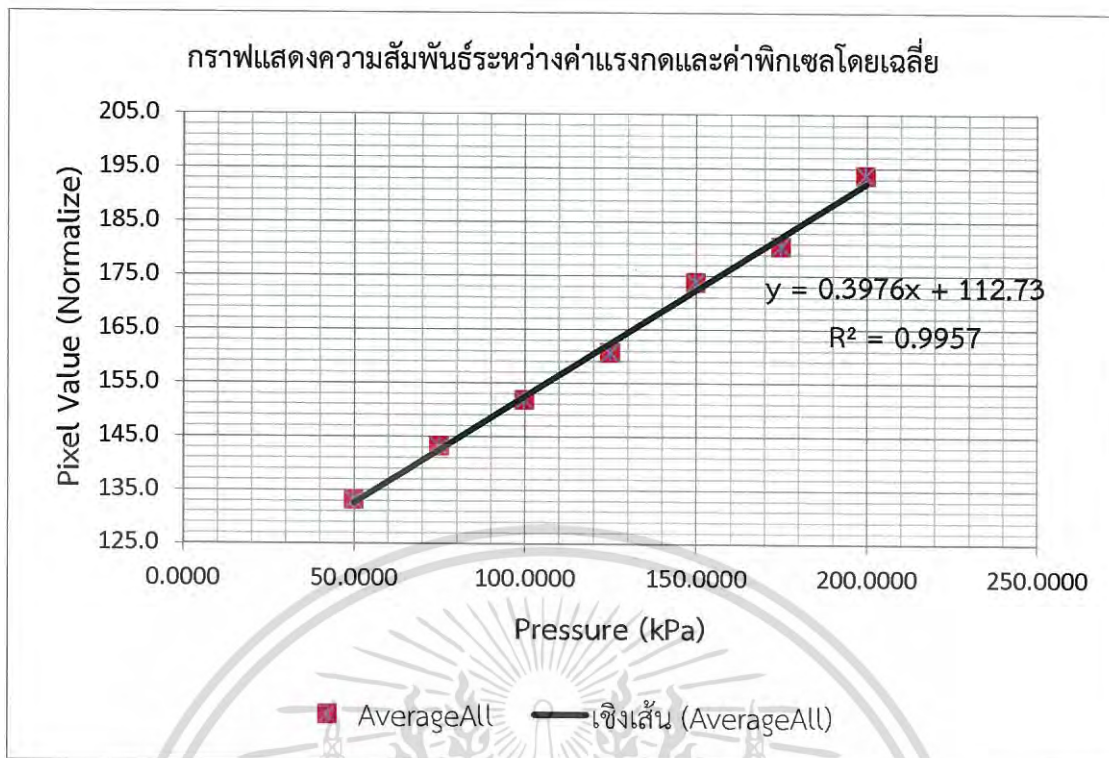
น้ำหนัก weight	แรงที่กระทำ force	แรงกด pressure	Pixel Value			
			Round 1	Round 2	Round 3	Average3
kg	N.	kPa				
2.50	24.5	49.9453	132	134	137	134.3
3.75	36.8	74.9179	145	142	145	144.0
5.00	49.0	99.8905	152	153	155	153.3
6.25	61.3	124.8631	158	164	160	160.7
7.50	73.5	149.8358	174	176	174	174.7
8.75	85.8	174.8084	182	181	181	181.3
10.00	98.1	199.7810	196	194	195	195.0

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจากการสอบเทียบกล่องที่ 4 (เท้าขวาด้านล่าง)

น้ำหนัก weight	แรงที่กระทำ force	แรงกด pressure	Pixel Value			
			Round 1	Round 2	Round 3	Average4
kg	N.	kPa				
2.50	24.5	49.9453	135	131	133	133.0
3.75	36.8	74.9179	142	144	144	143.3
5.00	49.0	99.8905	150	152	150	150.7
6.25	61.3	124.8631	158	162	161	160.3
7.50	73.5	149.8358	173	173	175	173.7
8.75	85.8	174.8084	181	178	181	180.0
10.00	98.1	199.7810	196	194	193	194.3

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจากการสอบเทียบจากผลเฉลี่ยทั้งหมด

น้ำหนัก weight	แรงที่กระทำ force	แรงกด pressure	Pixel Value				
			Average1	Average2	Average3	Average4	AverageAll
kg	N.	kPa					
2.50	24.5	49.9453	135	131	133	133.0	133.2
3.75	36.8	74.9179	142	144	144	143.3	143.2
5.00	49.0	99.8905	150	152	150	150.7	151.8
6.25	61.3	124.8631	158	162	161	160.3	160.7
7.50	73.5	149.8358	173	173	175	173.7	173.8
8.75	85.8	174.8084	181	178	181	180.0	180.4
10.00	98.1	199.7810	196	194	193	194.3	193.7



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดและค่าพิกเซลโดยเฉลี่ย

$$y = 0.3976x + 112.73$$

สมการที่ 4.1

จากสมการที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงกด (x) และ ค่าพิกเซลเฉลี่ย (y) เพื่อใช้ในการหาค่าพิกเซลในแต่ละค่าแรงกดที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถประมาณค่าได้อย่างแม่นยำได้ในช่วง 50 จนถึง 200 กิโลปาสกาล โดยหากมีค่าแรงกด 50 กิโลปาสกาล จะมีค่าพิกเซลเท่ากับ 133 และค่าแรงกด 200 กิโลปาสกาล จะมีค่าพิกเซล 192 แต่หากประมาณค่านอกเหนือช่วงดังกล่าว ค่าความแม่นยำจะลดลง เนื่องจากเป็น extrapolation

4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นสามารถใช้ในการทดสอบความสามารถของระบบในการจำแนกของบุคคลจากภาพที่ผ่านการประมวลผลภาพ โดยการเก็บข้อมูล 10 ครั้ง จากบุคคลคนเดียว เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ หากเปรียบเทียบภาพเดียวกัน ควรได้ค่าออกมาเป็น 1 ก็คือเป็นสหสัมพันธ์บวกที่มีความเหมือนกันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงตามตารางที่ 4.7 พบว่าค่าดังกล่าวมากกว่า 0.74 ซึ่งเป็นสหสัมพันธ์บวกที่มีความเหมือนกันค่อนข้างสูง แต่ไม่เหมือนกันอย่างสมบูรณ์ อาจจะเป็นเนื่องด้วยปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบ เช่น การลงน้ำหนักขณะยืน การขยับร่างกาย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

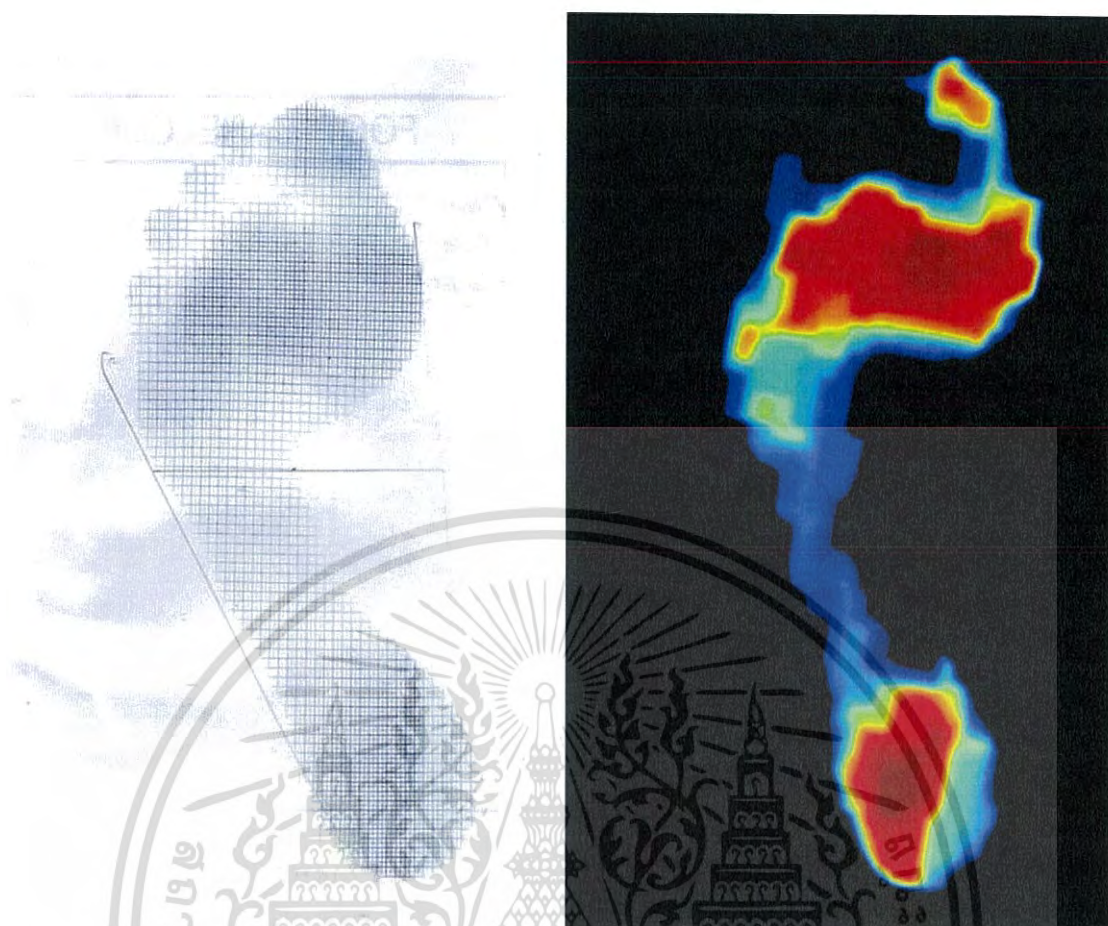
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.8491	0.7995	0.8171	0.8068	0.8164	0.7726	0.8091	0.8036	0.8228
2		1	0.7624	0.7701	0.7876	0.7476	0.8359	0.8982	0.8193	0.8691
3			1	0.8173	0.8674	0.8535	0.8557	0.8391	0.8077	0.7452
4				1	0.8421	0.8254	0.8718	0.7912	0.8316	0.8391
5					1	0.8187	0.8449	0.7912	0.7316	0.7530
6						1	0.8294	0.7484	0.8006	0.7303
7							1	0.8696	0.8064	0.7276
8								1	0.8595	0.7895
9									1	0.8391
10										1

4.5 การเปรียบเทียบผลกับวิธีการ Harris Mat

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องวัดแรงกด จึงได้นำผลไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดที่ใช้โดยทั่วไปในคลินิก หรือก็คือ Harris Mat โดยวัดจากบุคคลเดียวกัน

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบนั้นแสดงอยู่ในรูปที่ 4.11 จะพบว่า ผลที่ได้จาก Harris Mat (ภาพด้านซ้าย) นั้น สามารถแสดงบริเวณที่มีแรงกดสูงได้โดยสังเกตบริเวณที่มีหมึกเข้มกว่า ส่วนบริเวณที่มีแรงกดน้อยจะมีหมึกอ่อนกว่านั่นเอง แต่เมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องวัดแรงกดที่สร้างขึ้น (ภาพด้านขวา) จะพบว่าสามารถแบ่งแยกระดับของแรงกดที่เกิดขึ้นได้ง่ายกว่า เนื่องจากใช้สีในการแบ่งระดับของแรงกดที่เกิดขึ้นโดยอาศัยคำสั่งที่สร้างขึ้นให้ทำงานใน Raspberry Pi และผลลัพธ์ยังมีความละเอียดที่มากกว่าอีกด้วย



รูปที่ 4.11 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบของเครื่องวัดแรงกดที่สร้างขึ้นกับ Harris Mat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการดำเนินงานที่ 4.1 การสร้างฮาร์ดแวร์ และการดำเนินงานที่ 4.2 โปรแกรมการรับภาพและประมวลผลภาพ ในการรับแรงกดของฝ่าเท้า โดยจะใช้แผ่นอะคริลิกสร้างเป็นแท่นยืนที่ใช้เหล็กเป็นฐานตั้ง พบว่า มีการทำงานเป็นปกติ การเลือกใช้กระดาษ glossy สีขาวนั้น ได้เลือกใช้ความหนา 120 แกรม จะได้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนเนื่องจากมีความบางมากพอ ส่วนในด้านของโปรแกรมการทำงานนั้น การเขียนโปรแกรมบน Raspberry Pi นั้น คำสั่งบน command line นั้นใช้งานง่ายสามารถระบุตัวเลือกต่างๆของคำสั่งได้ง่าย เพื่อให้เข้ากับระบบการทำงาน นอกจากนี้ การเขียนโปรแกรมอีกส่วนหนึ่งด้วยภาษา c++ ก็สามารถใช้งานง่ายเช่นกัน สามารถทำงานร่วมกับ คำสั่งบน command line ได้ และการปรับเปลี่ยนแก้ไขคำสั่งเพื่อให้ระบบทำงานดีขึ้น ก็สามารถแก้ไขได้ง่าย

ในส่วนการดำเนินงานด้านการเก็บข้อมูลนั้น ข้อมูลของแต่ละบุคคลจะถูกแยกอยู่ในไฟล์เดอร์ของแต่ละบุคคล เพื่อให้ง่ายต่อการสืบค้นในภายหลัง โดยจะพบว่า ลักษณะของเท้าในแต่ละบุคคลย่อมมีความแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่จะปกติ (normal foot) แต่ก็มีบุคคลไม่น้อยที่จะมีความแตกต่างไป ได้แก่ เท้าโค้ง (high arch) และ เท้าแบน (flat foot) เนื่องจากลักษณะเฉพาะของแต่ละคน หรือ ความผิดปกติของร่างกาย นอกจากนี้มีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อการเปรียบเทียบความเหมือนกันของ 2 ชุดข้อมูล ตัวอย่างในการดำเนินงานนั้นจะมีค่าดังกล่าวของเท้าขวาและเท้าซ้าย เท่ากับ 0.8491 และ 0.8524 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าเป็นความสัมพันธ์แบบบวกที่มีความใกล้เคียงกันอย่างมาก

ผลจากการดำเนินงานที่ 4.3 นั้น ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดที่ตกลงไปเปรียบเทียบกับค่าพิคเซลที่เฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง โดยสมการที่ได้ คือ $y = 0.3909x + 113.67$ โดย x เป็นแรงกด และ y เป็นค่าพิคเซล เพื่อนำไปใช้ในการระบุค่าแรงกดที่เกิดขึ้น เมื่อมีผู้ป่วยขึ้นไปยังบนเครื่องวัด โดยอาศัยข้อมูลของค่าพิคเซลเพื่อเป็นตัวบ่งบอกทางอ้อม จากการสอบเทียบดังกล่าวการประมาณแรงกดที่เหมาะสมนั้นอยู่ในช่วง 50 ถึง 200 กิโลปาสกาล ซึ่งเป็นช่วงของแรงกดของเท้าส่วนมาก หากมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าจากนี้ ก็สามารถประมาณค่าได้แต่อาจมีความแม่นยำที่ลดลง

ผลจากการดำเนินงานที่ 4.4 เราจะพบว่าเมื่อเก็บข้อมูลจากบุคคลคนเดียวทั้งหมด 10 ครั้ง แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ทั้งหมดจะมีค่ามากกว่า 0.74 จึงเป็นความสัมพันธ์แบบบวกที่มีความเหมือนกันค่อนข้างสูง แสดงถึงประสิทธิภาพของการทำงานของระบบ โดยค่าดังกล่าวควรจะมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 เนื่องจากมาจากบุคคลเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นผลกระทบมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น การลงน้ำหนักขณะยืน การขยับร่างกาย เป็นต้น

และผลจากการดำเนินงานที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบผลกับ Harris Mat พบว่า สามารถแยกระดับแรงกดที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณได้ชัดเจนกว่า และยังมีความละเอียดของผลลัพธ์ที่สูงกว่าอีกด้วย แต่ยังมีปัญหาในการแสดงผลในบริเวณที่มีแรงกดน้อยมาก ทำให้บางบริเวณขาดหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.) การวางตำแหน่งกล้องในการบันทึกภาพนั้น ถ้ามีการเคลื่อนย้ายระบบ อาจจะมีการคลาดเคลื่อนของกล้องเล็กน้อย ส่งผลต่อภาพที่เกิดขึ้น ควรยึดตำแหน่งให้ดีขึ้น
- 2.) การเปรียบเทียบกับระบบที่มีอยู่จริงนั้น ควรจะนำไปเปรียบเทียบเพิ่มเติม
- 3.) การยืนยันลักษณะที่แตกต่างกันของบุคคลเดียวกัน ย่อมส่งผลต่อผลลัพธ์ที่ได้ อาจจะคล้ายคลึงหรือต่างไปอย่างสิ้นเชิง จึงจำเป็นที่จะยืนยันในลักษณะเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิตาภา จงศรีวัฒนพร, ชลธิชา เฉลิมฤทธิ์ขจร, เขาวฤทธิ์ ชัยสุริยะพันธ์. “ระบบแสดงผลการกดน้ำหนักของบริเวณฝ่าเท้า เพื่อการวินิจฉัยความผิดปกติของบริเวณฝ่าเท้าและโครงสร้างกระดูกเบื้องต้น.” *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 2556.
- [2] Rabbani, K. Siddique-e, Ishraque, S.M. Zahid, Islam, M. Shahedul, Rabbani, R. Muasir. “Improvisation of an Optical Pressure Sensor Based Dynamic Foot Pressure Measurement System.” *Bangladesh Journal of Medical Physics*. vol. 4, no.1, 2011. Pp. 51-58.
- [3] Wong, C. Kevin, Weil, R., Boer, E. de, “Standardizing Foot-Type Classification Using Arch Index Values.” *Physiother Can*. vol.64(3), 2012. Pp. 280-283.
- [4] “Chossing Colormaps.” [Online]. Available : <http://matplotlib.org/users/colormaps.html>. 2017
- [5] ธนภณ เกียรติสมาน. “การวัดแรงกดของเท้าโดยใช้กล้องดิจิตอล.” *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 2559.
- [6] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. “การประมวลผลภาพดิจิตอลด้วย Matlab.” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สจล. 2556.
- [7] Petsarb, K., Apaiwong, C., Phairoh, C., Rattanakajornsak, R., Kajornpredanon Y., Daochai, S., “Low Cost and Customized Plantar Pressure Analyzer for Foot Pressure Image in Rehabilitation Foot Clinic.” *Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*. 2012
- [8] Lígia, L. Cisneros, Tiago, H. S. Fonseca, Vivianni, C. Abreu. “Inter- and Intra-Examiner Reliability of Footprint Pattern Analysis Obtained From Diabetics Using the Harris Mat.” *Brazilian Journal of Physical Therapy*. Vol.14, no.3, 2011. Pp. 200-205.
- [9] Shinde, C., Wang, W., Abboud, R., “Analysis of Foot Pressure Variation with Change in Stride Length.” *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2014. vol.13, issue 10. October 2014. Pp 46-51.
- [10] Raspberrypiorg. (n.p.). “Using a standard USB webcam.” [online]. available : <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/webcams/>
- [11] Imagemagick studio llc. (n.p.). “ImageMagick.” [online]. จาก available : <http://www.imagemagick.org/script/convert.php>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธนภณ เกียรติสมาน
วัน เดือน ปีเกิด	20 กันยายน 2536
ที่อยู่	18 พุทธบูชา 4 แขวงบางมด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ 10150
ประวัติการศึกษา	2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	
พ.ศ. 2558	การวัดแรงกดของเท้าโดยใช้กล้องดิจิทัล
พ.ศ. 2559	Foot Plantar Pressure Measurement System Using Optical Sensor (The 2016 Biomedical Engineering International Conference) (BMEICON-2016)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Foot Plantar Pressure Measurement System Using Optical Sensor

Tanapon Keatsamarn

Biomedical Engineering Program
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
tanapon.non@hotmail.com

Assoc.Prof.Dr. Chuchart Pintavirooj

Biomedical Engineering Program
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
chuchartpintavirooj@gmail.com

Abstract—Foot pressure measurement is necessary for classifying disorders of the foot and designing insole for individual person. This present work uses optical sensor (webcam) to capture the foot-pressure image. Image processing on Raspberry Pi with OpenCV library is applied to process image and color coding corresponding to foot pressure. The hardware system uses the transparent acrylic plate and uses the steel as a base of the acrylic plate. The glossy white paper is placed on the top of the transparent acrylic plate covering with polypropylene sheet on the system to block light from outside. Light in the system is released from LED strip entering from a side of the acrylic plate. The scattered light occurred in acrylic plate from the foot pressing were recorded by the webcams. The four webcams placed below facing upward for collecting images (2 cameras for each foot) and sending to Raspberry Pi. Raspberry Pi will perform image process including image enhancement and image stitching and image displaying. The result can be used to classifying foot type and find methods to prevent the occurrence of for disorders.

Keywords—Foot Pressure, Diabetic Patient, Image Processing, color coding.

I. INTRODUCTION

The organs which are an important structure found in many vertebrates are feet. They are the terminal parts of limbs and have necessary functions for loading the body weight and supporting body's movement. In individual person there are different types of foot. Normal foot found regularly would have paws that help to reduce the impact occurred and support movement is a natural. High arch foot is a rare type. This type has more curvature of the foot than usual and cause foot to tilt outward (Supination) when walking or running. This is the factor that cause ankle sprained when running because the feet have low flexibility. Another rare foot type is flat foot; the curvature of flat foot type is very little. It makes ankle and knee receive impact more than they should be when walking or running. There is also the chance of foot tilts inward (Overpronation) that can be cause injury, including hamstring inflammation and metatarsal pain.

Patients who have a disorder of the foot don't always aware of such a malfunction. Especially in diabetic patients, who have a problem caused by lack of sensation in the foot, they don't feel any pain and make lower recognition when they have ulcers at high-pressure points on their foot and leading to gangrene and amputation.

Foot pressure measurement technologies are topic of interest during the past decade. A simple ink impression on a paper is the easy method that has been used for the long time. It uses permanent mechanical deformation created by a foot on the specialized material. The sample result as shown Fig. 1. However, its disadvantage is the lack of pressure precision. It also cannot find the distinguishing pressure at different positions on the foot area. Moreover, this method must require fresh materials in each test.



Fig. 1 Simple ink impression on a paper

Recently pedograph instrument has become available, which use a matrix of small pressure sensor distributed over the sensitive area on which a person stands. This method can find the clearly different pressure at the each position on the foot area but the lower resolution is lower than the optical sensor as shown in Fig. 2. However, the pedograph instruments sold only as a complete package with hardware and software. They are very expensive and hence not suitable of for local clinics and small hospitals.

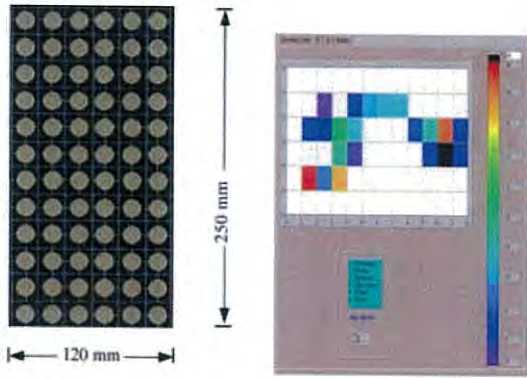


Fig. 2 Pedograph, which use a matrix of 72 pressure sensor.

The other problem about pressure sensor is, when using a low resolution sensor, the under estimation of pressure may result which is due to averaging effect resulting in a low accuracy and low resolution. In contrary, when using high resolution sensor, the cost of instrument is very high.

In this paper, we have an attempt to design a foot pressure measurement instrument which is low cost and yet a high efficient which is suitable for the local clinics and hospitals. We choose the optical sensor to use in the instrument. Our optical sensor is a low-cost high-resolution webcam digital camera.

II. METHODS & RESULTS

The methods and results are presented as follows.

A. Hardware System

There are 6 main components of the hardware system: the platform, the base, the glossy white paper, the polypropylene sheet, the LED strip and the four digital cameras. The hardware system as shown in Fig. 3.

The platform was used for patient standing and it was made from acrylic plate width 40 cm. height 40 cm. and thickness 1 cm. since its cost is low compared to common glass plate. It also has a high transparency and resilient. The base of the platform was made of steel. On the top of the platform, the glossy white paper was placed. The polypropylene sheet was used to cover the system as it helped to block the outside light and protect the platform from scratch. The LED strip was attached to the sides of the platform. Four digital cameras are placed underneath the platform facing upwards. Each pair of cameras was used for one foot to take pictures and composite the software.

When the system has no pressure on the platform, the cameras provides dark background because the light does not reflect off the platform. At the points where the foot presses, the air between the glossy white paper and the platform are displaced. Light are reflected and scattered by the gloss white paper sheet. From below, these points were bright then the digital cameras took images. Spots and the brightness increases with the amount of pressure.

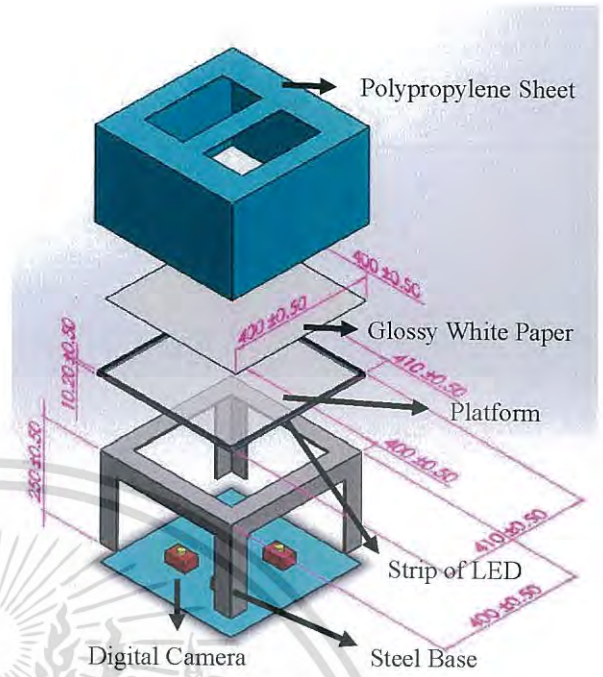


Fig. 3 The hardware system

B. Software System

With the objective to design the embedded foot-pressure measurement system, we opt to use the raspberry pi as the main processor. The digital image processing software processes on the raspberry pi using the OpenCV. The software system starts from adding patient name or patient number on command line. The raspberry pi creates folder prepared for collecting all images from four cameras. Next, four digital cameras initialize and capture the four images. The size of image is 640x480. The four captured images are then stitched to make the whole left and right foot pressure images. Then the software converts images to gray scale image and use morphological process to get rid of the speckle noise. The color-coding is then performed to map the pressure to color for further analysis.

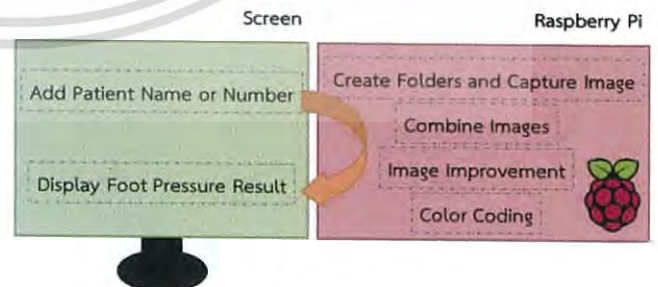


Fig. 4 The software system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C. Result

The operation of the embedded system starts after user adds patient name or number on command line. The raspberry pi creates the folder and capture images as shown in Fig. 5. Then the images through image processing as describing in the software system part is also shown in Fig. 5. The resulted color-coding image of foot pressure is shown in Fig. 6. The screen displays the patient foot prints with 7 colors according to amount of pressure measured. The color code, in ascending order of pressure, is gray, light blue, deep blue, yellow, green, orange and red ; *i.e.* the red area correspond to the high pressure area.

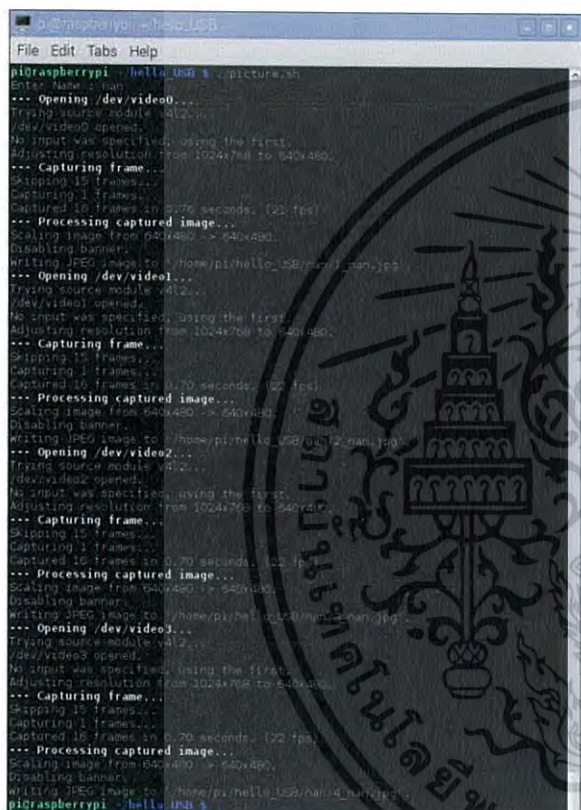


Fig. 5 Command window on raspberry pi

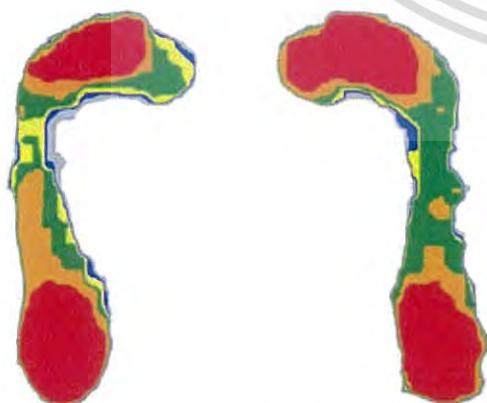


Fig. 6 The result as shown in the screen

The color-coding resulted image of foot pressure can be used to classify foot type and find methods to prevent the occurrence of disorders such as forming the special insole for individual person. The foot can be classified into 3 types including normal foot, high arch and flat foot. To classify foot type, we measure arch index. Arch index is the ratio between the middle footprint area and the whole footprint area. The arch index has been used because the middle footprint area in each foot has a distinctly difference. The calculation divides the footprint area following by Fig. 7.



Fig.7 The footprint area division

The arch index is calculated as follow:

$$\text{Arch Index (I)} = B/(A+B+C) \quad (1)$$

Normal foot type have arch index between 0.20 and 0.26. High arch type have arch index below 0.2 and flat foot type have arch index over 0.26. Fig. 8 shows the foot pressure image and the computed arch index computed from our system.

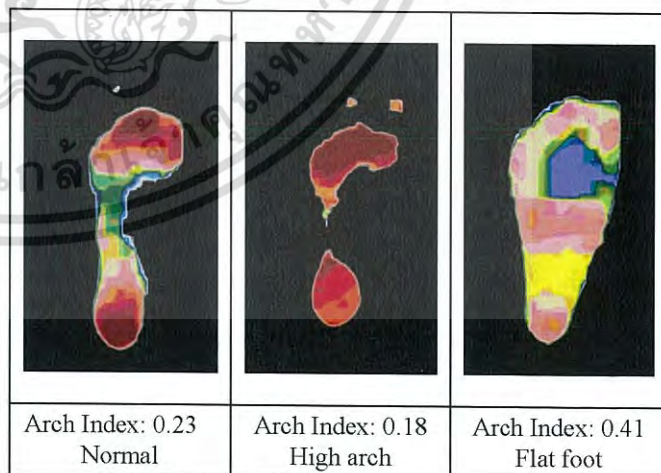


Fig.8 The example of arch index calculation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. DISCUSSION AND CONCLUSION

This paper presents an alternative method to the development of a pedograph for a third world clinics and hospitals. The material for the instrument is made from item available in the third world clinics and hospital. The system consists of transparent platform that is designed to let the subject stand on. On the top of the acrylic plate, glossy white paper (120 grams) is placed following by a polypropylene sheet. The glossy white paper is used to scatter the light to image sensor where the polypropylene sheet is used to block the background light. The four digital cameras are installed underneath to capture the foot image. Raspberry pi is used as the main process performs digital image process which is image enhancement, image stitching, color coding and arch index computation. The system however needs to be further calibrated and validated with commercial foot measurement.

REFERENCES

- [1] K Siddique-e Rabbani, SM Zahid Ishraque, M ShahedulIslam, RhaadMuasirRabbani, "Improvisation of an optical pressure sensor based dynamic foot pressure measurement system", Department of Biomedical Physics & Technology, University of Dhaka, Dhaka-1000, Bangladesh Institute for Biomedical Engineering & Appropriate Technology (BIBSAT), Vol.4, No. 1, 2011
- [2] Petsarb, K., "Low Cost and Customized Plantar Pressure Analyzer for Foot Pressure Image in Rehabilitation Foot Clinic", Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON), 2012 on 5-7 Dec. 2012
- [3] Raspberrypi.org.(n.p.).Using a standard USB webcam.Retrieved 5 April, 2016,from <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/webcams/>
- [4] Imagemagickstudio llc.(n.p.).ImageMagick.Retrieved 5 April, 2016,from <http://www.imagemagick.org/script/convert.php>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้