

ระบบคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์บนคลาวด์
โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง
CERVICAL CANCER CELLS CLASSIFICATION USING ARTIFICIAL
INTELLIGENT ON CLOUD AND INTERNET OF THINGS

ธนกฤษ จิตติชัยเวทย์
Tanakit Jittichaiwet
สุวิชา ศศิวิมลกุล
Suvicha Sasiyimolkul

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

ระบบคัดกรองเซลล์มะเร็งเรื้องปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์บนคลาวด์
โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง
CERVICAL CANCER CELLS CLASSIFICATION USING ARTIFICIAL
INTELLIGENT ON CLOUD AND INTERNET OF THINGS

โดย
ธนภุช จิตติชัยเวทย์
สุวิชา ศศิวิมลกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

ปริญญาโท	ปีการศึกษา 2560
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระบบคัดกรองเซลล์มะเร็งเรื้องรังปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์บนคลาวด์ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง CERVICAL CANCER CELLS CLASSIFICATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENT ON CLOUD AND INTERNET OF THINGS
ผู้จัดทำ	ธนภุช จิตติชัยเวทย์ รหัสประจำตัว 57010538 สุวิชา ศศิวิมลกุล รหัสประจำตัว 57011430

รายงานนี้ผ่านการตรวจโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ



(ดร. วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์บนคลาวด์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง
ชื่อนักศึกษา	นายธนภุช จิตติชัยเวทย์ นายสุวิชา ศศิวิมลกุล
รหัสประจำตัว	57010538 57011430
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะช่วยในการแก้ปัญหาการขาดแคลนของพยาธิแพทย์ ซึ่งปริญญานิพนธ์นี้ได้มุ่งเน้นการออกแบบระบบในการตรวจคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์ที่ทำงานอยู่บนระบบคลาวด์ โดยระบบนี้จะประกอบไปด้วย 1) เครื่องถ่ายภาพตัวอย่างเซลล์ที่ได้จากสไลด์ ThinPrep จากวิธี liquid-based ซึ่งเครื่องถ่ายภาพนี้ สามารถที่จะถ่ายภาพเซลล์เนื้อเยื่อตัวอย่างที่ได้จากปากมดลูกของผู้ป่วย และส่งภาพขึ้นไประบบคลาวด์ได้ 2) ระบบการประมวลผลเพื่อคัดกรองเซลล์ ที่ทำงานอยู่บนระบบคลาวด์ โดยระบบดังกล่าวใช้ปัญญาประดิษฐ์ชนิดโครงข่ายประสาท (Neural network) เพื่อทำการคัดกรองภาพของเซลล์มะเร็งปากมดลูก และส่งผลกลับไปหาพยาธิแพทย์ผ่านระบบคลาวด์เพื่อที่จะสามารถเรียกดูภาพได้จากสถานที่ใดก็ได้

Thesis	Cervical Cancer Cells Classification using Artificial Intelligent On Cloud and Internet of Things
Student	Mr.Tanakit Jittichaiwet Mr.Suvicha Sasivimolkul
Student ID.	57010538 57011430
Degree	Graduate of Engineering
Program	Biomedical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Dr.Wibool Piyawattanametha

ABSTRACT

This thesis is made to solve the lack of Pathologists by focusing on the cervical cancer cells classification using artificial intelligent based on cloud by the system consists of 1) Device for capturing ThinPrep slide from a liquid-based pap smear, and then send images to cloud. 2) The processing system for detect cervical on cloud used artificial intelligent type convolution neural network to detect cervical cancer from images, then send prediction to pathologist, so that it can be viewed from any location.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการวิเคราะห์ภาพ รวมถึงกระบวนการปรับปรุงภาพ (image processing) แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ นายพุฒิพงศ์ กนกวิจิตร ที่ให้ยืมเลนส์มาเป็นอุปกรณ์ในการทดลองซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการวิจัยนี้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ ของข้าพเจ้าที่เรียนสาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ ที่เป็นเสมือนคู่คิดและกำเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มะเร็งปากมดลูก	6
2.1.1 สาเหตุหลักของการเกิดมะเร็งปากมดลูก	6
2.1.2 การแพร่กระจายของมะเร็งปากมดลูก	8
2.2 แสง	15
2.2.1 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงที่เห็นได้	15
2.2.2 แหล่งกำเนิดแสง	16
2.3 เลนส์	16
2.4 เซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor)	18
2.4.1 ข้อแตกต่างระหว่าง CCD และ CMOS	18
2.4.2 คุณสมบัติของ Image Sensor	20
2.4.3 การทำงานของเซ็นเซอร์	22
2.5 กล้องดิจิทัล	26
2.5.1 ส่วนประกอบหลัก	26
2.5.2 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล	32
2.5.3 เลนส์กล้อง	33
2.5.4 Nikon DSLR D3400	37

2.6	USAF 1951	39
2.6.1	ลักษณะของ USAF 1951	39
2.7	โครงข่ายประสาทเทียม	41
2.7.1	องค์ประกอบและโครงสร้างการทำงาน	43
2.7.2	หลักการทํางาน	45
2.7.3	ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม	47
2.7.4	ประเภทของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม	48
2.7.5	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม	49
2.7.6	Gradient Descent	51
2.7.7	คำจำกัดความ และรูปแบบฟังก์ชัน	52
2.7.8	สรุปขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม	53
2.7.9	ประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเสมือน	53
2.7.10	การประยุกต์ใช้งาน Neural Network	54
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย		
3.1	หลักการออกแบบ Hardware	55
3.1.1	ขั้นตอนการออกแบบ	55
3.1.1.1	ทำการศึกษากล้อง Nikon DSLR	55
3.1.1.2	ทำการศึกษาเลนส์	57
3.1.1.3	เลือกรูปแบบแหล่งกำเนิดแสง	60
3.1.1.4	ทำการทดสอบหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง	61
3.1.1.5	กำหนดระยะของอุปกรณ์ทั้งหมด	63
3.1.1.6	ยึดตำแหน่งของอุปกรณ์	63
3.1.1.7	3-Axis Linear Stage	66
3.1.1.8	ส่วนขับเคลื่อน stage	67
3.1.1.9	ส่วนควบคุมตัวขับเคลื่อน DC servo motor	68
3.1.1.10	ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลังจากยึดตำแหน่ง	69
	ลงบนอะคลีลิก	
3.2	การออกแบบอัลกอริทึมของโปรแกรมประมวลผล	72
3.2.1	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	72
3.2.1.1	ขั้นตอนการเตรียมรูปภาพ	74
3.2.1.2	ขั้นตอนการสอน	75
3.2.1.3	ขั้นตอนการตรวจสอบ	77
3.2.1.4	ขั้นตอนการทดสอบ	78

3.3	การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม	80
3.3.1	การทดสอบหาโมเดลที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด	80
3.3.2	การทดสอบนำภาพที่ได้จากอุปกรณ์ของปัญญาประดิษฐ์มาทดสอบด้วย โมเดลที่มีความแม่นยำมากที่สุดจากขั้นตอนการสอนจากหัวข้อ3.2.1	80
3.3.3	วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ	82
3.4	การทำการประมวลผลและเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆ	83
3.4.1	การติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ PuTTY	88
3.4.2	การแลกเปลี่ยนไฟล์กับเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ WinSCP	90
3.4.3	การตั้งค่า และติดตั้งสิ่งที่จำเป็นที่ใช้ในการประมวลผลอัลกอริทึมแบบ ปัญญาประดิษฐ์บนเซิร์ฟเวอร์	92
3.4.3.1	การตั้งค่า CUDA	92
3.4.3.2	การติดตั้ง Pytorch	93
3.4.4	การตั้งค่า Jupyter Notebook บนเซิร์ฟเวอร์	94
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล		
4.1	ส่วนของฮาร์ดแวร์	96
4.1.1	ภาพรวมของอุปกรณ์ทั้งหมดในส่วนฮาร์ดแวร์	96
4.1.2	การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์	98
4.1.2.1	ทดสอบความเป็นรบกวนในแนวนอน	98
4.1.2.2	ทดสอบความเป็นรบกวนในแนวตั้ง	99
4.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม	101
4.2.1	ผลการทดสอบหาโมเดลที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด	101
4.2.1.1	ผลการทดสอบขั้นตอนการสอน	101
4.2.1.2	ผลการทดสอบขั้นตอนการตรวจสอบ	105
4.2.1.3	ผลการทดสอบขั้นตอนการทดสอบ	106
4.2.2	ผลการทดสอบนำภาพที่ได้จากอุปกรณ์ของปัญญาประดิษฐ์มาทดสอบ ด้วยโมเดลที่มีความแม่นยำมากที่สุดจากขั้นตอนการสอนจากหัวข้อ 4.2.1	117
4.3	ผลการทดสอบการประมวลผลและเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆ	119
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย		
5.1	สรุปผลการวิจัย	121
5.2	ข้อเสนอแนะ	122
บรรณานุกรม		XII
ภาคผนวก ก.		XVI

ภาคผนวก ข.	XVIII
ภาคผนวก ค.	XX
ภาคผนวก ง.	XXII
ภาคผนวก จ.	XXIV

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการศึกษา	4
2.1 ความแตกต่างระหว่างเซลล์ปกติกับเซลล์ที่เป็นมะเร็ง	12
2.2 เปรียบเทียบการรายงานผลการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกโดยเซลล์วิทยาาระบบต่าง ๆ	14
2.3 แสดงตัวอย่างขนาดต่าง ๆ ของหน่วยรับภาพดิจิทัล	31
2.4 แสดงคุณสมบัติของกล้อง Nikon DSLR D3400	37
2.5 แสดงค่า lp/mm ของชาร์ตทดสอบความละเอียด USAF 1951	40
3.1 ตารางแสดงการแบ่งรูปภาพเป็น 3 ส่วน	74
3.2 ตั้งค่า ip เพื่อความปลอดภัยและเพื่อใช้ติดต่อเข้าไปยังเซิร์ฟเวอร์	86
4.1 ผลการทดลองหาความเป็นระนาบของอุปกรณ์ในแนวนอน	98
4.2 ผลการทดลองหาความเป็นระนาบของอุปกรณ์ในแนวตั้ง	100
4.3 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet50	101
4.4 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet101	102
4.5 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet152	103
4.6 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการตรวจสอบ โมเดล resnet50, resnet101 และ resnet152	105
4.7 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet50 ครั้งที่ 1	107
4.8 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet50 ครั้งที่ 2	108
4.9 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet50 ครั้งที่ 3	109
4.10 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet101 ครั้งที่ 1	110
4.11 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet101 ครั้งที่ 2	111
4.12 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet101 ครั้งที่ 3	112
4.13 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet152 ครั้งที่ 1	113
4.14 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet152 ครั้งที่ 2	114
4.15 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet152 ครั้งที่ 3	115
4.16 ตารางบันทึกผล TP, FP, TN และ FN ของทั้ง 3 โมเดล	116
4.17 ตารางค่าความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะ ของทั้ง 3 โมเดล	116
4.18 ตารางผลการทดสอบกับภาพที่ได้จากอุปกรณ์ของปริญญาโท	118
4.19 ตารางค่าความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะ ของการทดสอบกับภาพจากอุปกรณ์ของปริญญาโท	119

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
1.1 แผนการจัดการเพื่อตรวจวินิจฉัยจากผลการตรวจคัดกรองแบบต่างๆ	2
2.1 มะเร็งปากมดลูก	6
2.2 สเปกตรัมของแสงขาว	15
2.3 การเดินทางของแสงเข้าตา	15
2.4 แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ	16
2.5 เลนส์นูน 2 หน้า เลนส์นูนแกมระนาบและเลนส์นูนแกมเว้าตามลำดับ	16
2.6 การเดินทางของแสงผ่านเลนส์นูน	17
2.7 เลนส์เว้า 2 หน้า เลนส์เว้าแกมระนาบ และเลนส์เว้าแกมนูน	17
2.8 การเดินทางของแสงผ่านเลนส์เว้า	17
2.9 CMOS sensor	19
2.10 CCD sensor	19
2.11 การทำงานของเซ็นเซอร์รับภาพ	22
2.12 CCD sensor	22
2.13 ส่วนประกอบของ CCD sensor	23
2.14 เปรียบเทียบความต่างของภาพที่มีจำนวน Photosite ต่างกัน	23
2.15 การใส่ filter เพื่อทำการแยกสีของภาพ	24
2.16 ภาพแสดงปริมาณแสงที่สามารถลอดผ่านรูแสงที่ค่าอะเพอร์เจอร์ต่างกัน	27
2.17 ภาพแสดงขนาดของรูแสงที่ค่าอะเพอร์เจอร์ต่าง ๆ	27
2.18 Focal-Plane Shutter	30
2.19 ส่วนประกอบของกล้องดิจิตอล	31
2.20 การเดินทางของแสงเข้าเซ็นเซอร์รับภาพ	33
2.21 การเดินทางของแสงภายในกล้อง	34
2.22 เลนส์ประเภทต่าง ๆ	34
2.23 กล้อง Nikon DSLR D3400	37
2.24 ลักษณะของ USAF 1951	40
2.25 แสดงโมเดลของนิวรอนในสมองมนุษย์	42
2.26 แสดงจุดที่เรียกว่า synaptic	42
2.27 แสดงโหนด(วงกลม) แทน เซลล์ประสาท และ	43
โหนดต่อกันเป็นโครงข่ายแทนชั้นของ hidden layer ภายในโมเดล	
2.28 แสดงองค์ประกอบและโครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม	44

รูป	หน้า
2.29 แสดงกราฟฟังก์ชันของ ReLU	45
2.30 แสดงการแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม	47
2.31 แสดงลักษณะโครงข่ายแบบชั้นเดียว	47
2.32 แสดงลักษณะโครงข่ายแบบหลายชั้น	48
2.33 แสดงโครงข่ายการส่งข้อมูลแบบไม่ย้อนกลับ	49
2.34 แสดงโครงข่ายการส่งข้อมูลแบบย้อนกลับ	50
2.35 แสดงภาพรวมของการเรียนรู้กับสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม	50
2.36 แสดงตัวอย่างการทำงานแบบ Gradient Descent	51
3.1 กล้อง Nikon DSLR D3400	56
3.2 กล้อง Nikon DSLR D800E	56
3.3 USAF 1951 จากระบบ 18-140 มิลลิเมตร	57
3.4 ทางเดินของแสงจากสไลด์เข้า CMOS sensor	58
3.5 USAF 1951 จากระบบ 20-200 มิลลิเมตร	58
3.6 รูปแสดงการเดินทางของแสงตกกระทบ CMOS sensor ของระบบ 20-200 มิลลิเมตร	59
3.7 ภาพที่เกิดจากการขยายบริเวณตรงกลางของระบบ 20-200 มิลลิเมตร	59
3.8 เซลล์เม็ดเลือดแดงที่ซูม 10 เท่า	60
3.9 การใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบทราน	60
3.10 การทดลองที่ระยะ 20 มิลลิเมตร	61
3.11 รูปจากระยะ 20 มิลลิเมตร จากหลังเลนส์ใกล้วัตถุ	61
3.12 การทดลองที่ระยะ 44.5 มิลลิเมตร	62
3.13 รูปเซลล์เม็ดเลือดแดงที่กำลังขยาย 10 เท่า ที่ระยะ 44.5 มิลลิเมตร	62
3.14 เซลล์เม็ดเลือดแดง	63
3.15 ฐานยกกล้อง	63
3.16 ฐานยึดที่ยกเลนส์	64
3.17 ฐานยกเลนส์ใกล้วัตถุ	64
3.18 ฐานยึดที่ยกเลนส์	65
3.19 ฐานบน 3-Axis Linear Stage	65
3.20 stage สำหรับการเคลื่อนที่ในแกน ซ้าย-ขวา และหน้า-หลัง	66
3.21 stage สำหรับการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง	66
3.22 3-Axis Linear Stage	67
3.23 DC servo motor	67

รูป	หน้า
3.24 K-Cube Stepper Motor Controller	68
3.25 interface ของซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ควบคุม DC servo motor	68
3.26 เมทริกซ์ความแปรปรวนของ Laplacian	69
3.27 Flowchart แสดงการทำงานของการทำงานหาค่าความเบลอของภาพ	70
3.28 แผนภาพขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม	73
3.29 แผนภาพขั้นตอนการสอนของโปรแกรม	76
3.30 แผนภาพขั้นตอนการตรวจสอบของโปรแกรม	77
3.31 แผนภาพขั้นตอนการทดสอบของโปรแกรม	79
3.32 แสดงการอัปโหลดรูป	81
3.33 การแบ่งภาพเป็นขนาดเล็ก	81
3.34 เลือกโซนของเซิร์ฟเวอร์	83
3.35 เข้าไปที่บริการ EC2	84
3.36 เลือกชนิดเซิร์ฟเวอร์	84
3.37 เลือก Instance Type	85
3.38 Step 3 รายละเอียดของ Instance	85
3.39 Step 4 ตั้งค่าขนาดฐานข้อมูล	85
3.40 กด Launch เซิร์ฟเวอร์	86
3.41 สร้าง key pair	87
3.42 สถานะของเซิร์ฟเวอร์	87
3.43 PuTTYgen ในการสร้าง .ppk	88
3.44 ตั้งค่า PuTTY	89
3.45 เลือกใช้ .ppk ในการยืนยันตัวตนเชื่อมต่อหาเซิร์ฟเวอร์	89
3.46 ตั้งค่า Tunnels เพื่อเชื่อมต่อกับ Jupyter notebook	90
3.47 ตั้งค่าใช้ private key ในการยืนยันตัวตน	91
3.48 หน้าต่างพร้อมทำการเคลื่อนย้ายไฟล์	91
3.49 หน้าต่างการเริ่มทำงานของ jupyter notebook	95
4.1 อุปกรณ์ในส่วนของฮาร์ดแวร์ทั้งหมดหลังจากยึดตำแหน่งแล้ว	96
4.2 ภาพสไลด์ ThinPrep ที่ 3.5 ซม	97
4.3 ภาพสไลด์ ThinPrep ที่ 10 ซม	97
4.4 แสดงถึงจำนวนไม่เพียงพอของ p2.xlarge	120
4.5 แสดงถึงการเปิดเซิร์ฟเวอร์ t2.micro	120
4.6 การเข้าสู่ Jupyter notebook ที่อยู่บนเซิร์ฟเวอร์	120

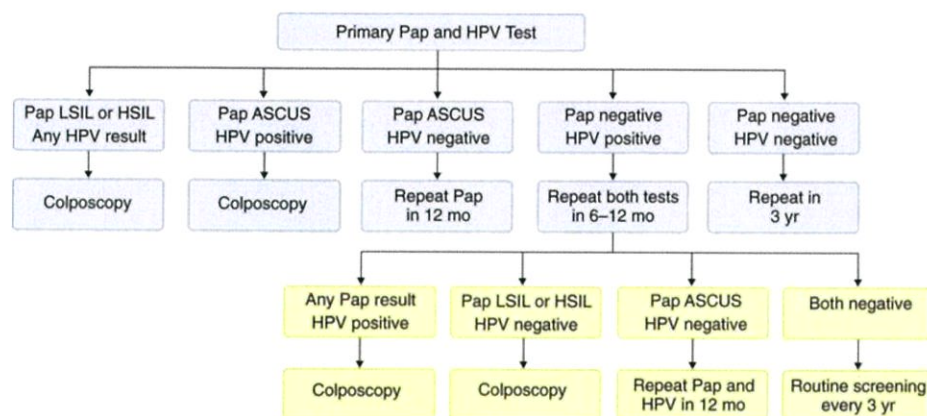
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการตรวจกรองมะเร็งปากมดลูกได้ใช้เทคนิค Pap smear และเทคนิคการตรวจหาดีเอ็นเอของเชื้อไวรัส HPV ซึ่งเทคนิคทั้งสองดังกล่าวได้ถูกยอมรับและถูกนำไปใช้ควบคุมโรคมะเร็งปากมดลูกในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว แต่เทคนิคการตรวจคัดกรองกลับใช้ไม่ได้ผลดีเท่าที่ควรในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาทั่วโลกโดยมากกว่า 80% ของผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกทั้งหมดพบอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนารวมถึงประเทศไทย โดยสาเหตุหลักได้แก่ ความขาดแคลนทรัพยากรและบุคลากรทางด้านสาธารณสุข ความรู้ความเข้าใจของประชาชนเกี่ยวกับการตรวจคัดกรองโรคมะเร็งปากมดลูก และข้อจำกัดเรื่องความไว ความจำเพาะ และต้นทุนในการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกของเทคนิคที่ใช้ตรวจคัดกรองที่ใช้อยู่ ในปัจจุบันการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกด้วยเทคนิคทางเซลล์วิทยาหรือ Pap smear มีข้อจำกัดทางเทคนิคคือ การเกิดผลลบลง (false negative) ซึ่งอาจเกิดจากตัวแปรที่บ่งชี้รอยโรคไม่ถูกเก็บมาในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเซลล์จากผู้ป่วยซึ่งแพทย์อาจไม่สามารถเก็บเซลล์ที่ผิดปกติได้หากบริเวณรอยโรคมีขนาดเล็กทำให้ยากในการระบุตำแหน่งบริเวณของรอยโรคหรืออยู่ในบริเวณที่เก็บตัวอย่างเซลล์ได้ยาก รวมถึงขั้นตอนในการเตรียมสไลด์และการย้อมเซลล์ที่มีคุณภาพดี การตรวจหาเซลล์ที่ผิดปกติซึ่งมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างเซลล์ที่เก็บมา จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการเก็บ เตรียม และตรวจวินิจฉัย ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวทำให้เทคนิคทางเซลล์วิทยา หรือ Pap smear เป็นเทคนิคที่มีความไวต่ำ การที่จะนำมาใช้คัดกรองมะเร็งปากมดลูกให้ได้ผลผู้ป่วยจำเป็นต้องมาตรวจซ้ำอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ 2 ปี ทำให้ต้องใช้งบประมาณและบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการบริหารจัดการสูง การพัฒนาเทคนิคการตรวจ DNA ของเชื้อไวรัส HPV ที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งปากมดลูกสามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องผลลบลง (false negative) ได้ส่วนหนึ่งแต่เนื่องจากเชื้อไวรัส HPV เป็นเชื้อที่พบได้ทั่วไปในกลุ่มประชากร และผู้ป่วยที่ติดเชื้อไวรัส HPV มากกว่า 90% สามารถกำจัดและหายเป็นปกติได้เองโดยไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ทำให้เทคนิคการตรวจ DNA ของเชื้อไวรัส HPV มีความไวเกินไปและมีต้นทุนในการตรวจที่สูงเนื่องจากเทคนิคดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือขั้นสูงเพื่อตรวจหา DNA ของเชื้อไวรัส การตรวจแบบเซลล์วิทยาหรือ Pap smear ร่วมกับการตรวจหา DNA ของเชื้อไวรัส HPV เรียกว่าเทคนิค Co-testing ซึ่งสามารถลดความถี่ของการนัดตรวจซ้ำในกระบวนการตรวจคัดกรองได้เป็นอย่างดีน้อย 3 ปีต่อครั้งและใช้งบประมาณรวมของการตรวจคัดกรองน้อยกว่าการตรวจคัดกรองที่ใช้เทคนิค Pap smear เพียงอย่างเดียวทุก 2 ปี Co-testing จัดเป็นวิธีมาตรฐานในการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกในปัจจุบันตามข้อกำหนดขององค์กรสากลต่าง ๆ เช่น ACOG, ACS และ USPSTF

ซึ่งจากข้อจำกัดในเรื่องความไวและความจำเพาะของเทคนิคทั้งสองดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หากพบความผิดปกติจากผลการตรวจจึงจำเป็นต้องทำการตรวจยืนยันโดยการส่องกล้องกำล้งขยายต่ำ (Colposcopy) เพื่อหาบริเวณรอยโรคเพื่อตัดชิ้นเนื้อตรวจยืนยันผลด้วยเทคนิคทางพยาธิวิทยาก่อนวางแผนให้การรักษา โดยกระบวนการการบริหารจัดการเพื่อพิจารณาส่งผู้ป่วยตัดชิ้นเนื้อพิสูจน์ผลด้วยเทคนิคทางพยาธิวิทยาหลังจากการตรวจ Pap smear และการตรวจ DNA ของเชื้อไวรัส HPV ดังแสดงใน



รูปที่ 1.1 แผนการจัดการเพื่อตรวจวินิจฉัยจากผลการตรวจคัดกรองแบบต่างๆ

จากข้อจำกัดทางด้านเทคนิคและกระบวนการจัดการดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการตรวจรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกต้องใช้เวลาหลายสัปดาห์ จากข้อมูลรายงานสถิติโรคมะเร็งของสถาบันโรคมะเร็งแห่งชาติ ปี 2555 ที่ผ่านมา จะเห็นว่ามีจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่เพิ่มขึ้นทุกปี โดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาจนถึงรายงานทางสถิติล่าสุด (ปี 2555) ได้มีผู้ป่วยมะเร็งเพิ่มขึ้นจาก 10.71% ในปี 2546 เป็น 17.77% ในปี 2555 ของผู้ป่วยทั้งหมดของประเทศและยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีก โดยผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกมีจำนวนผู้ป่วยเป็นอันดับที่สองคือ 14.39% ของผู้ป่วยมะเร็งเพศหญิงทั้งหมด จำเป็นต้องนัดผู้ป่วยเพื่อมาตรวจและเก็บตัวอย่างเซลล์หลายครั้ง ทำให้มีโอกาสสูญเสียผู้ป่วยระหว่างการนัดตรวจรักษาได้มาก และยังต้องใช้บุคลากรทางสาธารณสุข ได้แก่ แพทย์, พยาบาล, เจ้าหน้าที่ผู้มีความเชี่ยวชาญในการเตรียมตัวอย่างเซลล์และชิ้นเนื้อและพยาธิแพทย์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบระบบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการทำงานของระบบจะประกอบไปด้วยเครื่องสแกนเซลล์ตัวอย่างที่ได้เก็บมาจากผู้ป่วยในขั้นตอนการทำ Pap smear และทำการคัดกรองเซลล์มะเร็งโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาบนคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงส่งภาพขึ้นไปเก็บบนคลาวด์เพื่อให้สามารถเรียกใช้ภาพจากเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของระบบการคัดกรองผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกด้วยการใช้ปัญญาประดิษฐ์
- 1.2.2 เพื่อสร้างเครื่องสแกนตัวอย่างเซลล์ Pap smear ต้นแบบที่มีเทคโนโลยี IoT
- 1.2.3 เพื่อสร้างระบบการเก็บข้อมูลรูปภาพสแกนของเซลล์มะเร็งปากมดลูกบนคลาวด์
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการสร้างระบบการเก็บภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลที่มีเซ็นเซอร์รับภาพขนาดใหญ่

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้กล้องดิจิทัลซึ่งมีขนาดเซ็นเซอร์รับภาพ (CMOS) เท่ากับ 23.5 x 15.6 mm มีความละเอียด 6000 x 4000 พิกเซล หรือ 24 ล้านพิกเซล จะช่วยให้ภาพที่ถ่ายได้มีความละเอียดสูง ซึ่งจะช่วยให้แพทย์วินิจฉัยรอยโรคได้สะดวกมากยิ่งขึ้น ระบบคัดกรองเซลล์มะเร็งโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ซึ่งทำงานโดยคอมพิวเตอร์ มีความเร็วในการประมวลผลสูง จะช่วยคัดกรองเซลล์มะเร็งจากภาพถ่ายได้ และระบบการส่งภาพที่ผ่านการคัดกรองเซลล์มะเร็งขึ้นไปยังคลาวด์จะช่วยให้แพทย์สามารถเข้ามาดูหรือวินิจฉัยรอยโรคระยะทางไกลได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

แนวความคิดที่ใช้เป็นกรอบของการออกแบบวิจัยคือ การนำเทคโนโลยีเซ็นเซอร์รับภาพชนิด CMOS ขนาดใหญ่ของกล้องดิจิทัลมาเป็นเซ็นเซอร์รับภาพในการทำกล้องจุลทรรศน์เพื่อถ่ายภาพเซลล์มะเร็งปากมดลูก เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการเก็บภาพ ภาพที่ได้มีความละเอียดสูงและมีมุมมองของภาพกว้าง (high FOV) นอกจากนี้คือการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) มาช่วยในการวินิจฉัยเซลล์มะเร็งปากมดลูกซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการวินิจฉัยโรคอีกด้วย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

โครงการนี้ได้มุ่งเน้นการออกแบบระบบในการตรวจคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์ที่ทำงานอยู่บนคอมพิวเตอร์ โดยระบบนี้จะประกอบไปด้วย 1) เครื่องสแกนตัวอย่างเซลล์ที่ได้จากการ Pap smear ซึ่งเครื่องสแกนนี้ สามารถที่จะสแกนเซลล์เนื้อเยื่อที่ได้จากปากมดลูกของผู้ป่วย และทำการบันทึกภาพ รวมถึงส่งภาพไปในเครื่องคอมพิวเตอร์ 2) ระบบการประมวลผลเพื่อคัดกรองเซลล์ที่ทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยระบบดังกล่าวจะใช้ปัญญาประดิษฐ์ชนิดโครงข่ายประสาท (Neural network) เพื่อทำการคัดกรองภาพของเซลล์ปากมดลูกที่ จากนั้นจึงส่งภาพขึ้นไปยังคลาวด์

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการศึกษา

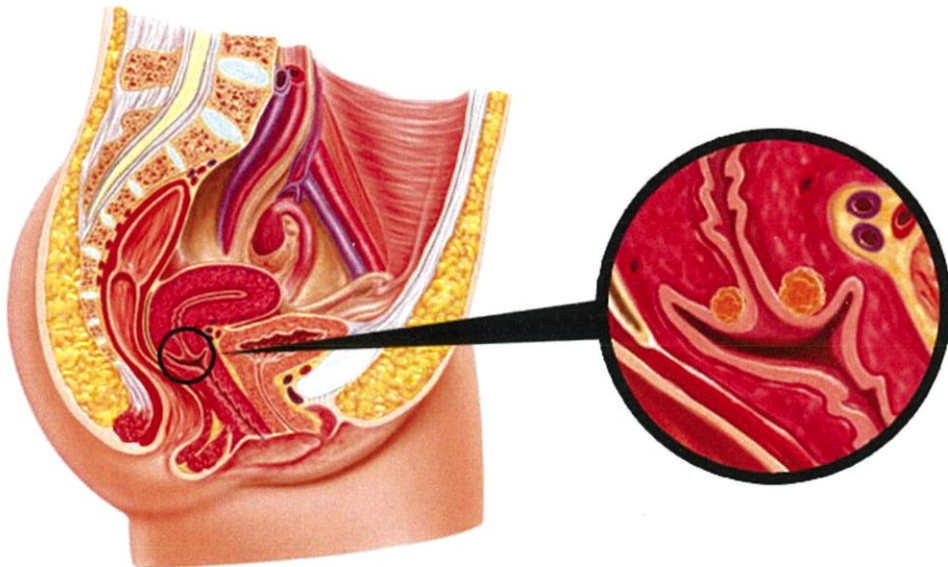
ลำดับ	กิจกรรม	2560					2561		
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	วางแผนและออกแบบระบบต้นแบบ และดำเนินการซื้อวัสดุที่ใช้ภายในโครงการบางส่วน	x							
2	นำเลนส์มาทดลองเพื่อหาความละเอียด (resolution) ของระบบครั้งที่ 1	x							
3	ดำเนินการซื้อแท่นวางสไลด์ที่สามารถเลื่อนแกน XYZ ,Light source		x	x					
4	เรียนรู้ซอฟต์แวร์การคัดกรองเซลล์มะเร็งโดยใช้ภาษาไพธอน (Python)			x					
5	นำเลนส์มาทดลองเพื่อหาความละเอียด (resolution) ของระบบครั้งที่ 2				x				
6	ดำเนินการปรับแก้เลนส์เพื่อให้ได้ซึ่งระบบที่ต้องการ				x				
7	ออกแบบโครงสร้าง 3D เพื่อนำไปปรี้น 3D printer				x				
8	ประกอบโครงสร้างฮาร์ดแวร์				x				
9	ทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์พร้อมกับซอฟต์แวร์				x				
10	สืบค้นข้อมูลภาพของเซลล์มะเร็งปากมดลูกโดยวิธีการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์					x			

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะเร็งปากมดลูก

มะเร็งปากมดลูก ภาษาอังกฤษคือ CERVICAL CANCER เกิดจากเชื้อไวรัสตัวหนึ่งที่ชื่อว่า HPV (Human Papilloma Virus) ซึ่งติดต่อได้จากการสัมผัส โดยส่วนใหญ่เป็นการสัมผัสทางเพศสัมพันธ์ที่ทำให้มีรอยถลอกของผิวหรือเยื่อเมือก เปิดโอกาสให้เชื้อไวรัสเข้าไปที่ปากมดลูก ทำให้ปากมดลูกมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อหรือเซลล์ จากปากมดลูกปกติก็จะกลายเป็นระยะก่อนเป็นมะเร็งปากมดลูกได้



รูปที่ 2.1 มะเร็งปากมดลูก

2.1.1 สาเหตุหลักของการเกิดมะเร็งปากมดลูก

เชื้อ Human Papillomavirus หรือที่เรารู้จักกันดีว่า เชื้อ HPV เป็นต้นเหตุสำคัญของการเกิดมะเร็งปากมดลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์ชนิดก่อมะเร็ง ปัจจุบันพบว่าเชื้อ HPV สายพันธุ์ 16 และสายพันธุ์ 18 เป็น 2 สายพันธุ์ที่พบได้บ่อยในมะเร็งปากมดลูก ซึ่งเชื้อ HPV สายพันธุ์ 16 พบมากเป็นอันดับ 1 โดยพบได้ประมาณร้อยละ 50-55 และเชื้อ HPV สายพันธุ์ 18 พบได้มากเป็นอันดับ 2 ประมาณร้อยละ 15-20 ข้อมูลทางการแพทย์ยังพบว่า เชื้อ HPV สายพันธุ์ 18 พบได้บ่อยที่สุดใน

มะเร็งปากมดลูกชนิดเซลล์ต่อม ซึ่งมีแนวโน้มที่จะพบมากขึ้น มะเร็งชนิดเซลล์ต่อมเป็นมะเร็งที่มีโอกาสวินิจฉัยผิดพลาดได้สูงด้วยการตรวจแปปสเมียร์เพียงอย่างเดียว

ปัจจุบันสมาคมแพทย์ ASCCP (American Society of Colposcopy and Cervical Pathology) ในสหรัฐอเมริการับรองการใช้การตรวจหาเชื้อ HPV ร่วมกับแปปสเมียร์ เพื่อตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกในสตรีอายุตั้งแต่ 30 ปีขึ้นไป ซึ่งจะช่วยเพิ่มความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ไวรัสชนิดนี้ติดต่อกับการมีเพศสัมพันธ์ที่ทำให้มีรอยถลอกของผิว หรือเยื่อในอวัยวะสืบพันธุ์ จึงทำให้เชื้อไวรัสเข้าไปอยู่ที่ปากมดลูก ทำให้ปากมดลูกมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อ เยื่อ หรือเซลล์ ของปากมดลูก กลายเป็นเซลล์/เนื้อเยื่ออักเสบเรื้อรัง(ระยะก่อนเป็นมะเร็งปากมดลูก) และเป็นมะเร็งในที่สุด โดยระยะเวลาตั้งแต่ติดเชื้อไวรัสจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็งนั้น ใช้ระยะเวลาประมาณ 10-15 ปี แต่อาจเร็ว หรือ ช้ากว่านี้ได้ นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ที่เป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งปากมดลูกอีกด้วย โดยแบ่งเป็น

ปัจจัยเสี่ยงของฝ่ายหญิงที่สำคัญ คือมีเพศสัมพันธ์ตั้งแต่อายุยังน้อย(ต่ำกว่า 18 ปี) มีคู่นอนหลายคน คลอดบุตรจำนวนหลายคน(มากกว่า 3 คนขึ้นไป) เป็นโรคเรื้อรังหรือโรคที่ทำให้เกิดภาวะภูมิคุ้มกันต้านทานโรคต่ำ โดยเฉพาะติดเชื้อไวรัส เอชไอวี/โรคเอดส์ (HIV/AIDS) มีประวัติเป็นโรคติดเชื้อทางเพศสัมพันธ์มาก่อน เช่น เริม หรือ หนองใน เคยมีความผิดปกติ (การอักเสบเรื้อรัง)ของปากมดลูก โดยตรวจพบ จากการตรวจภายใน และจากตรวจเซลล์ปากมดลูก ที่เรียกว่า แปปสเมียร์ หรือ แปปเทส/Pap Smear หรือ Pap Test (วิธีตรวจคัดกรองโรคมะเร็งปากมดลูก โรคมะเร็งเต้านม และโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่) สูบบุหรี่ มีประวัติการใช้ยาฮอร์โมนเพศ ชนิดไดเอทิลstilbestrol (Diethylstilbestrol เรียกว่า DES/ดีเอส) เพื่อป้องกันการแท้งบุตร อาจจากขาดสารอาหารบางชนิด เพราะพบว่า ผู้หญิงที่รับประทานผักและผลไม้ไม่พอ มีโอกาสเป็นมะเร็งชนิดพบบ่อย รวมทั้งมะเร็งปากมดลูก สูงกว่าคนที่รับประทานผักและผลไม้มาก อาจจากมีปัญหาทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเข้าถึงบริการทางสาธารณสุขไม่ทั่วถึง หรือ เพราะมีลูกมาก อาจจากพันธุกรรม

ปัจจัยเสี่ยงจากฝ่ายชาย ที่เป็นคู่นอน คือมีคู่นอนหลายคน มีประวัติโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ เช่น เริม และ/หรือ หนองใน มีประวัติเป็นมะเร็งสืบพันธุ์อวัยวะเพศชาย เคยมีคู่นอนที่มีประวัติเป็นมะเร็งปากมดลูก

หากมีปัจจัยบางอย่างหรือหลายอย่างดังที่กล่าวมา และ ไม่มั่นใจว่า ณ เวลานี้ มีเชื้อไวรัสที่ก่อโรคมะเร็งปากมดลูกหรือไม่ เพื่อป้องกันการติดเชื้อไวรัสร้ายชนิดนี้ มีแนวทางการดูแลตัวเองที่สามารถทำได้ ดังต่อไปนี้

กลุ่มอายุ 9-26 ปีที่ยังไม่เคยมีเพศสัมพันธ์ สามารถป้องกันตนเองจากการติดเชื้อไวรัส HPV และเพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์ปากมดลูกเกิดความผิดปกติ จนในที่สุดเปลี่ยนเป็นเซลล์มะเร็ง ได้โดย การฉีดวัคซีนป้องกันมะเร็งปากมดลูก (สามารถฉีดวัคซีนได้ทุกโรงพยาบาล)

กลุ่มอายุน้อยกว่า 30 ปี ควรเริ่มการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูก หลังจากมีเพศสัมพันธ์ครั้งแรกภายใน 3 ปีหรือเริ่มตรวจเมื่ออายุครบ 21 ปี และควรทำการตรวจคัดกรองเป็นประจำทุกปีจนถึงอายุ 30 ปี

กลุ่มอายุมากกว่า 30 ปี ควรตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกด้วยวิธีการต่อไปนี้

การตรวจทางเซลล์วิทยา (Pap Test) เพียงอย่างเดียว ถ้าได้รับผลการตรวจคัดกรองทุกปีเป็นปกติติดต่อกัน 3 ปี หรือมากกว่าสามารถเว้นระยะการตรวจคัดกรอง เป็นทุก ๆ 2-3 ปีได้

การตรวจทางเซลล์วิทยา (Pap Test) ร่วมกับการตรวจหาเซลล์ผิดปกติตรวจหาไวรัสเอชพีวี (HPV DNA Test) ถ้าผลการตรวจคัดกรองปกติทั้งสองอย่างสามารถรับการตรวจทุก ๆ 3 ปีได้ แต่หากพบความผิดปกติอย่างใดอย่างหนึ่งจำเป็นต้องได้รับการตรวจเพิ่มเติมตามคำแนะนำของแพทย์ เพื่อวางแผนการรักษาที่เหมาะสมต่อไป

ตินเพร็พ (Thin Prep Pap Test) เป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งเป็นการปรับปรุงในการทำ PAP Smear จากวิธีการเดิมในการตรวจคัดกรองหาเซลล์มะเร็งปากมดลูก การส่องกล้องตรวจความผิดปกติของปากมดลูกเรียกว่า โคลโปสโคปี (colposcopy) เมื่อมีผลตรวจแปลสมียร์ผิดปกติ

สัญญาณเตือนของมะเร็งปากมดลูก ปัจจุบันยังไม่พบอาการบ่งชี้ในผู้ที่ป่วยเป็นโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะแรก ๆ แต่จะมีอาการผิดปกติในระยะที่มะเร็งลุกลามดังต่อไปนี้ มีเลือดออกทางช่องคลอดหลังการมีเพศสัมพันธ์ มีตกขาวมากผิดปกติ มีตกขาวปนเลือด ตกขาวมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีเลือดออกจากช่องคลอดผิดปกติ

2.1.2 การแพร่กระจายของมะเร็งปากมดลูก

การแพร่กระจายของมะเร็งปากมดลูก มีด้วยกัน 3 ทางคือ การลุกลามโดยตรง (Direct invasion) , การแพร่กระจายผ่านทางต่อมน้ำเหลือง (Lymphatic dissemination) และการแพร่กระจายผ่านทางกระแสเลือด (Hematogenous dissemination) การลุกลามโดยตรง อาจลุกลามไปยังมดลูก, ช่องคลอด, พารามิเทียม, เยื่อบุช่องท้อง, ภาวะเยื่อช่องคลอด หรือช่องทวารหนัก ส่วนการลุกลามไปยังรังไข่ค่อนข้างพบได้น้อยมาก พบว่ามะเร็งปากมดลูกแพร่กระจายไปยังรังไข่พบได้ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของมะเร็งชนิด squamous cell และ 1.7 เปอร์เซ็นต์ของมะเร็งชนิด adenocarcinoma ส่วนตำแหน่งที่มะเร็งปากมดลูกแพร่กระจายทางกระแสเลือดมากที่สุด คือที่ ปอด, ตับ และกระดูก

การป้องกันมะเร็งปากมดลูก

การป้องกันมะเร็งปากมดลูกมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดอุบัติการณ์ของการเจ็บป่วย และการเสียชีวิตจากมะเร็งปากมดลูก การป้องกันแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ

การป้องกันปฐมภูมิ (primary prevention) คือ การหลีกเลี่ยงสาเหตุหรือลดปัจจัยเสี่ยงของมะเร็งปากมดลูก ซึ่งก็คือการป้องกันไม่ให้ปากมดลูกติดเชื้อ HPV เช่น การละเว้นการมีเพศสัมพันธ์ การใช้ถุงยางอนามัยคุมกำเนิด การซื้อสตัยต่อคู่นอนโดยการมีคู่นอนคนเดียวและหลีกเลี่ยงคู่นอนที่มีคู่นอนหลายคน และ การฉีด HPV vaccine เพื่อสร้างเสริมภูมิคุ้มกันต่อการติดเชื้อ HPV

การป้องกันทุติยภูมิ (secondary prevention) คือ การตรวจหาและรักษาความผิดปกติในระยะเริ่มแรกของการเกิดมะเร็งปากมดลูก ซึ่งเรียกว่าระยะก่อนมะเร็ง (precancerous) หรือระยะก่อนลุกลาม (pre-invasive) ได้แก่

การตรวจทางเซลล์วิทยาของปากมดลูก (cervical cytology) หรือ Pap smear ซึ่งเป็นการตรวจหาความผิดปกติของเซลล์ปากมดลูกที่เป็นผลจากการติดเชื้อ HPV เพื่อทำการสืบค้นและรักษาไม่ให้ดำเนินโรคเป็นมะเร็งปากมดลูก

การตรวจหาเชื้อ HPV สายพันธุ์ก่อมะเร็งที่ปากมดลูก หรือ HPV DNA testing เป็นการตรวจหาขั้นตอนแรกสุดของกระบวนการเกิดมะเร็งปากมดลูก ซึ่งก็คือการติดเชื้อ HPV

การป้องกันทุติยภูมินี้เป็นการตรวจหาความผิดปกติของเซลล์เยื่อปากมดลูกหลังจากมีการติดเชื้อ HPV แล้ว ซึ่งแต่ละวิธีมีความแม่นยำ ความไว ข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน

การป้องกันตติยภูมิ (tertiary prevention) คือ การรักษามะเร็งปากมดลูกเพื่อให้ผู้ป่วยหายจากโรค และการรักษาแบบประคับประคองเพื่อให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดี

การวินิจฉัยมะเร็งปากมดลูก

ขั้นตอนสำคัญของการรักษาผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูก คือ การวินิจฉัย และการตรวจประเมินระยะของมะเร็ง ซึ่งประกอบด้วย การซักประวัติ การตรวจร่างกาย การตรวจภายใน การตรวจชิ้นเนื้อทางพยาธิวิทยา การตรวจทางห้องปฏิบัติการ และการตรวจทางรังสี นอกจากนี้เป็นการประเมินระยะของมะเร็งแล้ว ยังเป็นการตรวจหาภาวะแทรกซ้อน และโรคประจำตัวของผู้ป่วย ก่อนที่จะวางแผนการรักษาที่เหมาะสมต่อไป

ลักษณะทางคลินิก

อาการของผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกจะมากหรือน้อยขึ้นกับระยะและลักษณะของก้อนมะเร็ง มะเร็งในระยะเริ่มแรกจะไม่มีอาการผิดปกติ แต่อาจตรวจพบจากการตรวจคัดกรอง การทำ Pap smear และการตรวจด้วยคอลโปสโคปี ร่วมกับการทำ biopsy เพื่อตรวจทางพยาธิวิทยา อาการที่ อาจจะพบในผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูก ได้แก่

1. การตกเลือดทางช่องคลอด (vaginal bleeding) เป็นอาการที่พบได้มากที่สุดประมาณ ร้อยละ 80-90 ของผู้ป่วยที่มีอาการ ลักษณะของการตกเลือดอาจจะเป็น เลือดออกกะปริดกะปรอย ระหว่างรอบเดือน (intermenstrual bleeding) เลือดออกหลังจากมีเพศสัมพันธ์ (postcoital bleeding) ตกขาวปนเลือด (bloody leukorrhea) เลือดออกสด ๆ เป็นก้อนเลือด หรือเลือดออก หลังวัยหมดระดู (postmenopausal bleeding) ถ้าก้อนมะเร็งมีขนาดใหญ่เลือดจะออกบ่อยและนาน บางครั้งเหมือนมีเลือดระดูออกมากและนานผิดปกติ ถ้าเส้นเลือดที่มาเลี้ยงก้อนมะเร็งฉีกขาด เลือดจะ ออกตลอดเวลากว่าผู้ป่วยซีดหรือช็อคได้ ในประเทศไทยสตรีที่มีเลือดออกผิดปกติหลังวัยหมดระดู ต้อง ทำการตรวจภายในเพื่อวินิจฉัยแยกโรคมะเร็งปากมดลูกก่อนที่จะทำการสืบค้นหาสาเหตุของการตก เลือดต่อไป

การตกเลือดทางช่องคลอดพบได้บ่อยในก้อนมะเร็งแบบงอกจากผิวปากมดลูก (exophytic tumor) ถ้ามีการติดเชื้อ anaerobic bacteria ร่วมด้วยจะมีเลือดออกปนหนองมีกลิ่นเหม็นรุนแรง มาก ถ้าก้อนมะเร็งอุดตันรูปากมดลูกทำให้เลือดระดูไหลออกไม่ได้ มดลูกจะมีขนาดโตขึ้นจากการมี เลือดคั่งอยู่ในโพรงมดลูก เรียกว่า “hematometra” ถ้ามีการติดเชื้อร่วมด้วยจะกลายเป็นหนองใน โพรงมดลูก เรียกว่า “pyometra”

2. อาการในระยะหลังเมื่อมะเร็งลุกลามมากขึ้น

ถ้ามะเร็งลุกลามไปที่เนื้อเยื่อข้างปากมดลูก (parametrium) จนถึงผนังด้านข้างของเชิงกราน (pelvic sidewall) จะไปกดเบียดอวัยวะที่ อยู่ระหว่างนั้น ได้แก่

ท่อไต เกิดอาการของทางเดินปัสสาวะอุดตันจนไตบวมน้ำ (hydronephrosis) และไตข้างนั้น หยุดทำงาน ถ้าไตหยุดทำงานทั้ง 2 ข้างจะมีอาการของภาวะไตวาย ได้ ภาวะไตบวมน้ำจะวินิจฉัยได้ จากการทำให้ intravenous pyelogram (IVP) ซึ่งเป็นการสืบค้นเพื่อกำหนดระยะของมะเร็งปากมดลูก

หลอดเลือดและหลอดน้ำเหลือง ถ้าอุดตันผู้ป่วยจะมีอาการขาบวมและต่อมน้ำเหลืองโต โดยเฉพาะต่อมน้ำเหลืองข้างมดลูก (parametrial nodes) ซึ่งจะคลำได้จากการตรวจภายใน และการ ตรวจทางทวารหนัก

เส้นประสาทและกระดูก ผู้ป่วยจะมีอาการปวดรุนแรงมากบริเวณหลัง ก้นกบ และต้นขา

ถ้ามะเร็งลุกลามไปทางด้านหน้าของปากมดลูกไปยังกระเพาะปัสสาวะอาจจะมีอาการถ่ายปัสสาวะเป็นเลือด ปัสสาวะแสบขัด ปัสสาวะบ่อย หรือปัสสาวะไหลออกทางช่องคลอดตลอดเวลา ซึ่งจะพบในกรณีที่มะเร็งลุกลามทะลุจนเกิดรูรั่วระหว่างกระเพาะปัสสาวะกับช่องคลอด (vesicovaginal fistula) การลุกลามของมะเร็งไปยังกระเพาะปัสสาวะจะตรวจได้จากการส่องกล้องตรวจกระเพาะปัสสาวะ (cystoscopy) ซึ่งเป็นการสืบค้นเพื่อกำหนดระยะของมะเร็งปากมดลูก

ถ้ามะเร็งลุกลามไปทางด้านหลังของปากมดลูกไปยังลำไส้ตรง (rectum) อาจจะมีอาการถ่ายอุจจาระเป็นเลือด ถ่ายอุจจาระบ่อย ถ่ายลำบาก หรือท้องผูก เลือดออกทางทวารหนัก หรืออุจจาระออกทางช่องคลอดตลอดเวลา ซึ่งจะพบในกรณีที่มะเร็งลุกลามทะลุจนเกิดรูรั่ว ระหว่างลำไส้ตรงกับช่องคลอด (rectovaginal fistula) การลุกลามของมะเร็งไปที่ลำไส้ตรงจะตรวจได้จากการตรวจทางทวารหนัก (rectal examination) การส่องกล้องตรวจลำไส้ตรง (proctoscopy) และการสวนแบเรียม ตรวจทางรังสี (barium enema)

ถ้ามะเร็งลุกลามลงมาตามผนังช่องคลอดอาจมีเลือดออกหรือคล้ำดำก้อนทางช่องคลอด

ถ้ามะเร็งลุกลามออกไปนอกเชิงกราน

การแพร่กระจายของมะเร็งไปที่ปอด ผู้ป่วยอาจไม่มีอาการผิดปกติใด ๆ อาจมีอาการไอแห้ง ๆ หรือไอเป็นเลือด ปอดเป็นอวัยวะนอกเชิงกรานที่มะเร็งปากมดลูกแพร่กระจายไปได้มากที่สุดโดยไปตามกระแสเลือด

การแพร่กระจายไปที่กระดูก ที่พบมากที่สุด คือ กระดูกสันหลังบริเวณเอวข้อที่ 5 (L5) ผู้ป่วยจะมีอาการปวดหลังรุนแรง

ผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกระยะสุดท้ายจะมีอาการซีด น้ำหนักลด ผอมแห้ง อ่อนเพลีย และมีอาการของภาวะไตวายหรือยูรีเมีย (uremia)

ลักษณะของก้อนมะเร็ง

มะเร็งปากมดลูกระยะเริ่มแรกจะอยู่ภายในเขตเซลล์แปรรูป (transformation zone) แล้วจึงขยายลุกลามออกไปที่ปากมดลูกส่วนอื่น ลักษณะของก้อนมะเร็งปากมดลูกขึ้นกับ อัตราการเจริญเติบโตของก้อนมะเร็ง ปริมาณเลือดที่มาหล่อเลี้ยง ตำแหน่งเริ่มแรกที่เป็นมะเร็ง ระยะเวลาที่เป็นมะเร็ง ความร้ายแรงของเซลล์มะเร็งในการลุกลามหรือแพร่กระจาย ภูมิคุ้มกันของเนื้อเยื่อปากมดลูกในการยับยั้งการลุกลามของเซลล์มะเร็ง และทิศทางการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งว่าเป็นแบบแทรกซึม (infiltrative) หรือแบบงอกขึ้นจากผิวเยื่อ (exophytic) หรือทั้ง 2 อย่าง ลักษณะของก้อนมะเร็งปากมดลูก (gross appearance) แบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

1.แบบงอกขึ้นจากผิวเยื่อบุปากมดลูก (exophytic type)

2.แบบแทรกซึมเข้าไปในเนื้อปากมดลูก (infiltrative หรือ endophytic type) มะเร็งอาจจะลุกลามทำลายเนื้อปากมดลูกจนแห้วเป็นแผลลึก (ulcerative type) ได้

มะเร็งปากมดลูกแบบ exophytic มักวินิจฉัยได้ง่ายจากการตรวจด้วยตาเปล่า เป็นแบบที่พบได้บ่อยที่สุด อาจจะมีก้อนเนื้อเป็นก้อนมะเร็งผิวขรุขระคล้ายดอกกะหล่ำ (cauliflower mass) หรือนิวมีโอเล็ก (polypoid mass) ก็ได้ มะเร็งปากมดลูกชนิดนี้มักมีเนื้อเปื่อยยุ่ย เลือดออกง่ายเมื่อสัมผัส หรือเมื่อมีเพศสัมพันธ์ ถ้าก้อนมะเร็งเกิดขึ้นภายในปากมดลูก (endocervix) จะถ่างขยายปากมดลูกออกไปจนปากมดลูกป่องออกคล้ายถังเบียร์ (barrel-shaped) ได้

มะเร็งปากมดลูกแบบ infiltrative ถ้ามะเร็งมีขนาดเล็กมากอาจมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ดูคล้ายปากมดลูกปกติ ทำให้วินิจฉัยโรคผิดพลาดได้ ถ้าตรวจภายในไม่ละเอียด ถ้าไม่มีแผลลึกผู้ป่วยอาจจะไม่มีเลือดออกผิดปกติทางช่องคลอดเลย

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างเซลล์ปกติกับเซลล์ที่เป็นมะเร็ง

เซลล์ปกติ	เซลล์ผิดปกติที่ติดเชื้อ HPV
นิวเคลียสมีขนาดเล็กและรูปร่างปกติ	นิวเคลียสมีขนาดใหญ่ และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
เซลล์แบ่งตัวอย่างเป็นระเบียบ	เซลล์แบ่งตัวไม่เป็นระเบียบ แบ่งตัวซ้อนทับกันหลายชั้น
เซลล์มีนิวเคลียสเดียว	1เซลล์มีหลายนิวเคลียส
เซลล์มีการเกาะกลุ่มกัน	เซลล์มีการกระจายตัว
เซลล์มีการติดสีย้อมทั่วเซลล์	นิวเคลียสติดสีย้อมเข้มผิดปกติ
เยื่อหุ้มนิวเคลียสปกติ	เยื่อหุ้มนิวเคลียสมีรอยหยักและหนารูขี้เป็ด

วิธีการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกที่ยอมรับกันในระดับสากลมี 2 วิธีคือ

การตรวจแป็บและการตรวจหาเชื้อไวรัสเอชพีวี

1. การตรวจแป็บ (Pap Smear)

การตรวจความผิดปกติของเซลล์ บริเวณปากมดลูกโดยการเก็บเซลล์จากบริเวณปากมดลูก ดูความผิดปกติของเซลล์บนสไลด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์มี 2 วิธี คือ

1.1 วิธีการตรวจแป็บแบบดั้งเดิม (Conventional Pap Smear)

วิธีการตรวจแป็บแบบดั้งเดิม โดยแพทย์จะเก็บเซลล์บริเวณปากมดลูก ด้วยไม้พาย จากนั้นป้ายลงบนสไลด์แก้ว นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อย้อมสีและตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

ปัญหาของการตรวจ

เซลล์เพียง 20% บนไม้พายเท่านั้นที่ถูกป้ายลงบนสไลด์ ลักษณะของสไลด์ อาจมีมูกเลือดปะปนอยู่ทั่วไป การรักษาสภาพเซลล์ไม่ได้ทำทันทีทำให้เซลล์อาจมีรูปร่างเปลี่ยนไป ลักษณะการเรียงตัวของเซลล์ อาจมีการเรียงตัวซ้อนทับกัน ขึ้นกับลักษณะการป้ายของแต่ละตำแหน่ง การซ้อนทับและมีมูกเลือดนี้ อาจทำให้บดบังเซลล์ผิดปกติได้ ทำให้อ่านผลยาก โอกาสผิดพลาดสูง

1.2 วิธีตินเพิร์พ (ThinPrep Pap Test)

ตินเพิร์พ แปป เทสต์ เป็นวิธีเดียว ที่ได้รับการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา ให้สามารถใช้แทนการตรวจแบบเดิมได้และมีประสิทธิภาพมากกว่าโดยแพทย์เก็บเซลล์ บริเวณปากมดลูกด้วยอุปกรณ์เฉพาะ แล้วใส่ลงในขวดน้ำยาดินเพิร์พ นำส่งห้องปฏิบัติการ เพื่อเตรียมสไลด์ด้วย ลักษณะสไลด์เป็นรูปแบบเดียวกัน เซลล์เรียงตัวสม่ำเสมอ เซลล์เรียงตัวแบบบางไม่ซ้อนทับกัน มองเห็นเซลล์ผิดปกติได้ง่าย ไม่มีมูกเลือดบดบังมีข้อมูลการศึกษาวิจัยพบว่า การตรวจหาเซลล์มะเร็งโดยวิธีตินเพิร์พ ให้ผลดีกว่าการตรวจแบบดั้งเดิมดังนี้

- เพิ่มความไวในการวินิจฉัยมะเร็งปากมดลูกระยะก่อนลุกลาม
- คุณภาพสไลด์ที่ใช้ในการตรวจดีขึ้น
- สามารถยืดระยะเวลาการตรวจหาเซลล์มะเร็งจากปากมดลูกจากทุกๆ 1 ปี เป็นปีเว้นปี

2. การตรวจหาเชื้อเอชพีวี (HPV DNA Test)

เป็นการตรวจหาตัวเชื้อโดยตรงบริเวณปากมดลูก และผนังช่องคลอด การตรวจหาเชื้อเอชพีวีคือการตรวจทางชีวโมเลกุลเพื่อตรวจหาดีเอ็นเอของไวรัสเอชพีวี ซึ่งเป็นสาเหตุของมะเร็งปากมดลูกโดยตรง วิธีการตรวจนี้จะได้ผลดียิ่งขึ้นเมื่อตรวจร่วมกับการตรวจแปป

การรายงานผลการตรวจสอบบแปปสเมียร์มะเร็งปากมดลูก

การตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกเป็นการป้องกันมะเร็งขั้นทุติยภูมิ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหารอยโรคก่อนมะเร็งและให้การรักษา เพื่อไม่ให้รอยโรคนั้นพัฒนาต่อไปเป็นมะเร็ง การรายงานผลการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกโดยเซลล์วิทยาแนะนำให้ใช้ The 2001 Bethesda System (TBS 2001) เพื่อให้ การรายงานผลเป็นมาตรฐานเดียวกัน และสื่อความหมายได้ชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบการรายงานผลการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูก
โดยเซลล์วิทยาาระบบต่าง ๆ

Papanicolaou class system	World Health Organization	CIN	Bethesda System
Class I			Within normal limits
Class II			Benign cellular changes, ASC
Class III	Mild dysplasia	CIN I	Low-grade SIL
	Moderate dysplasia	CIN II	High-grade SIL
	Severe dysplasia	CIN III	High-grade SIL
Class IV	Carcinoma in situ	CIN III	High-grade SIL
Class V	Microinvasive carcinoma	Invasive carcinoma	High-grade SIL
	Invasive carcinoma		Invasive carcinoma

Class I หมายถึง ปกติไม่มีเซลล์มะเร็ง

Class II หมายถึง มีความผิดปกติของเซลล์แต่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นมะเร็งหรือไม่ อาจเกิดจากการติดเชื้อหรือการอักเสบของปากมดลูก แพทย์จะแนะนำให้มาตรวจซ้ำ

Class III หมายถึง มีความผิดปกติของเซลล์ มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของเซลล์ ภาวะนี้เกิดจากการติดเชื้อ HPV ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะหายเป็นปกติ อยู่ในระดับ CIN I-II หรือ Mild , Moderate dysplasia หรือ Low- grade SIL

Class IV หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของเซลล์ที่ชัดเจน หากไม่รักษาจะกลายเป็นมะเร็ง อยู่ในระดับ CIN III หรือ High-grade SIL

Class V หมายถึง เป็นมะเร็งแต่และต้องตรวจต่อว่า เป็นระยะไหนเพื่อวางแผนการรักษาได้ถูกต้อง

2.2 แสง

เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เป็นการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในบางส่วนของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า คำนี้ปกติหมายถึง แสงที่มองเห็นได้ ซึ่งตามนุษย์มองเห็นได้และทำให้เกิดสัมผัสการรับรู้ภาพ แสงที่มองเห็นได้ปกตินิยามว่ามีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400–700 นาโนเมตร ระหว่างอินฟราเรด (ที่มีความยาวคลื่นยาวกว่านี้) และอัลตราไวโอเล็ต (ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่านี้) ความยาวคลื่นนี้หมายถึงความถี่ช่วงประมาณ 430–750 เทระเฮิร์ตซ์

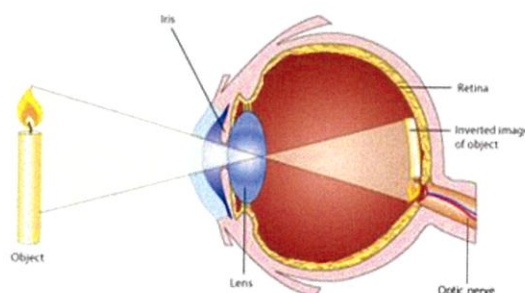
2.2.1 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงที่เห็นได้

แสงคือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถมองเห็นได้ คือ อยู่ในย่านความถี่ 380 THz (3.8×10^{14} เฮิร์ตซ์) ถึง 789 THz (7.5×10^{14} เฮิร์ตซ์) จากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (v) ความถี่ (f หรือ ν) และ ความยาวคลื่น (λ) ของแสง $v = f \lambda$ และความเร็วของแสงในสุญญากาศมีค่าคงที่ ดังนั้นเราจึงสามารถแยกแยะแสงโดยใช้ตามความยาวคลื่นได้ โดยแสงที่เรามองเห็นได้ข้างต้นนั้นจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร (ย่อ 'nm') และ 800 nm (ในสุญญากาศ)

การมองเห็นของมนุษย์นั้นเป็นผลมาจากภาวะอนุภาคของแสงโดยเฉพาะ เกิดจากการที่ก้อนพลังงาน (อนุภาคโฟตอน) แสง ไปกระตุ้น เซลล์รูปแท่งในจอตา (rod cell) และ เซลล์รูปกรวยในจอตา (cone cell) ที่จอตา (retina) ให้ทำการสร้างสัญญาณไฟฟ้าบนเส้นประสาท และส่งผ่านเส้นประสาทตาไปยังสมอง ทำให้เกิดการรับรู้มองเห็น



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของแสงขาว

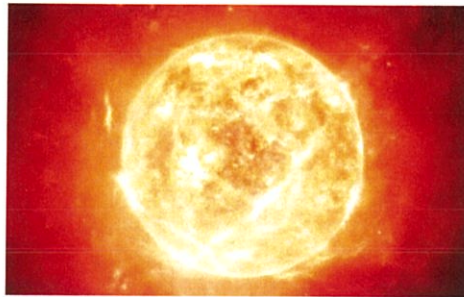


รูปที่ 2.3 การเดินทางของแสงเข้าตา

2.2.2 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสง คือ วัตถุที่เป็นต้นกำเนิดของแสง ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

1. แสงที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ ดวงดาว ไฟาแลบ ไฟาผ่า หรือแสงที่เกิดจากสัตว์บางชนิด เช่น หิ่งห้อย โดยแหล่งกำเนิดแสงของธรรมชาติ จะเกิดจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาก เช่น ดวงอาทิตย์ เช่นเดียวกัน แสงสว่างบนโลกของเราส่วนใหญ่นั้น ได้มาจากแสงของดวงอาทิตย์ที่แผ่พลังงานออกมารอบ ๆ และส่องมายังโลก และดวงดาวอื่น ๆ ด้วย



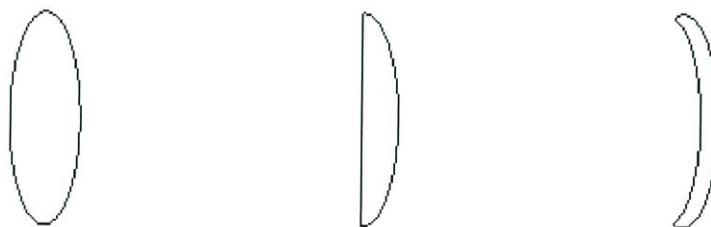
รูปที่ 2.4 แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ

2. แสงที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น เช่น แสงจากไฟฉาย หลอดไฟ ตะเกียง เทียนไข หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ มนุษย์นั้นได้ประดิษฐ์สิ่งที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง ขึ้น เพื่อใช้ในเวลากลางคืน เช่น เทียนไข คบเพลิง แต่แสงเหล่านี้เกิดจากการเผาไหม้ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ

2.3 เลนส์

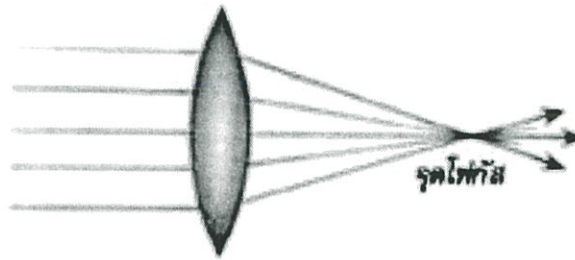
เลนส์ คือ ตัวกลางโปร่งแสงที่สามารถรวมแสงหรือกระจายแสงโดยอาศัยการหักเหของแสงที่เดินทางผ่านเลนส์ แล้วเกิดการหักเห โดยรังสีหักเหไปตัดกันที่จุดโฟกัส ซึ่งจะเป็นจุดโฟกัสจริงสำหรับเลนส์นูน และเป็นจุดโฟกัสเสมือนสำหรับเลนส์เว้า เลนส์มี 2 ชนิด

1. เลนส์นูน มีลักษณะขอบบาง กลางหนา และมีคุณสมบัติรวมแสง



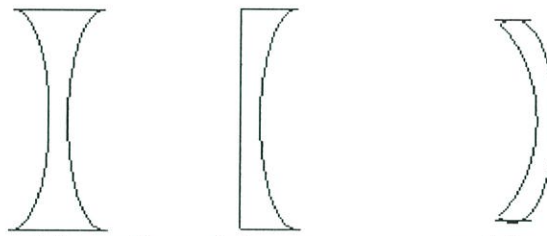
รูปที่ 2.5 เลนส์นูน 2 หน้า เลนส์นูนแกมระนาบและเลนส์นูนแกมเว้าตามลำดับ

เลนส์นูนทำหน้าที่รวมแสง หรือลู่แสงให้เข้ามารวมกันที่จุดจุดหนึ่งเรียกว่า จุดรวมแสง หรือ จุดโฟกัส ดังรูปที่ 2.6



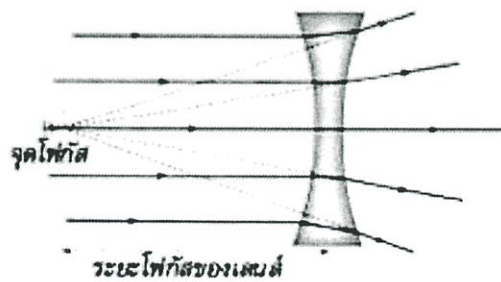
รูปที่ 2.6 การเดินทางของแสงผ่านเลนส์นูน

2. เลนส์เว้า มีลักษณะขอบบาง กลางบาง และมีคุณสมบัติกระจายแสง



รูปที่ 2.7 เลนส์เว้า 2 หน้า เลนส์เว้าแกมระนาบ และเลนส์เว้าแกมนูน

เลนส์เว้าทำหน้าที่กระจายแสง หรือ ถ่างแสงออก เหมือนกับแสงมาจากจุดโฟกัสเสมือนของเลนส์เว้า ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเดินทางของแสงผ่านเลนส์เว้า

2.4 เซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor)

เซ็นเซอร์รูปภาพ คืออุปกรณ์ที่แปลงภาพที่เห็นด้วยตาเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ โดยมากแล้วจะเป็นส่วนประกอบในกล้องดิจิทัล และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับภาพอื่น ๆ เซ็นเซอร์ในยุคแรก ๆ นั้นจะมีลักษณะเป็นกระบอกกล้องวิดิทัศน์ ต่อมาจึงพัฒนาเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทประจุ หรือเซ็นเซอร์พิกเซลตอบสนอง (charge-coupled device - CCD) แบบกึ่งตัวนำเมทัลออกไซด์ควบเสริม (complementary metal-oxide-semiconductor - CMOS)

2.4.1 ข้อแตกต่างระหว่าง CCD และ CMOS

กล้องดิจิทัลในปัจจุบันมักใช้เซ็นเซอร์รูปภาพแบบ CCD หรือ CMOS ซึ่งทั้งสองประเภทสามารถตรวจจับแสงและแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ได้เหมือนกัน แต่เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ CCD มีมานานกว่าและแทบจะเรียกได้ว่าเป็นเซ็นเซอร์รูปภาพที่ครองตลาดสำหรับผู้บริโภค โดย CCD เริ่มมีมาตั้งแต่ปี 1993 และพัฒนาเรื่อยมาจนกระทั่ง CMOS เริ่มมามีส่วนแบ่งตลาดและเกือบจะทดแทนเทคโนโลยี CCD ในปี 2008

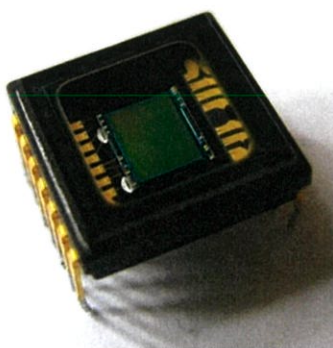
เซ็นเซอร์แบบ CCD มีลักษณะเป็นอุปกรณ์อนาล็อก ประกอบไปด้วยหลอดโฟโตไดโอด ทำด้วยซิลิคอน เมื่อแสงตกกระทบตัวชิปแล้วจะถูกเก็บไว้เป็นประจุอิเล็กตรอนปริมาณน้อย ๆ ในตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งประจุเหล่านี้จะถูกแปลงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ละหนึ่งพิกเซลขณะที่ถูกอ่านจากตัวชิป จากนั้นกระแสไฟในตัวกล้องจะแปลงแรงดันไฟฟ้านี้ไปเป็นข้อมูลดิจิทัลอีกทีหนึ่ง

ชิปแบบ CMOS มีลักษณะเป็นเซ็นเซอร์พิกเซลตอบสนอง ที่สร้างโดยกระบวนการประจุกึ่งตัวนำสำหรับ CMOS ซึ่งจะมีแผงวงจรเพิ่มขึ้นมาข้างเซ็นเซอร์ภาพเพื่อแปลงพลังงานแสงเป็นแรงดันไฟฟ้า จากนั้นแผงวงจรเสริมบนตัวชิปก็จะแปลงแรงดันไฟฟ้านั้นเป็นข้อมูลดิจิทัลได้ทันที ชิปแบบ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) : ใช้กับ โทรศัพท์มือถือ ราคาประหยัด ถึง ปานกลาง ซึ่งเป็น โทรศัพท์มือถือ ส่วนมากในท้องตลาด ในการคำนวณค่าของแสงที่มาตกกระทบที่แต่ละ Photosite จะมีการประจุนั้นโดยตรง เช่นเดียวกับ CCD แต่การส่งผ่านข้อมูลต้องอาศัยสายข้อมูลขนาดเล็ก ไปทำการประมวลผลอีกทอดหนึ่ง อาศัยเทคโนโลยีการผลิตแบบเก่า ซึ่งเป็นแบบเดียวกับการผลิต Microprocessor จึงเต็มไปด้วยสัญญาณรบกวน และมีผลทำให้เกิดการลดทอนคุณภาพของภาพถ่าย ตัวเซ็นเซอร์เองมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลสูง มีความไวต่อแสงน้อย จึงมีผลทำให้คุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ด้อยกว่า CCD ส่วนการผลิตสามารถทำได้บนแผ่นซิลิคอนมาตรฐานทั่วไป จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า CCD



รูปที่ 2.9 CMOS sensor

ชิปแบบ CCD (Charge Coupled Device) : เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่กว่า สามารถถ่ายภาพได้คุณภาพที่ดีกว่า แต่ก็มีต้นทุนที่สูงกว่าเช่นกัน มักนำมาใช้กับ โทรศัพท์มือถือ ราคาแพง ในการคำนวณค่าของแสงที่มาจากกระจกที่แต่ละ Photosite จะมีการกระจุกกันโดยตรง เช่นเดียวกับ CMOS และจะแปลงค่าแสงที่เป็น อนุาล็อก ให้เป็นแบบ ดิจิตอล ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และส่งประจุได้โดยตรงไปยัง Chip โดยไม่เกิดการดัดทอนสัญญาณ หรือสิ่งที่รบกวนสัญญาณภาพ ซึ่งเกิดจากเทคโนโลยีกระบวนการผลิตขั้นสูง เพื่อให้เซ็นเซอร์มีคุณภาพ และไวต่อแสงที่มาจากกระจก ซึ่งทำให้คุณภาพของภาพถ่ายที่ดีกว่า CMOS แต่ CCD ก็ยังต้องใช้พลังงานมากกว่า CMOS อยู่ และการผลิตต้องใช้แผ่นซิลิคอนแบบพิเศษที่ผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะ จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตนั้นสูงกว่า CMOS ไปด้วย



รูปที่ 2.10 CCD sensor

เทคโนโลยีทั้งสองแบบไม่ได้มีข้อได้เปรียบที่ชัดเจนในด้านคุณภาพของภาพ ในด้านหนึ่ง เซ็นเซอร์แบบ CCD จะมีโอกาสเกิดรอยเปื้อนแนวยาวจากแหล่งแสงที่สว่างจ้าได้ยามที่ตัวเซ็นเซอร์ถูก

ใช้งานอย่างหนัก แต่อุปกรณ์ถ่ายเทประจุระดับสูงจะไม่ประสบปัญหานี้ ส่วนเซ็นเซอร์ CMOS ก็มีโอกาสดึงผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์จากซีตเตอร์แบบหมุนได้มากกว่า

การประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ CMOS สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ประกอบที่น้อยกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า และสามารถแสดงผลได้เร็วกว่า CCD ส่วนเซ็นเซอร์ CCD นั้นเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนามายาวนานกว่าและเทียบเคียงได้กับ CMOS ในหลาย ๆ ด้าน นอกจากนี้แล้ว ต้นทุนการผลิต CMOS ก็ต่ำกว่าเซ็นเซอร์ CCD

สถาปัตยกรรมที่เป็นลูกผสมระหว่าง CCD และ CMOS มีชื่อว่า "sCMOS" โดยประกอบไปด้วยแผงวงจรรวมสำหรับอ่านผล CMOS (CMOS readout integrated circuits - ROICs) ที่เชื่อมต่อวัสดุชั้นสเตรทภาพ CCD ทั้งนี้ เทคโนโลยีดังกล่าวถูกพัฒนาเพื่ออุปกรณ์ตรวจจับภาพอินฟราเรดและในปัจจุบันได้นำมาปรับใช้กับเทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจจับที่มีซิลิคอนเป็นส่วนประกอบอีกกรรมวิธีหนึ่ง จะใช้ระยะที่เล็กมาก ๆ ที่มีในเทคโนโลยี CMOS รุ่นใหม่ ๆ ไปใช้กับโครงสร้างที่คล้ายกับ CCD ด้วยเทคโนโลยีของ CMOS ทั้งหมด หรือคือนำเทคโนโลยีดิจิทัลไปใช้กับโครงสร้างอนาล็อก โดยวิธีนี้จะใช้การแยกประตูโพลีซิลิคอนแต่ละช่องด้วยระยะที่เล็กมาก ๆ เซ็นเซอร์เหล่านี้ยังคงอยู่ในขั้นตอนวิจัยและพัฒนา และจะสามารถผนวกเอาศักยภาพต่าง ๆ ของทั้ง CCD และ CMOS เข้าไว้ด้วยกัน

2.4.2 คุณสมบัติของ Image Sensor

1. ความลึกสีหรือ Color Depth หมายถึง จำนวนเฉดสีที่ Image Sensor สามารถถ่ายทอดออกมาได้ ยิ่งความลึกสีมาก จำนวนเฉดสีของภาพก็จะมากขึ้น หมายถึง เราจะได้ภาพที่มีคุณภาพดีขึ้นด้วย ความลึกสีจะบอกเป็นจำนวน Bit/สี หรือ Bit/3สี เช่น CCD ให้ภาพความลึกสี 12bit/สี ก็เท่ากับ 36 bit จำนวนเฉดสีที่ Image Sensor สามารถถ่ายทอดได้สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{จำนวนเฉดสี/สี} = 2^{\text{จำนวน bit สี}} \quad (2.4.1)$$

$$\text{จำนวนเฉดสีทั้งหมด} = \text{จำนวนเฉดสี/สี}^3 \quad (2.4.2)$$

เช่น Image Sensor ให้ภาพ 8 bit/สี จะมีเฉดสี $2^8 = 256$ สี จำนวนเฉดสีทั้งหมดเท่ากับ $256^3 = 16.77$ ล้านเฉดสี Image Sensor ของกล้องดิจิทัลในปัจจุบันจะให้ความลึกสีที่ 8 bit/สี ถ้าเป็นกล้องที่คุณภาพดีจะอยู่ที่ 10 หรือ 12 bit/สี และถ้าเป็นกล้องระดับมืออาชีพจะอยู่ที่ 12-14 bit/สี ส่วนสแกนเนอร์คุณภาพสูงจะอยู่ที่ 16 bit/สี $12 \text{ bit/สี} = 36 \text{ bit} = 68,719, 476,736$ หรือ 68,719 ล้านเฉดสี $16 \text{ bit/สี} = 48 \text{ bit} = 281,474, 976,710,656$ หรือ 2.8 ล้านล้านเฉดสี จะเห็นว่าจำนวน Bit สียิ่งมากจะยิ่งได้ภาพที่มีเฉดสีดีขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งกล้องระดับมืออาชีพจะเน้นเรื่องจำนวน Bit

สื่ออย่างมาก ยิ่ง Bit สี่มาก การไล่ระดับโทนสีในส่วนสว่างและส่วนมืดซึ่งเป็นปัญหาของกล้องดิจิทัลก็ จะลดลงเรื่อย ๆ (ภาพจำนวน Bit สี)

2. Image Size หรือขนาดภาพ หมายถึงจำนวน Pixel ที่จะปรากฏบนภาพ ยิ่งจำนวน Pixel มากจะได้ภาพที่สามารถนำไปขยายใหญ่ได้มากขึ้นโดยไม่เกิดการแตก คล้ายกับฟิล์มเกรนหยาบ กับเกรนละเอียด ขนาดภาพของ Image Sensor จะบอกเป็นจำนวน Effective Pixel เช่น กล้องมี Effective Pixel ขนาด 6.17 ล้านพิกเซล การดูว่าจำนวน Pixel เท่าไรจะเพียงพอต่อการใช้งาน จะดู จากขนาดภาพที่ต้องการใช้งานเป็นหลัก เช่น ต้องการภาพไปใช้ส่ง E-Mail ซึ่งภาพจะมีขนาดประมาณ 4.87 แสนพิกเซล ใช้กล้องขนาด 1 ล้านพิกเซลก็เพียงพอ แต่ถ้าไปใช้งานขยายภาพขนาด 8.25x11.5 นิ้ว ควรมีความละเอียดประมาณ 8.5 ล้านพิกเซลจะได้ภาพคุณภาพสูงสุด เป็นต้น การใช้ Image Sensor ที่มีความละเอียดสูงเกินกว่าขนาดภาพที่ต้องการไม่เกิดประโยชน์ในการใช้งานใด ๆ นอกจาก จะต้องจ่ายค่ากล้องที่มีราคาแพงขึ้น ใช้แบตเตอรี่มากขึ้น เปลืองการ์ดเก็บข้อมูลมากขึ้น จำนวน Pixel ของตามนุษย์ประมาณ 120 ล้านพิกเซล ฟิล์ม 35 มม.เกรนละเอียดมาก ๆ เช่น Fujichrome Provia 100F ขนาด 135 มม.จะมีจำนวน Pixel อยู่ประมาณ 24 ล้านพิกเซล

3. Aspect Ratio หรือ สัดส่วนภาพ หรือสัดส่วนของภาพด้านกว้าง:ด้านยาว สัดส่วน ตรงนี้มีความสำคัญกับการนำภาพไปใช้งาน เช่น ต้องการใช้อัดขยายภาพขนาด 4x6 นิ้ว เท่ากับภาพมี สัดส่วน 1:1.5 แต่ใช้กล้องดิจิทัลที่มีสัดส่วนกว้างยาว 1200x1600 พิกเซล หรือ 1:1.33 สัดส่วน กว้างยาวของภาพที่ต้องการและ Image Sensor ไม่เท่ากัน เมื่อนำภาพไปขยายจะได้ภาพไม่เต็ม กระดาษ หรือเกิดการตัดส่วนภาพบนกระดาษไป กล้องดิจิทัลระดับมือสมัครเล่นจะมีสัดส่วนภาพอยู่ ประมาณ 1:1.33 เพื่อให้เข้ากับจอมอนิเตอร์หรือ TV ส่วนกล้องดิจิทัลระดับมืออาชีพจะมีสัดส่วน ประมาณ 1:1.5 ซึ่งเท่ากับฟิล์มขนาด 35 มม.

4. ความไวแสง หรือ Sensitivity ความไวแสงของ Image Sensor เป็นความไวแสงที่ เทียบจากความไวแสงของฟิล์มในมาตรฐานของ ISO (International Standard Organization) ยิ่ง ความไวแสงสูงจะทำให้สามารถใช้ความเร็วชัตเตอร์สูงหรือช่องรับแสงแคบได้มากกว่า กล้องดิจิทัล ส่วนใหญ่จะเริ่มความไวแสงที่ความไวแสงประมาณ ISO 100 แต่สามารถเลือกความไวแสงได้หลายค่า ในกล้องตัวเดียว เช่น 100 , 200, 400, 800, 1600 ซึ่งไม่เหมือนฟิล์มที่จะไม่สามารถเปลี่ยนความไว แสงฟิล์มได้(ยกเว้นนำไปล้างเพิ่มหรือลดเวลาล้าง) และสามารถถ่ายภาพแต่ละภาพโดยใช้ความไวแสง ที่แตกต่างกันได้ (ส่วนฟิล์มต้องตั้งความไวแสงค่าเดียวตลอดเวลา) ทำให้สะดวกในการใช้งานในสภาพ แสงต่าง ๆ กัน การปรับตั้งความไวแสงสูงขึ้นในกล้องดิจิทัลจะเกิดสัญญาณรบกวน ทำให้ภาพมี คุณภาพลดลงไปบ้าง เช่นเดียวกับการเพิ่มเวลาล้างของฟิล์มถ่ายภาพ

5. ขนาดของ Image Sensor หากเราใช้ตัว Image Sensor ขนาดใหญ่มีแนวโน้มจะให้คุณภาพที่ดีกว่า Image Sensor ขนาดเล็ก (จำนวน pixel เท่ากัน) เพราะจะมีขนาดของ Photosite ใหญ่กว่า ทำให้ไวต่อแสง มี Bit สีมากกว่า มีความคมชัดและรายละเอียดดีกว่า แต่ราคาจะแพงมากขึ้นตามขนาดของ Image Sensor ที่ใหญ่ขึ้น ตัวกล้องจะใหญ่ขึ้นตามด้วย จึงใช้เฉพาะกล้องระดับมืออาชีพเท่านั้นชนิดของ Image Sensor

2.4.3 การทำงานของเซ็นเซอร์

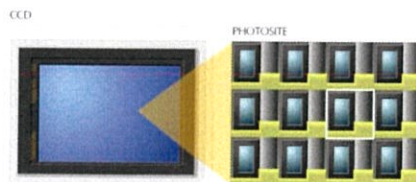
ในสมัยก่อนยุคที่ยังใช้กล้องฟิล์ม ในการถ่ายภาพ ก็คือการเปิดหน้าชัตเตอร์เพื่อให้แสงที่ผ่านจากเลนส์ตกกระทบลงไปที่แผ่นฟิล์มที่เคลือบสารไวแสงเอาไว้เพื่อให้ เกิดเป็นภาพขึ้นบนฟิล์ม ซึ่งฟิล์มแต่ละม้วนจะมีค่าความไวแสงคงที่ (ISO) ทุกภาพ

แต่ปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีด้านการอิเล็กทรอนิกส์ และ เซมิคอนดักเตอร์ ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเป็นเซ็นเซอร์รับภาพ ขึ้น (IMAGE SENSOR) ซึ่งจุดนี้นับเป็นจุดเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญสำหรับวงการถ่ายภาพ เนื่องจากมีการนำตัว IMAGE SENSOR เข้ามาใส่ในกล้องถ่ายรูปแทนที่ฟิล์ม ทำให้เกิดเป็นกล้องดิจิทัลขึ้น

โดยที่ตัว IMAGE SENSOR เป็นชิปซิลิคอนขนาดเล็ก (Silicon Chip) ภายในบรรจุ ไดโอดซึ่งไวต่อแสง (Photosensitive Diode) เรียก ไดโอดที่ไวต่อแสงนี้ว่า Photosite โฟโตไซต์จะเรียงตัวกันเป็นตารางคล้ายตารางหมากรุกทำหน้าที่แทนฟิล์มถ่ายภาพ Image-Sensor เปรียบเสมือนเรตินาของตามนุษย์



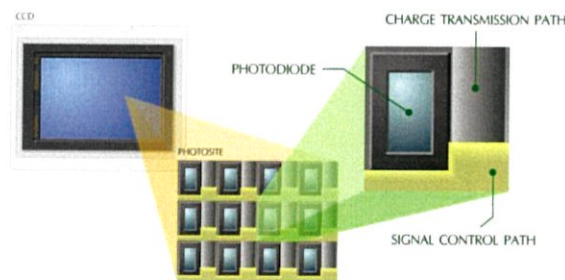
รูปที่ 2.11 การทำงานของของเซ็นเซอร์รับภาพ



รูปที่ 2.12 CCD sensor

เมื่อแสงตกกระทบบนโฟโตไดโอดจะเกิดอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าอ่อน ๆ ภายใน Image Sensor ยิ่งแสงมาก กระแสไฟฟ้าก็จะมากขึ้นด้วย จากกระแสไฟฟ้าจะถูกแปลงค่าให้ออกมาเป็นตัวเลขโดย ANALOG TO DIGITAL CONVERTER (A/D Converter) กลายเป็นข้อมูลดิจิทัล จากข้อมูลดิจิทัลที่ได้มานี้สามารถนำไปปรับแต่ง เปลี่ยนแปลง และแปรกลับมาเป็นภาพถ่ายในภายหลังได้

Image Sensor สามารถเปลี่ยนแสงให้เป็นภาพได้ โดยการวัดจากปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละ Photosite ส่วนขาวของภาพจะมีแสงมาก ส่วนของ Photosite ที่รับแสงบริเวณนั้นก็จะได้รับแสงมาก เกิดกระแสไฟฟ้ามาก ส่วนมืดของภาพจะมีแสงน้อย ส่วนของ Photosite ที่ได้รับแสงจากส่วนมืดก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าน้อยลงไป ส่วนที่แสงปานกลางก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในช่วงกลาง ๆ ตามลำดับ เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นตัวเลขโดย A/D Converter จากตัวเลขนั้นจะสามารถเปลี่ยนเป็นภาพได้ ตัวเลขมากเท่ากับส่วนขาว ตัวเลขน้อยเท่ากับส่วนดำ ตามสัดส่วนกันไป



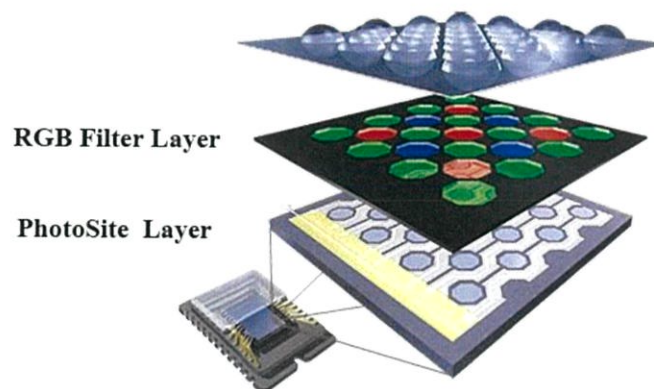
รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของ CCD sensor



รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบความต่างของภาพที่มีจำนวน Photosite ต่างกัน

จากภาพด้านบนจะเห็นว่าขนาดของ PHOTOSITE มีผลอย่างไรต่อคุณภาพของภาพที่ได้ ก็ต้องตอบว่าหาก PHOTOSITE มีขนาดใหญ่ จะมีพื้นที่ในการรับแสง/เซล มากขึ้น ทำให้สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าซึ่งจะนำมาแปลงให้เป็นสัญญาณภาพได้มากขึ้น ทำให้ภาพที่ได้จาก Photosite ขนาดใหญ่ มีคุณภาพดีกว่าภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่มีขนาดของ Photosite ขนาดเล็กกว่า ซึ่งจุดนี้ก็เป็นคำตอบว่าทำไมภาพที่ถ่ายจากกล้อง D-SLR จึงมีคุณภาพดีกว่าภาพที่ถ่ายจากกล้อง COMPACT เพราะกล้อง D-SLR จะมีขนาดของเซ็นเซอร์ใหญ่กว่าขนาดเซ็นเซอร์ที่ใช้ในกล้อง COMPACT นั่นเอง

Image Sensor ซึ่งภายในประกอบด้วย Photosite ขนาดเล็กจำนวนมาก จะรับรู้แต่ปริมาณแสงที่ตกลงบน Photosite เท่านั้น นั่นคือ Image Sensor มองภาพเป็นขาวดำ แต่ภาพที่เราต้องการเป็นภาพสี จึงต้องมีการใส่ฟิลเตอร์สีไปหน้า Photosite เพื่อแยกภาพออกเป็นขาวดำของแม่สีต่าง ๆ ฟิลเตอร์ที่ใช้หน้า Photosite จะมีหลายแบบ เช่น ฟิลเตอร์ RGB ซึ่งเป็นแม่สีในระบบแม่สีบวก หรือฟิลเตอร์ CMY เป็นแม่สีในระบบแม่สีลบ เกือบทั้งหมดใช้แบบ RGB หรืออาจจะใช้ฟิลเตอร์สีใส หน้าแหล่งกำเนิดแสงหรือหน้าเลนส์ แล้วถ่ายภาพทีละสี



รูปที่ 2.15 การใส่ filter เพื่อทำการแยกสีของภาพ

กล้องดิจิทัลส่วนใหญ่จะใช้ฟิลเตอร์หน้า CCD แบบ RGB เพื่อแยกสีของภาพโดยจะมีฟิลเตอร์สีเขียวมากกว่าสีน้ำเงินและแดง ฟิลเตอร์จะให้แสงที่มีสีเหมือนตัวเองผ่านไปได้ แต่กันแสงสีที่ไม่เหมือนตัวเองเอาไว้

Photosite สีแดง จะมองเห็นภาพสี ขาว เหลือง ม่วง แดง และส้ม มองไม่เห็นเขียว น้ำเงิน และฟ้า

Photosite สีเขียว จะมองเห็นภาพสี ขาว เหลือง ส้ม เขียว และฟ้า มองไม่เห็นแดง น้ำเงิน และม่วง

Photosite สีน้ำเงิน จะมองเห็นภาพสี ขาว ม่วง ฟ้า น้ำเงิน มองไม่เห็นเขียว เหลือง ส้ม และแดง

Photosite แต่ละตำแหน่งจะให้ข้อมูลเพียงสีเดียวเท่านั้น หรือ 1 ตำแหน่งมี 1 ข้อมูล แต่ภาพสีที่สมบูรณ์จะต้องมีข้อมูล 3 สีใน 1 ตำแหน่ง หรือกล่าวได้ว่า ภาพที่ได้จาก Image Sensor แบบ Color Matrix จะมีข้อมูลสีเพียง 1 ใน 3 เท่านั้น ขาดข้อมูลไป 2/3 ส่วนที่ขาดหายไปจึงต้องทำการจำลองข้อมูล หรือ Interpolated โดยการใช้อข้อมูลจาก Pixel ด้านข้างทั้ง 8 มาคำนวณ เช่น ตำแหน่งของสีเขียว ตัวเองเป็นเขียวสว่าง ด้านข้างเป็นแดงสว่าง และน้ำเงินสว่าง แสดงว่าตรงนั้นเป็นสีขาว หรือตำแหน่งของสีแดง ตัวเองเป็นแดงสว่างด้านข้างเป็นเขียวสว่าง และน้ำเงินมืด แสดงว่าตัวเองเป็นสีเหลือง เป็นต้น ในปัจจุบันมีการใช้ Image Sensor อยู่ 3 รูปแบบคือ CCD , CMOS และ FEVON X3

1. Charge - Couple Devices หรือ CCD

ภายในมี Photosite ขนาดเล็กซึ่งไวต่อแสงทำหน้าที่เป็นตัวรับแสง เมื่อแสงตกลงมาจะเกิดอิเล็กตรอนที่ผิวหน้า อิเล็กตรอนจะถูกดึงไปที่ Read Out Register แล้วส่งไปยัง Amplifier เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นจะถูกส่งไปยัง A/D Converter เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นข้อมูลดิจิทัล การอ่านสัญญาณไฟฟ้าของ CCD จะอ่านทีละแถว โดยเริ่มจากแถวที่ใกล้กับ Read Out Register ก่อน เมื่ออ่านค่าเสร็จจะมีการลบข้อมูลของแถวนั้นแล้วอ่านของแถวลำดับต่อไป โดยอิเล็กตรอนจะกระโดดข้ามมาทีละแถวเพื่อเข้าสู่ Read Out Register ปัจจุบันกล้องดิจิทัลส่วนใหญ่ในท้องตลาดจะใช้เซ็นเซอร์รับภาพชนิดนี้

2. Complementary Metal Oxide Semiconductor หรือ CMOS

ตัดแปลงมาจาก WAFER หรือ FAB ที่ใช้ในการผลิตหน่วยความจำและ CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น Pentium Core 2 Duo ซึ่งมีชิพเล็ก ๆ อยู่ภายในถึง 10 ล้านตัว กระบวนการผลิต CMOS Image Sensor ใช้กระบวนการเดียวกับการผลิต CMOS ของคอมพิวเตอร์ จึงสามารถผลิตในปริมาณมาก ต้นทุนต่ำกว่า CCD อย่างมาก

2.5 กล้องดิจิทัล

เป็นกล้องถ่ายรูปที่ใช้ระบบดิจิทัล โดยเก็บรูปภาพลงในสื่ออิเล็กทรอนิกส์เช่น เอสดีการ์ด หรือ คอมแพ็คต์แฟลช เป็นกล้องที่เก็บบันทึกภาพโดยไม่ใช่ฟิล์ม หากแต่เป็นกล้องที่บันทึกภาพโดยอยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล (1 / 0)

2.5.1 ส่วนประกอบหลัก

1. ตัวกล้อง ตัวกล้องมีลักษณะเป็นกล่องทึบ ด้านหน้าสำหรับติดตั้งเลนส์ ด้านหลังมีช่องมอง ด้านบนมีปุ่มกดบันทึกภาพ/ปุ่มกดลั่นชัตเตอร์ ภายในมีหน่วยรับภาพอยู่ส่วนหลัง กล้องประเภทสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (SLR) มีกระจกและปริซึมสำหรับสะท้อนแสงจากเลนส์ไปสู่ช่องมองภาพ ภายในยังมีหน่วยวัดแสง ช่องเก็บแบตเตอรี่และแผงวงจรไฟฟ้า หน่วยความจำ นอกจากนี้ด้านนอกของตัวกล้องยังมีอุปกรณ์วัดระยะห่างจากวัตถุ แฟลช ปุ่มปรับต่าง ๆ และช่องเสียบสำหรับใช้งานต่าง ๆ ตัวกล้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทำจากวัสดุที่ต่าง ๆ กันสำหรับกล้องแต่ละรุ่นตั้งแต่ พลาสติกจนถึงโลหะผสมที่มีน้ำหนักเบา

2. เลนส์ เป็นกลุ่มของเลนส์ที่ให้แสงผ่าน ทำหน้าที่ย่อ/ขยายภาพ และทำให้ภาพที่หน่วยรับภาพมีความคมชัด ภายในเลนส์จะมีอะพอร์เจอร์ และอุปกรณ์ปรับระยะชัดอัตโนมัติ อีกทั้งอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นไหวของภาพ เลนส์จะถูกแบ่งประเภทตามความยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal Length) เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสเท่ากับ 50 มม. ถือเป็นเลนส์ถ่ายภาพปกติ (Normal Lens / Prime Lens) ของกล้องที่ใช้ฟิล์ม 35 มม. กล่าวคือเมื่อเรามองผ่านช่องมองแสงของกล้องที่ใช้ฟิล์ม 35 มม. ด้วยเลนส์ชนิดนี้จะเห็นภาพขนาดปกติไม่ใหญ่หรือเล็กเกินความเป็นจริง เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสต่ำกว่านี้ถือเป็นเลนส์ถ่ายภาพมุมกว้าง (Wide Angle Lens) เช่น เลนส์ 35 มม. เลนส์ 16 มม. ยังมีเลนส์ที่สามารถมองมุมได้กว้างเกือบ 180 องศา เราเรียกเลนส์ชนิดนี้ว่า เลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) ส่วนเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสมากกว่า 50 มม. ถือเป็นเลนส์ถ่ายภาพระยะไกล (Telephoto Lens) เช่น เลนส์ 80 มม. เลนส์ 135 มม. เลนส์ 300 มม. เลนส์ที่สามารถเปลี่ยนความยาวโฟกัสได้ถูกเรียกว่าเลนส์ถ่ายภาพเปลี่ยนระยะโฟกัสหรือเลนส์ซูม (Zoom Lens) เลนส์ประเภทนี้จะระบุช่วงระยะโฟกัสต่ำสุดกับสูงสุด เช่น เลนส์ 35-70 มม. หมายถึง เลนส์ที่สามารถปรับช่วงความยาวโฟกัสตั้งแต่ 35 มม. เรื่อยไปจนถึง 70 มม. (แสดงให้เห็นว่าเลนส์ตัวนี้ ครอบคลุมทั้งช่วงมุมกว้างปกติและช่วงระยะไกล) ยังมีเลนส์อีกประเภทหนึ่งที่ใช้ถ่ายภาพระยะใกล้มาก ๆ เช่น ถ่ายภาพดอกไม้ แมลง เราเรียกว่าเลนส์ถ่ายภาพระยะใกล้/เลนส์มาโคร (Macro Lens) เลนส์ประเภทนี้เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสคล้ายเลนส์ประเภทอื่น แต่ออกแบบให้สามารถถ่ายภาพในระยะใกล้ ๆ ได้ กล้องดิจิทัลส่วนใหญ่จะไม่สามารถถอดหรือเปลี่ยนเลนส์ได้ แต่หากกล้องที่เปลี่ยนเลนส์ได้จะมีราคาแพงและมักใช้งานในระดับมืออาชีพ เลนส์จะทำหน้าที่ถ่ายทอดแสงสะท้อนจากวัตถุเข้ามายังตัวรับแสง

ของกล้อง วัสดุที่ใช้ในการทำเลนส์มี 2 ชนิดคือ พลาสติกและแก้ว ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งคุณภาพและราคา

2.1 เลนส์พลาสติก ซึ่งมีราคาถูก ทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพต่ำ

2.2 เลนส์ที่ทำจากแก้ว มีความใสมากกว่าเลนส์พลาสติก สามารถซูมได้ทั้งแบบ

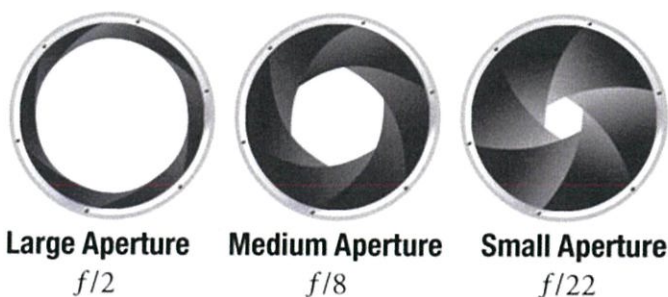
Digital Zoom และ Optical Zoom จะได้ภาพที่มีคุณภาพดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด

อะเพอร์เจอร์ (Aperture)

อะเพอร์เจอร์เป็นอุปกรณ์ภายในเลนส์ที่คอยปรับเปลี่ยนขนาดของรูแสง ทำหน้าที่เสมือนหน้าต่างเปิดรับแสงผ่านเลนส์เข้าสู่ตัวกล้อง หากรูแสงใหญ่ปริมาณแสงจะส่องผ่านได้มากกว่ารูแสงที่เล็กกว่า มีหน่วยวัดเป็นอัตราส่วนของความยาวโฟกัส (Focal Length) กับเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดของรูแสงอะเพอร์เจอร์ เช่น เลนส์ที่มีความยาวโฟกัส 50 ม.ม. เมื่อเปิดอะเพอร์เจอร์ให้มีรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.25 ม.ม. เอา 50 หารด้วย 6.25 ซึ่งเท่ากับ 8 ก็จะได้ค่าของอะเพอร์เจอร์เท่ากับ "f/8" ค่าของอะเพอร์เจอร์โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง "f/1.2" ถึง "f/32" (โดยทั่วไปจะพบ f/1.4 f/2 f/2.8 f/3.5 f/4.5 f/5.6 f/8 f/11 f/16 f/22 f/32) จะสังเกตเห็นว่าหากตัวเลขมีค่าน้อยลงขนาดของรูแสงจะกว้างขึ้น



รูปที่ 2.16 ภาพแสดงปริมาณแสงที่สามารถลอดผ่านรูแสงที่ค่าอะเพอร์เจอร์ต่างกัน



รูปที่ 2.17 ภาพแสดงขนาดของรูแสงที่ค่าอะเพอร์เจอร์ต่าง ๆ

3. ช่องมองภาพ เพื่อใช้มองภาพและจัดองค์ประกอบของภาพแล้วถ่ายภาพได้ทันที นอกจากนี้ยังมีช่องมองภาพที่เป็นจอ LCD ติดอยู่กับตัวกล้อง ทำงานเช่นเดียวกับช่องมองภาพธรรมดา ภาพที่ปรากฏจะเหมือนกับภาพที่ถ่ายออกมาได้ทุกประการ ช่องมองภาพมี 2 ชนิดคือ

3.1 ช่องมองภาพแบบเล็งแล้วถ่าย (Optical Viewfinder) เป็นช่องมองภาพแบบที่ใช้ในกล้องราคาถูก ให้ภาพที่ละเอียดไม่มากนัก การใช้งานสามารถเล็งได้โดยตรงจากช่องมองภาพ แล้วออกไปได้ทันทีกล้องดิจิทัลที่มีช่องมองภาพแบบนี้จะเป็นกล้องดิจิทัลอัตโนมัติ ไม่ต้องปรับแต่งค่ามากนักก็สามารถเล็งผ่านช่องแล้วกดชัตเตอร์เพื่อถ่ายภาพได้ทันที

3.2 ช่องมองภาพแบบจอ LCD (Liquid Crystal Display) เป็นช่องมองภาพที่สะดวกต่อการใช้งานเป็นอย่างยิ่งสำหรับกล้องดิจิทัล เพราะสามารถมองผ่านทางจอ LCD แล้วจัดองค์ประกอบของภาพได้และยังสามารถเลือกภาพที่ได้ถ่ายไปแล้วขึ้นมาดูได้ทันที หากไม่พอใจก็สามารถลบภาพออกได้ ทำให้ไม่เสียเวลาในการถ่ายและเลือกภาพที่ต้องการ จอ LCD จะมีขนาดและคุณภาพแตกต่างกันตามราคาและยี่ห้อของกล้อง หากเป็นจอคุณภาพต่ำจะไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนเมื่อมองจากด้านข้างหรือมองจากพื้นที่ ๆ มีแสงสว่างมาก ๆ ข้อจำกัดของจอ LCD คือสิ้นเปลืองพลังงาน ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ในกล้องดิจิทัลเสื่อมเร็วเมื่อเปิดจอ LCD ไว้ตลอดเวลา ดังนั้น ควรปิดหน้าจอ LCD ไว้ขณะที่ไม่ได้ใช้งาน

4. แบตเตอรี่ การทำงานของกล้องดิจิทัลต้องอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่หรือพลังงานจากหม้อแปลงไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ใช้กับกล้องดิจิทัลมีหลายประเภท ดังนี้

4.1 แบตเตอรี่แบบอัลคาไลน์ AA มีอายุการใช้งานไม่นานนัก เนื่องจากกล้องดิจิทัลส่วนใหญ่มีจอภาพLCD ซึ่งใช้พลังงานสูง

4.2 แบตเตอรี่แบบ NiCD เป็นแบตเตอรี่ที่เก็บไฟได้น้อยและใช้งานได้ไม่นานนัก จึงไม่นิยมใช้แม้ว่าจะมีราคาถูก แต่สามารถชาร์จไฟและนำมากลับมาใช้ได้อีก แต่การชาร์จไฟนั้นจะต้องรอให้ใช้งานจนหมดก่อนจึงทำการชาร์จได้

4.3 แบตเตอรี่แบบ NiMH เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากน้ำหนักเบา เก็บไฟได้นาน สามารถชาร์จได้ทันทีและบ่อยครั้งโดยไม่ต้องรอให้แบตเตอรี่ หมดก่อน คุณภาพดี ราคาไม่แพง และหาซื้อได้ง่าย

4.4 แบตเตอรี่แบบ Li-ion เป็นแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและราคาแพง เนื่องจากมีน้ำหนักเบาเก็บกระแสไฟได้นานและมากกว่าแบตเตอรี่แบบ NiMH สามารถชาร์จไฟได้ทันทีที่ต้องการ นิยมใช้กับกล้องที่มีราคาแพงและคุณภาพสูงนอกจากแบตเตอรี่แล้ว ที่ชาร์จแบตเตอรี่นับเป็นอุปกรณ์เสริมสำคัญต่อการใช้งานกล้องดิจิทัล ที่ชาร์จแบตเตอรี่มี 2 ชนิดคือ การชาร์จแบบเร็ว

คือใช้เวลาชาร์จเพียง 2-3 ชั่วโมง แต่ประจุไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าไปจะไม่เต็มทีนัก การชาร์จแบบช้า ใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง ซึ่งจะช่วยถนอมแบตเตอรี่มากกว่าและเกิดความร้อนน้อยกว่าแบบเร็ว

5. หน่วยความจำ เปรียบเทียบได้กับฟิล์มของกล้องถ่ายภาพธรรมดา หน่วยความจำทำหน้าที่ในการบันทึกภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัลลงบนหน่วยความจำของตัวกล้องซึ่งมี 2 ประเภท ดังนี้

5.1 หน่วยความจำภายใน มีหน้าที่เก็บข้อมูลของภาพลงในตัวกล้อง เมื่อต้องการโอนถ่ายข้อมูลรูปภาพออกมาใช้งานต้องทำการต่อสายออกจากตัวกล้องผ่านทางพอร์ตต่าง ๆ ที่ตัวกล้องใช้งานอยู่แล้ว ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือพริ้นเตอร์ก่อนจึงจะสามารถใช้งานได้

5.2 หน่วยความจำภายนอก ส่วนใหญ่กล้องดิจิทัลจะใช้หน่วยความจำประเภท Flash Memory ซึ่งเป็นตัวเก็บข้อมูลขนาดเล็ก หน่วยเก็บข้อมูลที่นิยมใช้อยู่ในกล้องนั้นจะมี Compact Flash และ Smart Card ซึ่งมีความจุในการเก็บข้อมูลต่างกันออกไปตามราคา โดยส่วนมากจะเก็บข้อมูลได้ต่ำที่สุด 16 เมกะไบต์

5.3 หน่วยความจำแบบอื่น ๆ จะใช้งานแตกต่างกันไปตามยี่ห้อของกล้อง ได้แก่

5.3.1 CompactFlash เป็นหน่วยความจำขนาดเล็กที่พัฒนามาจากมาตรฐานของ PC Card(PCMCIA) พัฒนาขึ้นโดยบริษัท SanDisk มีขนาด ประมาณกล้องไม้ขีดขนาดเล็ก และใช้เทคโนโลยี Flash ในการเก็บข้อมูล

5.3.2 Ultra CompactFlash พัฒนาโดยบริษัท SanDisk เป็นหน่วยความจำ Flash ความเร็วสูงถึง 2.8 เมกะไบต์ต่อวินาที ทำให้สามารถนำไปใช้งานกับกล้องดิจิทัลประสิทธิภาพสูงได้เป็นอย่างดี สามารถส่งผ่านข้อมูลได้มากกว่า CompactFlash ธรรมดาถึง 2 เท่า

5.3.3 Memory Stick พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Sony ปัจจุบันมี 2 แบบคือ Memory Stick ขนาด 21.5x50x2.8 มิลลิเมตร น้ำหนัก 4 กรัม และขนาด 20x31x1.6 มิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลจะอยู่ที่ 2MB/s สำหรับการบันทึกและ 2.45 MB/s สำหรับการอ่านข้อมูล

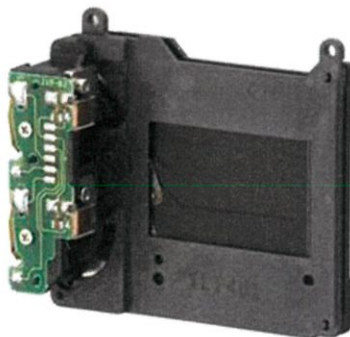
5.3.4 SmartMedia พัฒนาขึ้นโดยบริษัท TOSHIBA เป็นหน่วยความจำ แฟลช SSFDC(Solid State Floppy Disk Card) ขนาด 37x45x0.76 มิลลิเมตร น้ำหนักเพียง 1.8 กรัมแต่มีข้อเสียคือหน้าสัมผัสการอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการเสียหายของข้อมูลได้ง่ายกว่า Flash Memory ชนิดอื่น ๆ

5.3.5 Secure Digital (SD) ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Matsushita Electronic Industrial มีขนาด 24x32x2.1 มิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม มีความเร็วแสงในการส่งผ่านข้อมูล 10 MB/s

5.3.6 Multimedia Card (MMC) ได้รับการพัฒนาร่วมกันระหว่าง SanDisk Corporation และ Siemens มีขนาดเล็กที่สุดเพียง 24x31x1.4 มิลลิเมตร น้ำหนักน้อยกว่า 2 กรัม นิยมใช้ในกล้องดิจิทัลและอุปกรณ์เล่นเพลง MP3 หรืออุปกรณ์พกพาอีกหลายชนิด

6. ปุ่มควบคุมการทำงาน มีหน้าที่จัดการกับลักษณะของภาพถ่าย จะทำงานคู่กับเมนูการทำงานที่จะแสดงผลออกทางจอ LCD กับตัวกล้อง ซึ่งกล้องแต่ละตัวก็จะมีการทำงานของปุ่มควบคุมการทำงานและเมนูควบคุม การทำงานที่ต่างกันออกไป กล้องราคาถูกแบบอัตโนมัติจะมีปุ่มควบคุมการทำงานไม่มากนัก แต่หากเป็นกล้องราคาแพงและประสิทธิภาพสูงจะมีปุ่มการทำงานมากและมีการทำงานที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

7. ชัตเตอร์ ชัตเตอร์ทำหน้าที่เสมือนประตูเปิดรับแสงให้กับหน่วยรับภาพ อยู่ภายในตัวกล้องด้านหน้าของหน่วยรับภาพ ผู้ใช้สามารถปรับตั้งระยะเวลาในการเปิดรับแสงให้กับหน่วยรับภาพ ในสภาวะแสงปกติ เวลาในการเปิดรับภาพเป็นเศษส่วนของวินาที ช่วงเวลาที่มีการเปิดรับแสงเรียกว่าความเร็วชัตเตอร์ (Shutter Speed) มีหน่วยวัดเป็นตัวเลขจำนวนเต็มเท่ากับส่วนของวินาทีที่เปิดรับภาพ เช่น เปิดรับแสงนาน 1/125 วินาที จะได้ค่าความเร็วชัตเตอร์เท่ากับ "125" หากต้องการกำหนดเวลาการเปิดรับแสงโดยผู้ใช้งานจะใช้อักษร "B" ในกรณีที่เปิดชัตเตอร์นาน 2 วินาที ก็กำหนดค่าความเร็วชัตเตอร์เป็นเลขจำนวนเต็มเท่ากับ "2" เช่นเดียวกับการเปิดนาน 1/2 วินาที แต่ที่ปุ่มปรับ เลข "2" สำหรับ 2 วินาทีจะอยู่ต่ำกว่า "B" และมักใช้สีของตัวเลขที่ต่างออกไป



รูปที่ 2.18 Focal-Plane Shutter

8. หน่วยรับภาพ (Light-sensitive Materials) หน่วยรับภาพเป็นวัสดุไวต่อแสง อาจเป็นฟิล์มหรือแผ่นชิปสร้างภาพดิจิทัล (Digital Imaging Chip) หน่วยรับภาพจะอยู่ด้านหลังภายในตัวกล้อง ในปัจจุบันหน่วยรับแสงที่เป็นฟิล์มเริ่มหมดจากตลาด ส่วนแผ่นชิปสร้างภาพดิจิทัลที่นิยมใช้จะเป็น "CCD" (charge coupled device) และ "CMOS" (complementary metal oxide semiconductor) ในยุคก่อนที่ใช้ฟิล์มเป็นหน่วยรับภาพ ผู้ผลิตฟิล์มจะกำหนดให้มีการผลิตฟิล์มแต่ละ

ชนิดให้มีค่าความไวแสงที่ต่าง ๆ กันสำหรับการใช้งานแต่สภาพแสง ความไวแสงมีหน่วยวัดตามระบบ ISO (International Standards Organization) มาตรฐานที่ใช้คือ ISO 5800:1987 (เดิมยังมีการกล่าวอ้างถึงระบบมาตรฐาน DIN ย่อมาจาก “Deutsches Institut für Normung” ซึ่งเป็นมาตรฐานของเยอรมัน) ฟิล์มสำหรับถ่ายภาพในสภาวะแสงทั่วไป มีค่า ISO เท่ากับ 64 ถึง 100 หากจะถ่ายภาพในที่มืดปานกลาง ให้เลือกใช้ฟิล์มที่มี ISO เท่ากับ 300 ถึง 400 สำหรับสถานที่ที่มีมืดมากอาจใช้ ฟิล์มที่มี ISO สูงถึง 1600 หนึ่งเมื่อฟิล์มที่มีค่า ISO สูงขึ้น คุณภาพของภาพก็จะด้อยลง

กล้องดิจิทัลในท้องตลาดมีการใช้ขนาดแผ่นชิปสร้างภาพดิจิทัลสำหรับกล้องแต่ละรุ่นซึ่งพอจะแสดงตัวอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างขนาดต่าง ๆ ของหน่วยรับภาพดิจิทัล

ตัวอย่างขนาดต่าง ๆ ของหน่วยรับภาพดิจิทัล		
ชนิด	ขนาด กว้าง x สูง	พื้นที่รับภาพ
Medium Format (Kodak KAF39000)	50.7 มม. x 39 มม.	1977 ตร.มม.
FX (Full Frame 35mm)	36 มม. x 24 มม.	864 ตร.มม.
DX	24 มม. x 16 มม.	372.88 ตร.มม.
APS-C (Canon)	22.2 มม. x 14.8 มม.	329 ตร.มม.
Micro Four Thirds	17.3 มม. x 13 มม.	225 ตร.มม.
1/1.7 (Canon S90 & G11)	7.6 มม. x 5.7 มม.	43.32 ตร.มม.
1/2.5 (P, Ss)	5.76 มม. x 4.29 มม.	24.71 ตร.มม.



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของกล้องดิจิทัล

2.5.2 หลักการทำงานของกล้องดิจิตอล

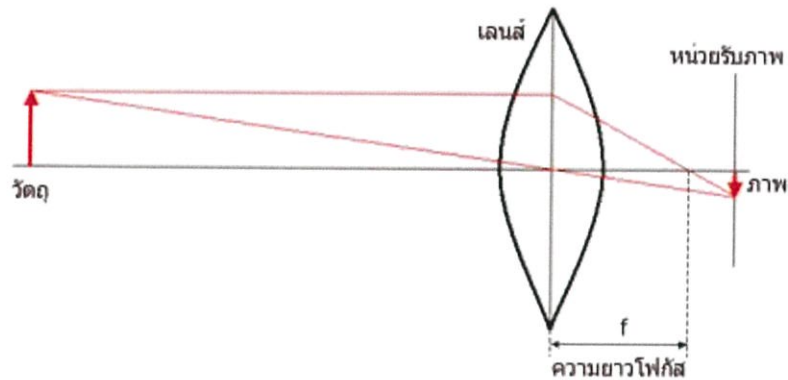
หลักการทำงานพื้นฐานของกล้องถ่ายภาพคือการที่แสงสะท้อนจากวัตถุ เดินทางเป็นเส้นตรงผ่านช่องเล็ก ๆ ของกล้องสี่เหลี่ยม เกิดภาพของวัตถุนบนฉากรองรับด้านตรงข้ามเป็นภาพหัวกลับ อันเป็นหลักการของการสร้างกล้องรูเข็มในสมัยโบราณ กล้องถ่ายภาพได้พัฒนาขึ้นมาโดยลำดับเช่น มีการนำเอาเลนส์นูนไปติดตั้งที่ช่องรับแสงที่มีขนาดเล็ก เพื่อช่วยรวมแสงให้เข้าไปในตัวกล้องให้มากขึ้น ทางด้านตรงกันข้ามของเลนส์เป็นตำแหน่งที่ตั้งวัสดุไวแสงหรือฟิล์ม สามารถปรับตัวเลนส์เพื่อให้เกิดภาพที่ชัดเจนบนฟิล์มได้ มีการติดตั้งไดอะแฟรมปรับให้เกิดช่องรับแสงขนาดต่าง ๆ รวมทั้งมีส่วนที่เรียกว่าชัตเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดม่าน เพื่อให้ปริมาณแสงตกกระทบกับฟิล์มตามความเหมาะสม และยังมีช่องเล็งภาพเพื่อช่วยในการจัดองค์ประกอบของภาพถ่ายให้เกิดความสวยงาม กล้องถ่ายภาพในปัจจุบัน มีการประดิษฐ์รูปแบบให้มีลักษณะภายนอกและกลไกภายใน ให้มีส่วนอำนวยความสะดวกแก่ผู้ถ่ายภาพมากยิ่งขึ้น มีกล้องถ่ายภาพทั้งระบบปรับธรรมดา ระบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบอัตโนมัติ

ดวงตามนุษย์กับกล้องถ่ายภาพ ส่วนประกอบและการทำงาน ของดวงตามนุษย์กับกล้องถ่ายภาพจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันโดยมีส่วนสำคัญแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่ทำให้เกิดภาพ ทั้งดวงตาและกล้องถ่ายภาพจะมีส่วนที่เป็นเลนส์ ในดวงตาของมนุษย์ ก่อนที่แสงจะตกกระทบเลนส์ ต้องผ่านชั้นของเยื่อโปร่งใสเรียกว่าคอร์เนีย (Cornea) ทำหน้าที่ช่วยเลนส์ในการหักเหแสงให้ภาพตกลงบนจอตาพอดี เลนส์ของกล้องถ่ายภาพ มีระบบกลไกเปิด-ปิดให้แสงผ่านเข้าไปยังฉากหลังควบคุมเวลาด้วยชัตเตอร์ (Shutter) ส่วนดวงตาควบคุมด้วยหนังตา (Eyelid) ในส่วนหนึ่งของเลนส์ถ่ายภาพจะมีไดอะแฟรม (Diaphragm) สามารถปรับให้เกิดช่องรับแสง (Aperture) ของขนาดต่าง ๆ เช่นเดียวกับดวงตาจะมีส่วนที่เรียกว่าม่านตา (Iris) ซึ่งจะมีสีต่าง ๆ แล้วแต่เชื้อชาติ เช่นสีดำ สีฟ้า สีน้ำตาล เป็นต้น ตรงกลางของม่านตาจะมีช่องกลมเรียกรูม่านตาหรือพิวพิล (Pupil) เป็นทางให้แสงผ่าน สามารถปรับให้มีขนาดต่างกันโดยอัตโนมัติ เช่นในที่ ๆ มีแสงสว่างมากรูม่านตาจะปรับให้มีขนาดเล็ก ส่วนในที่ ๆ มีแสงสลัว ๆ รูม่านตาจะปรับให้มีขนาดกว้างขึ้น

2. ส่วนที่ไวแสง ได้แก่ส่วนที่เป็นฉากหลังในกล้องถ่ายภาพจะเป็นตำแหน่งที่ตั้งวัตถุไวแสง ได้แก่ฟิล์ม ส่วนในดวงตาได้แก่จอตาเป็นฉากรับภาพ เรียกว่า เรตินา (Retina) ประกอบด้วยชั้นประสาทไวต่อแสงและเชื่อมโยงไปยังส่วนที่ทำหน้าที่ในการรับรู้ความรู้สึกเกี่ยวกับการมองเห็นทำให้ทราบถึงรูปร่าง ขนาด ลักษณะของพื้นผิวเลนส์ เลนส์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกล้องถ่ายภาพ เป็นวัสดุโปร่งใส ทำด้วยแก้วหรือพลาสติก ทำหน้าที่หักเหแสงสะท้อนจากวัตถุ เกิดภาพจริงหัวกลับบนระนาบของฟิล์ม เลนส์ของกล้องถ่ายภาพอาจเป็นเลนส์นูนอันเดียว หรือเป็นชุดของเลนส์ย่อย ๆ

หลาย ๆ อันประอบกันก็ได้ เพื่อให้สามารถปรับการถ่ายภาพได้หลายรูปแบบ แก้วหรือพลาสติกทุกชั้นที่ประกอบเข้าเป็นเลนส์ ต้องประดิษฐ์ด้วยความประณีต เพื่อให้มีคุณภาพในความคมชัด สามารถแก้ไขการผิดเพี้ยนของสี และการคลาดเคลื่อนของรูปทรงให้ถูกต้อง มีการฉาบน้ำยาเคลือบผิวที่เลนส์ เรียกว่า Coated เพื่อให้เลนส์มีคุณภาพในการรับแสงและช่วยลดแสงสะท้อนให้น้อยลง



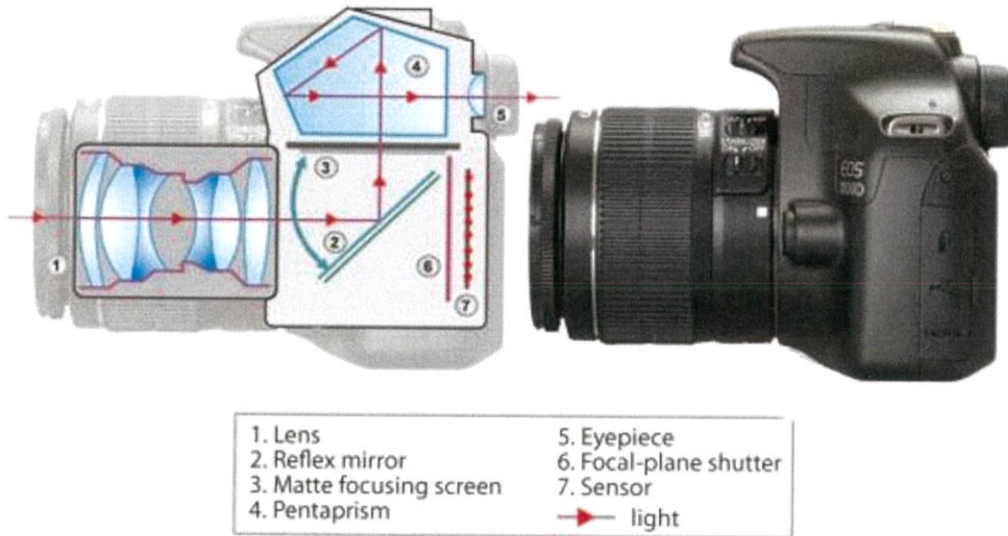
รูปที่ 2.20 การเดินทางของแสงเข้าเซ็นเซอร์รับภาพ

2.5.3 เลนส์กล้อง

เลนส์คือวัตถุที่ทำจากแก้วชนิดดีมีลักษณะกลม ผิวเรียบ แบ่งได้ 2 ชนิด คือ เลนส์นูนและเว้าใช้ทำหน้าที่รับภาพและรับแสงจากภายนอกตัวกล้องไปยังวัสดุไวแสง (Sensitive Material) फिल्मที่บรรจุไว้ภายในนอกตัวเครื่องทำหน้าที่เหมือนเป็นดวงตาหากกล้องถ่ายภาพปราศจากเลนส์จะเป็นกล้องที่สมบูรณ์ไม่ได้เลนส์ของกล้องถ่ายภาพมีหลายชนิดทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการที่จะนำไปใช้งานแต่ละประเภทก่อนที่จะกล่าวถึงคุณสมบัติของเลนส์ต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับเลนส์ของภาพว่ามี ความแตกต่างอย่างไรบ้าง ขนาดของความยาวโฟกัส หรือความยาวระยะชัด (Focal Length) ช่วงความนี้จะเขียนไว้ที่ขอบตัวเลนส์ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นผู้ที่จะใช้เลนส์ได้ มีความสะดวก ความยาวโฟกัสของเลนส์นี้จะมีเขียนไว้เป็นตัวอักษรย่อว่า “F” และมีตัวเลขบอกความยาวไว้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรหรือนิ้ว ความยาวโฟกัส คือความยาวระยะทางที่วัดได้จากเลนส์แผ่นฟิล์มที่อยู่ บนกล่องพื้นที่ราบมีรังสีแสงสว่างผ่านเลนส์เข้าไปสร้างภาพคมชัด บนแผ่นฟิล์มวัดจากแกนมุม ของเลนส์ขนาดที่โฟกัส ตั้งไว้ระยะที่ไกลสุดซึ่งภาพของภาพวัตถุจะปรากฏชัดที่สุด โดยปกติระยะความยาวของเลนส์มาตรฐาน มีความยาวของเส้นทแยงมุมของภาพที่ปรากฏบนฟิล์ม ของกล้องถ่ายภาพความยาวโฟกัสของเลนส์ จะมีผลต่อการถ่ายภาพคือ เลนส์ถ่ายภาพใดก็ตามที่มีความยาวโฟกัสของเลนส์ ยิ่งยาวยิ่งทำให้มุมของการถ่ายภาพแคบ และช่วยย่นระยะของทางที่มองเห็นใกล้เข้ามาเลนส์ดังกล่าว ได้แก่เลนส์ถ่ายไกล เป็นต้นนอกจากนี้เลนส์ที่มีความยาวโฟกัส แตกต่างกันนอกจากสร้างผลทางภาพให้มีขนาดต่างกัน ยัง

สร้างผลทางช่วงความชัดให้มีความแตกต่างความยาวโฟกัสยิ่งยาวมากความชัด ยิ่งมากยิ่งขึ้นตรงกันข้าม ช่วงความชัดยิ่งสั้นมาเท่าใดช่วงความชัดของมากจะมีมากขึ้นเท่านั้นดังนั้น สรุปได้ว่าความยาวของ โฟกัสของเลนส์มีผลต่อการถ่ายภาพ 2 ประเภท

1. ทำให้มุมของภาพ กว้างหรือแคบได้
2. ทำให้ความชัดมีมากหรือน้อยลงได้



รูปที่ 2.21 การเดินทางของแสงภายในกล้อง



รูปที่ 2.22 เลนส์ประเภทต่าง ๆ

เลนส์ถ่ายภาพโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ตามความยาวโฟกัสคือ

1. เลนส์ธรรมดาหรือเลนส์มาตรฐาน (Normal lens or Standard lens)การกำหนด ความยาวโฟกัสของเลนส์มาตรฐานประจำกล้องแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกันเช่น กล้อง 35 มม. ที่ถอด เปลี่ยนเลนส์ไม่ได้ เลนส์จะมีความยาวโฟกัสประมาณ 38-45 มม. ส่วนกล้อง 35 มม. สะท้อนภาพ

เลนส์เดี่ยว (SLR) ที่ถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ เลนส์มาตรฐานจะมีความยาวโฟกัสประมาณ 55-58 มม. ซึ่งมีมุมในการรับภาพประมาณ 53 องศา ซึ่งใกล้เคียงกับการมองเห็นของสายตาคอนส่นเลนส์มาตรฐานสำหรับกล้องที่ใช้ฟิล์มขนาด 120 จะมีความยาวโฟกัสระหว่าง 75 - 90 มม.

2. เลนส์มุมกว้าง (wide-angle lens) เลนส์มุมกว้างได้แก่เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้นกว่าเลนส์มาตรฐาน เช่นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส 35 มม. , 28 มม., 24 มม., 13 มม. เป็นต้น สามารถแบ่งย่อยออกไปได้อีกคือ

2.1. เลนส์มุมกว้างธรรมดา (Moderate Wide-angle) ได้แก่เลนส์ที่มีความยาวโฟกัส ระหว่าง 25-40 มม.

2.2. เลนส์มุมกว้างมาก รับภาพได้ตรง (Rectilinear super wide) ได้แก่เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสระหว่าง 15-24 มม.

2.3. เลนส์มุมกว้างมาก รับภาพบิดโค้ง (Semifish eye super wide) ได้แก่เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสระหว่าง 15-24 มม. แต่ภาพที่ได้จะบิดโค้ง

2.4. เลนส์มุมกว้างพิเศษ รับภาพได้โค้งกลม เช่นเลนส์ตาปลา (Fish eye lens) เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้นมาก เช่น 6 มม. หรือ 8 มม. เป็นต้น

เลนส์มุมกว้างเป็นเลนส์ที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพในสถานที่แคบ ๆ ซึ่งสามารถรับภาพได้กว้างลึก และกว้างไกล เก็บภาพต่าง ๆ ได้มากและจะได้ภาพที่มีช่วงความชัดมากกว่าเลนส์ชนิดอื่น ๆ แต่สัดส่วนจะผิดเพี้ยน รูปทรงบิดเบี้ยวและโค้งงอ (Distortion) ยิ่งเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้นมาก ๆ ความผิดเพี้ยนของภาพก็ยังมีมาก เช่นเลนส์ตาปลา ความยาวโฟกัส 8 มม. หรือ 6 มม. ภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นวงกลม ภาพจะมีความบิดเบือนมาก ยกเว้นจุดตรงกลางภาพเท่านั้น

3. เลนส์ถ่ายไกล (Telephoto lens)เลนส์ถ่ายไกลเป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสยาวกว่าเลนส์มาตรฐาน เช่นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส 135 มม. , 500 มม. , 1000 มม. , 2000 มม. เป็นต้น เลนส์ถ่ายไกลสามารถปรับโฟกัสภาพได้เพียงระยะห่างระยะหนึ่งจากฟิล์มเท่านั้นเป็นเลนส์ที่ประกอบด้วยกลุ่มของชิ้นเลนส์หลายกลุ่มจัดวางเรียงให้เลนส์นูนที่มีโฟกัสยาวอยู่ข้างหน้าเลนส์เว้าที่มีโฟกัสสั้น ทำให้ได้ภาพถ่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แม้ว่าวัตถุจะอยู่ห่างไกลมากก็ตาม เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการถ่ายวัตถุที่ไม่สามารถเข้าไปใกล้ ๆ ได้ เช่น การถ่ายภาพสัตว์ในป่า ภาพกีฬาบางประเภท ภาพทิวทัศน์ไกล ๆ เป็นต้น

เลนส์ถ่ายไกลที่มีความยาวโฟกัสยาวมากจะมีมุมในการรับภาพแคบลง เช่น เลนส์ถ่ายไกล 500 มม. มีมุมในการรับภาพ 5 องศา และเลนส์ถ่ายไกล 1000 มม. มีมุมในการรับภาพเพียง 2.5 องศา เป็นต้น นอกจากมีมุมในการรับภาพแคบแล้ว เลนส์ถ่ายไกลยังมีระยะช่วงความชัดน้อยมากภาพจะดูตื้นแบนมีระยะหลังของภาพพร่ามัว เลนส์ถ่ายไกลสามารถแบ่งออกเป็นประเภทย่อย ๆ ได้อีกคือ

3.1. เลนส์ถ่ายไกลระยะสั้น (Short telephoto) เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสระหว่าง 80-135 มม.

3.2. เลนส์ถ่ายไกลระยะปานกลาง (Medium telephoto) เป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสระหว่าง 150-250 มม.

3.3. เลนส์ถ่ายไกลระยะไกล (Long telephoto) มีความยาวโฟกัสระหว่าง 300-600 มม.

3.4. เลนส์ถ่ายไกลระยะไกลพิเศษ (Super long telephoto) มีความยาวโฟกัสระหว่าง 800-2000 มม.

นอกจากเลนส์ถ่ายภาพไกลโดยทั่วไปแล้วยังมีเลนส์อีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่สำหรับถ่ายไกลเช่นเดียวกัน คือ เลนส์กระจก (Mirror lens) มีความยาวโฟกัส 500 มม. หรืออาจสูงถึง 2000 มม. กระจกเลนส์มีลักษณะสั้นและกว้าง ประกอบด้วยกระจกโค้ง 2 บาน สะท้อนแสงและขยายภาพผ่านแก้วเลนส์หลายชิ้น เลนส์ชนิดนี้มีเลข เอฟ (f/number) ตายตัวเพียง 1 เลขเอฟ จึงมีข้อจำกัดในการเลือกใช้ฟิล์มและการตั้งความเร็วชัตเตอร์ ราคาที่ค่อนข้างแพง แต่ก็มีข้อดีในเรื่องรูปร่างกระทัดรัด มีความยาวโฟกัสยาวมาก และให้ภาพที่มีความคมชัด

การถ่ายไกลนอกจากใช้เลนส์ทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาแล้วอาจใช้เทเลพลัส (Teleplus) หรือเทเลคอนเวอร์เตอร์ (Teleconverter) สวมต่อ ระหว่างเลนส์มาตรฐานกับกล้องถ่ายภาพจะสามารถเพิ่มความยาวโฟกัสของเลนส์เป็น 1.4 เท่า หรือมากกว่า ซึ่งเทเลคอนเวอร์เตอร์ดังกล่าวจะมีขนาด 1.4X, 2X, 3X หรือ 4X เป็นอุปกรณ์ประกอบชนิดหนึ่งที่มีราคาค่อนข้างถูก กระทัดรัดแต่ข้อเสียคือจะตัดทอนแสง ลดความคมชัดลงไปบ้าง

4. เลนส์ซูม (Zoom lens) หมายถึงเลนส์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความยาวโฟกัสได้ (Vari focal lens) ภาพที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเปลี่ยนแปลง เมื่อเปลี่ยนทางยาวโฟกัส กล่าวคือภาพจะมีขนาดเล็กสุด เมื่อทางยาวโฟกัสสั้นที่สุด เหมาะสำหรับใช้ถ่ายภาพที่ต้องการให้เห็นภาพกว้าง ๆ และในบางครั้งต้องการเน้นให้เห็นภาพเฉพาะ ความคมชัดของภาพถ่ายที่ใช้ความยาวโฟกัสยาว ปัจจุบันเลนส์ซูมแต่ละตัวจะมีความยาวโฟกัสต่างระยะกันประมาณ 2-6 เท่า เช่น เลนส์ซูมขนาด 43-86 มม., 70-250 มม., 85-300 มม. , 800-1200 มม. เป็นต้น

5. เลนส์ถ่ายใกล้หรือเลนส์มาโคร (Macro lens) คำว่า “Macro” เป็นคำที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพวัตถุที่อยู่ใกล้เลนส์มาก ๆ (Close-up photography) เป็นเลนส์ที่สามารถถ่ายภาพโดยให้กล้องเข้าใกล้วัตถุที่ต้องการถ่ายได้เกิน 1-1 ฟุต สามารถปรับระยะชัดได้ ช่วยขยายวัตถุที่เล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เลนส์ชนิดนี้บางทีก็เรียกชื่อว่า เลนส์ไมโคร (Micro lens) เลนส์มาโครความยาวโฟกัส 55 มม. ขยายภาพได้ 1:2 ส่วนเลนส์มาโคร 60 มม. ขยายภาพได้ 1:1 แต่ถ้าต้องการถ่ายภาพให้มี

ขนาดใหญ่กว่านี้ ก็อาจใช้ร่วมกับท่อต่อ (Extention tube) หรือ ส่วนพับยืด (Bellows) ภาพถ่ายก็จะ
มีกำลังขยายมากขึ้น

2.5.4 Nikon DSLR D3400

กล้อง Nikon D3400 ถูกเลือกในปฏิญญาฉบับนี้ เนื่องจากมีราคาที่ถูก มีเลนส์ให้
เลือกใช้มากมาย และมีระยะห่างระหว่างพิกเซลน้อย



รูปที่ 2.23 กล้อง Nikon DSLR D3400

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของกล้อง Nikon DSLR D3400

ประเภท	รายละเอียด
เมทริกเลนส์	F เมทริกของ Nikon (ที่มีขั้วต่อ AF)
มุมมองภาพใช้งานจริง	รูปแบบ DX ของ Nikon, ทางยาวโฟกัสเท่ากับประมาณ 1.5 เท่าของเลนส์ที่มีมุมมองภาพในรูปแบบ FX
รูปแบบเซ็นเซอร์ภาพ	DX
ประเภทเซ็นเซอร์ภาพ	CMOS
ขนาดเซ็นเซอร์	23.5 มม. x 15.6 มม.
พิกเซลทั้งหมด	24.72 ล้าน
พิกเซลใช้งานจริง	24.2 ล้าน
ระยะห่างระหว่างพิกเซล	3.89 ไมโครเมตร

ประเภท	รายละเอียด
ขนาดภาพ (พิกเซล)	(ใหญ่) 6000 x 4000 (กลาง) 4496 x 3000 (เล็ก) 2992 x 2000
รูปแบบไฟล์	NEF (RAW): 12 บิต, JPEG ปีบอัด: ตามมาตรฐาน JPEG-Baseline พร้อมการบีบอัดภาพแบบละเอียด (ประมาณ 1 : 4), การบีบอัดปกติ (ประมาณ 1 : 8), หรือพื้นฐาน (ประมาณ 1 : 16) NEF (RAW)+JPEG: ภาพถ่ายเดี่ยว บันทึกทั้งในรูปแบบ NEF (RAW) และ JPEG
ระบบ Picture Control	มาตรฐาน, โทนสีกลาง, สีสด, โทนสีเดียว, ภาพบุคคล, ทิวทัศน์, Flat ; โดยสามารถแก้ไข Picture Control ที่เลือกได้
สื่อบันทึกข้อมูล	SD, SDHC (รองรับ UHS-I), SDXC (รองรับ UHS-I)
ช่องบรรจุแผ่นการ์ด	หนึ่งช่อง
ความเร็ว	1/4000 ถึง 30 วินาที ชั้นละ 1/3 EV, Bulb; Time
โหมด	S (ถ่ายทีละภาพ), ถ่ายภาพต่อเนื่อง, Q (กดชัตเตอร์แบบเงียบ), ตั้งเวลาถ่าย, รีโมต
ความเร็วในการถ่ายภาพต่อเนื่อง	สูงสุด 5 ภาพต่อวินาที หมายเหตุ: คาดคะเนอัตราการบันทึกภาพจากโหมดแมนวลโฟกัส โหมดปรับเอง หรือโหมดเปิดรับแสงอัตโนมัติปรับชัตเตอร์เอง โดยความไวชัตเตอร์อยู่ที่ 1/250 วินาทีหรือเร็วกว่าและการตั้งค่าอื่นๆ เป็นไปตามค่าตั้งจากโรงงาน
โหมด	โหมดอัตโนมัติ (อัตโนมัติ; อัตโนมัติ, ปิดแฟลช); โปรแกรมอัตโนมัติด้วยโปรแกรมแบบยืดหยุ่น (P); อัตโนมัติปรับชัตเตอร์เอง (S); อัตโนมัติปรับรับแสง (A); ปรับเอง (M); โหมดสำเร็จรูป (ภาพบุคคล; ทิวทัศน์; เด็ก; กีฬา; ถ่ายระยะใกล้; บุคคลตอนกลางคืน); โหมดเอฟเฟกต์พิเศษ (ไนท์วิชั่น; Super Vivid; Pop; ภาพวาด; เอฟเฟกต์กล้องของเล่น; เอฟเฟกต์ภาพวัตถุขนาดจิ๋ว; เลือกสี; ภาพเงา; ไฮคีย์; โลว์คีย์)

ประเภท	รายละเอียด
การชดเชยแสง	สามารถปรับได้ระหว่าง -5 ถึง +5 EV ปรับเพิ่มขั้นละ 1/3 EV ในโหมด P, S, A, M, scene และในทิวทัศน์
ค่าความไวแสง (ISO)	ISO 100–25600
ช่องต่อสาย USB	USB ความเร็วสูงพร้อมช่องต่อสาย Micro-USB; แนะนำการเชื่อมต่อกับพอร์ต USB ในตัว
ช่องต่อสัญญาณออก HDMI	ช่องต่อ HDMI ประเภท C
ขนาด (กว้าง x สูง x ลึก)	ประมาณ 124 x 98 x 75.5 มม. (4.9 x 3.9 x 3 นิ้ว)
น้ำหนัก	ประมาณ 445 กรัม (15.7 ออนซ์) รวมแบตเตอรี่และการ์ดหน่วยความจำ แต่ไม่รวมน้ำหนักฝาปิดตัวกล้อง หรือประมาณ 395 กรัม/14 ออนซ์ (เฉพาะตัวกล้องเท่านั้น)

2.6 USAF 1951

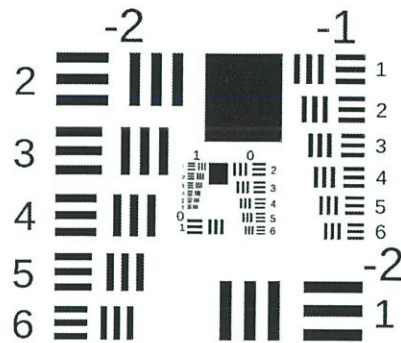
ชาร์ตทดสอบความละเอียด USAF 1951 เป็นแบบทดสอบความละเอียดที่สอดคล้องกับมาตรฐาน MIL-STD-150A ซึ่งกำหนดโดย US Air Force ในปีพ.ศ. 2494 ถึงแม้ว่า MIL-STD-150A จะถูกยกเลิกไปเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2549 แต่ก็ยังเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในการทดสอบความละเอียดของระบบเก็บภาพเชิงแสง (optical imaging system) เช่นกล้องจุลทรรศน์ กล้องถ่ายรูป และสแกนเนอร์ เป็นต้น รูปแบบของชาร์ตทดสอบความละเอียด USAF 1951 จะประกอบไปด้วยกลุ่มของแถบ 3 แถบ ที่มีขนาดใหญ่ไปเล็ก ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบแถบกลุ่มที่เล็กที่สุดที่ไม่สามารถแยกออกจากกันได้โดยระบบถ่ายภาพใด ๆ แถบกลุ่มนั้นคือความละเอียดที่สูงสุดที่ระบบนั้น ๆ แยกได้ (resolution/resolving power) ซึ่งสามารถหาค่าความละเอียดได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Resolution (lp/mm)} = 2^{\text{Group} + (\text{element} - 1)/6} \quad (2.1)$$

2.6.1 ลักษณะของ USAF 1951

รูปแบบโดยทั่วไปของ MIL-STD-150A จะประกอบไปด้วยกลุ่ม (group) แต่ละกลุ่มจะมี 6 อีลีเมนต์ (element) โดยแต่ละอีลีเมนต์ จะมีขนาดเล็กลงไปเรื่อย ๆ ตามลำดับ และแต่ละอีลีเมนต์ จะมีรูปแบบการเรียงตัวกันของแถบสีขาว-ดำ หรือเรียก 1 เส้น-คู่ (lp/line-pair) จำนวน 3 เส้น-คู่ใน

แนวตั้ง (vertical) และแนวนอน (horizontal) โดยขนาดของกลุ่มและอิมพีเมนต์ต่าง ๆ สามารถดูได้จากค่า lp/mm หรือความกว้างของ 1 เส้นในหน่วยไมโครเมตร ดังตารางต่อไปนี้



รูปที่ 2.24 ลักษณะของ USAF 1951

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า lp/mm ของชาร์ตทดสอบความละเอียด USAF 1951

Number of Line Pairs / mm in USAF Resolving Power Test Target 1951										
Group Number										
Element	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128
2	0.281	0.561	1.12	2.24	4.49	8.98	17.96	35.9	71.8	143.7
3	0.315	0.63	1.26	2.52	5.04	10.08	20.16	40.3	80.6	161.3
4	0.354	0.707	1.41	2.83	5.66	11.31	22.63	45.3	90.5	181
5	0.397	0.794	1.59	3.17	6.35	12.7	25.4	50.8	101.6	203.2
6	0.445	0.891	1.78	3.56	7.13	14.25	28.51	57	114	228.1

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความกว้าง 1 เส้นในหน่วยไมโครเมตรของชาร์ตทดสอบความละเอียด
USAF 1951

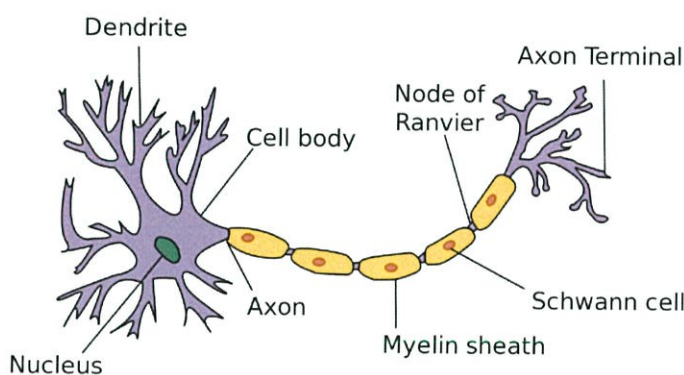
Width of 1 line in micrometers in USAF Resolving Power Test Target 1951										
Group Number										
Element	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
1	2000	1000	500	250	125	62.5	31.2	15.6	7.8	3.9
2	1781.8	890.9	445.4	222.7	111.3	55.6	27.8	13.9	6.9	3.4
3	1587.4	793.7	396.8	198.4	99.21	49.6	24.8	12.4	6.2	3.1
4	1414.2	707.1	353.5	176.7	88.39	44.1	22.1	11.0	5.5	2.7
5	1259.9	629.9	314.9	157.4	78.75	39.3	19.6	9.84	4.9	2.4
6	1122.4	561.2	280.6	140.3	70.15	35.0	17.5	8.77	4.3	2.1

2.7 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ข่ายงานประสาท (neural network หรือ neural net) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) ที่เน้นด้านการคำนวณ หรือเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศ เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำแบบรูป (Pattern Recognition) และการอุปมาความรู้ (Knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์

แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” (neurons) และ จุดประสานประสาท

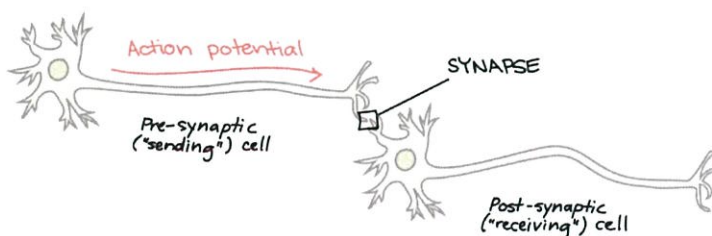
(synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรท์" (Dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า "แอกซอน" (Axon) ซึ่งเป็นเหมือน output ของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน โมเดลข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทจนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน (ดังรูปที่ 2.25)



รูปที่ 2.25 แสดงโมเดลของนิวรอนในสมองมนุษย์

Neural Network เป็นตัวประมวลผลคู่ขนานขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นจากหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก มีคุณสมบัติเพื่อเก็บสิ่งที่รับรู้ประสบการณ์ หรือ การกระทำ มีลักษณะคล้ายกับสมอง 2 ข้อ คือ

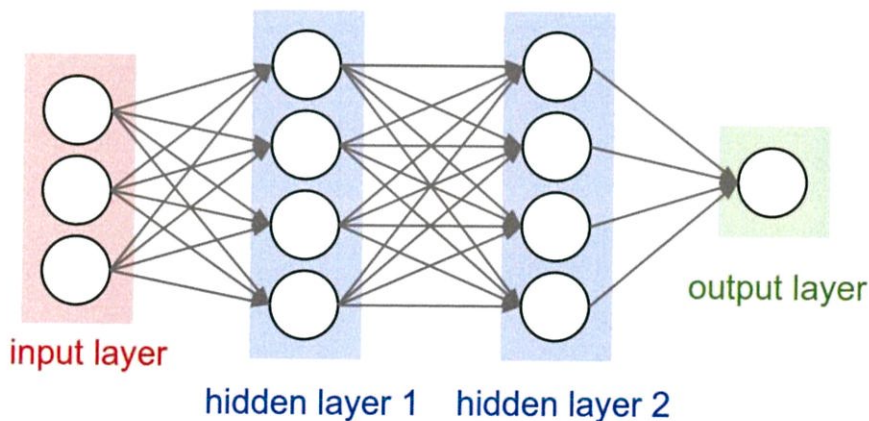
1. สิ่งที่ได้รับรู้ได้มาโดย network ได้ผ่านทางกระบวนการการเรียนรู้
2. เซลล์ที่เชื่อมต่อถึงกัน เรียกว่า synaptic จะถูกใช้เพื่อเก็บสิ่งที่รับรู้เข้ามา (ดังรูปที่ 2.26)



รูปที่ 2.26 แสดงจุดที่เรียกว่า synaptic

โครงข่ายใยประสาทเทียมเป็นการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ที่ประกอบไปด้วยเซลล์พิเศษมากมายที่เรียกว่า “เซลล์ประสาท (Neuron)” ซึ่งมีมากกว่า 100 ชนิด เซลล์ประสาทที่มีชนิดเดียวกันจะถูกจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน เรียกว่า “เครือข่ายหรือโครงข่าย (Network)” แต่ละโครงข่ายจะบรรจุเซลล์ประสาทจำนวนนับพันเซลล์ที่มีการเชื่อมต่อกันอย่างเหนียวแน่น ดังนั้น สมองมนุษย์จึงอาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า “กลุ่มประสาท”

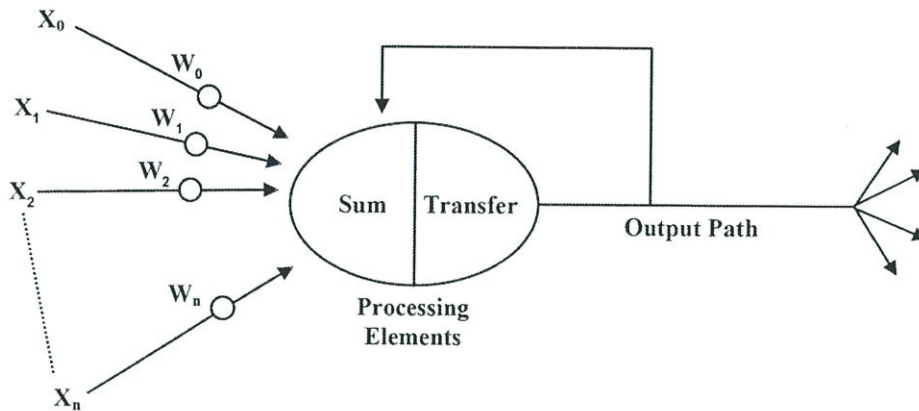
การเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เริ่มจากการกำหนดให้แต่ละซอฟต์แวร์ เรียกว่า “โหนด (node)” เปรียบเทียบว่าเป็น “เซลล์ประสาท” และสร้างการเชื่อมต่อให้กับโหนดเหล่านั้นให้เป็นโครงข่าย (network) แต่ละโครงข่ายจะประกอบไปด้วยโหนดที่ถูกจัดแบ่งเป็นชั้นๆ เรียกว่า “เลเยอร์ (Layer)” แต่ละเลเยอร์จะมีหน้าที่การทำงานแตกต่างกัน (ดังรูปที่ 2.27)



รูปที่ 2.27 แสดงโหนด(วงกลม) แทน เซลล์ประสาท และ โหนดต่อกันเป็นโครงข่ายแทนชั้นของ hidden layer ภายในโมเดล

2.7.1 องค์ประกอบและโครงสร้างการทำงาน

ซอฟต์แวร์ (Software) ที่เลียนแบบโครงข่ายของเซลล์ประสาทรุ่นนั้นจะมีขอบเขต (Boundary) กั้นระหว่างข้อมูลนำเข้ากับการทำงานของใยประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายของเซลล์ที่ถูกจัดไว้เป็นเลเยอร์ ดังนั้นองค์ประกอบที่ได้จัดแบ่งเป็นเลเยอร์และหน้าที่ของแต่ละองค์ประกอบจึงมีดังนี้



รูปที่ 2.28 แสดงองค์ประกอบและโครงสร้างการทำงานของโครงข่ายใยประสาทเทียม

1. ข้อมูลนำเข้า (Input)

ข้อมูลนำเข้าจะถูกจำแนกตามคุณลักษณะ (Attribute) เช่น ถ้าปัญหาที่ระบบใยประสาทเทียมจะต้องตัดสินใจคือ การคัดกรองว่าผู้หญิงคนนี้เป็นมะเร็งหรือไม่ ข้อมูลนำเข้าก็จะถูกจำแนกเป็นคุณลักษณะ กล่าวคือ ปังจัยเสียง การกินอาหาร มีคูรั๊กหรือไม่ เคยผ่านการมีเพศสัมพันธ์หรือไม่ เป็นต้น ข้อมูลนำเข้้นอกจากจะเป็นข้อความแล้ว ยังสามารถเป็นรูปภาพจากเนื้อเยื่อบุผิวปากมดลูกก็ได้ จากนั้นก็จะเข้าสู่การทำงานที่แท้จริงของระบบใยประสาทเทียมที่เริ่มต้นด้วยการนำข้อมูลเข้ามาให้น้ำหนัก (weight) ของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้าเหล่านั้นในเลเยอร์แรกภายใต้ขอบเขตของระบบ

2. น้ำหนัก (Weight)

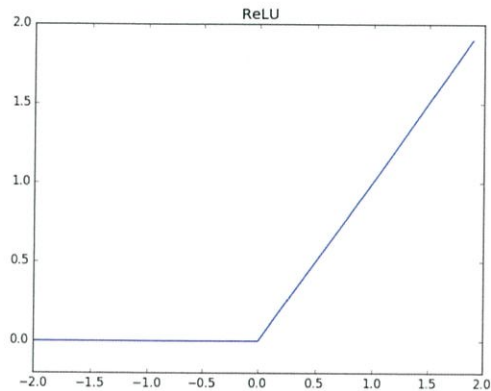
เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบโครงข่ายใยประสาท เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้หาน้ำหนักของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า ว่าข้อมูลนำเข้าใดมีความสัมพันธ์กับข้อมูลนำเข้าอื่นในระดับใด ซึ่งจะทำให้สามารถเชื่อมโยงไปหาข้อสรุปได้ ด้วยการลองผิดลองถูกในความสัมพันธ์แต่ละแบบ และเก็บไว้เป็นแบบแผนหรือรูปแบบ (pattern) ของประสบการณ์เพื่อการเรียนรู้ของโครงข่าย

3. ฟังก์ชันการรวม (Summation Function)

เป็นโครงข่ายที่ทำหน้าที่ในการรวมค่าน้ำหนักที่ได้จากโครงข่ายในเลเยอร์ input เพื่อสรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า รอกการแปลงเป็นสารสนเทศที่มีความหมายในเลเยอร์ต่อไป

4. ฟังก์ชันการแปลง (Transformation Function)

เป็นโครงข่ายที่ทำหน้าที่ในการประสาน (integrate) สารสนเทศที่ผ่านการประมวลผลจากโครงข่ายในเลเยอร์ต่าง ๆ แล้วทำการแปลง (Transform) หรือเป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (sigmoid function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ (hyperbolic tangent function) และ ReLU (Rectifier Linear Unit) เป็นต้น



รูปที่ 2.29 แสดงกราฟฟังก์ชันของ ReLU

5. ผลลัพธ์ (Output)

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม จะหมายถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา เช่น ภาพถ่ายที่เข้าไปประมวลจะมีผลลัพธ์เป็นลบหรือไม่เป็นมะเร็ง และบวกหรือเป็นมะเร็ง

2.7.2 หลักการทำงาน

สำหรับในคอมพิวเตอร์ Neurons ประกอบด้วย input และ output เหมือนกัน โดยจำลองให้ input แต่ละอันมี weight เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของ input โดย neuron แต่ละหน่วยจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของ input ต้องมากขนาดไหนจึงจะสามารถส่ง output ไปยัง neurons ตัวอื่นได้ เมื่อนำ neuron แต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกันการทำงานนี้ในทางตรรกะแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลขเท่านั้นเอง

การทำงานของ Neural networks คือเมื่อมี input เข้ามายัง network ก็เอา input มาคูณกับ weight ของแต่ละขา ผลที่ได้จาก input ทุก ๆ ขาของ neuron จะเอามารวมกันแล้วก็เอามาเทียบกับ threshold ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า threshold แล้ว neuron ก็จะส่ง output ออกไป output นี้ก็จะถูกส่งไปยัง input ของ neuron อื่น ๆ ที่เชื่อมกันใน network ถ้าค่าน้อยกว่า threshold ก็จะไม่เกิด output

การทำงานของ neural โดยทั่วไป สามารถเขียนออกมาได้ดังนี้

if (sum(input * weight) > threshold) then output

Output ของแต่ละ Node

$$y_i = f(w_i^1 x_1 + w_i^2 x_2 + w_i^3 x_3 + \dots + w_i^m x_m)$$

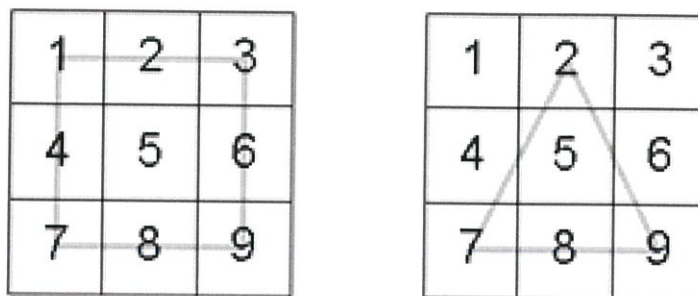
$$= f\left(\sum_j w_i^j x_j\right)$$

เมื่อ X_j = input จากโหนดอื่นๆ

W_{ij} = น้ำหนัก (weight) ของแต่ละแขน (connection)

สิ่งสำคัญคือต้องทราบค่า weight และ threshold สำหรับสิ่งที่ต้องการเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จัก ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้มันรู้จัก pattern ของสิ่งที่เราต้องการให้มันรู้จัก เรียกว่า "back propagation" ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จัก ในการฝึก feed-forward neural networks จะมีการใช้อัลกอริทึมแบบ back-propagation เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่าย (network weight) หลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้ว ค่าที่ได้รับ (output) จากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักคะแนนต่อไป

ตัวอย่างเช่นจะรู้จักรูปสามเหลี่ยม กับรูปสี่เหลี่ยม เราอาจแบ่ง input เป็น 9 ตัวคือเป็นตาราง 3x3 ถ้าวาดรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมให้เต็มกรอบ 3x3 พอดี สี่เหลี่ยมจะมีส่วนของขอบอยู่ในช่อง 1,2,3,4,6,7,8,9 ก็สมมติให้น้ำหนักตรงช่องเหล่านี้มีค่ามาก ๆ ถ้ามีเส้นขีดผ่านก็เอามาคูณกับน้ำหนักแล้วก็เอามารวมกัน ตั้งค่าให้พอเหมาะก็จะสามารถแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมกับสามเหลี่ยมได้ ซึ่งนี่คือหลักการของ neural network (ดังรูปที่ 2.30)



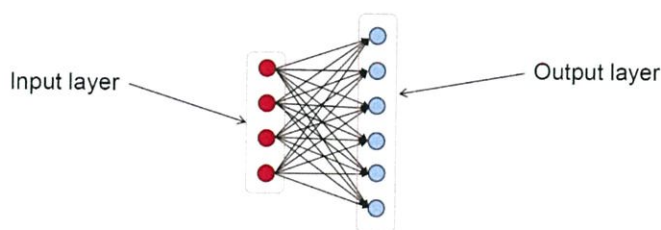
รูปที่ 2.30 แสดงการแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม

2.7.3 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียม หรือโหนดจำนวนมากเชื่อมต่อกันซึ่งการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย เรียกว่า ชั้น(layer) ชั้นแรก เป็นชั้นนำข้อมูลเข้า เรียกว่า ชั้นรับข้อมูลป้อนเข้า (input layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่าชั้นส่งข้อมูลออก (output layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเรียกว่า ชั้นแอบแฝง (hidden layer) ซึ่งโดยทั่วไปชั้นแอบแฝงอาจมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบได้แก่ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (single layer) และโครงข่ายแบบหลายชั้น (multi layer)

1. โครงข่ายแบบชั้นเดียว

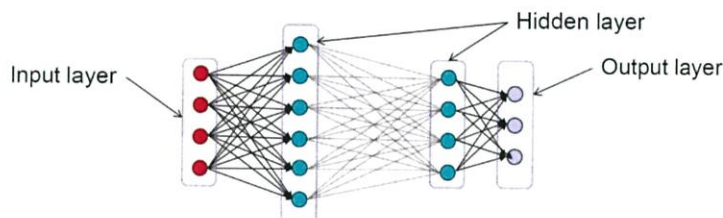
โครงข่ายแบบชั้นเดียว เป็นโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายที่มีเพียงชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเท่านั้น โหนดในชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า (input value) แล้วส่งข้อมูลผ่านเส้นเชื่อมโยงต่าง ๆ ไปให้โหนดในชั้นส่งข้อมูลออก ความเข้มของสัญญาณหรือปริมาณข้อมูลที่นำเข้าสู่โหนดในชั้นส่งข้อมูลออกจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเส้นเชื่อมโยง โหนดในชั้นส่งข้อมูลออกจะนำข้อมูลที่รับมาคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ฟังก์ชันการแปลง (transfer function) ที่เหมาะสมกับปัญหา แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นข้อมูลส่งออก ลักษณะโครงข่ายแบบชั้นเดียวแสดงดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 แสดงลักษณะโครงข่ายแบบชั้นเดียว

2. โครงข่ายแบบหลายชั้น

โครงข่ายแบบหลายชั้น เป็นโครงข่ายที่มีชั้นแอบแฝงตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป โครงข่ายแบบหลายชั้นจะใช้ในกรณีที่ปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งโครงข่ายแบบชั้นเดียวไม่สามารถแก้ปัญหาได้ จึงเพิ่มจำนวนโหนดที่มีการคำนวณ หรือชั้นแอบแฝงให้กับโครงข่าย ตัวอย่างของโครงข่ายแบบหลายชั้นเช่น การแพร่ย้อนกลับ (back propagation) เป็นต้น ลักษณะโครงสร้างโครงข่ายแบบหลายชั้นแสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงลักษณะโครงข่ายแบบหลายชั้น

2.7.4 ประเภทของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning)

ข้อมูลจะประกอบด้วยตัวอย่างข้อมูลที่ต้องการสอน และผลลัพธ์ที่ต้องการให้โครงข่ายสร้าง เมื่อมีการนำข้อมูลในลักษณะเดียวกันมาเป็นข้อมูลป้อนเข้า โครงข่ายจะกำหนดค่าผลลัพธ์ที่เป็นเป้าหมายให้กับข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัวโครงข่ายจะนำค่าผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าผลลัพธ์ที่ได้ มาใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด ถ้าหากเปรียบเทียบกับมนุษย์จะเหมือนกับการสอนนักเรียนโดยมีครูผู้สอนคอยให้คำแนะนำ ตัวอย่างแบบจำลองนี้ได้แก่การแพร่ย้อนกลับ เป็นต้น

2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning)

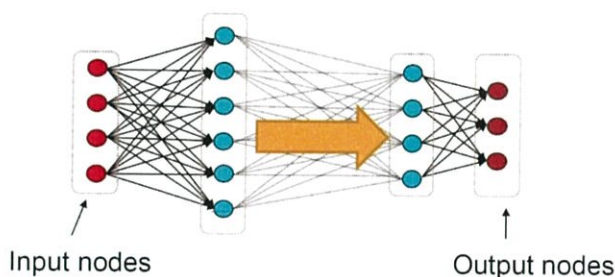
การเรียนรู้แบบนี้จะสอนโครงข่ายโดยการนำข้อมูลป้อนเข้าอย่างต่อเนื่องเพียงอย่างเดียว ไม่มีการส่งค่าผลลัพธ์เป้าหมายให้กับข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัว การปรับน้ำหนักจะใช้ข้อมูลที่นำมาสอนเป็นตัวปรับค่า โดยค่าน้ำหนักจะปรับตามกลุ่มที่ข้อมูลป้อนเข้าที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันถ้าหากเปรียบเทียบกับมนุษย์จะเหมือนกับการที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ ตามลักษณะรูปร่างของมันได้ด้วยตนเอง

2.7.5 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

เป็นการแบ่งลักษณะของการทำโครงสร้างและวิธีการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม ออกเป็นแบบต่าง ดังนี้

1. โครงข่ายการส่งข้อมูลแบบไม่ย้อนกลับ (Feedforward Network)

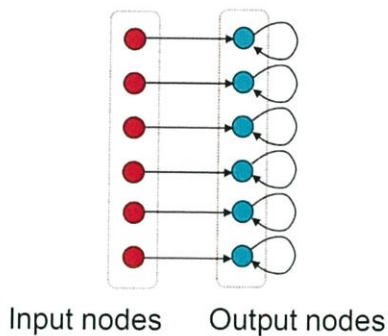
เป็นสถาปัตยกรรมที่กำหนดให้การส่งข้อมูลจากข้อมูลในชั้นข้อมูลขาเข้า (Input Layer) เข้ามาภายใน ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และส่งไปยังข้อมูลขาออก (Output Layer) จะมีทิศทางในการไหลของ ข้อมูลไปในทิศทางเดียวกัน ข้อมูลที่-ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียว จาก Input ส่งต่อมา เรื่อย ๆ จนถึง Output โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่ Nodes ใน layer เดียวกันก็ไม่มี การเชื่อมต่อกัน ลักษณะของโครงข่ายการส่งข้อมูลแบบไม่ย้อนกลับแสดง ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงโครงข่ายการส่งข้อมูลแบบไม่ย้อนกลับ

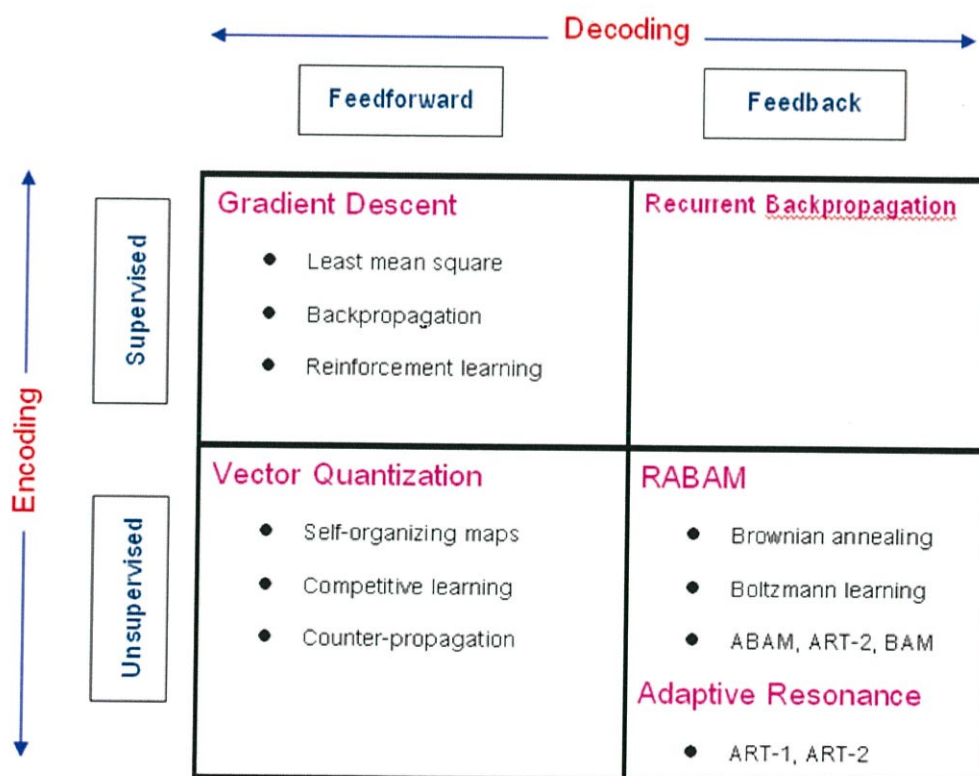
2. โครงข่ายการส่งข้อมูลแบบย้อนกลับ (Feedback Network)

เป็นสถาปัตยกรรมที่กำหนดให้การส่งข้อมูลจากข้อมูลในชั้นข้อมูลขาเข้า (Input Layer) เข้ามาภายในชั้นซ่อน (Hidden Layer) และส่งไปยังข้อมูลขาออก (Output Layer) จะมีทิศทางในการไหลของ ข้อมูลไปในทิศทางเดียวกัน ข้อมูลที่-ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียว จาก Input ส่งต่อมา เรื่อย ๆ จนถึง Output โดยมีการย้อนกลับของข้อมูล เพื่อให้การจำแนกนั้นมี ประสิทธิภาพมากขึ้นนั่นเอง ลักษณะของโครงข่ายการส่งข้อมูลแบบย้อนกลับแสดงดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงโครงข่ายการส่งข้อมูลแบบย้อนกลับ

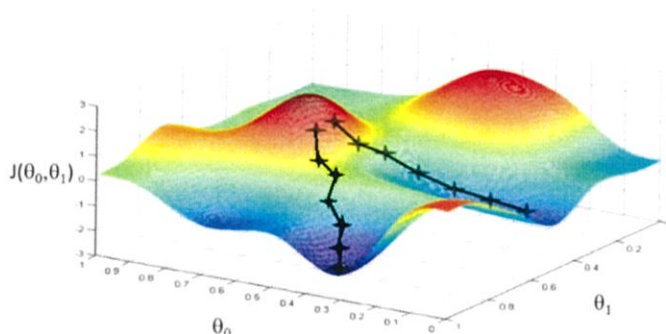
และรูปที่ 2.35 แสดงถึงภาพรวมของการเรียนรู้กับสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบไปด้วย 4 กลุ่มใหญ่ และกลุ่มที่ผู้วิจัยได้ศึกษาคือกลุ่มของ Gradient Descent โดยใช้การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ



รูปที่ 2.35 แสดงภาพรวมของการเรียนรู้กับสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

2.7.6 Gradient Descent

หากเปรียบเทียบ Gradient Descent กับการปีนเขา ให้ลองนึกดูว่ากำลังยืนอยู่บนยอดเขา แล้วต้องการจะลงไปที่บ่อน้ำที่อยู่ในจุดต่ำที่สุด แต่มองไม่เห็นว่ามีบ่อน้ำ (เป้าหมาย) มันต้องเดินไปทางไหน มันอยู่ตรงไหนจากจุดที่เรายืนอยู่ หน้าที่ความไม่เท่ากันของสันเขาที่บดบังการมองเห็น ทำให้เรามองไม่เห็นว่าจะลงไปในทิศทางไหนถึงจะลงไปถึงจุดต่ำที่สุดได้ สิ่งที่เราจะทำได้ก็คือ มองไปรอบ ๆ แล้วพิจารณาหาจุดต่ำสุดเท่าที่เห็น แล้วเลือกเดินไปทางนั้นเรื่อย ๆ จนถึงบ่อน้ำในที่สุด หากมองเป็นภาพสามมิติ ก็จะเป็นเหมือนกราฟด้านล่างนี้



รูปที่ 2.36 แสดงตัวอย่างการทำงานแบบ Gradient Descent

จากภาพ พื้นที่สีแดงคือยอดเขา (สูงมาก) และสีน้ำเงินคือบ่อน้ำ (ต่ำมาก) จะเห็นว่า หากยืนอยู่คนละจุดกัน ก็จะทำให้เราไปเจอบ่อน้ำคนละบ่อกัน ซึ่งบ่อน้ำที่ไม่ได้อยู่ต่ำที่สุดเรียกว่า local minima ส่วนบ่อน้ำที่ต่ำที่สุด หรือเป้าหมาย คือ global minima

จากอัลกอริทึมข้างบนภายในโครงข่ายประสาทเทียมจะมีตัวแปรตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า **Learning rate** ตัวแปรนี้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าแต่ละรอบค่า gradient จะขยับที่ละเท่าไร ถ้าตัวแปรนี้น้อยเกินไปการคำนวณ gradient ก็จะช้า แต่ถ้าตัวแปรนี้มีค่ามากเกินไปก็เกิดปัญหาที่เรียกว่า **Overshoot** คือแทนที่แต่ละรอบ error จะลดลงเรื่อยๆ กลับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หรือขึ้นๆลงๆ จึงควรปรับค่าตัวแปรให้เหมาะสม

และหนึ่งในวิธีการเรียนรู้แบบ Gradient Descent คือการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ

การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation)

การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับเป็นวิธีการหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นที่ง่ายต่อการเข้าใจ เนื่องจากกระบวนการเรียนรู้ และปรับปรุงแก้ไขนั้นเป็นไปด้วยตนเองถ้าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ผิด ค่าน้ำหนักจะถูกปรับจนกว่าค่าความผิดพลาดจะน้อยลง หรืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นั่นคือ ค่าที่ได้ในครั้งถัดไปจะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ด้วยโครงสร้างประสาทเทียมที่มีลักษณะเป็นชั้น แต่ละชั้นเชื่อมโยงกันอย่างทั่วถึง เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมได้รับข้อมูลป้อนเข้า จะคำนวณค่าน้ำหนักของหน่วยรับข้อมูลป้อนเข้าไปยังชั้นแอบแฝง และจากชั้นแอบแฝงไปยังชั้นส่งข้อมูลออก เมื่อเกิดผลต่างระหว่างค่าผลลัพธ์จริงกับค่าผลลัพธ์เป้าหมาย โครงข่ายประสาทเทียมจะปรับค่าความผิดพลาดจากชั้นส่งข้อมูลออก และแพร่ย้อนกลับไปยังชั้นแอบแฝง จากนั้นจึงแพร่ย้อนกลับไปยังชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าตามลำดับ

2.7.7 คำจำกัดความ และรูปแบบฟังก์ชัน

1. ค่า Loss หรือ Error คือตัวแปรที่จะบอกว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ที่เข้าใจเป้าหมายที่เราต้องการมากเพียงใด ยังมีค่าน้อยหมายถึงโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำในการแยกแยะสิ่งที่เราต้องการมาก โดยค่า Loss คิดจากฟังก์ชัน

$$L = y \cdot \log(\hat{y})$$

โดย y = ข้อมูลที่เราป้อนเข้าไป

และ \hat{y} คือ ค่าผลลัพธ์ (prediction) โดยใช้ฟังก์ชัน Softmax

$$\hat{y}_j = \frac{e^z}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \text{ for } j=1, \dots, K$$

2. ฟังก์ชัน Softmax คือฟังก์ชันคิดค่าความน่าจะเป็นของรูปภาพนั้น ๆ ที่เราต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมแยกแยะให้ โดยค่า Softmax มีได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 และมีผลรวมของค่า Softmax ทุกๆ ประเภทของรูปภาพเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นการกระจายแบบปกติ (normal distribution) เช่นมีระบบที่ให้

3. การทำงานตั้งแต่เริ่มต้นเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในส่วนของอินพุตจนกระทั่งถึงเอาต์พุต เรียกว่า 1 Epoch หรือการทำงานครบ 1 รอบ

2.7.8 สรุปขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

1. เริ่มต้นสุ่มค่าน้ำหนักให้กับโหนดแต่ละโหนดและสุ่มค่าไบแอสให้แต่ละแขน
 2. ทำการ Feedforward เพื่อคิดค่า loss หรือ error ระหว่างค่าผลลัพธ์ของโปรแกรมกับค่าจริงที่ป้อนข้อมูลเข้าไป
 3. ทำการอัปเดตค่าน้ำหนักโดยผ่านการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ
- ทำวนข้อ 2 และ 3 ไปเรื่อยๆ จนกว่าค่า loss จะไม่ลดลง หรือตามความต้องการ

2.7.9 ประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเสมือน

1. เกิดข้อผิดพลาดได้ยาก (Fault Tolerance)

หากระบบโครงข่ายประสาทเสมือนประกอบไปด้วยโครงข่ายที่ใช้ในการประมวลผลมากมายหลายโครงข่าย ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากเพียงหนึ่งหรือสองโครงข่ายจะไม่ทำให้ทั้งระบบเกิดข้อผิดพลาดได้

2. ความสามารถในการหาเหตุผล (Generalization)

เมื่อระบบโครงข่ายประสาทเสมือนได้รับข้อมูลนำเข้าที่ไม่ครบถ้วนหรือไม่เพียงพอต่อการหาข้อสรุป หรือได้รับข้อเท็จจริงที่ไม่เคยได้รับมาก่อน ระบบจะสามารถลำดับการเชื่อมโยงข้อเท็จจริงจนสามารถให้ข้อสรุปและเหตุผลได้

3. ความสามารถในการปรับเปลี่ยน (Adaptability)

โครงข่ายประสาทเสมือนสามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมใหม่ได้ ดังนั้นเมื่อมีเหตุการณ์ใหม่ๆ เข้าสู่ระบบก็จะสามารถปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงองค์ความรู้ให้ทันสมัยตามเหตุการณ์ใหม่นั้น

4. ความสามารถในการพยากรณ์ (Forecasting Capability)

โครงข่ายประสาทเสมือนสามารถนำข้อมูลทางสถิติเดิมที่มีอยู่ในระบบ มาใช้คาดการณ์หรือพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตได้

2.7.10 การประยุกต์ใช้งาน Neural Network

แบบขยายงานระบบประสาท (Neural Network) เนื่องจากความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ การประยุกต์ใช้ขยายงานระบบประสาทจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุม ซึ่งมีผู้นำมาประยุกต์ใช้งานหลายประเภท ได้แก่

1. งานการจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน เช่น ลายมือ ลายเซ็นต์ ตัวอักษร รูปหน้า
2. งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ (มี inputs และ outputs แต่ไม่ทราบว่า inputs กับ outputs มีความสัมพันธ์กันอย่างไร)
3. งานที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (วงจรข่ายนิวรอลสามารถปรับตัวเองได้)
4. งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ
5. งานทำนาย เช่นพยากรณ์อากาศ พยากรณ์หุ้น
6. การประยุกต์ใช้ขยายงานระบบประสาทควบคุมกระบวนการทางเคมีโดยวิธีพยากรณ์แบบจำลอง (Model Predictive Control)
7. การประยุกต์ใช้ขยายงานระบบประสาทแบบแพร่กระจายกลับในการทำนายพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวอาคาร
8. การใช้ขยายงานระบบประสาทในการหาไซโครเมตริกซารท การประยุกต์ใช้ขยายงานระบบประสาทควบคุมระบบ HVAC

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ถ่ายภาพและวิเคราะห์ประมวลผลภาพจากสไลด์ThinPrep เป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยในการตรวจคัดกรองเซลล์มะเร็งเรื้องกายมดลูกจากภาพที่ถ่ายจากสไลด์ThinPrep โดยแบ่งส่วนการทำงานออกเป็น2ส่วนคือ Hardware และ Software

3.1 หลักการออกแบบ Hardware

1. ระบบสามารถถ่ายภาพเซลล์ได้อย่างชัดเจน
2. ระบบสามารถถ่ายภาพที่มีขนาดเล็กได้อย่างชัดเจน
3. ระบบสามารถถ่ายภาพที่มีมุมมองกว้างมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3.1.1 ขั้นตอนการออกแบบ

1. ทำการศึกษาระบบของกล้องดิจิทัล DSLR ของ Nikon ชนิด DX และ FX format เพื่อทำการเลือกกล้องที่เหมาะสมกับการใช้งานในระบบนี้ที่สุด
2. ทำการศึกษาระบบและการทำงานของเลนส์ DX และ FX format เพื่อเลือกเลนส์ที่มีกำลังขยายที่เหมาะสมกับการถ่ายภาพเซลล์มะเร็ง
3. ทำการศึกษาระบบไฟเพื่อใช้ในการให้แสงเข้ากล้องอย่างเหมาะสม
4. ทำการศึกษาระยะห่างของการวางสไลด์จากเลนส์ที่เหมาะสมและเห็นภาพชัดที่สุด
5. ทำการทดลองถ่ายภาพเพื่อทำการทดสอบความคมชัด กำลังขยาย และมุมมองของภาพ
6. ทำการจัดวางอุปกรณ์ทั้งหมดแบบลือกตำแหน่งแล้วทำการทดสอบอีกครั้ง

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1.1 ทำการศึกษากล้อง Nikon DSLR แบบทั้ง DX และ FX โดยยึดขนาด CMOS sensor เป็นหลักสำคัญ เพราะเราต้องการภาพที่มีความละเอียดด้านข้าง(Lateral Resolution) 3-4 ไมโครเมตรซึ่งเป็นความละเอียดที่สามารถแยกเม็ดเซลล์ออกจากกันได้

ได้มีการทดสอบกล้อง 2 แบบคือ

1. กล้อง Nikon D3400 มีขนาด CMOS sensor กว้าง 23.5มิลลิเมตร ยาว 15.6 มิลลิเมตร จำนวนพิกเซลทั้งหมดคือ 24.72 ล้านพิกเซล มีค่า sensor resolution width 6054

พิกเซล จะสามารถคำนวณหาขนาด ระยะห่างระหว่าง 1 พิกเซลหรือความละเอียดที่มากที่สุด ได้จาก ความกว้างของCMOS sensor ทหารด้วย sensor resolution width จะได้ $23.5 \text{ มม.} / 6054 = 3.89$ ไมโครเมตร



รูปที่ 3.1 กล้อง Nikon DSLR D3400

2. กล้อง Nikon D800E มีขนาด CMOS sensor 35.9 มม. x 24.0 มม. จำนวนพิกเซลทั้งหมดคือ 36.8 ล้านพิกเซล มีค่า sensor resolution width 7379 พิกเซล จะสามารถคำนวณหาขนาดระยะห่างระหว่าง 1 พิกเซลหรือความละเอียดที่มากที่สุด ได้จาก ความกว้างของ CMOS sensor ทหารด้วย sensor resolution width จะได้ $35.9 \text{ มม.} / 7379$ เท่ากับ 4.87 ไมโครเมตร



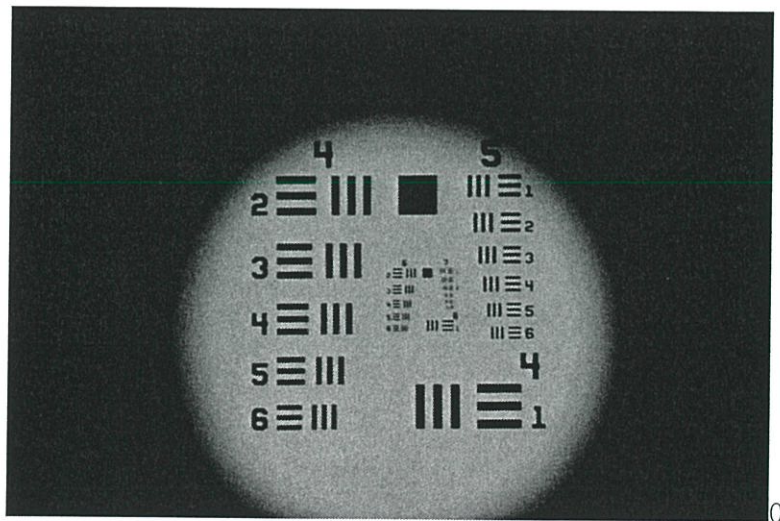
รูปที่ 3.2 กล้อง Nikon DSLR D800E

จากข้อมูลข้างต้นจึงได้เลือกกล้อง Nikon DSLR D3400 เนื่องจากตรงตามความต้องการและมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้

3.1.1.2 ทำการศึกษาเลนส์ โดยดูที่ ค่า f-number และ ระยะ focal length ของเลนส์ที่ใช้ทั้ง 2 ตัว โดยที่ค่า f-number ส่งผลถึงปริมาณแสงที่ผ่านเข้าเลนส์ ยิ่งค่า f-number น้อยรับแสงยิ่งกว้างทำให้แสงเข้าผ่านเลนส์ได้มาก แต่ถ้าค่า f-number สูง รับแสงจะแคบ แสงจะผ่านเข้าเลนส์ได้น้อย

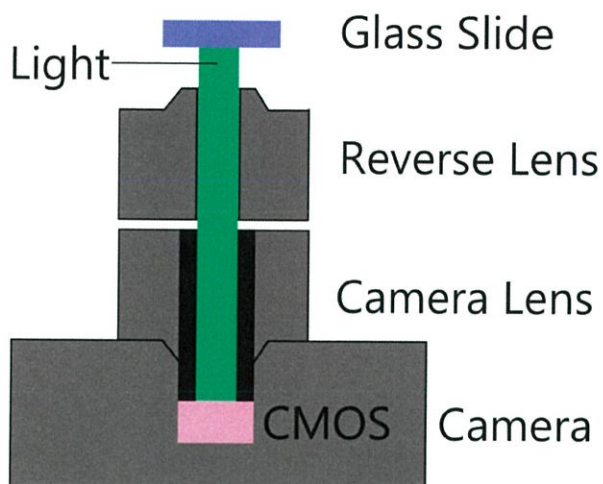
ระบบที่ทำการทดสอบจะมี 2 ระบบดังต่อไปนี้

1. ระบบ focal length 18-140 เป็นการใช้นเลนส์ที่มี focal length 18-55 มิลลิเมตร และเลนส์ที่มี focal length 18-140 มิลลิเมตร มาวางต่อกันโดยให้เลนส์ 18-140 มิลลิเมตร เป็นตัวติดกับกล้อง แล้ววางเลนส์ 18-55 มิลลิเมตร วางหน้าเลนส์ให้หันเข้าตัวเลนส์ 18-140 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้การซูมซึ่งคิดได้จากการที่นำเอาระยะ focal length ที่ใช้หารด้วยระยะ focal length ที่ต่ำสุดของเลนส์ตัวนั้น focal length ที่เลือกใช้ก็คือ 18 มิลลิเมตร สำหรับเลนส์ตัวหน้า เนื่องจากการวางเลนส์กลับด้าน ดังนั้นการคิดการซูมจะต้องคิดย้อนกลับเป็น focal length ที่ต่ำที่สุดหารด้วย focal length จากการศึกษาทำให้เลือกใช้เลนส์ตัวหน้าที่ระยะ focal length 18 มิลลิเมตร และเลนส์ที่ติดกล้องเป็น 140 มิลลิเมตร ดังนั้นการซูมของระบบจะมีค่าเท่ากับ $(18/18) \times (140/18)$ ประมาณ 7.778 เท่า และลองทำการถ่ายภาพจะได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 USAF 1951 จากระบบ 18-140 มิลลิเมตร

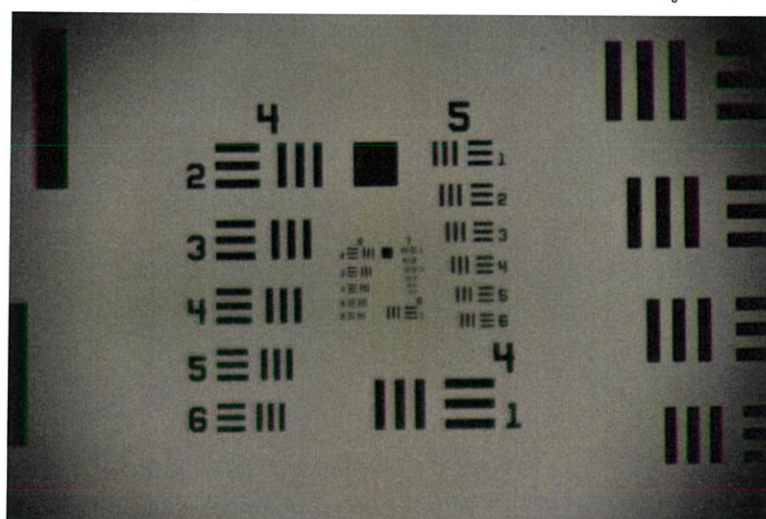
จากภาพจะเห็นได้ว่าภาพที่ได้มานั้นมีของสีดำบริเวณรอบๆ ซึ่งเกิดจากการที่เลนส์ที่ใกล้วัตถุมีค่า f-number มากกว่าเลนส์ที่ติดกล้องซึ่งทำให้แสงที่เข้ามาในเลนส์เป็นดังภาพล่าง



รูปที่ 3.4 ทางเดินของแสงจากสไลด์เข้า CMOS sensor

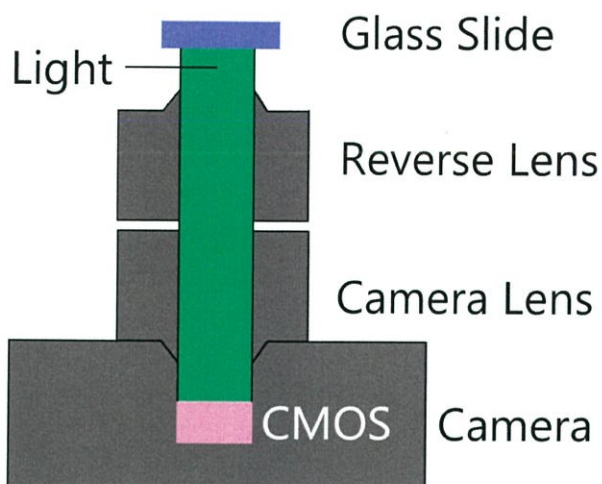
ผลที่ได้ออกมานั้นจึงไม่เป็นที่น่าพอใจในการนำไปใช้งานจริงเนื่องจากแสงที่เข้ามานั้นไม่ตกกระทบบน CMOS ทั้งหมดจนแค่บางส่วนเท่านั้น จึงเป็นการที่ใช้ sensor ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพจึงทำการศึกษาคูณสมบัติเฉพาะของเลนส์แต่ละตัวเพิ่มเติม จนได้ระบบใหม่ที่เป็น 20-200 มิลลิเมตร

2. ระบบ focal length 20-200 มิลลิเมตร ปรับปรุงระบบมาจากอันแรก ซึ่งเลือกเลนส์ที่ติดกล้องเป็น Nikon AF-S 70-200 mm f/2.8G IF-ED VR II และส่วนที่ใกล้วัตถุเป็น AF-S NIKKOR 20mm f/1.8G ED ก็จะได้การซูม 200/20 เท่ากับ 10 เท่า ผลที่ได้ออกมาดังรูปล่าง



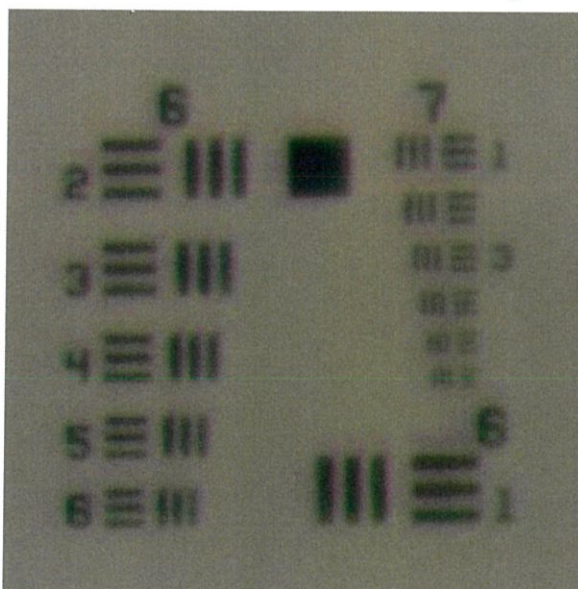
รูปที่ 3.5 USAF 1951 จากระบบ 20-200 มิลลิเมตร

จากภาพจะได้ภาพที่เต็มเฟรม เนื่องจากเลนส์ตัวหน้ามี f-number 1.8 ซึ่งมากกว่าเลนส์ที่ติดกล้องที่มี f-number 2.8 ทำให้แสงผ่านเข้าสู่ CMOS sensor ได้หมด ดังรูปต่อไป



รูปที่ 3.6 รูปแสดงการเดินทางของแสงตกกระทบบ CMOS sensor ของระบบ 20-200 มิลลิเมตร

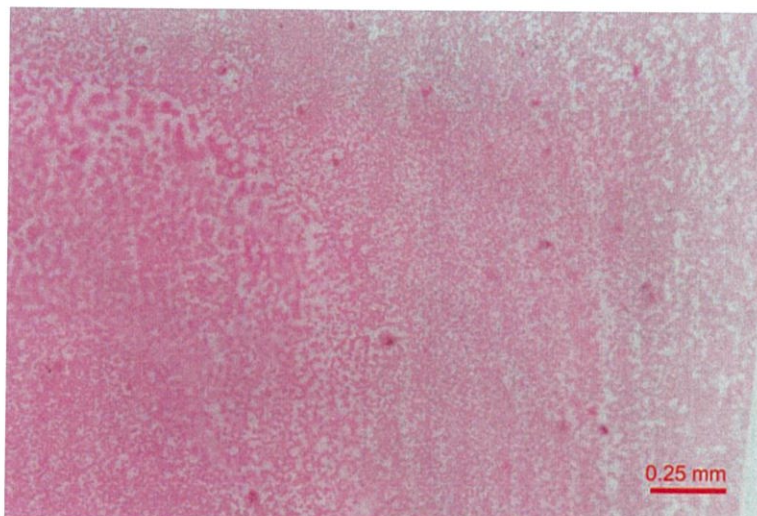
แล้วลองขยายดูบริเวณตรงกลางเพื่อหาค่า resolution ของระบบจากรูป



รูปที่ 3.7 ภาพที่เกิดจากการขยายบริเวณตรงกลางของระบบ 20-200 มิลลิเมตร

จากรูปส่วนที่สามารถแยกแยะที่ติดกันออกได้คือ group 7 element 1 ซึ่งจากการเปิดตาราง USAF 1951 จะมีความละเอียดอยู่ที่ 3.91 ไมโครเมตร ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และสามารถนำไปใช้ได้

ดังนั้นจึงทำการเลือกระบบ เลนส์ 20-200 มิลลิเมตร ซึ่งมีการซูมต่ำสุดที่ระยะ 20กับ70 มิลลิเมตร มีค่า 3.5 เท่า และมีการซูมสูงสุดที่ระยะ 20กับ200 มิลลิเมตร มีค่า 10 เท่า ซึ่งได้มีการนำไปทดลองถ่ายภาพเซลล์เม็ดเลือดแดงเพื่อดูกำลังขยาย



รูปที่ 3.8 เซลล์เม็ดเลือดแดงที่ซูม 10 เท่า

ผลที่ได้ออกมาสามารถแยกเม็ดเลือดได้อย่างชัดเจนเมื่อซูมดูดังนั้นระบบที่เลือกใช้ก็คือ 20-200 mm.

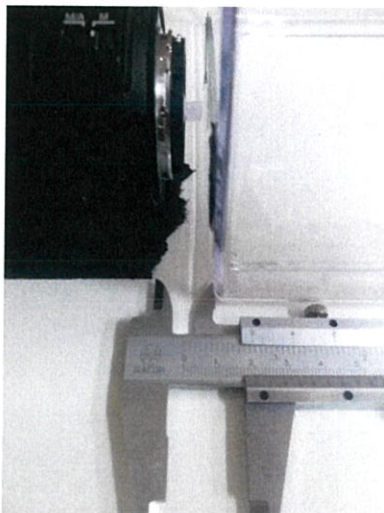
3.1.1.3 เลือกรูปแบบแหล่งกำเนิดแสง ได้มีการศึกษา 2 แบบคือ แบบทราน และแบบรีเฟล็กแบบทรานจะเป็นการใช้ไฟส่องผ่านสไลด์แล้วให้แสงผ่านเข้าเลนส์ไปสู่อุปกรณ์ CMOS sensor แบบรีเฟล็ก จะเป็นการฉายแสงจากหน้าสไลด์ให้แสงตกกระทบบนสไลด์แล้วสะท้อนเข้าเลนส์ซึ่งจะทำให้เกิดเงาได้ในบางส่วน จึงได้เลือกการใช้ไฟแบบทราน โดยใช้ไฟ 48 LED microscope แบบวงกลมเป็นแหล่งกำเนิดแสงสามารถปรับระดับความเข้มแสงได้ตามที่เราต้องการ



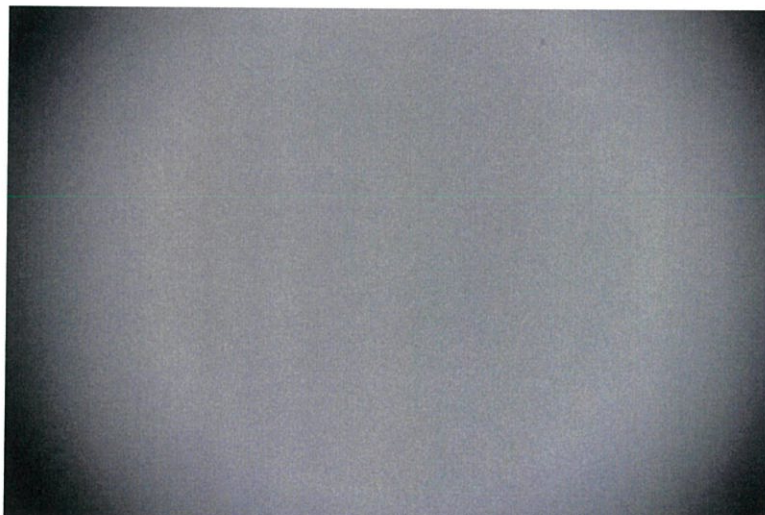
รูปที่ 3.9 การใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบทราน

3.1.1.4 ทำการทดสอบหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง ทำการหาตำแหน่งที่สามารถถ่ายภาพออกมาได้ชัดเจนโดยจากการศึกษาระบบกล้องและเลนส์ได้ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดลองออกมาไว้ 2 แบบ คือ

1. ระยะที่ชัดที่สุดคือระยะโฟกัสของเลนส์ตัวใกล้วัตถุ ระยะโฟกัสที่ใช้คือ 20 มิลลิเมตร แล้วทำการทดลองได้ผลออกมาดังภาพ



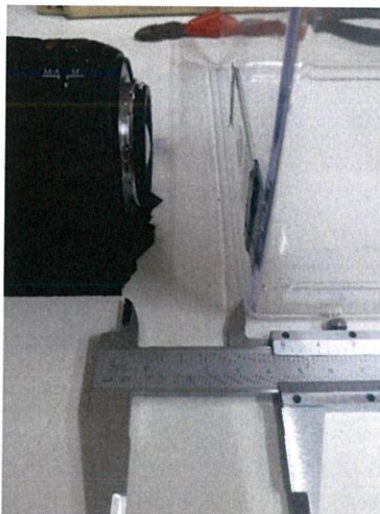
รูปที่ 3.10 การทดลองที่ระยะ 20 มิลลิเมตร



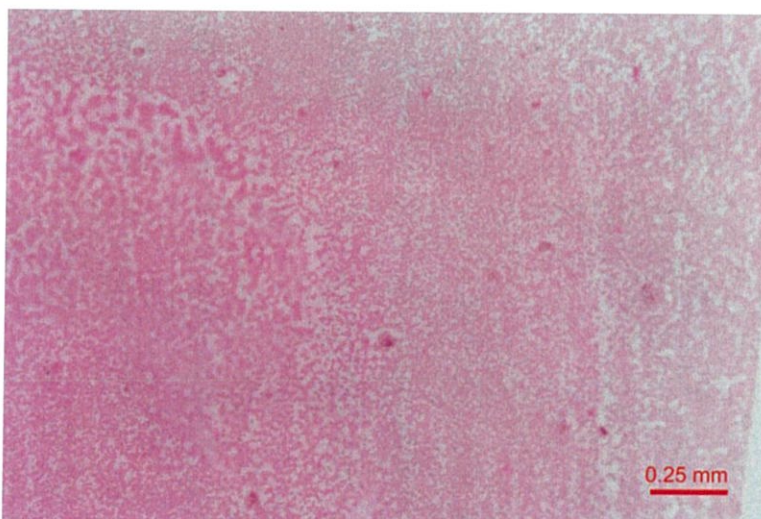
รูปที่ 3.11 รูปจากระยะ 20 มิลลิเมตร จากหลังเลนส์ใกล้วัตถุ

ผลที่ออกมาคือกล้องไม่โฟกัสสไลด์ ทำให้สมมติฐานนี้ไม่เป็นจริง

2. ระยะที่ชัดที่สุดคือระยะเดียวกับระยะทำเลนส์ที่ติดกล้องถึง CMOS sensor เท่ากับ ระยะทางประมาณ 4.5 เซนติเมตร จากการทดลองได้ผลดังภาพ



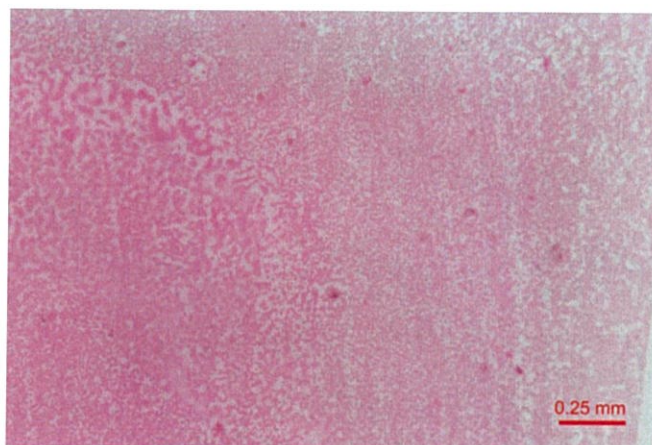
รูปที่ 3.12 การทดลองที่ระยะ 44.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.13 รูปเซลล์เม็ดเลือดแดงที่กำลังขยาย 10 เท่า ที่ระยะ 44.5 มิลลิเมตร

รูปที่ได้ออกมาขึ้นอยู่กับช่วยระยะโฟกัสของกล้อง ทำให้สามารถมองเห็นสไลด์ได้ชัดเจน จากผลการทดลองจึงเลือกใช้สมมติฐานนี้

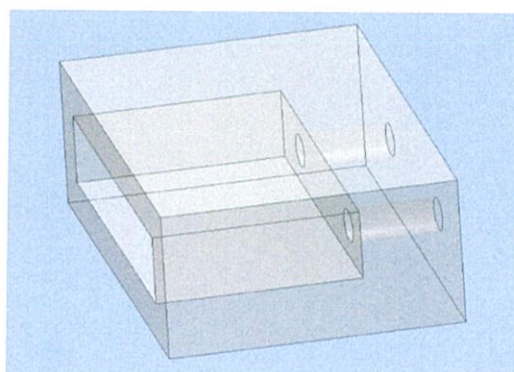
3.1.1.5 กำหนดระยะของอุปกรณ์ทั้งหมด ทำการกำหนดระยะของอุปกรณ์ทั้งหมดแล้วทำการทดลองถ่ายรูปตัวอย่างเพื่อทดสอบความชัดและกำลังขยายของภาพ โดยทำการถ่ายเซลล์เม็ดเลือดแดงและเซลล์พืช เพื่อทำการทดสอบกำลังขยายและความชัดของภาพ



รูปที่ 3.14 เซลล์เม็ดเลือดแดง

3.1.1.6 ยึดตำแหน่งของอุปกรณ์ ทำการยึดอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผ่นอะคริลิกเพื่อเตรียมทำเป็นกล่องเพื่อความสวยงาม คงทน และสะดวกต่อการใช้งาน การยึดตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้งานนั้นได้มีการใช้ชิ้นส่วนจากการปริ้น 3 มิติมาช่วยในการซัพพอร์ตในการวางตำแหน่งอุปกรณ์ให้มั่นคงยิ่งขึ้นโดยมีชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

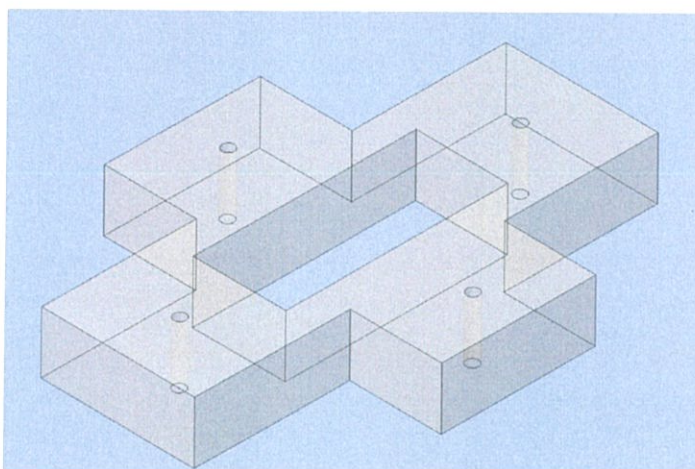
1. ฐานยกเลนส์ที่ติดกับกล่อง



รูปที่ 3.15 ฐานยกกล่อง

ทำหน้าที่ยกกล่องและเลนส์ที่ติดกับกล่องให้สูงเหนือพื้น 5 เซนติเมตร โดยจะมีรูสำหรับใส่สกรูเพื่อยึดกับขาตั้งเลนส์

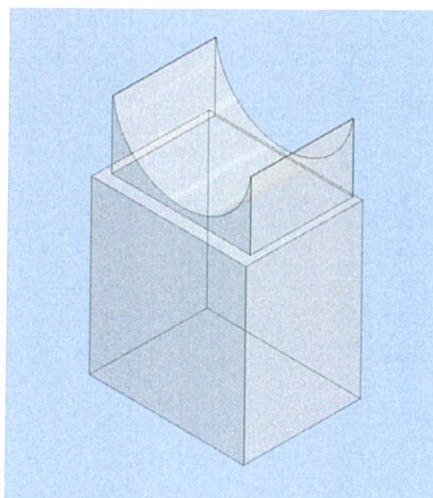
2. ฐานยึดที่ยกเลนส์



รูปที่ 3.16 ฐานยึดที่ยกเลนส์

จะทำหน้าที่ในการยึดให้ที่ยกเลนส์อยู่กับที่ ไม่ขยับไปไหน โดยจะมีรูสำหรับใส่สกรู 4 รู เพื่อยึดกับฐานอะคลีลิก

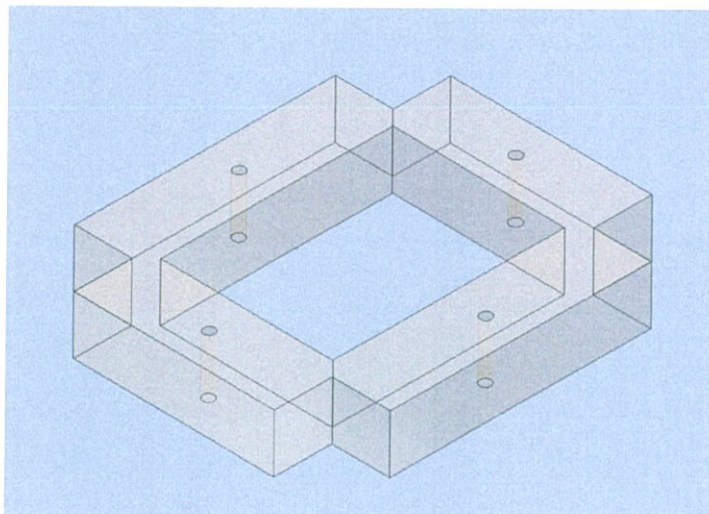
3. ฐานยกเลนส์โก้วัดถุ



รูปที่ 3.17 ฐานยกเลนส์โก้วัดถุ

จะทำหน้าที่เพิ่มระดับความสูงของเลนส์โก้วัดถุให้อยู่ในระดับเดียวกับกล้องและสไลด์ที่วางอยู่บน 3-Axis Linear Stage

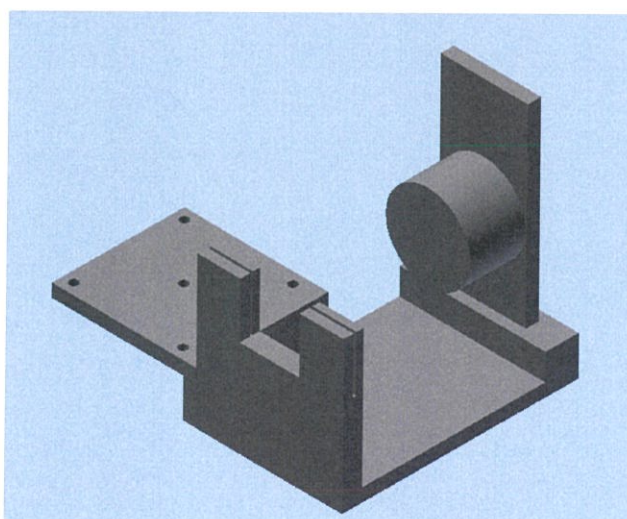
4. ฐานยึดที่ยกเลนส์ใกล้วัตถุ



รูปที่ 3.18 ฐานยึดที่ยกเลนส์

ทำหน้าที่ในการยึดที่ยกเลนส์ให้อยู่กับที่ ไม่ขยับโดยมีรูสำหรับใส่สกรู 4 รูเพื่อยึดกับพื้นอะคลีติก

5. ฐานบน 3-Axis Linear Stage

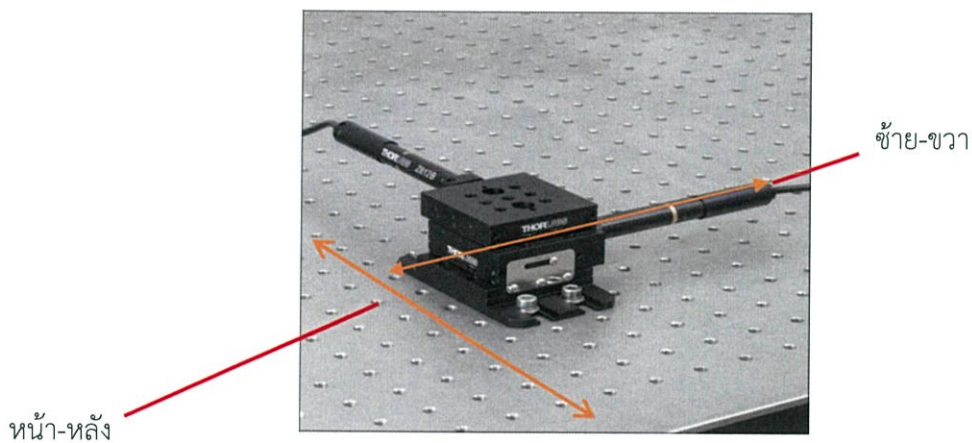


รูปที่ 3.19 ฐานบน 3-Axis Linear Stage

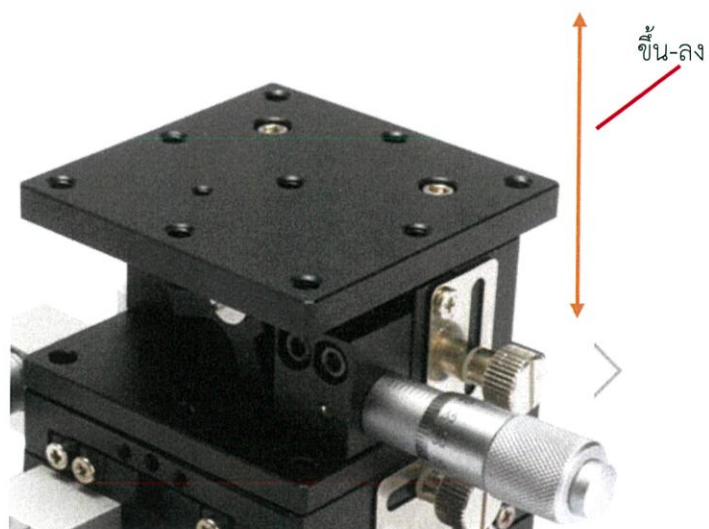
เป็นฐานที่วางบน Stage เอาไว้สำหรับเป็นใส่วางสไลด์และที่ติดแหล่งกำเนิดแสง โดยจะมีส่วนที่ยื่นออกมาเป็นส่วนที่จะยึดบน stage

3.1.1.7 3-Axis Linear Stage

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของสไลด์โดยจะนำฐานที่เอาไว้วางสไลด์และแหล่งกำเนิดแสงมาติดไว้ข้างบน โดยส่วนของ stage นั้นก็แบ่งเป็น 3 ส่วนตามการเคลื่อนที่ โดยแต่ละส่วนนั้นก็จะมีมอเตอร์ทำหน้าที่ในการดันให้เคลื่อนที่ ก็จะแบ่งแกนได้เป็น หน้า-หลัง ซ้าย-ขวา และขึ้น-ลง

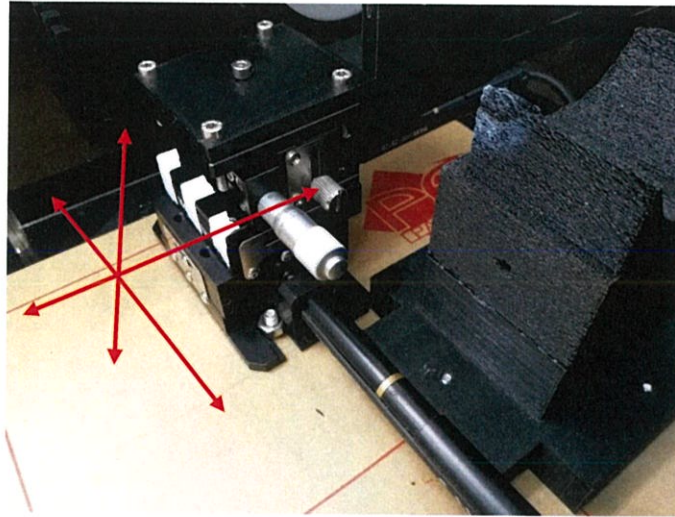


รูปที่ 3.20 stage สำหรับการเคลื่อนที่ในแกน ซ้าย-ขวา และหน้า-หลัง



รูปที่ 3.21 stage สำหรับการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง

เมื่อนำทั้ง 3 ส่วนซึ่งมีการเคลื่อนที่ในแนวที่ต่างกันมารวมกันก็จะได้



รูปที่ 3.22 3-Axis Linear Stage

3.1.1.8 ส่วนขับเคลื่อน stage



รูปที่ 3.23 DC servo motor

<https://www.thorlabs.com/images/xlarge/20389-xl.jpg>

เป็น DC servo motor สามารถเคลื่อนที่ได้ 12 มิลลิเมตร ใช้ในการทำให้ stage เคลื่อนที่ใน 3 แกน โดยใช้ 1 ตัว ต่อ 1 แกน โดยเป็นอุปกรณ์ที่มีความละเอียดในการเคลื่อนที่สูง และมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงสุด 3 มิลลิเมตรต่อวินาที มีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่น้อยกว่า 5 ไมโครเมตร (อ้างอิงภาคผนวก) เมื่อควบคุมจาก K-Cube Stepper Motor Controller ซึ่งมีค่าน้อยมากทำให้ไม่มีผลต่อการเลื่อนแล้วถ่ายรูปภาพ

3.1.1.9 ส่วนควบคุมตัวขับเคลื่อน DC servo motor

K-Cube Stepper Motor Controller เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุม DC servo motor โดยต้องต่อกับซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์และสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์หรือสามารถสั่งจากตัว kinesis ได้เลย โดย kinesis 1 ตัว ควบคุม DC servo motor 1 ตัว เพื่อให้แต่ละตัวทำงานแยกเป็นอิสระจากกัน



รูปที่ 3.24 K-Cube Stepper Motor Controller

https://www.thorlabs.com/images/TabImages/Stepper_Motor_Controller_K-Cube_A1-780.jpg



รูปที่ 3.25 interface ของซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ควบคุม DC servo motor

โดยการสั่งให้สไลด์เลื่อน 1 ครั้งในแนวนอน และแนวตั้งจะใช้คำสั่ง Jog โดยจะกำหนดค่า ให้แนวนอนเลื่อนครั้งละ 2.3 มิลลิเมตร และในแนวตั้งเลื่อน 1.5 มิลลิเมตร ส่วนในแนวสีกนั้นจะใช้คำสั่ง Drive ที่ความเร็วต่ำที่สุดเพื่อความละเอียดในการปรับภาพให้ชัดที่สุด

3.1.1.10 ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลังจากยึดตำแหน่งลงบนอะคลีลิก หลังจากทำการยึดอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผ่นอะคลีลิกเพื่อทำการล็อกตำแหน่งแล้ว ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการถ่ายภาพโดยทำการทดลองถ่ายภาพสไลด์เซลล์มะเร็ง เพื่อทำการทดสอบคุณภาพของภาพโดยจะทดสอบความเป็นระนาบของอุปกรณ์ทั้งหมดโดยใช้ความเบลของภาพที่ถ่ายได้เป็นตัวอ้างอิงความเป็นระนาบของอุปกรณ์ โดยการหาความเบลของภาพจะใช้ซอฟต์แวร์ในการหาค่าความเบลของภาพซึ่งผลที่ได้นี้จะถูกระบุออกมาเป็นค่าตัวเลข โดยการใช้เมทริกซ์ Variance of the Laplacian ในการหาค่าความเบลของรูปนั้นๆ จะแบ่งการทดลองเป็น 2 แบบคือ หาความเป็นระนาบในแนวนอน และหาความเป็นระนาบในแนวตั้ง มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

การทดสอบความเป็นระนาบในแนวนอน

1. ทำการเซ็ตระบบถ่ายภาพให้สามารถมองเห็นภาพที่ชัดที่สุดทุกบริเวณ แล้วทำการถ่ายภาพนั้น
2. ทำการเลื่อนไปทางซ้ายหรือขวา 2-3 ครั้ง แล้วทำการดูภาพ และปรับระยะห่างระหว่างสไลด์และเลนส์ให้ภาพเป็นระยะชัดที่สุดแล้วเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งแรก
3. ทำการถ่ายภาพหลังจากที่เลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งแรก
4. นำภาพที่ถ่ายในขั้นตอนที่ 1 และ 3 มาประมวลผลในซอฟต์แวร์หาค่าความเบลของภาพ แล้วนำค่าความเบลที่ออกมาได้นั้นเปรียบเทียบกัน

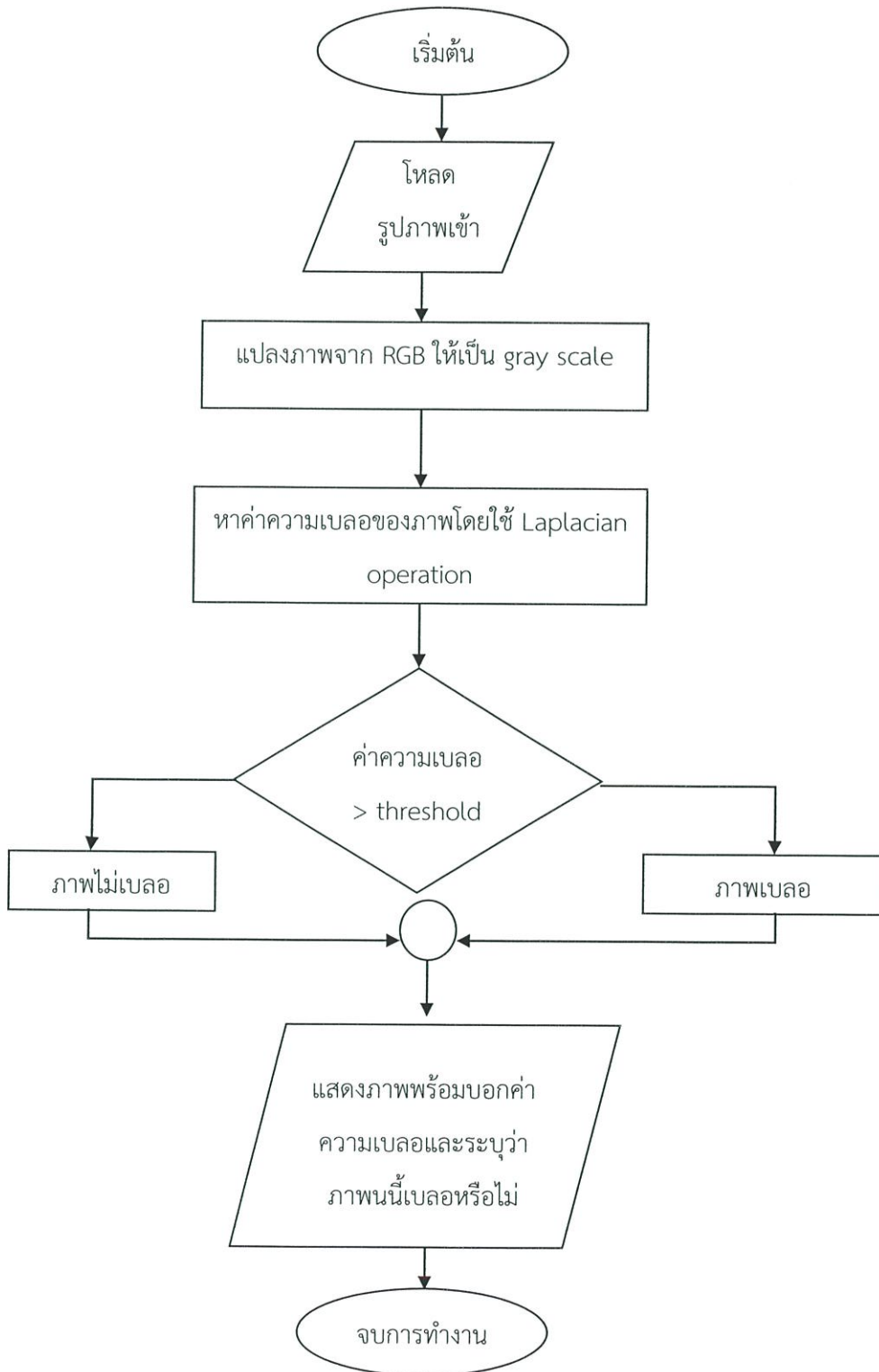
การทดสอบความเป็นระนาบในแนวตั้ง

1. ทำการเซ็ตระบบถ่ายภาพให้สามารถมองเห็นภาพได้ชัดที่สุดทุกบริเวณ แล้วทำการถ่ายภาพนั้น
2. ทำการเลื่อนขึ้นหรือลง 2-3 ครั้ง แล้วทำการดูภาพ และปรับระยะห่างระหว่างสไลด์และเลนส์ให้ภาพเป็นระยะที่ชัดที่สุดแล้วเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งแรก
3. ทำการถ่ายภาพหลังจากที่เลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งแรก
4. นำภาพที่ถ่ายในขั้นตอนที่ 1 และ 3 มาประมวลผลในซอฟต์แวร์หาค่าความเบลของภาพแล้วนำค่าความเบลที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบกัน

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3.26 เมทริกซ์ความแปรปรวนของ Laplacian

ซึ่งการทำงานของซอฟต์แวร์ในการหาความเบลอของภาพเป็นดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.27 Flowchart แสดงการทำงานของการทำงานของการหาค่าความเบลอของภาพ

จากรูปที่ 3.6 เมื่อเริ่มต้นการทำงาน โปรแกรมจะโหลดรูปจากไดเรกทอรีที่ระบุไว้เข้ามา โดยในที่นี้ระบุไว้ให้ดึงจากโฟลเดอร์ที่ชื่อว่า images ที่อยู่ในที่เดียวกับไฟล์นี้ เมื่อดึงรูปเข้ามาแล้วก็จะทำการแปลงระบบสีของภาพจากที่เป็น RGB ให้กลายเป็น gray scale แล้วนำ Laplacian operation มาผ่านเข้าไปในรูปเพื่อทำการคิดค่าความเบล่อออกมา เมื่อได้ค่าออกมาแล้วก็จะนำไปเช็คเงื่อนไขว่าภาพนี้เบล่อหรือป่าวโดยมีค่า threshold เป็นตัวตัดสิน และจะแสดงผลออกมาเป็นภาพพร้อมบอกค่าความเบล่อและระบุว่าภาพนี้ เบล่อหรือไม่ โดยค่าความเบล่อนั้นมีค่าน้อยหมายความว่าเบล่อมาก ยิ่งมีค่ามากหมายความว่าเบล่อน้อย

โดยหลักที่เราจะนำมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่า อุปกรณ์นั้นได้ระนาบรีปาวีตจากค่าความเบล่อโดยที่ถ้าค่าความเบล่อของภาพที่ถ่ายครั้งที่ 2 นั้นมีค่าน้อยกว่าครั้งแรกแปลว่าอุปกรณ์นั้นไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกันทั้งหมด อาจจะมีบางส่วนเอียงหรือเบี้ยวไปบ้าง

3.2 การออกแบบอัลกอริทึมของโปรแกรมประมวลผล

เลือกการประมวลผลโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) ในการประมวลผลภาพซึ่งไลบรารี (Library) ตัวหลักที่ใช้ในการประมวลคือไพทอน (Pytorch) ซึ่งเป็นไลบรารีในกลุ่มการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) และการเรียนรู้อย่างลึก (Deep Learning) ที่มีขนาดไลบรารีเล็ก มีความยืดหยุ่นและประมวลผลได้เร็วกว่าตัวอื่น ๆ เพราะสามารถดึงกำลังในการประมวลผลจากการ์ดจอ (Graphics Processing unit หรือ GPU) มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลจะอยู่บนภาษาไพทอน (Python) ที่เลือกภาษาไพทอนในการพัฒนาโปรแกรมเพราะภาษาไพทอนมีความเร็วในการพัฒนาเร็วกว่าภาษาอื่น เป็นมิตรกับนักพัฒนา เพราะโครงสร้างของภาษาไม่ซับซ้อนและเข้าใจง่าย สามารถนำไปต่อยอดได้ได้มากมาย เนื่องจากมีไลบรารีรองรับการใช้งานหลากหลาย รวมถึงไลบรารีในกลุ่มการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) การเรียนรู้อย่างลึก และอื่น ๆ

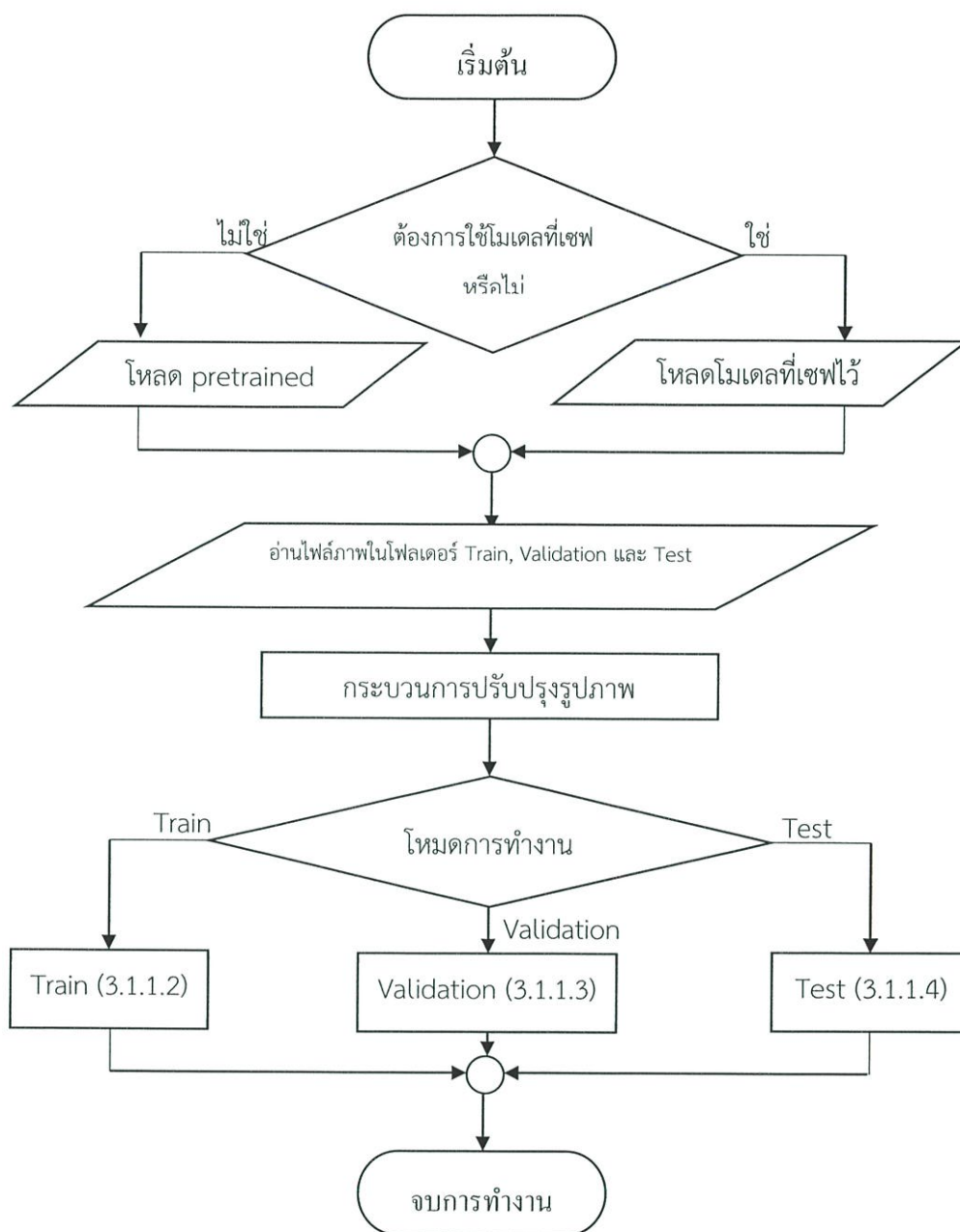
ในการนำโปรแกรมประมวลผลไปใช้งานบนคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows คอมพิวเตอร์เครื่องนั้นจำเป็นต้องลงโปรแกรมภาษาไพทอนและไลบรารีบนเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น ๆ ก่อน หรือกรณีที่ใช้การประมวลผลบนกลุ่มเมฆ (Cloud Computing) คอมพิวเตอร์เครื่องนั้นไม่จำเป็นต้องลงโปรแกรมภาษาไพทอนและไลบรารีต่าง ๆ แต่คอมพิวเตอร์ต้องสามารถติดต่ออินเทอร์เน็ตได้

หมายเหตุ โปรแกรมภาษาไพทอนและไลบรารีที่ใช้อยู่ใน ภาคผนวก

3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในด้านการจดจำ (recognition) และการคัดกรอง (classification) รูปภาพเชิงลบ (negative image) หรือรูปภาพของเซลล์ปกติ และรูปภาพเชิงบวก (positive image) หรือรูปภาพของเซลล์ที่มีความผิดปกติ มีจุดมุ่งหมายเพื่อคัดกรองสไลด์แปปสมียร์อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง โดยการประมวลผลของโปรแกรมจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนการเตรียมรูปภาพ
2. ขั้นตอนการสอน (Train)
3. ขั้นตอนการตรวจสอบ (Validation)
4. ขั้นตอนการทดสอบ (Test)



รูปที่ 3.28 แผนภาพขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.28 เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรมทำการเลือกโหลดโมเดลที่ถูกสอนแล้ว (pretrained model) หรือเลือกโหลดโมเดลที่เซฟไว้เข้ามาภายในโปรแกรม จากนั้นจึงอ่านไฟล์รูปภาพโฟลเดอร์ Train, Validation และ Test จากนั้นจึงทำการโหลดรูปภาพเข้ามาทำการปรับปรุงรูปภาพแบบสุ่ม ตัวอย่างการแปลงเรขาคณิตของภาพดังนี้ การลดขนาด การครอบ (Crop) การกลับภาพ (Flip) และการทำนอร์มอลไลซ์ (Normalization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่จะช่วยให้รูปที่จะเข้าไปใช้ในโปรแกรมมีความใกล้เคียงกับรูปที่ถูกใช้ในโมเดลที่ถูกสอนมาแล้ว (pretrained model) เป็นต้น

จากนั้นจึงจะเข้าสู่โหมดการทำงานซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้ต้องการทำงานในโหมดใด แล้วจึงจบการทำงานของโปรแกรม

3.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมรูปภาพ

ขั้นตอนการเตรียมรูปภาพ รูปภาพถูกแบ่งออกเป็นรูปภาพเชิงลบ และรูปภาพเชิงบวก รูปภาพทั้ง 2 กลุ่ม ถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน หรือ 3 โฟลเดอร์ ดังตารางที่ 3.1

การแบ่งรูปภาพเชิงลบ สมมติมีรูปภาพเชิงลบจำนวน 100 รูป ให้แยกดังนี้

1. แบ่งไว้ในโฟลเดอร์ train/negative จำนวน 70 รูป คิดเป็น 70%
2. แบ่งไว้ในโฟลเดอร์ valid/negative จำนวน 20 รูป คิดเป็น 20%
3. แบ่งไว้ในโฟลเดอร์ test/test จำนวน 10 รูป คิดเป็น 10%

การแบ่งรูปภาพเชิงบวก สมมติมีรูปภาพเชิงบวกจำนวน 100 รูป ให้แยกดังนี้

1. แบ่งไว้ในโฟลเดอร์ train/positive จำนวน 70 รูป คิดเป็น 70%
2. แบ่งไว้ในโฟลเดอร์ valid/positive จำนวน 20 รูป คิดเป็น 20%
3. แบ่งไว้ในโฟลเดอร์ test/test จำนวน 10 รูป คิดเป็น 10%

หมายเหตุ รูปภาพภายในโฟลเดอร์ test/test จะเป็นไฟล์นามสกุล .jpg และมีชื่อเป็นตัวเลขเท่านั้น เช่น 1.jpg, 2.jpg, 3.jpg

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการแบ่งรูปภาพเป็น 3 ส่วน

โฟลเดอร์ (Folder)	ซับโฟลเดอร์ (Subfolder)	สัดส่วนปริมาณรูปภาพภายในแต่ละโฟลเดอร์ต่อรูปภาพทั้งหมด (%)
Train	negative	70
	positive	70
Validation	negative	20
	positive	20
Test	test	10(negative) + 10(positive)

จุดประสงค์ของขั้นตอนการเตรียมรูปภาพ เป็นการแบ่งรูปภาพให้มีปริมาณเหมาะสมต่อการทำงานของโปรแกรม และโดยทั่วไปแล้วจะมีการแบ่งปริมาณรูปภาพดังนี้หรือแบ่งในปริมาณที่ใกล้เคียงกับข้างต้น

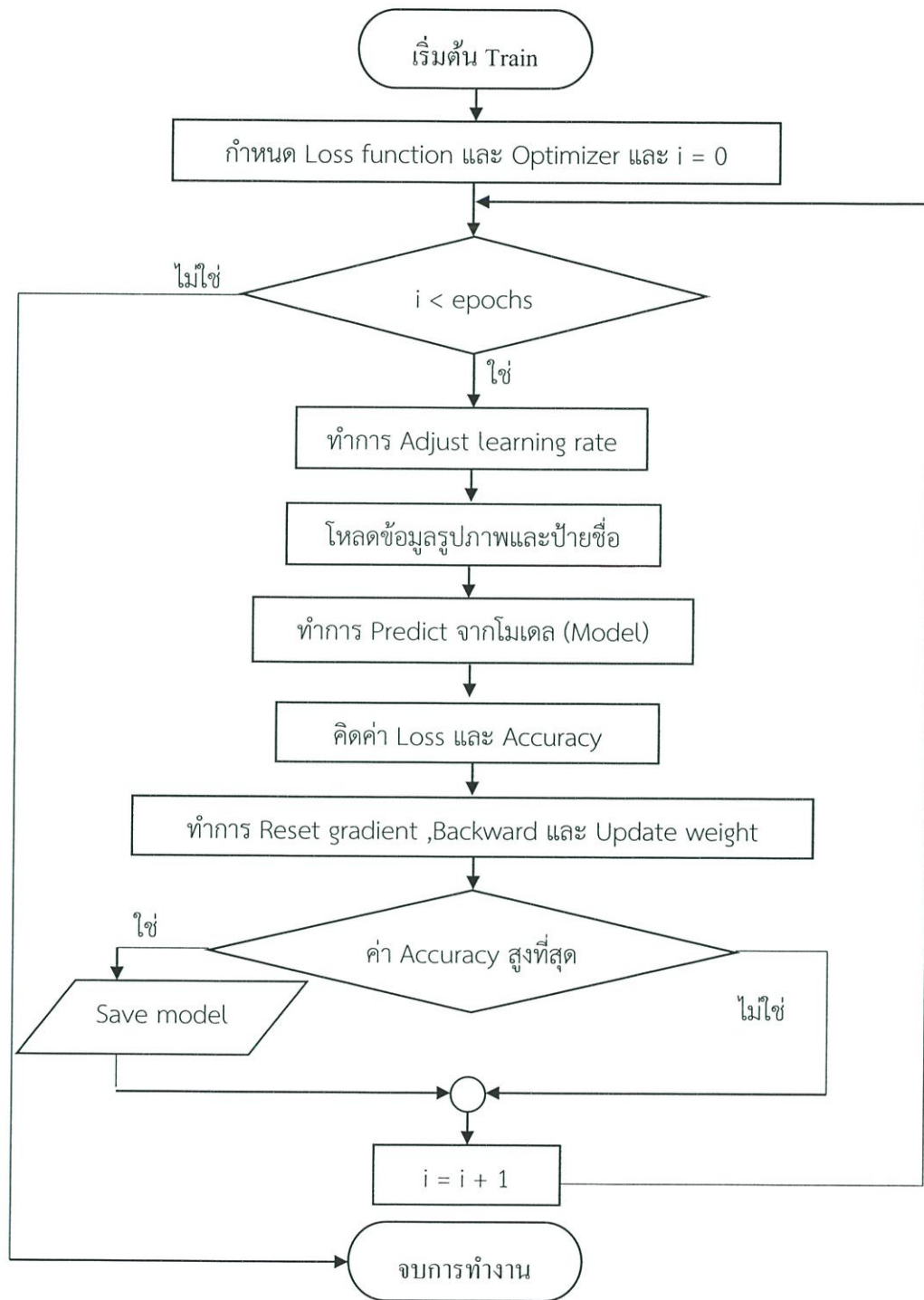
รูปภาพในโฟลเดอร์ Train จะถูกนำไปใช้ในการเรียนรู้ด้วยตัวเองของปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มเชิงลบ และกลุ่มเชิงบวก ดังนั้นปัญญาประดิษฐ์จะเรียนรู้ที่จะแยกแยะรูปภาพเป็น 2 กลุ่ม และส่งผลลัพธ์ออกเป็นโมเดล (Model) ที่ใช้แยกแยะรูปภาพที่ปัญญาประดิษฐ์เรียนรู้ออกมา

รูปภาพในโฟลเดอร์ Validate จะถูกนำไปใช้ตรวจสอบโมเดลที่ปัญญาประดิษฐ์เรียนรู้ ออกมาว่ามีค่าความแม่นยำ (accuracy) ได้จริงตามที่ระบุมาในโมเดลนั้นหรือไม่

รูปภาพในโฟลเดอร์ Test จะถูกนำมาใช้ทดสอบโมเดลว่าแยกแยะรูปภาพที่อยู่ภายใน โฟลเดอร์ออกเป็นรูปภาพเชิงลบ หรือรูปภาพเชิงบวก และผลที่ได้จะถูกนำไปเก็บข้อมูล True positive, True negative, False positive และ False negative เพื่อนำไปคิดค่า Sensitivity, Specificity และ Accuracy ตามหลัก Binary classification ซึ่งเป็นรูปแบบการคิดค่าประสิทธิภาพ ของโปรแกรมแบบสถิติ (Statistical classification) ของโปรแกรมที่ให้เอาต์พุต 2 ค่า คือ ภาพ negative หรือ ภาพ positive

3.2.1.2 ขั้นตอนการสอน

ขั้นตอนการสอนเป็นขั้นตอนที่โปรแกรมจะเรียนรู้ความแตกต่างของรูปภาพที่เราเตรียมจากหัวข้อ 3.1.1.1 ซึ่งแบ่งเป็นภาพเชิงลบ และภาพเชิงบวก โดยการทำงานของขั้นตอนการ สอนจะทำงานดังรูปที่ 3.29

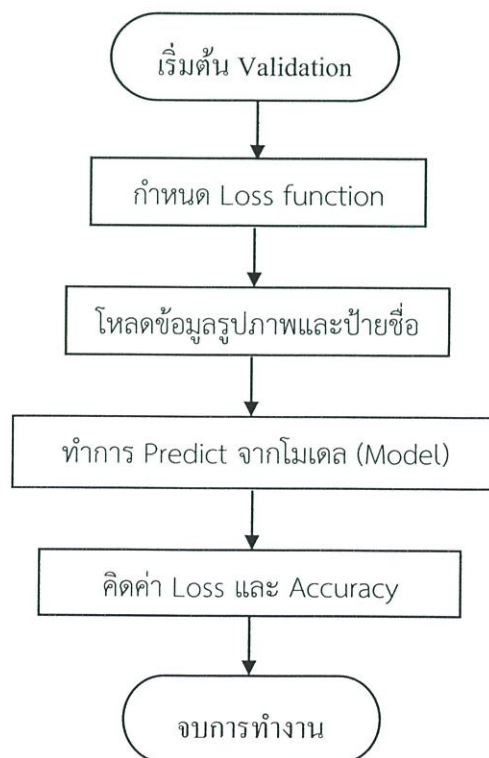


รูปที่ 3.29 แผนภาพขั้นตอนการสอนของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.29 โปรแกรมจะทำการกำหนด Loss function และ Optimizer ขึ้นมา เพื่อใช้ในการคิดค่า Loss หรือ Cross-Entropy ของโมเดลที่เรียนรู้ขึ้นมา และใช้ในการปรับปรุงอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) ตามลำดับ จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่การทำงาน ภายในลูประอบด้วยการปรับปรุงอัตราการเรียนรู้ (Adjust learning rate) หรือการเรียกใช้ Optimizer ที่กำหนดขึ้น ต่อมาโปรแกรมจะทำการโหลดข้อมูลภาพ และป้าย (Label) ของภาพ (Autograd) เข้าไปทำการเรียนรู้ จากนั้นจึงใช้โมเดลที่เรียนรู้ไปทำนาย (Predict) ภาพ เพื่อคิดค่า Loss และความแม่นยำ (Accuracy) ที่ได้จากโมเดลนี้ จากนั้นโปรแกรมจะทำการล้างค่า Gradient เก่า (Reset Gradient) ทำการคิดค่า Gradient ใหม่ (Backward) และอัปเดตค่า weight ใหม่ (Update weight) จากนั้นโปรแกรมจะเช็คค่า Accuracy ว่ามีค่ามากกว่าค่า Accuracy เดิมหรือไม่ ถ้ามากกว่าจะทำการเซฟโมเดลเก็บไว้ (Save model) โปรแกรมจะหยุดการทำงานเมื่อ i มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า epochs ที่เซตให้กับโปรแกรม

3.2.1.3 ขั้นตอนการตรวจสอบ

ขั้นตอนการตรวจสอบเป็นขั้นตอนที่โปรแกรมจะนำโมเดลที่ได้จากหัวข้อ 3.1.1.1 ไปทำการทำนายรูปภาพภายในโพลเดอร์ Validation เพื่อทำการเช็คค่า Accuracy และค่า Loss ของโมเดลอีกครั้ง โดยการทำงานของขั้นตอนการตรวจสอบจะทำงานดังรูปที่ 3.30

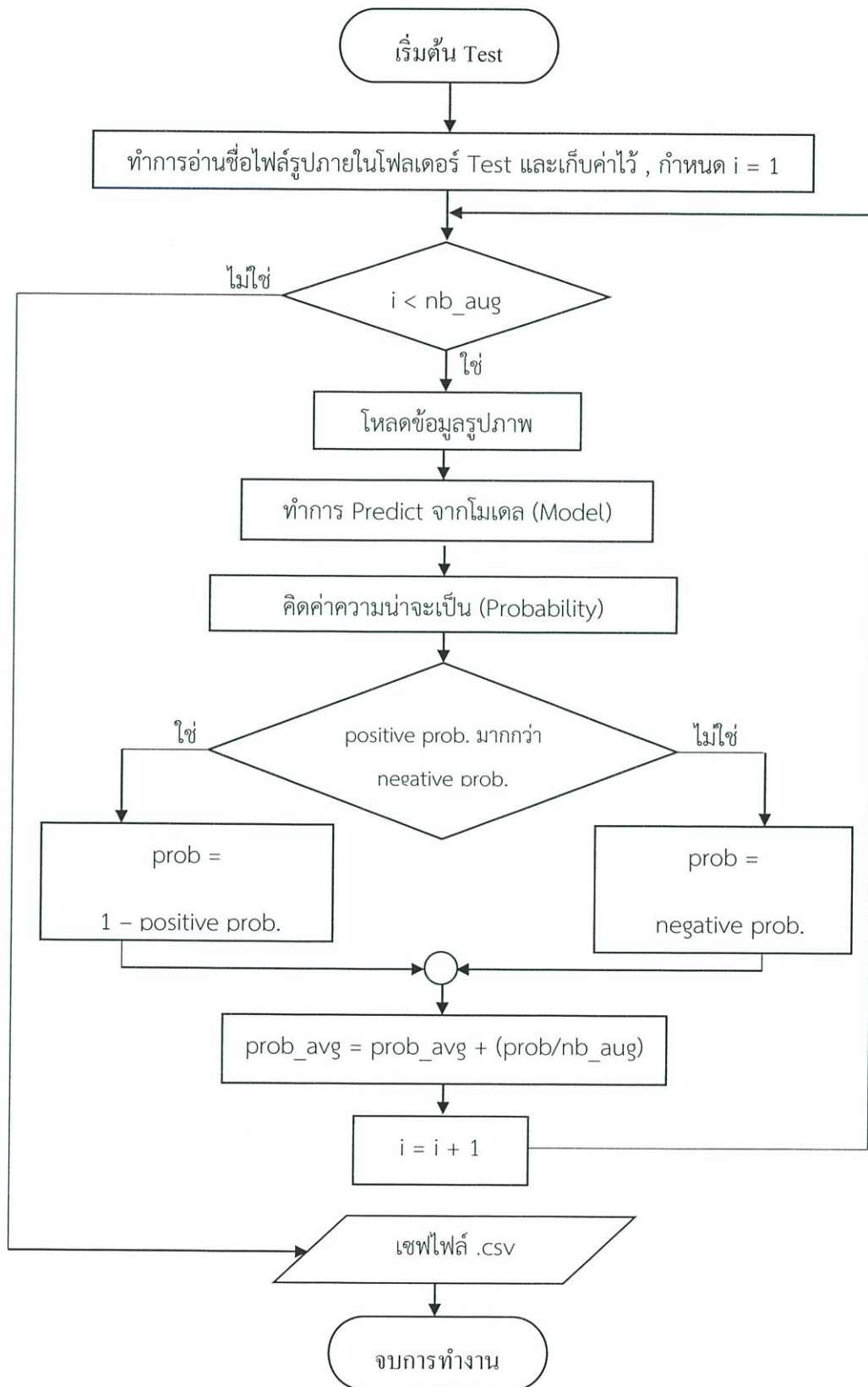


รูปที่ 3.30 แผนภาพขั้นตอนการตรวจสอบของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.30 โปรแกรมจะมีการกำหนด Loss function ขึ้นมาเพื่อใช้คิดค่า Loss หรือ Cross-Entropy จากนั้นจะทำการโหลดข้อมูลภาพ และป้าย (Label) ของภาพ (Autograd) เข้าไปทำการเรียนรู้ จากนั้นจึงใช้โมเดลที่เรียนรู้ไปทำนาย (Predict) ภาพ เพื่อคิดค่า Loss และความแม่นยำ (Accuracy) ที่ได้จากโมเดลนี้

3.2.1.4 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบเป็นขั้นตอนที่โปรแกรมจะนำโมเดลที่ได้จากหัวข้อ 3.1.1.1 ไปทำการทำนายรูปภาพภายในโฟลเดอร์ Test ซึ่งรูปภาพภายในโฟลเดอร์นี้จะไม่มีป้ายชื่อ (Label) โดยเป้าหมายการทำทดสอบคือ โปรแกรมจะคิดค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของแต่ละรูปภาพและส่งเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความน่าจะเป็นในช่วง 0 ถึง 1 โดยรูปภาพที่น่าจะเป็นรูปภาพเชิงลบจะมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ 1 และรูปภาพที่น่าจะเป็นรูปภาพเชิงบวกจะมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ 0 และโปรแกรมจะทำการแสดงผล โดยผลประกอบด้วยชื่อของรูปภาพ และค่าความน่าจะเป็นของแต่ละรูปภาพ เป็นไฟล์ .csv ออกมาที่โฟลเดอร์ Submissions โดยการทำงานของขั้นตอนการทดสอบจะทำงานดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 แผนภาพขั้นตอนการทดสอบของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.31 โปรแกรมจะอ่านชื่อไฟล์รูปภายในโฟลเดอร์ Test และเก็บชื่อรูป จากนั้นโปรแกรมจะโหลดข้อมูลภาพเข้าไปทำการเรียนรู้ จากนั้นจึงใช้โมเดลที่เรียนรู้ไปทำนาย (Predict) ภาพ และคิดค่าความน่าจะเป็นของแต่ละรูปภาพออกมา จากนั้นจึงทำการเซฟเป็นไฟล์ .csv และจึงจบการทำงาน

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมประกอบด้วย

3.3.1 การทดสอบหาโมเดลที่ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด

ทดสอบโดยการเปลี่ยนโมเดลที่ถูกสอนแล้วเป็นโมเดลอื่นที่ต่างกัน นำไปผ่านขั้นตอนการ สอน ขั้นตอนการตรวจสอบ และขั้นตอนการทดสอบ นับเป็น 1 รอบ โดยแต่ละโมเดลจะถูกทำการ ทดลองทั้งหมด 3 รอบ เก็บค่าความแม่นยำ ค่า Loss ค่า True positive, True negative, False positive และ False negative จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ จึงจะได้โมเดลที่มีค่าความ แม่นยำมากที่สุด

โมเดลที่จะนำมาทดลองได้แก่ resnet50, resnet101 และ resnet152

จำนวน epoch ที่จะใช้ในการสอนคือ 20 epochs เท่ากันทั้ง 3 โมเดล

รูปภาพที่ใช้ในการทดสอบสามารถหาได้จากเว็บไซต์ <http://mde-lab.aegean.gr/downloads> ซึ่งเป็นเว็บที่มีการเผยแพร่รูปภาพที่ถ่ายจากสไลด์ Pap smear โดยรูปภาพจากเว็บไซต์ ดังกล่าวคณะผู้วิจัยเลือก Part III byriel.zip ซึ่งประกอบไปด้วย รูปภาพเชิงลบจำนวน 200 รูป และ รูปภาพเชิงบวกจำนวน 300 รูป อีกทั้งรูปภาพดังกล่าวได้ผ่านการติดป้ายชื่อ (Label) จากผู้เชี่ยวชาญ หรือนักพยาธิแพทย์แล้ว

ขั้นตอนการทดสอบมีรูปภาพจำนวน 60 รูปแบ่งเป็นรูปภาพเชิงลบ รูปที่ 1 ถึง 20 และ รูปภาพเชิงบวก รูปที่ 21 ถึง 60

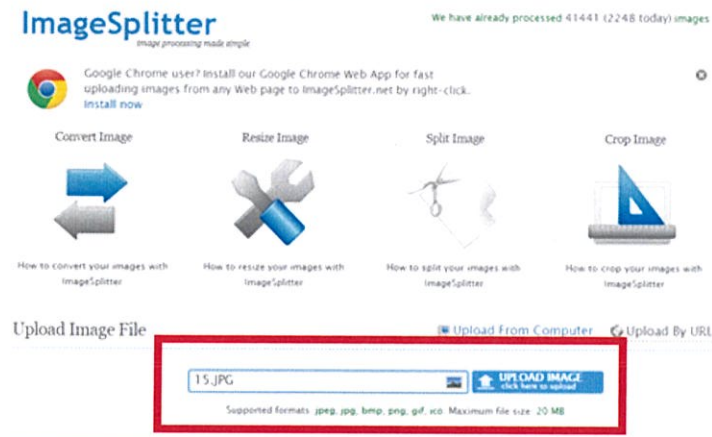
3.3.2 การทดสอบนำภาพที่ได้จากอุปกรณ์ของปริศณานิพนธ์นี้มาทดสอบด้วยโมเดล ที่มีค่าความแม่นยำมากที่สุดจากขั้นตอนการสอนจากหัวข้อ 3.2.1

นำภาพที่ได้จากอุปกรณ์มาทำการทดสอบดังนี้

1. นำภาพที่ถ่ายจากอุปกรณ์ไปทำการแบ่งเป็นภาพขนาดเล็ก โดยภาพที่ถ่ายได้จาก อุปกรณ์มีขนาด 6000 x 4000 pixel ทำการแบ่งเป็นภาพขนาดเล็กจำนวน 64 ภาพที่มีขนาดเท่ากัน จะได้ภาพขนาดเล็กที่มีขนาดภาพละ 625 x 500 pixel เนื่องจากขนาดของภาพที่ใช้การสอนโมเดล มี ขนาด 768 x 568 pixel จึงต้องทำขนาดภาพให้มีความใกล้เคียงกัน

การแบ่งรูปภาพให้มีขนาดเล็ก มีวิธีดำเนินการโดยใช้บริการบนเว็บไซต์ <https://imagesplitter.net/> ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่ให้ใช้บริการฟรี และสะดวกต่อการแบ่งรูปภาพ ดังนี้

1.1 เมื่อเข้าสู่เว็บไซต์ <https://imagesplitter.net/> ให้ทำการเลือกไฟล์ที่ต้องการทำการแบ่งขนาด และกด UPLOAD IMAGE ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แสดงการอัปโหลดรูป

1.2 เมื่ออัปโหลดเสร็จแล้วจะปรากฏดังรูปที่ 3.33 ให้ทำการเลือกหัวข้อ SPLIT IMAGE (หมายเลข 1) จากนั้นใส่ขนาดที่ต้องการในการแบ่ง (หมายเลข 2) เลือกชนิดไฟล์ที่ต้องการ และกด SPLIT IMAGE (หมายเลข 3)



รูปที่ 3.33 การแบ่งภาพเป็นขนาดเล็ก

1.3 หลังจากกด SPLIT IMAGE เว็บไซต์จะปรากฏหน้าต่างดาวโหลด เพื่อดาวโหลดภาพที่ถูกแบ่งให้มีขนาดเล็ก อยู่ในไฟล์ .zip

- นำภาพที่ถูกแบ่งแล้วจากข้อ 1 ไปผ่านการทดสอบด้วยโมเดลจากหัวข้อ 1.2.1 เพื่อดูว่าโมเดลที่ได้จากการสอนด้วยภาพที่มีการติดป้ายชื่อแล้ว จะสามารถใช้งานร่วมกับภาพที่ได้จากอุปกรณ์หรือไม่ โดยการทดสอบจะดูจากผลลัพธ์ที่โปรแกรมคัดกรองว่าเป็นรูปภาพเชิงลบหรือเชิงบวก และเปรียบเทียบกับการติดป้ายชื่อ

หมายเหตุ รูปภาพที่จะทำการทดสอบในหัวข้อ 1.2.2 เป็นรูปภาพที่ถูกแบ่งให้มีขนาดเล็กจำนวน 20 รูปภาพ ซึ่งได้ถูกนำไปปรึกษาและติดป้ายชื่อจากนักพยาธิแพทย์ โดยแบ่งเป็นภาพเชิงลบ 10 รูป และภาพเชิงบวก 10 รูป

3.3.3 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ งานวิจัยนี้ผู้จัดทำเลือกใช้ Binary Classification ซึ่งเป็นการเก็บค่า True positive, True negative, False positive และ False negative จากผลลัพธ์ของโปรแกรม และนำไปคิดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ค่าความไว (Sensitivity) และค่าความจำเพาะ (Specificity)

ความแม่นยำ หมายถึง สัดส่วนของผลบวกที่เป็นจริงสำหรับภาวะนั้น ๆ รวมกับผลลบที่เป็นจริงสำหรับภาวะนั้น ๆ ต่อจำนวนกลุ่มประชากร(ผลทั้งหมด)

ความไว หมายถึง สัดส่วนของผลบวกที่เป็นจริงสำหรับภาวะนั้น ๆ (เช่น สัดส่วนของการตรวจพบภาพที่มีเซลล์มะเร็งในผู้ที่ป่วยเป็นมะเร็งจริง)

ความไว จึงมีประโยชน์ในการวินิจฉัยแยกกันผลลบปลอม (false negative) เพราะว่าการทดสอบยิ่งไวเท่าไร โอกาสการได้ผลลบ (เช่น การพบว่าไม่มีโรค) ที่ไม่เป็นจริง (เช่น บุคคลจริง ๆ มีโรค) ก็น้อยลงเท่านั้น และดังนั้น ถ้าความไวอยู่ที่ 100% โอกาสได้ผลลบปลอมก็อยู่ที่ 0%

ความจำเพาะ หมายถึง สัดส่วนของผลลบที่เป็นจริงสำหรับภาวะนั้น ๆ (เช่น สัดส่วนของการตรวจไม่พบภาพที่มีเซลล์มะเร็งในผู้ที่ไม่ป่วยเป็นมะเร็งจริง)

ความจำเพาะ จึงมีประโยชน์ในการยืนยันภาวะที่มี โดยกันผลบวกปลอม (false positive) เพราะว่าการทดสอบยิ่งจำเพาะเท่าไร โอกาสการได้ผลบวก (เช่น การพบว่ามีโรค) ที่ไม่เป็นจริง (เช่น บุคคลจริง ๆ ไม่มีโรค) ก็น้อยลงเท่านั้น และดังนั้น ถ้าความจำเพาะอยู่ที่ 100% โอกาสได้ผลบวกปลอมก็อยู่ที่ 0%

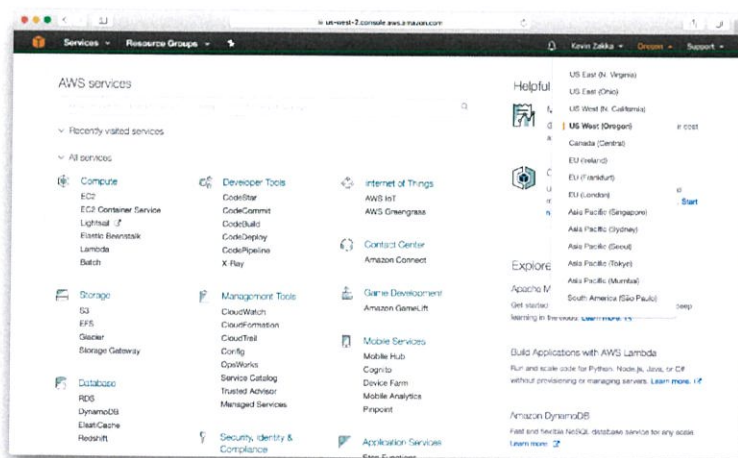
โดยกำหนดรายละเอียดในการเก็บผลต่าง ๆ และวิธีการคำนวณ เป็นไปดังนี้

1. True positive (TP) คือ ผลที่โปรแกรมบอกว่าเป็นมะเร็ง และภาพนั้นเป็นมะเร็งจริง ๆ
2. False positive (FP) คือ ผลที่โปรแกรมบอกว่าเป็นมะเร็ง แต่ภาพนั้นไม่ได้เป็นมะเร็งจริง ๆ
3. True negative (TN) คือ ผลที่โปรแกรมบอกว่าเป็นไม่มะเร็ง และภาพนั้นไม่เป็นมะเร็งจริง ๆ
4. False negative (FN) คือ ผลที่โปรแกรมบอกว่าเป็นไม่มะเร็ง แต่ภาพนั้นเป็นมะเร็งจริง ๆ
5. ความแม่นยำ เท่ากับ $(TP+TN)/(TP+FP+TN+FN)$
6. ความไว เท่ากับ $TP/(TP+FN)$
7. ความจำเพาะ เท่ากับ $TN/(TN+FP)$

3.4 การทำการประมวลผลและเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆ

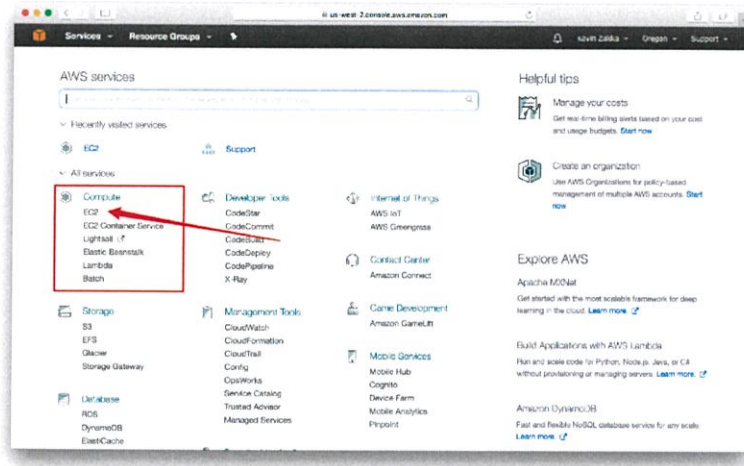
เป็นการทำให้อัลกอริทึมในการประมวลผลขึ้นไปอยู่บนเซิร์ฟเวอร์บนอินเทอร์เน็ตซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้เซิร์ฟเวอร์ของอเมซอน (Amazon) ซึ่งคือบริการ AWS (Amazon Web Service) โดยขั้นตอนดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. เข้าไปที่เว็บไซต์ <https://aws.amazon.com/ec2/> และล็อกอินด้วย user password ของ AWS
2. เลือกโซนของเซิร์ฟเวอร์ที่อยู่ใกล้กับประเทศไทย ซึ่งก็คือ Asia Pacific (Singapore)



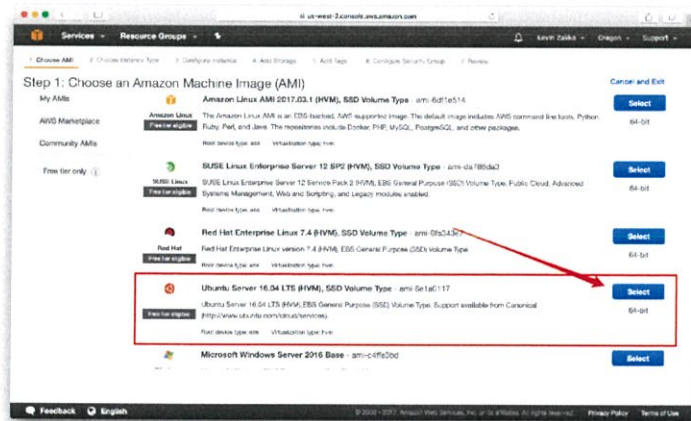
รูปที่ 3.34 เลือกโซนของเซิร์ฟเวอร์

3. จากนั้นเข้าไปที่บริการชนิด EC2 ซึ่งเป็นบริการที่อนุญาตให้เราเปิดใช้บริการการประมวลผลบนกลุ่มเมฆ ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 เข้าไปที่บริการ EC2

4. เมื่อเราสู่หน้าบริการ EC2 ให้กด Launch Instance และทำการเลือกเซิร์ฟเวอร์แบบ Ubuntu Server 16.04 LTS (HVM), SSD Volume Type ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 เลือกชนิดเซิร์ฟเวอร์

5. จากนั้นเลือก Instance Type เป็น p2.xlarge และกด Next ดังรูปที่ 3.37

1 Choose AMI 2. Choose Instance Type 3 Configure Instance 4 Add Storage 5 Add Tags 6 Configure Security Group 7 Review

Step 2: Choose an Instance Type

Amazon EC2 provides a wide selection of instance types optimized to fit different use cases. Instances are virtual servers that can run applications. They have varying combinations of CPU, memory, storage, and networking capacity, and give you the flexibility to choose the appropriate mix of resources for your applications. [Learn more about instance types and how they can meet your computing needs.](#)

Filter by: GPU compute Current generation Show/Hide Columns

Currently selected: p2.xlarge (11.75 ECUs, 4 vCPUs, 2.7 GHz, E5-2656v4, 61 GiB memory, EBS only)

	Family	Type	vCPUs	Memory (GiB)	Instance Storage (GB)	EBS-Optimized Available	Network Performance
<input checked="" type="checkbox"/>	GPU compute	p2.xlarge	4	61	EBS only	Yes	High
<input type="checkbox"/>	GPU compute	p2.xlarge	32	488	EBS only	Yes	10 Gigabit
<input type="checkbox"/>	GPU compute	p2.16xlarge	64	732	EBS only	Yes	25 Gigabit

รูปที่ 3.37 เลือก Instance Type

6. Step 3 ให้ใช้ค่าดั้งเดิมของเซิร์ฟเวอร์ และกด Next ดังรูปที่ 3.38

Step 3: Configure Instance Details

Configure the instance to suit your requirements. You can launch multiple instances from the same AMI, request Spot instances to take advantage of the lower pricing, assign an access management role to the instance, and more.

Number of instances: 1 [Launch into Auto Scaling Group](#)

Purchasing option: Request Spot instances

Network: vpc-385c2f81 (default) [Create new VPC](#)

Subnet: No preference (default subnet in any Availability Zone) [Create new subnet](#)

Auto-assign Public IP: Use subnet setting (if enable)

Placement group: Add instance to placement group

IAM role: None [Create new IAM role](#)

Shutdown behavior: Stop

Enable termination protection: Protect against accidental termination

Monitoring: Enable CloudWatch detailed monitoring
Additional charges apply

EBS-optimized instance: Launch as EBS-optimized instance
Additional charges apply

Tenancy: Shared. Run a shared hardware instance.
Additional charges will apply for dedicated tenancy

รูปที่ 3.38 Step 3 รายละเอียดของ Instance

7. Step 4 เป็นการตั้งค่าขนาดของฐานข้อมูล ซึ่งผู้ใช้ฟรีสามารถใช้งานได้มากที่สุดคือ 30 GB ดังนั้นเลือกใช้ที่ 30 GB ดังรูปที่ 3.39

Step 4: Add Storage

Your instance will be launched with the following storage device settings. You can attach additional EBS volumes and instance store volumes to your instance, or edit the settings of the root volume. You can also attach additional EBS volumes after launching an instance, but not instance store volumes. [Learn more about storage options in Amazon EC2.](#)

Volume Type	Device	Snapshot	Size (GiB)	Volume Type	IOPS	Throughput (MB/s)	Delete on Termination	Encrypted
Root	/dev/sda1	snap-0b495f6103390e57	30	General Purpose S3	100 / 3000	N/A	<input checked="" type="checkbox"/>	Not Encrypted

Add New Volume

Free tier eligible customers can get up to 30 GB of EBS General Purpose (SSD) or Magnetic storage. [Learn more](#) about free usage tier eligibility and usage restrictions.

รูปที่ 3.39 Step 4 ตั้งค่าขนาดฐานข้อมูล

8. Step 5 ให้กด Next ข้ามไป และให้ตั้งดังต่อไปนี้ใน Step 6 ดังตารางที่ 3.2 และ Security group name กับ Description ให้ใส่อะไรก็ได้

ตารางที่ 3.2 ตั้งค่า ip เพื่อความปลอดภัยและเพื่อใช้ติดต่อเข้าไปยังเซิร์ฟเวอร์

Type	Protocol	Port Range	Source
Custom TCP Rule	c	8888	0.0.0.0/0
Custom TCP Rule	TCP	6006	0.0.0.0/0
SSH	TCP	22	0.0.0.0/0
HTTPS	TCP	443	0.0.0.0/0, ::/0

9. จากนั้นกด Review and Launch และกด Launch อีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 3.40

Step 7: Review Instance Launch

Please review your instance launch details. You can go back to edit changes for each section. Click **Launch** to assign a key pair to your instance and complete the launch process.

⚠ Your instance configuration is not eligible for the free usage tier

To launch an instance that's eligible for the free usage tier, check your AMI selection, instance type, configuration options, or storage devices. Learn more about [free usage tier](#) eligibility and usage restrictions.

⚠ Improve your instances' security. Your security group, deepscan, is open to the world.

Your instances may be accessible from any IP address. We recommend that you update your security group rules to allow access from known IP addresses only. You can also open additional ports in your security group to facilitate access to the application or service you're running, e.g., HTTP (80) for web servers. [Edit security groups](#)

AMI Details [Edit AMI](#)

Free tier eligible Ubuntu Server 16.04 LTS (HVM), SSD Volume Type - ami-52d4802e
Ubuntu Server 16.04 LTS (HVM), EBS General Purpose (SSD) Volume Type. Support available from Canonical (<http://www.ubuntu.com/cloud/services>)
 Root Device Type: ebs Virtualization type: hvm

Instance Type [Edit instance type](#)

Instance Type	ECUs	vCPUs	Memory (GiB)	Instance Storage (GB)	EBS-Optimized Available	Network Performance
p2.xlarge	11.75	4	61	EBS only	Yes	High

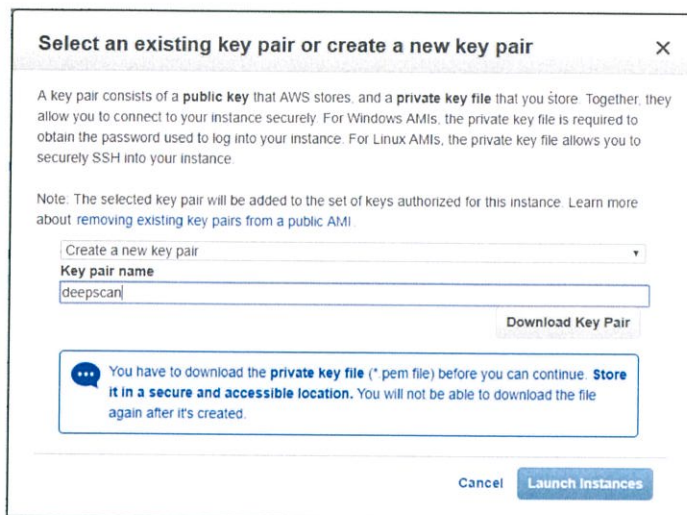
Security Groups [Edit security groups](#)

Security Group ID	Name	Description

[Cancel](#)
[Previous](#)
[Launch](#)

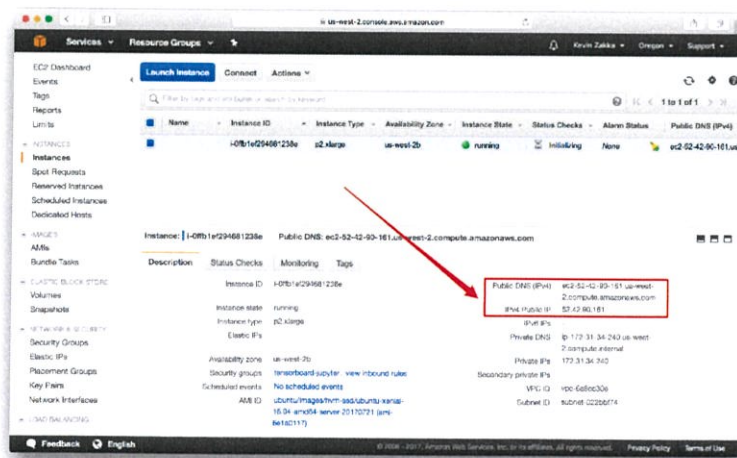
รูปที่ 3.40 กด Launch เซิร์ฟเวอร์

10. จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.41 เพื่อให้คุณสร้าง key pair ในการเชื่อมต่อ ซึ่งคนที่สามารถเข้าใช้งาน จะต้องเป็นคนที่มี key pair บนเครื่องเท่านั้น เพื่อความปลอดภัย ในรูปดังกล่าวตั้งชื่อว่า deepscan จากนั้นกด Download Key Pair มาเก็บไว้บนเครื่อง ซึ่งจะได้ deepscan.pem มา จากนั้นกด Launch Instance



รูปที่ 3.41 สร้าง key pair

11. เมื่อเซิร์ฟเวอร์ทำงานแล้ว จะดูได้ดังรูปที่ 3.42 ซึ่งจะมีรายละเอียดของ Public DNS(IPv4) และ IPv\$ Public IP ที่จะทำให้เราใช้ในการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์

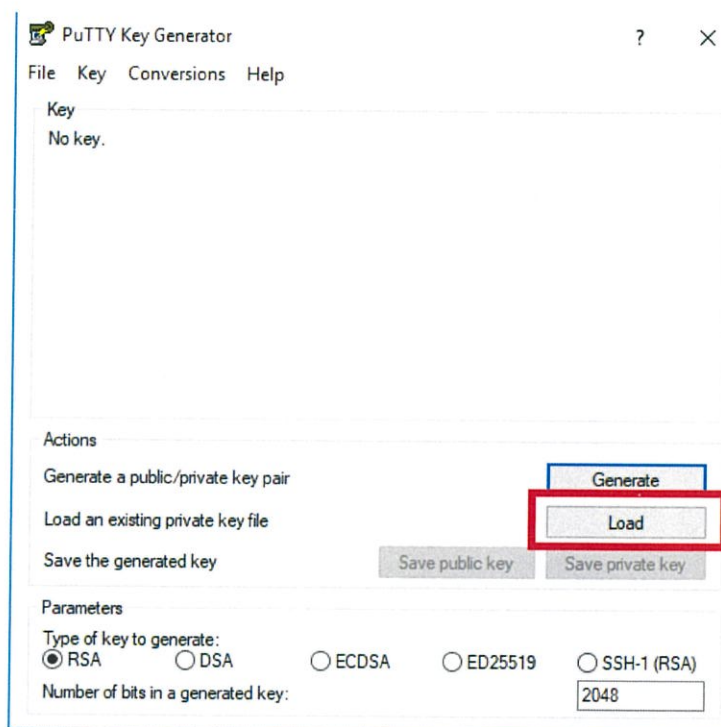


รูปที่ 3.42 สถานะของเซิร์ฟเวอร์

3.4.1 การติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ PuTTY

การติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์จำเป็นต้องแปลงไฟล์จาก deepscan.pem จาก AWS เป็น deepscan.ppk จึงจะสามารถใช้ PuTTY เข้าไปสั่งการเซิร์ฟเวอร์ได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้
PuTTY สามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://www.putty.org/>

1. เปิด PuTTYgen ขึ้นมา และกด Load เพื่อเลือกไฟล์ deepscan.pem เข้ามาในโปรแกรม เลือกชนิดของคีย์ที่จะสร้าง (Type of key to generate) เป็น RSA และจำนวน bit ในการสร้างคีย์คือ 2048

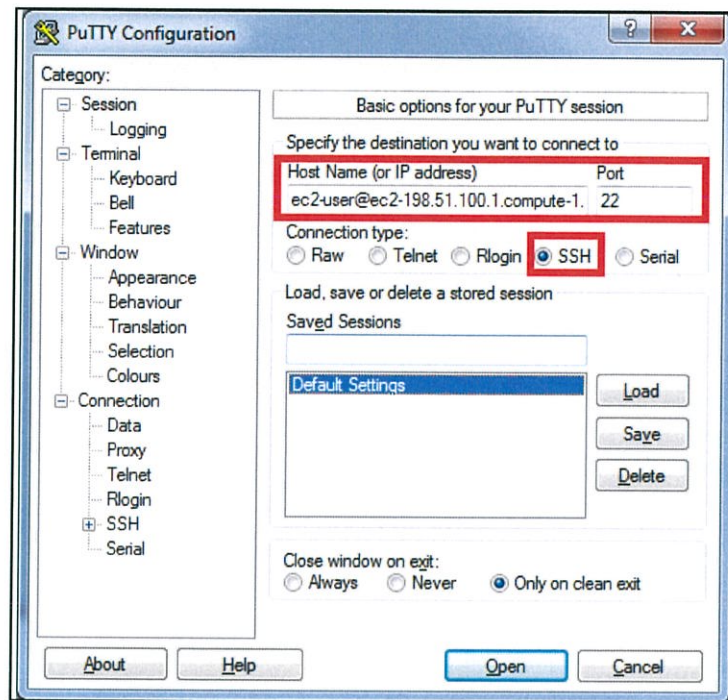


รูปที่ 3.43 PuTTYgen ในการสร้าง .ppk

2. กด Generate จากนั้นจึงกด Save private key เพื่อบันทึก deepscan.ppk ไว้

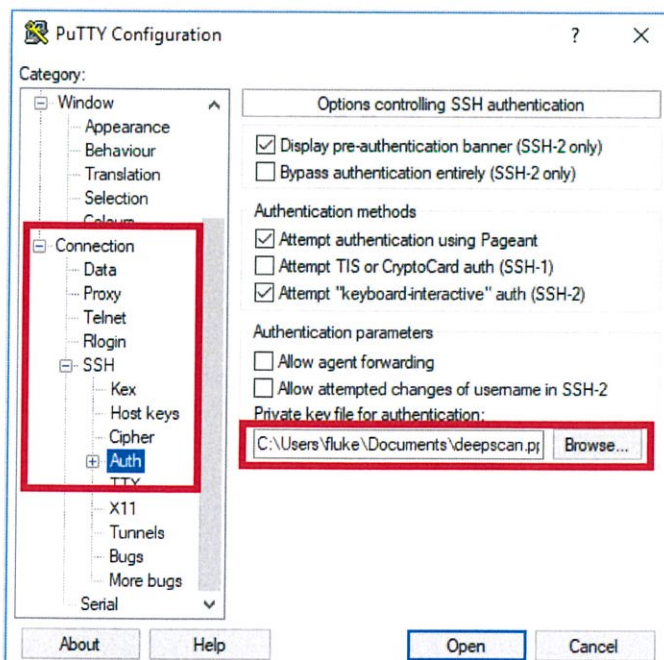
จากนั้นจึงเริ่มทำการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ดังนี้

1. เปิดPuTTY ขึ้นมาในแถบ Sessions ให้ให้ Host name เป็น ec2-user@public_dns_name ซึ่ง Public DNS จะดูได้จากหน้าต่างสถานะของ เซิร์ฟเวอร์ ใช้ Port 22 เลือกรูปแบบการเชื่อมต่อเป็น SSH ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ตั้งค่า PuTTY

2. แลบซ้ายมือเลือก Connection > SSH > Auth เพื่อที่จะเลือกไฟล์ deepscan.ppk เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 เลือกใช้ .ppk ในการยืนยันตัวตนเชื่อมต่อหาเซิร์ฟเวอร์

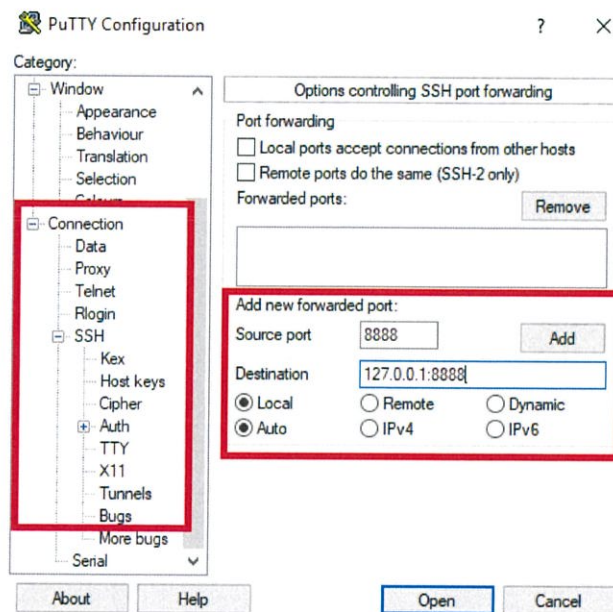
3. จากนั้นกด Open เพื่อเชื่อมต่อ และใช้ ID ในการล็อกอินเข้าเซิร์ฟเวอร์ในหน้าต่าง CMD (ถ้าโปรแกรมให้ล็อกอิน) คือ ubuntu

4. (เพิ่มเติม) หากต้องการเชื่อมต่อกับ Jupyter notebook ด้วย ให้ตั้งค่าเพิ่มเติม ดังนี้ (ดังรูปที่ 3.46)

4.1 แถบด้านซ้ายเลือก Connection > SSH > Tunnels

4.2 Source port = 8888

4.3 Destination = 127.0.0.1:8888



รูปที่ 3.46 ตั้งค่า Tunnels เพื่อเชื่อมต่อกับ Jupyter notebook

3.4.2 การแลกเปลี่ยนไฟล์กับเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ WinSCP

โปรแกรมที่ใช้งานง่ายที่สุดในการแลกเปลี่ยนไฟล์กับเซิร์ฟเวอร์คือ WinSCP ซึ่งการใช้งานจะต้องกระทำดังต่อไปนี้

โปรแกรม WinSCP สามารถดาวน์โหลดจาก <https://winscp.net/eng/download.php>

1. เปิดโปรแกรม WinSCP และตั้งค่าดังนี้

protocol : SFTP

host name : public DNS เช่น ec2-54-169-61-106.ap-southeast-

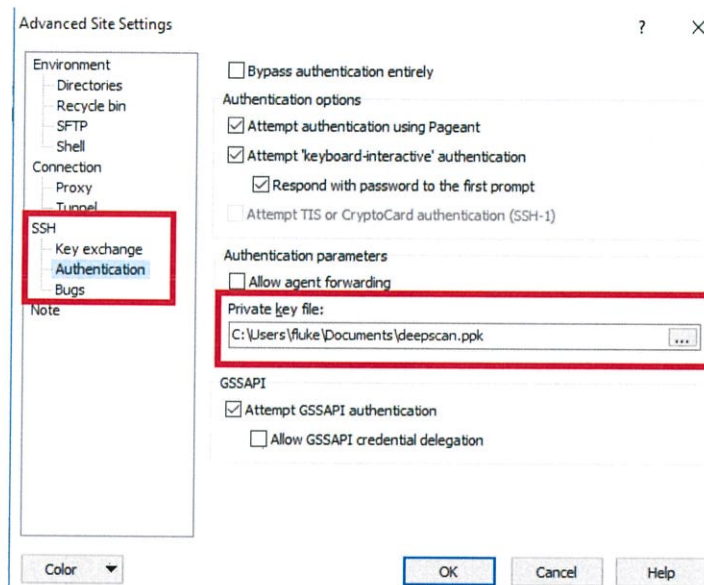
1.compute.amazonaws.com

port : 22

user name : ubuntu

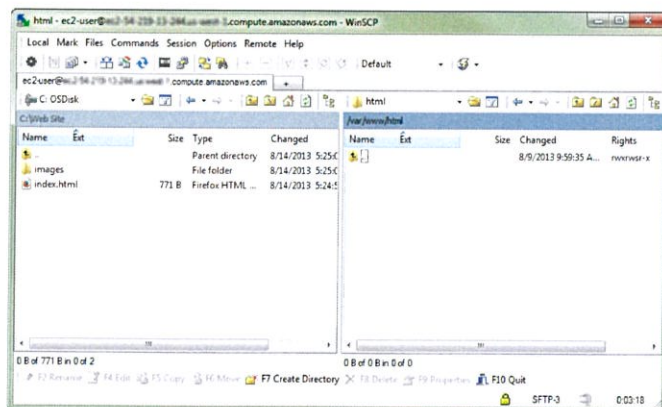
password : วางเปล่า

- กด Advanced... จะปรากฏหน้าต่าง Advanced Site Settings แถบด้านซ้ายเลือก SSH > Authentication และเลือก private key คือ deepscan.ppk จากนั้นกด OK ดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 ตั้งค่าใช้ private key ในการยืนยันตัวตน

- กด Login จะปรากฏหน้าต่างที่พร้อมทำการเคลื่อนย้ายไฟล์ ดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 หน้าต่างพร้อมทำการเคลื่อนย้ายไฟล์

3.4.3 การตั้งค่า และติดตั้งสิ่งที่จำเป็นที่ใช้ในการประมวลผลอัลกอริทึมแบบ ปัญญาประดิษฐ์บนเซิร์ฟเวอร์

3.4.3.1 การตั้งค่า CUDA

CUDA (Compute Unified Device Architecture) คือ แพลตฟอร์มสำหรับการประมวลผลแบบคู่ขนานและ Application Programming Interface (API) พัฒนาโดยบริษัท Nvidia เพื่อให้ให้นักพัฒนาและวิศวกรซอฟต์แวร์สามารถดึงศักยภาพในการประมวลผลแบบขนานของ GPU (Graphic Processing Unit) ออกมาใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

ในปัจจุบันนอกจากงานทางด้านกราฟิกแล้ว ยังนิยมนำ GPU มาใช้ประมวลผลในงานปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence หรือ AI) ไม่ว่าจะเป็น Deep Learning, Computer Vision หรือมาประยุกต์ใช้ในระบบรถไร้คนขับ (Self-driving car) หรืองานทางด้านปริญาศาสตร์และคณิตศาสตร์

การตั้งค่า CUDA ทำดังต่อไปนี้ บนหน้าต่าง PuTTY ที่เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์แบบ SSH
ไว้

1. พิมพ์ : `sudo apt-get update`
2. พิมพ์ : `sudo apt-get install dkms`
3. ดาวน์โหลด CUDA โดยพิมพ์
`wget https://developer.nvidia.com/compute/cuda/8.0/Prod2/local_installers/cuda_8.0.61_375.26_linux-run`
4. ติดตั้ง CUDA โดยพิมพ์ : `sudo sh cuda_8.0.61_375.26_linux-run`
ยอมรับข้อตกลงโดยการพิมพ์ `accept`
5. พิมพ์ `yes` เพื่อติดตั้ง NVIDIA Graphics Driver.
6. พิมพ์ `yes` เพื่อติดตั้ง OpenGL libraries.
7. พิมพ์ `yes` เพื่อติดตั้ง nvidia-xconfig.
8. พิมพ์ `yes` เพื่อติดตั้ง CUDA 8.0 Toolkit.
9. กด Enter เพื่อยอมรับ (accept) ที่อยู่ดั้งเดิมของ Toolkit
10. พิมพ์ `yes` เพื่อตั้งค่า `/usr/local/cuda` เพิ่มเป็น Environment อีกที่หนึ่งของ Linux
11. พิมพ์ `no` เพื่อปฏิเสธการติดตั้ง CUDA 8.0 Samples

3.4.3.2 การติดตั้ง Pytorch

PyTorch เป็น Machine/Deep Learning Library ซึ่ง Facebook พัฒนารับภาษา Python ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกจะศึกษาการทำปัญหาประดิษฐ์โดยใช้ Pytorch เป็นไลบรารี (libraries) หลักในการทำงาน

การติดตั้ง Pytorch ทำดังต่อไปนี้ บนหน้าต่าง PuTTY ที่เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์แบบ SSH ไว้

1. ดาวโหลดไลบรารีเพิ่มเติมที่ใช้ในการทำงาน โดยพิมพ์: `sudo apt-get install -y cmake zlib1g-dev libjpeg-dev xvfb libav-tools xorg-dev python-opengl libboost-all-dev libsdl2-dev swig libgl1-mesa-dev libglu1-mesa freeglut3 build-essential g++`
2. ดาวโหลด Anaconda ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จะรวมไลบรารีมากมาย รวมถึงใช้ในการติดตั้งไลบรารีบางตัว ซึ่งทำการติดตั้งผ่าน Anaconda อีกด้วย โดยพิมพ์: `wget https://repo.continuum.io/archive/Anaconda3-5.1.0-Linux-x86_64.sh`
3. ติดตั้ง Anaconda โดยพิมพ์ : `bash Anaconda3-5.1.0-Linux-x86_64.sh`
4. อัปเดตที่อยู่ โดยพิมพ์:
`echo -e '\nexport PATH=$HOME/anaconda/bin:$PATH'`
 จากนั้นพิมพ์ `$HOME/.bashrc && source $HOME/.bashrc`
5. ติดตั้ง PyTorch พร้อม CUDA 8.0 โดยพิมพ์ : `conda install pytorch torchvision cuda80 -c soumith`
6. ติดตั้ง torchvision โดยพิมพ์ :
`wget https://pypi.python.org/packages/e9/c9/f4eb36734bffd36eb8095247d816cbe6aeca0a2b9218b78678288edfdb92/torchvision-0.2.0-py2.py3-none-any.whl`
 จากนั้นพิมพ์ `pip install torchvision-0.2.0-py2.py3-none-any.whl`
7. เช็คค่าลงทุกอย่างถูกต้องโดยการเปิด python และพิมพ์โค้ดดังนี้
 “
`import torch`
`torch.cuda.is_available()`
 “
 ถ้าได้ผลลัพธ์คือ True แปลว่าลง Pytorch พร้อม CUDA 8.0 เรียบร้อย

3.4.4 การตั้งค่า Jupyter Notebook บนเซิร์ฟเวอร์

Jupyter Notebook เป็นเว็บแอปพลิเคชันแบบโอเพนซอร์ส (Open source) ที่ช่วยให้สามารถสร้างและออกแบบซอฟต์แวร์ โดยรองรับภาษาไพธอน (Python) และอื่น ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ภาษาไพธอนในการทำงาน และเครื่องมือนี้ช่วยให้ออกแบบซอฟต์แวร์ง่ายขึ้น อีกทั้งในงานวิจัยนี้ได้ทำการตั้งค่า Jupyter Notebook ให้สามารถเข้าไปใช้งานที่เซิร์ฟเวอร์ได้ เพื่อความสะดวกในการใช้งานและปรับปรุงอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์บนเซิร์ฟเวอร์อีกด้วย

การตั้งค่า Jupyter Notebook ให้ทำขั้นตอนดังนี้ ผ่าน PuTTY ที่เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์แบบ SSH

1. สร้างไฟล์ SSL certificate โดยการพิมพ์
 - 1.1 พิมพ์ mkdir ssl
 - 1.2 พิมพ์ cd ssl
 - 1.3 พิมพ์ sudo openssl req -x509 -nodes -days 365 -newkey rsa:1024 -keyout "cert.key" -out "cert.pem" -batch
2. สร้างรหัสผ่าน ที่จะใช้ล็อกอินเข้า Jupyter notebook
 - 2.1 เปิด iPython terminal โดยพิมพ์ ipython
 - 2.2 พิมพ์ from IPython.lib import passwd
 - 2.3 พิมพ์ passwd() เพื่อให้เราตั้งรหัสผ่าน หลังจากตั้งรหัสเสร็จจะได้รับรหัสผ่านแบบ hash เช่น "sha1:examplefc216:3a35a98ed..." ให้บันทึกไว้
 - 2.4 ออกจาก iPython terminal โดยพิมพ์ exit
3. ตั้งค่าไฟล์ระบบของ Jupyter
 - 3.1 พิมพ์ jupyter notebook --generate-config เพื่อทำการสร้างไฟล์ระบบ
4. อัปเดตไฟล์ระบบเพื่อให้จดจำรหัสผ่านของเรา
 - 4.1 เปิดไฟล์ระบบ เพื่อเข้าไปแก้ไข

โดยพิมพ์ vi ~/.jupyter/jupyter_notebook_config.py
 - 4.2 วางข้อความต่อไปนี้ ลงไปที่ท้ายสุดของไฟล์ โดยแก้ไขรหัสผ่าน (ตัวแดง)ให้ตรงกับที่ได้มาในข้อ 2.3


```
c = get_config() # Get the config object.
c.NotebookApp.certfile = u'/home/ubuntu/ssl/cert.pem' # path to the
certificate we generated
```

```
c.NotebookApp.keyfile = u'/home/ubuntu/ssl/cert.key' # path to the
certificate key we generated
```

```
c.IPKernelApp.pylab = 'inline' # in-line figure when using Matplotlib
```

```
c.NotebookApp.ip = '*' # Serve notebooks locally.
```

```
c.NotebookApp.open_browser = False # Do not open a browser
window by default when using notebooks.
```

```
c.NotebookApp.password = 'sha1:fc216:3a35a98ed980b9...'
```

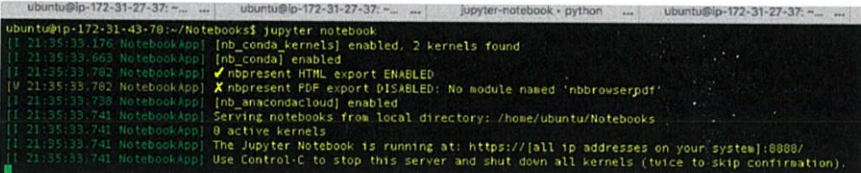
หมายเหตุ ในหน้าต่างปรับแต่งไฟล์ ให้กด “i” เพื่อเข้าสู่ INSERT mode ซึ่งจะเป็น การอนุญาตให้แก้ไขไฟล์ได้ เมื่อทำการแก้ไขเพิ่มเติมเรียบร้อยแล้ว ให้กด ESC และพิมพ์ “:wq” เพื่อออกและบันทึกไฟล์

5. สร้างโพลเดอร์สำหรับ Jupyter notebook

5.1 พิมพ์ mkdir Notebooks

5.2 พิมพ์ cd Notebooks

5.3 พิมพ์ jupyter notebook เพื่อเริ่มให้ jupyter notebook ทำงาน ดังรูปที่ 3.49



```
ubuntu@ip-172-31-27-37: ~$ jupyter notebook
[I 21:35:33.176 NotebookApp] [nb_conda_kernels] enabled, 2 kernels found
[I 21:35:33.663 NotebookApp] [nb_conda] enabled
[I 21:35:33.782 NotebookApp] ✓ nbpresent HTML export ENABLED
[W 21:35:33.782 NotebookApp] ✗ nbpresent PDF export DISABLED: No module named 'nbpresentpdf'
[I 21:35:33.739 NotebookApp] [nb_anacondacloud] enabled
[I 21:35:33.741 NotebookApp] Serving notebooks from local directory: /home/ubuntu/Notebooks
[I 21:35:33.741 NotebookApp] 0 active kernels
[I 21:35:33.741 NotebookApp] The Jupyter Notebook is running at: https://[all ip addresses on your system]:8080/
[I 21:35:33.741 NotebookApp] Use Control-C to stop this server and shut down all kernels (twice to skip confirmation).
```

รูปที่ 3.49 หน้าต่างการเริ่มทำงานของ jupyter notebook

6. การใช้งานจากหน้าต่างเว็บเบราว์เซอร์ (web browser) จากคอมพิวเตอร์ให้เข้า ผ่านชื่อเว็บไซต์ดังนี้

[https:// ec2-54-169-61-106.ap-southeast-1.compute.amazonaws.com:8888/](https://ec2-54-169-61-106.ap-southeast-1.compute.amazonaws.com:8888/)

หรือก็คือ Public DNS จากหน้าต่างสถานะเซิร์ฟเวอร์

6.1 จะปรากฏหน้าต่างให้พิมพ์รหัสผ่าน ซึ่งก็คือให้เราพิมพ์รหัสที่ตั้งไว้ในหัวข้อ 2.3

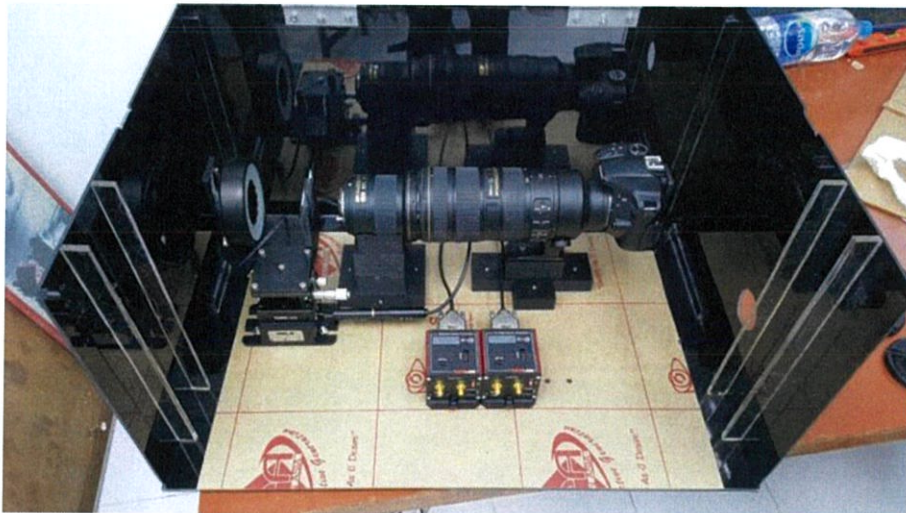
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

อุปกรณ์ระบบคัดกรองเซลล์มะเร็งรังสีปากมดลูกจากปัญญาประดิษฐ์ นั้นเป็นอุปกรณ์ในการช่วยในการตรวจโรคมะเร็งรังสีปากมดลูกโดยการบันทึกภาพจากสไลด์ ThinPrep จากวิธี liquid-based เพื่อนำมาวิเคราะห์และประมวลผล ต้องมีการทดสอบความสามารถและคุณภาพของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์

4.1.1 ภาพรวมของอุปกรณ์ทั้งหมดในส่วนฮาร์ดแวร์

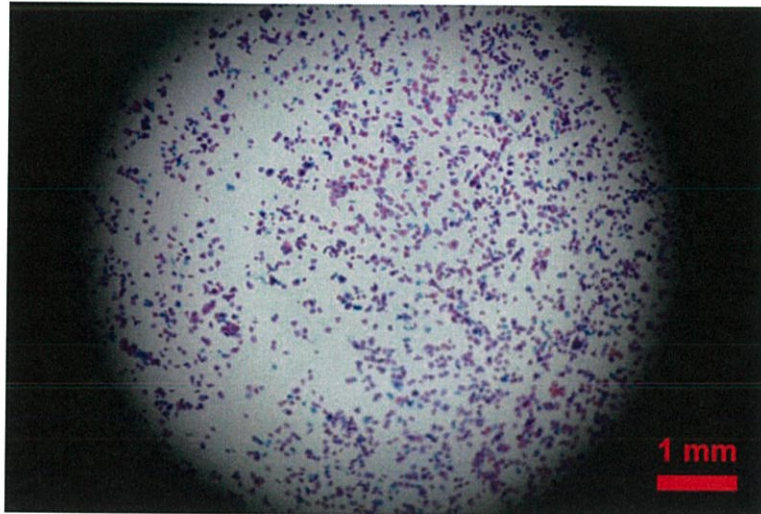


รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ในส่วนของฮาร์ดแวร์ทั้งหมดหลังจากยึดตำแหน่งแล้ว

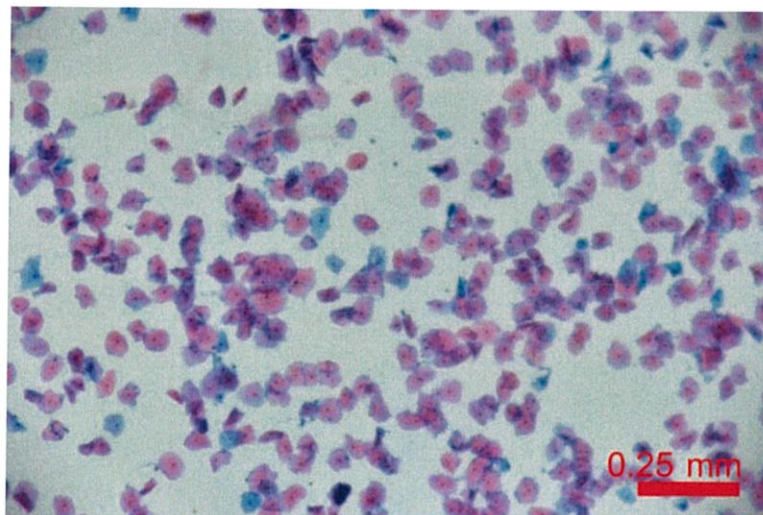
อุปกรณ์ส่วนฮาร์ดแวร์มีหน้าที่ในการถ่ายภาพสไลด์ ThinPrep โดยส่วนนี้จะอยู่ในกล่องดำ เพื่อกันแสงรบกวนจากภายนอก กล่องมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร มีแหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED-ring ซึ่งเป็น LED 48 หลอด สามารถปรับความเข้มของแสงได้ ซึ่งภาพที่สามารถถ่ายได้จะมีการซูมอยู่ในช่วง 3.5 – 10 เท่า และใช้กล้อง NIKON D3400 ที่มีขนาดเซนเซอร์กว้าง 23.5 มิลลิเมตร และยาว 15.6 มิลลิเมตร เป็นตัวรับภาพ และมีสเตจที่เอาไว้สำหรับเลื่อนสไลด์ซึ่งสามารถเลื่อนได้ใน 3 แกนคือ แนวลึก แนวนอน และแนวตั้ง โดยใช้ DC servo motor ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ 12 มิลลิเมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ ประมาณ 5 ไมโครเมตร(อ้างอิงภาคผนวก) ซึ่งเป็นค่าน้อยมากจนทำให้ไม่มีผลต่อการเลื่อนแล้วถ่ายรูป แนวตั้ง

และแนวนอน เอาไว้ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายสไลด์เพื่อให้สามารถถ่ายได้ครอบคลุมทั้งสไลด์ ส่วนแนวลึก ทำหน้าที่สำหรับหาระยะโฟกัสของเลนส์เพื่อให้ได้ระยะที่ภาพชัดที่สุด โดยควบคุม DC servo motor จาก K-Cube Brushed DC Servo Motor Controller

ผลการทดลองการถ่ายภาพจากอุปกรณ์ที่ยึดตำแหน่งเรียบร้อยแล้วได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 ภาพสไลด์ ThinPrep ที่ 3.5x



รูปที่ 4.3 ภาพสไลด์ ThinPrep ที่ 10x

จากผลการทดลองภาพที่ถ่ายออกมานั้นมีความคมชัดในระดับหนึ่งที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในเบื้องต้นได้ว่า มีเซลล์มะเร็งหรือเซลล์ที่มีแนวโน้มจะเป็นเซลล์มะเร็งได้

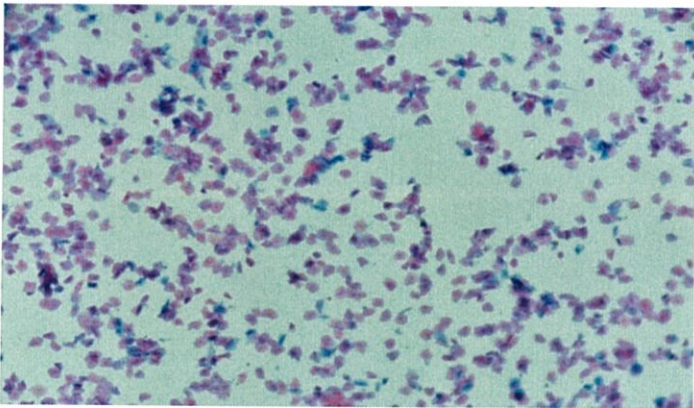
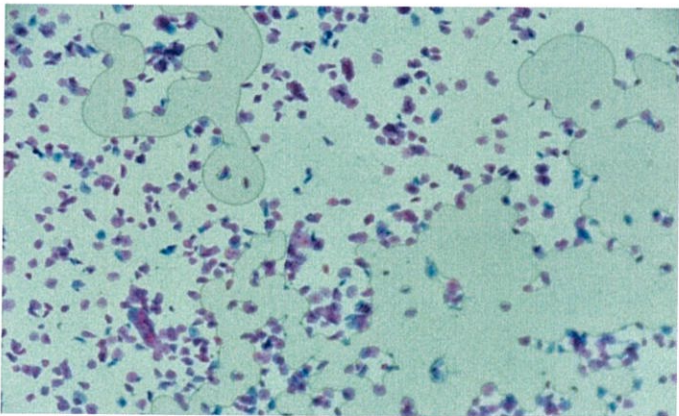
4.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์

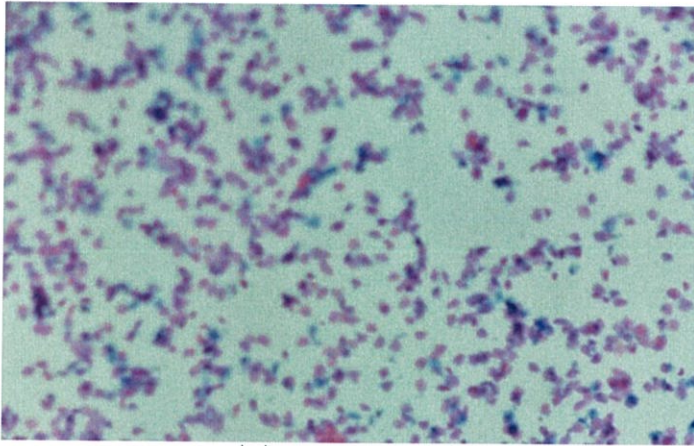
การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์จะใช้ความเป็นระนาบของอุปกรณ์เป็นตัวอ้างอิง โดยวัดจากความเบลอของภาพ โดยการถ่ายภาพแล้วนำไปประมวลผลโดยซอฟต์แวร์หาค่าความเบลอของภาพ

4.1.2.1 ทดสอบความเป็นระนาบในแนวนอน

ทำการทดสอบโดยถ่ายภาพในระยะที่ชัดที่สุด 1 ภาพ แล้วเลื่อนสไลด์ไปทางซ้าย 2 ครั้ง โดยการเลื่อนซ้ายหรือขวา 1 ครั้งเป็นระยะ 2.3 มิลลิเมตร แล้วปรับให้ภาพนั้นชัดที่สุดจากนั้นเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งในตอนแรก แล้วทำการถ่ายภาพจากนั้นนำภาพทั้ง 2 มาทดสอบหาค่าความเบลอ ยิ่งผลค่าความเบลอที่ได้จากซอฟต์แวร์มีค่าน้อย จะหมายความว่าภาพมีความเบลอมาก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความเป็นระนาบของอุปกรณ์ในแนวนอน

ภาพที่บันทึกได้	ค่าความเบลอจากซอฟต์แวร์
 <p data-bbox="580 1421 698 1454">ภาพอ้างอิง</p>	4.90
 <p data-bbox="528 1941 743 1974">ภาพขยับขวา 2 ครั้ง</p>	5.00

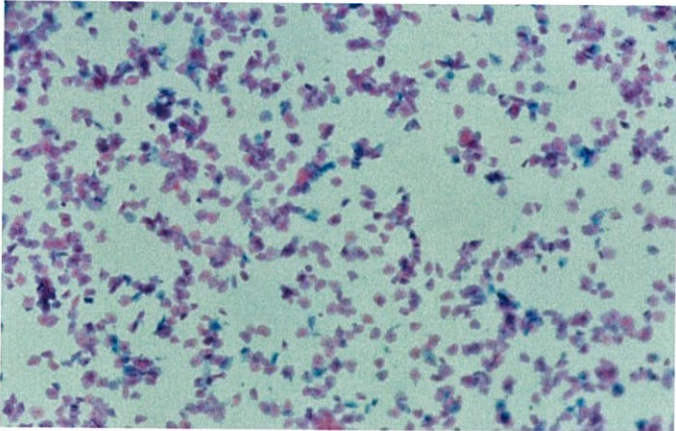
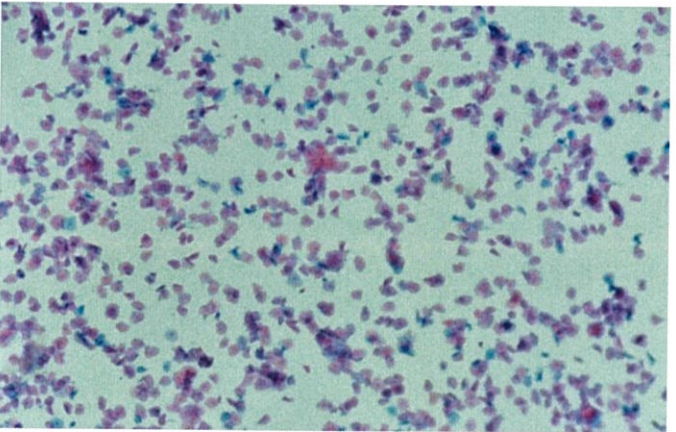
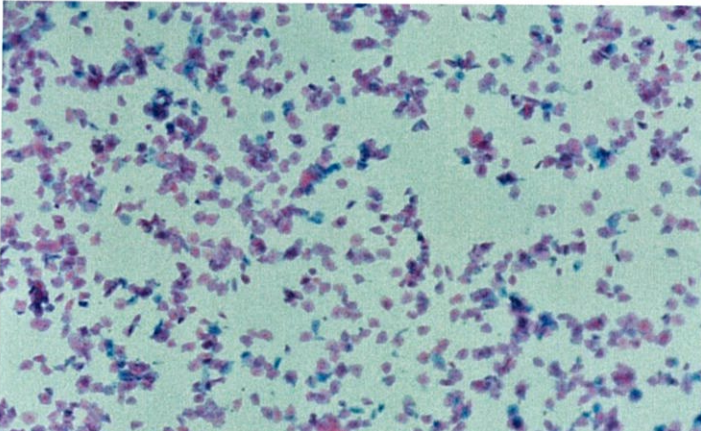
 <p data-bbox="474 687 816 731">ภาพที่เลื่อนกลับมาตำแหน่งแรก</p>	<p data-bbox="1135 425 1194 458">4.34</p>
---	---

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าค่าความเบลของภาพหลังจากเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งเดิมมีค่าความเบลน้อยกว่าก่อนเลื่อนมาก แปลว่าอุปกรณ์นั้นไม่ได้ระนาบในแนวนอนเพราะเมื่อเลื่อนแล้วปรับภาพให้ชัดแล้วเลื่อนกลับภาพมีความเบลมากขึ้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเอียงของอุปกรณ์ในระนาบในแนวนอนในระดับที่มากที่จะมีผลต่อการเลื่อนสไลด์ไปทางซ้ายหรือขวา แล้วทำให้ภาพเกิดการเปลี่ยนระยะโฟกัส

4.1.2.2 ทดสอบความเป็นระนาบในแนวตั้ง

ทำการทดสอบโดยถ่ายภาพในระยะที่ชัดที่สุด1ภาพ แล้วเลื่อนสไลด์ขึ้น2ครั้งโดยการเลื่อนขึ้นหรือลง 1 ครั้งเป็นระยะ 1.5 มิลลิเมตร แล้วปรับให้ภาพนั้นชัดที่สุดจากนั้นเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งในตอนแรก แล้วทำการถ่ายภาพจากนั้นนำภาพทั้ง2 มาทดสอบหาค่าความเบล ยิ่งผลค่าความเบลที่ได้จากซอฟต์แวร์มีค่าน้อย จะหมายความว่าภาพมีความเบลมาก ถ้าค่าความเบลจากซอฟต์แวร์มีค่ามาก จะหมายความว่าภาพยิ่งชัด

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความเป็นระนาบของอุปกรณ์ในแนวตั้ง

ภาพที่บันทึกได้	ค่าความเบลอจากซอฟต์แวร์
 <p data-bbox="575 860 691 891">ภาพอ้างอิง</p>	4.90
 <p data-bbox="525 1393 727 1423">ภาพขยายขึ้น 2 ครั้ง</p>	4.98
 <p data-bbox="451 1939 792 1969">ภาพที่เลื่อนกลับมาตำแหน่งแรก</p>	4.85

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าค่าความเบลอของภาพหลังจากเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งเดิมมีค่าใกล้เคียงของเดิมมาก ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าความเอียงในระนาบแนวตั้งมีผลน้อยมากต่อการเลื่อนสไลด์ ซึ่งทำให้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนระยะโฟกัสของภาพ

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

4.2.1 ผลการทดสอบหาโมเดลที่ให้ค่าความแม่นยำสูงสุด

4.2.1.1 ผลการทดสอบขั้นตอนการสอน

ผลการทดสอบขั้นตอนการสอนโมเดล resnet50, resnet101 และ resnet152 โดยแต่ละโมเดลมีการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง มีผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.3 ,ตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet50

Epoch	โมเดล resnet50					
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss
1	61	0.584	63	0.626	61	0.67
2	77	0.53	81	0.583	65	0.623
3	82	0.496	77	0.55	66	0.581
4	84	0.477	76	0.559	74	0.556
5	85	0.475	78	0.496	75	0.517
6	87	0.43	85	0.463	79	0.492
7	88	0.413	83	0.449	78	0.482
8	83	0.397	86	0.456	84	0.468
9	88	0.388	82	0.425	86	0.456
10	88	0.373	86	0.403	79	0.432
11	87	0.403	84	0.394	80	0.418
12	88	0.397	87	0.413	86	0.411
13	87	0.346	87	0.384	86	0.392
14	88	0.341	87	0.382	84	0.421
15	87	0.352	88	0.374	87	0.392

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet50

Epoch	โมเดล resnet50					
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss
16	88	0.343	87	0.361	86	0.381
17	87	0.335	84	0.355	85	0.369
18	88	0.328	84	0.359	87	0.367
19	87	0.317	85	0.356	87	0.356
20	87	0.32	87	0.344	86	0.377

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet101

Epoch	โมเดล resnet101					
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss
1	73	0.604	62	0.638	71	0.59
2	78	0.552	69	0.581	72	0.55
3	84	0.512	79	0.55	80	0.515
4	81	0.526	75	0.51	80	0.507
5	77	0.476	85	0.497	80	0.496
6	80	0.448	78	0.472	81	0.458
7	87	0.432	86	0.439	82	0.449
8	86	0.428	84	0.435	82	0.455
9	82	0.418	83	0.432	84	0.418
10	85	0.424	83	0.416	83	0.408
11	85	0.398	86	0.403	82	0.427
12	85	0.427	82	0.424	85	0.383
13	85	0.397	81	0.417	87	0.402
14	83	0.414	85	0.39	85	0.416
15	84	0.409	86	0.387	85	0.385

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet101

Epoch	โมเดล resnet101					
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss
16	85	0.368	78	0.456	85	0.391
17	85	0.414	82	0.429	85	0.379
18	81	0.434	86	0.364	83	0.403
19	81	0.432	86	0.371	85	0.383
20	82	0.426	83	0.421	82	0.418

ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet152

Epoch	โมเดล resnet152					
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss
1	76	0.626	69	0.604	59	0.648
2	69	0.566	70	0.567	61	0.601
3	79	0.526	83	0.543	76	0.553
4	87	0.488	80	0.494	78	0.515
5	84	0.469	82	0.464	76	0.487
6	86	0.446	83	0.45	79	0.458
7	87	0.434	82	0.432	85	0.457
8	87	0.417	82	0.421	85	0.435
9	85	0.406	85	0.407	85	0.4
10	85	0.39	84	0.411	87	0.399
11	87	0.389	87	0.39	86	0.385
12	82	0.4	87	0.383	85	0.42
13	86	0.381	86	0.373	86	0.372
14	87	0.365	86	0.366	85	0.367
15	84	0.373	87	0.37	86	0.357

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ตารางผลการทดลองขั้นตอนการสอน โมเดล resnet152

Epoch	โมเดล resnet152					
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss
16	84	0.356	87	0.351	86	0.365
17	87	0.347	85	0.347	89	0.338
18	85	0.367	86	0.345	87	0.345
19	84	0.345	87	0.345	90	0.334
20	85	0.353	87	0.344	87	0.326

จากผลการทดสอบทั้ง 3 โมเดลพบว่าโมเดลที่มีความแม่นยำในขั้นตอนการสอนมากที่สุดคือ โมเดล resnet152 โดยมีความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 90 มีค่า Loss อยู่ที่ 0.334 ในการทดสอบครั้งที่ 3 Epoch ที่ 19

อภิปรายผลการทดลองจากโมเดลทั้ง 3 โมเดล จากข้อมูลที่เหมาะสมคือจำนวน Epoch ที่จะทำให้โมเดลมีความแม่นยำเกินร้อยละ 75 ของโมเดล resnet50, resnet101 และ resnet152 มีค่าประมาณ 8, 16 และ 23 Epoch ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบเรากำหนดจำนวน Epoch เท่ากับ 20 เท่ากันทั้ง 3 โมเดล แนวโน้มของโมเดลที่ต้องการจำนวน Epoch ในการเรียนรู้ค่อยๆ จะมีความแม่นยำสูงสุด แต่ผลการทดลองปรากฏว่าโมเดล resnet152 มีค่าความแม่นยำสูงสุด

4.2.1.2 ผลการทดสอบขั้นตอนการตรวจสอบ

ผลการทดสอบขั้นตอนการตรวจสอบโมเดล resnet50, resnet101 และ resnet152 โดยแต่ละโมเดลมีการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการตรวจสอบ โมเดล resnet50, resnet101 และ resnet152

โมเดล	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss	ความแม่นยำ	ค่า Loss
resnet50	88	0.351	88	0.351	88	0.351
resnet101	87	0.432	87	0.432	87	0.432
resnet152	87	0.488	87	0.488	90	0.334

จากผลการทดสอบในขั้นตอนการตรวจสอบ พบว่าโมเดลทั้ง 3 โมเดลที่ถูกเรียกมาตรวจสอบพบว่ามีค่าถูกต้องเป็นไปตามครั้งที่ทำการทดสอบ ยกตัวอย่างการนำโมเดล resnet152 ไปผ่านขั้นตอนการสอนครั้งที่ 2 จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุดจากตารางที่ 4.6 คือร้อยละ 87 และมีค่า Loss เท่ากับ 0.488 จากนั้นเมื่อเรียกโมเดลดังกล่าวมาตรวจสอบภายหลังพบว่ามีค่าความแม่นยำและค่า Loss เท่าเดิม และเมื่อนำโมเดล resnet152 ไปผ่านขั้นตอนการสอนครั้งที่ 3 จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุดที่มากกว่าครั้งที่ 2 จากตารางที่ 4.6 คือร้อยละ 90 และมีค่า Loss เท่ากับ 0.334 และเมื่อนำมาตรวจสอบก็พบว่ามีค่าความแม่นยำ และค่า Loss เปลี่ยนไปเป็นค่าใหม่

อภิปรายผลการทดลอง ขั้นตอนการตรวจสอบได้ถูกใช้ในการตรวจสอบโมเดลที่ถูกบันทึกไว้เพื่อเรียกขึ้นมาใช้งานภายหลัง ว่ามีค่าความแม่นยำและค่า Loss เป็นไปตามที่บันทึกโมเดลมาหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

4.2.1.3 ผลการทดสอบขั้นตอนการทดสอบ

ผลการทดสอบขั้นตอนการทดสอบโมเดล resnet50, resnet101 และ resnet152 โดยแต่ละโมเดลมีการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.15

ภาพที่ใช้คือภาพที่ผ่านการตัดป้ายชื่อจากนักพยาธิแพทย์แล้วซึ่งภาพลำดับที่ 1 ถึง 20 คือภาพเชิงลบหรือเป็นภาพที่ไม่เป็นมะเร็ง และภาพลำดับที่ 21 ถึง 60 คือภาพเชิงบวกหรือภาพที่เป็นมะเร็ง

ตารางที่ 4.7 ถึง ตารางที่ 4.15 จะประกอบไปด้วยชื่อรูปภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ในช่วง 0 ถึง 1 (ถ้าตัวเลขเข้าใกล้ 1 แปลว่าภาพนั้นจะเป็นภาพเชิงลบ และถ้าตัวเลขเข้าใกล้ 0 แปลว่าภาพนั้นจะเป็นภาพเชิงบวก) และความหมาย คือการอ่านความหมายถึงจากตัวเลขว่าเป็นภาพเชิงบวกหรือเชิงลบ

ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet50 ครั้งที่ 1

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.2445	Positive	31	0.190533	Positive
2	0.750567	Negative	32	0.0982	Positive
3	0.711133	Negative	33	0.6549	Negative
4	0.558133	Negative	34	0.655667	Negative
5	0.750067	Negative	35	0.0527	Positive
6	0.6343	Negative	36	0.2845	Positive
7	0.786367	Negative	37	0.254033	Positive
8	0.5504	Negative	38	0.242067	Positive
9	0.580933	Negative	39	0.220033	Positive
10	0.6244	Negative	40	0.146767	Positive
11	0.713733	Negative	41	0.366867	Positive
12	0.711867	Negative	42	0.3156	Positive
13	0.863133	Negative	43	0.1936	Positive
14	0.815433	Negative	44	0.285733	Positive
15	0.5044	Negative	45	0.4924	Positive
16	0.6005	Negative	46	0.1465	Positive
17	0.777633	Negative	47	0.2933	Positive
18	0.9719	Negative	48	0.0751	Positive
19	0.843667	Negative	49	0.2864	Positive
20	0.951333	Negative	50	0.1297	Positive
21	0.3843	Positive	51	0.1419	Positive
22	0.291767	Positive	52	0.172	Positive
23	0.139367	Positive	53	0.072333	Positive
24	0.082167	Positive	54	0.0561	Positive
25	0.113233	Positive	55	0.340767	Positive
26	0.3992	Positive	56	0.1287	Positive
27	0.285833	Positive	57	0.104867	Positive
28	0.7232	Negative	58	0.172533	Positive
29	0.2259	Positive	59	0.146333	Positive
30	0.4398	Positive	60	0.188333	Positive

ตารางที่ 4.8 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet50 ครั้งที่ 2

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.327433	Positive	31	0.269	Positive
2	0.8168	Negative	32	0.118067	Positive
3	0.7987	Negative	33	0.7047	Negative
4	0.681967	Negative	34	0.705333	Negative
5	0.875467	Negative	35	0.033367	Positive
6	0.774633	Negative	36	0.352967	Positive
7	0.9164	Negative	37	0.283867	Positive
8	0.6639	Negative	38	0.254267	Positive
9	0.726967	Negative	39	0.2923	Positive
10	0.738867	Negative	40	0.1918	Positive
11	0.840833	Negative	41	0.550033	Negative
12	0.8643	Negative	42	0.354367	Positive
13	0.9343	Negative	43	0.173833	Positive
14	0.919933	Negative	44	0.4604	Positive
15	0.570267	Negative	45	0.627833	Negative
16	0.727767	Negative	46	0.168533	Positive
17	0.9189	Negative	47	0.435133	Positive
18	0.979267	Negative	48	0.104	Positive
19	0.849633	Negative	49	0.296167	Positive
20	0.957167	Negative	50	0.1601	Positive
21	0.5438	Negative	51	0.1899	Positive
22	0.391733	Positive	52	0.3416	Positive
23	0.1432	Positive	53	0.1407	Positive
24	0.0876	Positive	54	0.099	Positive
25	0.1058	Positive	55	0.370233	Positive
26	0.501733	Negative	56	0.1119	Positive
27	0.395467	Positive	57	0.1351	Positive
28	0.704433	Negative	58	0.1953	Positive
29	0.2604	Positive	59	0.217967	Positive
30	0.637833	Negative	60	0.2996	Positive

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet50 ครั้งที่ 3

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.290167	Positive	31	0.2427	Positive
2	0.8168	Negative	32	0.1234	Positive
3	0.7987	Negative	33	0.7156	Negative
4	0.681967	Negative	34	0.717867	Negative
5	0.875467	Negative	35	0.032533	Positive
6	0.774633	Negative	36	0.359133	Positive
7	0.9189	Negative	37	0.283867	Positive
8	0.6696	Negative	38	0.216133	Positive
9	0.726967	Negative	39	0.2315	Positive
10	0.721	Negative	40	0.2132	Positive
11	0.830167	Negative	41	0.5802	Negative
12	0.8471	Negative	42	0.354367	Positive
13	0.885967	Negative	43	0.173833	Positive
14	0.919933	Negative	44	0.3804	Positive
15	0.575633	Negative	45	0.572867	Negative
16	0.744533	Negative	46	0.151567	Positive
17	0.858433	Negative	47	0.467767	Positive
18	0.977233	Negative	48	0.114867	Positive
19	0.8365	Negative	49	0.296167	Positive
20	0.957167	Negative	50	0.1595	Positive
21	0.5438	Negative	51	0.192733	Positive
22	0.412467	Positive	52	0.276	Positive
23	0.1197	Positive	53	0.146967	Positive
24	0.081267	Positive	54	0.107	Positive
25	0.1058	Positive	55	0.370233	Positive
26	0.501733	Negative	56	0.1119	Positive
27	0.385933	Positive	57	0.1452	Positive
28	0.704433	Negative	58	0.1836	Positive
29	0.2168	Positive	59	0.217967	Positive
30	0.637833	Negative	60	0.2688	Positive

ตารางที่ 4.10 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet101 ครั้งที่ 1

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.581833	Negative	31	0.2835	Positive
2	0.699933	Negative	32	0.1841	Positive
3	0.4086	Positive	33	0.413733	Positive
4	0.499367	Positive	34	0.436733	Positive
5	0.689133	Negative	35	0.1374	Positive
6	0.457333	Positive	36	0.4543	Positive
7	0.657867	Negative	37	0.1819	Positive
8	0.596033	Negative	38	0.3501	Positive
9	0.501067	Negative	39	0.4181	Positive
10	0.632367	Negative	40	0.119967	Positive
11	0.695033	Negative	41	0.4141	Positive
12	0.632467	Negative	42	0.537967	Negative
13	0.741467	Negative	43	0.295233	Positive
14	0.6715	Negative	44	0.315633	Positive
15	0.437933	Positive	45	0.367567	Positive
16	0.553267	Negative	46	0.2272	Positive
17	0.589	Negative	47	0.395767	Positive
18	0.929067	Negative	48	0.2759	Positive
19	0.7212	Negative	49	0.323933	Positive
20	0.636333	Negative	50	0.1187	Positive
21	0.4338	Positive	51	0.213267	Positive
22	0.3903	Positive	52	0.224067	Positive
23	0.1012	Positive	53	0.2497	Positive
24	0.193167	Positive	54	0.2064	Positive
25	0.287267	Positive	55	0.249167	Positive
26	0.460967	Positive	56	0.189467	Positive
27	0.2488	Positive	57	0.1008	Positive
28	0.511467	Negative	58	0.263667	Positive
29	0.2387	Positive	59	0.225867	Positive
30	0.4669	Positive	60	0.211667	Positive

ตารางที่ 4.11 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet101 ครั้งที่ 2

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.6767	Negative	31	0.2324	Positive
2	0.700867	Negative	32	0.1999	Positive
3	0.4099	Positive	33	0.439767	Positive
4	0.499367	Positive	34	0.408267	Positive
5	0.679467	Negative	35	0.1638	Positive
6	0.431867	Positive	36	0.4147	Positive
7	0.705133	Negative	37	0.198067	Positive
8	0.620867	Negative	38	0.4141	Positive
9	0.501067	Negative	39	0.365367	Positive
10	0.6927	Negative	40	0.1197	Positive
11	0.695033	Negative	41	0.343033	Positive
12	0.637533	Negative	42	0.4943	Positive
13	0.741467	Negative	43	0.2286	Positive
14	0.6336	Negative	44	0.3375	Positive
15	0.4534	Positive	45	0.357033	Positive
16	0.474	Positive	46	0.2621	Positive
17	0.5735	Negative	47	0.394333	Positive
18	0.929067	Negative	48	0.2759	Positive
19	0.7182	Negative	49	0.329467	Positive
20	0.8372	Negative	50	0.125133	Positive
21	0.3856	Positive	51	0.205333	Positive
22	0.3609	Positive	52	0.218633	Positive
23	0.1058	Positive	53	0.2458	Positive
24	0.1649	Positive	54	0.2092	Positive
25	0.306733	Positive	55	0.240133	Positive
26	0.4732	Positive	56	0.1884	Positive
27	0.2488	Positive	57	0.154167	Positive
28	0.449	Positive	58	0.291733	Positive
29	0.2387	Positive	59	0.219133	Positive
30	0.4669	Positive	60	0.2552	Positive

ตารางที่ 4.12 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet101 ครั้งที่ 3

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.581833	Negative	31	0.1813	Positive
2	0.7018	Negative	32	0.1999	Positive
3	0.409033	Positive	33	0.439767	Positive
4	0.499367	Positive	34	0.436733	Positive
5	0.689133	Negative	35	0.1374	Positive
6	0.457333	Positive	36	0.3949	Positive
7	0.705133	Negative	37	0.198067	Positive
8	0.596033	Negative	38	0.3821	Positive
9	0.425	Positive	39	0.391733	Positive
10	0.5117	Negative	40	0.120233	Positive
11	0.712967	Negative	41	0.343033	Positive
12	0.6426	Negative	42	0.5598	Negative
13	0.711733	Negative	43	0.361867	Positive
14	0.6336	Negative	44	0.326567	Positive
15	0.437933	Positive	45	0.357033	Positive
16	0.553267	Negative	46	0.2621	Positive
17	0.589	Negative	47	0.394333	Positive
18	0.933733	Negative	48	0.3323	Positive
19	0.7212	Negative	49	0.335	Positive
20	0.736767	Negative	50	0.131567	Positive
21	0.4097	Positive	51	0.205333	Positive
22	0.3609	Positive	52	0.2132	Positive
23	0.1012	Positive	53	0.2497	Positive
24	0.179033	Positive	54	0.2064	Positive
25	0.3262	Positive	55	0.2582	Positive
26	0.460967	Positive	56	0.1884	Positive
27	0.2422	Positive	57	0.207533	Positive
28	0.480233	Positive	58	0.263667	Positive
29	0.248133	Positive	59	0.225867	Positive
30	0.5047	Negative	60	0.2552	Positive

ตารางที่ 4.13 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet152 ครั้งที่ 1

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.4587	Positive	31	0.286733	Positive
2	0.573533	Negative	32	0.226267	Positive
3	0.5507	Negative	33	0.528667	Negative
4	0.3208	Positive	34	0.5183	Negative
5	0.555533	Negative	35	0.1845	Positive
6	0.526633	Negative	36	0.582933	Negative
7	0.557167	Negative	37	0.354367	Positive
8	0.541233	Negative	38	0.354433	Positive
9	0.4126	Positive	39	0.386567	Positive
10	0.6068	Negative	40	0.271367	Positive
11	0.5551	Negative	41	0.4288	Positive
12	0.6109	Negative	42	0.461133	Positive
13	0.612167	Negative	43	0.401	Positive
14	0.8369	Negative	44	0.465667	Positive
15	0.2965	Positive	45	0.2738	Positive
16	0.5065	Negative	46	0.3798	Positive
17	0.653767	Negative	47	0.5496	Negative
18	0.880767	Negative	48	0.294833	Positive
19	0.8072	Negative	49	0.379367	Positive
20	0.847933	Negative	50	0.223933	Positive
21	0.570067	Negative	51	0.3067	Positive
22	0.369467	Positive	52	0.3162	Positive
23	0.1832	Positive	53	0.3684	Positive
24	0.2385	Positive	54	0.2304	Positive
25	0.218967	Positive	55	0.313667	Positive
26	0.343933	Positive	56	0.3535	Positive
27	0.256267	Positive	57	0.2419	Positive
28	0.461267	Positive	58	0.448233	Positive
29	0.286	Positive	59	0.424467	Positive
30	0.549133	Negative	60	0.3835	Positive

ตารางที่ 4.14 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet152 ครั้งที่ 2

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.4294	Positive	31	0.283167	Positive
2	0.573533	Negative	32	0.166	Positive
3	0.5507	Negative	33	0.528667	Negative
4	0.3174	Positive	34	0.519967	Negative
5	0.547367	Negative	35	0.2008	Positive
6	0.512167	Negative	36	0.534867	Negative
7	0.552933	Negative	37	0.3781	Positive
8	0.5329	Negative	38	0.354433	Positive
9	0.473267	Positive	39	0.386567	Positive
10	0.6074	Negative	40	0.271367	Positive
11	0.5623	Negative	41	0.384367	Positive
12	0.5863	Negative	42	0.421067	Positive
13	0.589333	Negative	43	0.4032	Positive
14	0.831033	Negative	44	0.465667	Positive
15	0.343767	Positive	45	0.3821	Positive
16	0.559367	Negative	46	0.3798	Positive
17	0.653767	Negative	47	0.5552	Negative
18	0.8865	Negative	48	0.2957	Positive
19	0.7863	Negative	49	0.379367	Positive
20	0.8336	Negative	50	0.207167	Positive
21	0.534	Negative	51	0.2285	Positive
22	0.369467	Positive	52	0.3065	Positive
23	0.26	Positive	53	0.3671	Positive
24	0.251	Positive	54	0.2304	Positive
25	0.210833	Positive	55	0.322233	Positive
26	0.343933	Positive	56	0.3395	Positive
27	0.274	Positive	57	0.2419	Positive
28	0.4974	Positive	58	0.462167	Positive
29	0.277267	Positive	59	0.424467	Positive
30	0.549133	Negative	60	0.3936	Positive

ตารางที่ 4.15 ตารางผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ โมเดล resnet152 ครั้งที่ 3

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	0.372367	Positive	31	0.126167	Positive
2	0.892533	Negative	32	0.029267	Positive
3	0.357	Positive	33	0.4766	Positive
4	0.1749	Positive	34	0.521167	Negative
5	0.819133	Negative	35	0.0342	Positive
6	0.740667	Negative	36	0.481867	Positive
7	0.7573	Negative	37	0.198833	Positive
8	0.7	Negative	38	0.142167	Positive
9	0.527	Negative	39	0.261633	Positive
10	0.647567	Negative	40	0.0732	Positive
11	0.625533	Negative	41	0.2334	Positive
12	0.6592	Negative	42	0.2217	Positive
13	0.5452	Negative	43	0.169067	Positive
14	0.911667	Negative	44	0.319233	Positive
15	0.1516	Positive	45	0.2178	Positive
16	0.673467	Negative	46	0.2001	Positive
17	0.834733	Negative	47	0.637333	Negative
18	0.9702	Negative	48	0.172767	Positive
19	0.897033	Negative	49	0.337333	Positive
20	0.970067	Negative	50	0.0376	Positive
21	0.5869	Negative	51	0.1238	Positive
22	0.248	Positive	52	0.261867	Positive
23	0.02	Positive	53	0.0686	Positive
24	0.038267	Positive	54	0.054333	Positive
25	0.084533	Positive	55	0.134667	Positive
26	0.4876	Positive	56	0.0645	Positive
27	0.0935	Positive	57	0.0882	Positive
28	0.322167	Positive	58	0.4158	Positive
29	0.050133	Positive	59	0.2983	Positive
30	0.477233	Positive	60	0.367767	Positive

จากนั้นจึงทำการเก็บค่า True positive, False positive, True negative และ False negative จากผลการทดสอบตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.15 ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางบันทึกผล TP, FP, TN และ FN ของทั้ง 3 โมเดล

โมเดล	การทดสอบ ครั้งที่	TP	FP	TN	FN
resnet50	1	37	1	19	3
	2	32	1	19	8
	3	32	1	19	8
	รวม	101	3	57	19
resnet101	1	38	4	16	2
	2	40	5	15	0
	3	38	5	15	2
	รวม	116	14	46	4
resnet152	1	34	4	16	6
	2	34	4	16	6
	3	37	4	16	3
	รวม	105	12	48	15

จากตารางที่ 4.16 ทำการคำนวณค่าความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะ ในแต่ละโมเดลออกมา ซึ่งจะได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะ ของทั้ง 3 โมเดล

โมเดล	ความแม่นยำ (%)	ความไว (%)	ความจำเพาะ (%)
resnet50	88	84	95
resnet101	90	97	77
resnet152	85	88	80

จากตารางที่ 4.17 พบว่าโมเดลที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือโมเดล resnet101 ซึ่งมีความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 90 โมเดลที่มีความไวมากที่สุดคือโมเดล resnet101 ซึ่งมีความไวเท่ากับ

ร้อยละ 97 และโมเดลที่มีความจำเพาะมากที่สุดคือโมเดล resnet50 ซึ่งมีความจำเพาะเท่ากับร้อยละ 95

อภิปรายผลการทดลองขั้นตอนการทดสอบ พบว่าโมเดลที่ผ่านขั้นตอนการสอนที่มีความแม่นยำมากที่สุด คือโมเดล resnet152 แต่ในขั้นตอนการทดสอบโมเดล resnet152 กลับมีความแม่นยำน้อยที่สุดในทางตรงกันข้ามโมเดล resnet101 ที่มีความแม่นยำในขั้นตอนการสอนน้อยที่สุด กลับมีความแม่นยำมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 90 และมากกว่านั้นโมเดล resnet101 ยังมีความไวมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 97 อีกด้วย ซึ่งหมายความว่าโมเดล resnet101 สามารถแยกแยะรูปภาพเชิงบวกและเชิงลบ โดยมีอัตราความถูกต้อง 9 ใน 10 รูป และเป็นโมเดลที่ป้องกันผลบวกปลอม (False positive) ได้ดี เนื่องจากมีความไวสูง และพบว่าโมเดล resnet50 เป็นโมเดลที่มีค่าความจำเพาะมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 95 ซึ่งหมายความว่าโมเดล resnet50 เป็นโมเดลที่ป้องกันผลลบปลอม (False negative) ได้ดี เนื่องจากมีความจำเพาะสูง

ผลการทดสอบขั้นตอนการทดสอบมีผลการทดลองไม่เป็นไปตามสมมติฐาน เนื่องจากสมมติฐานคือโมเดลที่มีค่าความแม่นยำในขั้นตอนการสอนมากที่สุด ควรจะเป็นโมเดลที่มีค่าความแม่นยำ ความไวและความจำเพาะมากที่สุดในขั้นตอนการทดสอบ อาจเป็นเพราะว่าในขั้นตอนการปรับปรุงรูปภาพในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ เป็นการกระทำแบบสุ่มของอัลกอริทึมเอง ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลที่แตกต่างออกไปจากสมมติฐานในขั้นตอนการทดสอบ

4.2.2 ผลการทดสอบนำภาพที่ได้จากอุปกรณ์ของปริณญาณิพนธ์นี้มาทดสอบด้วยโมเดลที่มีความแม่นยำมากที่สุดจากขั้นตอนการสอนจากหัวข้อ 4.2.1

ผลการทดลองการนำภาพที่ถ่ายจากฮาร์ดแวร์มาทดสอบด้วยโมเดลที่ได้สอนโดยภาพที่ผ่านการติดป้ายชื่อ (Label) จากนักพยาธิแพทย์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบว่าหากโมเดลถูกทดสอบด้วยภาพที่ถูกเก็บมาจากอุปกรณ์ต่างกันจะสามารถใช้งานได้หรือไม่ โดยผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.18

ภาพที่ใช้ในการทดสอบนี้ถูกติดป้ายชื่อจากนักพยาธิแพทย์ โดยแบ่งเป็นภาพเชิงลบ 10 รูป และภาพเชิงบวก 10 รูป

ตารางที่ 4.18 ตารางผลการทดสอบกับภาพที่ได้จากอุปกรณ์ของปริญญาโทนี่

รูปที่	ผลลัพธ์	ความหมาย	ผลจากการเทียบจาก ป้ายชื่อรูปภาพ
1	0.723333	Negative	True negative
2	0.569233	Negative	True negative
3	0.727267	Negative	True negative
4	0.788067	Negative	True negative
5	0.806233	Negative	True negative
6	0.577333	Negative	True negative
7	0.7224	Negative	True negative
8	0.220033	Positive	False positive
9	0.246967	Positive	False positive
10	0.1957	Positive	False positive
11	0.6783	Negative	False negative
12	0.8622	Negative	False negative
13	0.7326	Negative	False negative
14	0.473167	Positive	True positive
15	0.2203	Positive	True positive
16	0.234433	Positive	True positive
17	0.2386	Positive	True positive
18	0.1806	Positive	True positive
19	0.2185	Positive	True positive
20	0.212167	Positive	True positive

จากผลการทดสอบกับภาพที่ได้จากอุปกรณ์ของปริญญาโทนี่มาทดสอบด้วยโมเดลที่มีความแม่นยำมากที่สุดจากขั้นตอนการสอนจากหัวข้อ 3.2.1 ทำการคำนวณหาความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ตารางค่าความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะ ของการทดสอบกับภาพจากอุปกรณ์ของปัญญาประดิษฐ์

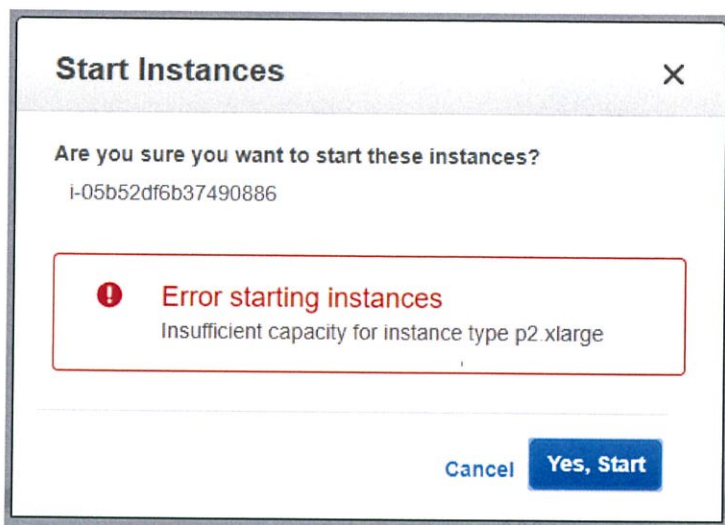
โมเดล	ความแม่นยำ (%)	ความไว (%)	ความจำเพาะ (%)
resnet152	70	70	70

จากการคำนวณความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะของการทดสอบ พบว่าจากรูปภาพจำนวน 20 รูป แบ่งเป็นภาพเชิงลบ 10 รูป และภาพเชิงบวก 10 รูป เมื่อนำไปทดสอบด้วยโมเดลการตัดแยกภาพปกติ กับภาพเซลล์มะเร็งพบว่า โปรแกรมถูกต้องจำนวน 14 รูปภาพ ประกอบด้วย True negative 7 รูป และ True positive 7 รูป และโปรแกรมให้ผลผิดจำนวน 6 รูป ประกอบด้วย False negative 3 รูป และ False positive 3 รูป

อภิปรายผลการทดลองได้ว่า การสอนโมเดลให้รู้จักกับภาพเชิงลบหรือภาพปกติ และภาพเชิงบวกหรือภาพที่มีเซลล์มะเร็ง จากเว็บไซต์ที่เผยแพร่ภาพเซลล์มะเร็งปากมดลูกที่ผ่านการตัดป้ายชื่อ เมื่อนำโมเดลดังกล่าวมาทดสอบกับรูปภาพจากอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นมา ผลการทดลองทำให้ทราบว่าภาพเชิงบวกภาพเชิงลบที่ถูกใช้ในขั้นตอนการสอน ขั้นตอนการตรวจสอบ และขั้นตอนการทดสอบควรเป็นภาพที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เนื่องจากมีผลต่อการแยกแยะภาพของโมเดลซึ่งทำให้ผลการทดสอบมีความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะของโปรแกรมลดลง

4.3 ผลการทดสอบการประมวลผลและเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆ

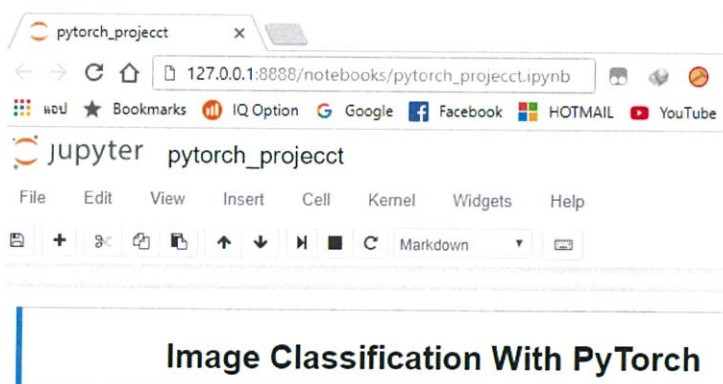
การทดสอบการประมวลผลบนกลุ่มเมฆโดยใช้เซิร์ฟเวอร์ของอเมซอน (Amazon web service) โซน Asia Pacific (Singapore) มีจำนวน Instance Type ชื่อ p2.xlarge ไม่เพียงพอต่อผู้ใช้งานที่ต้องการใช้งาน (ดังรูปที่ 4.4) เหตุผลที่เลือก p2.xlarge เพราะเป็น Instance ชนิดที่รองรับการประมวลที่ต้องการใช้ GPU ที่มี CUDA จำนวนมาก (p2.xlarge เป็น Instance Type ที่ต้องจ่ายเงินเพื่อเข้าใช้งานเป็นรายชั่วโมง หรือต้องจ่ายเงินเป็นรายเดือนเพื่อให้สามารถเข้าใช้งานได้ตลอดเวลา) ดังนั้นผู้วิจัยจึงแก้ไขโดยการเปลี่ยนจาก p2.xlarge เป็น t2.micro (เป็น Instance ที่สามารถเข้าใช้งานได้ฟรี แต่จะเป็น Instance ที่มีแต่เพียง CPU เท่านั้น ไม่มี GPU) ซึ่ง t2.micro สามารถเปิดเซิร์ฟเวอร์ได้ (ดังรูปที่ 4.5) และสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูล ไฟล์รูปภาพเพื่อไปเก็บบนเซิร์ฟเวอร์ รวมถึงการเคลื่อนย้ายซอฟต์แวร์หรืออัลกอริทึมเข้าไปยังเซิร์ฟเวอร์ และสามารถเข้าสู่ Jupyter notebook ที่อยู่บนเซิร์ฟเวอร์ได้ แต่ไม่สามารถใช้อัลกอริทึมในการประมวลผลภาพได้



รูปที่ 4.4 แสดงถึงจำนวนไม่เพียงพอของ p2.xlarge

Name	Instance ID	Instance Type	Availability Zone	Instance State	Status Checks	Alarm Status	Public DNS (IPv4)	IPv4 Put
	i-05b52df6b37490886	t2.micro	ap-southeast-1b	running	2/2 checks ...	None	ec2-13-250-11-12.ap-s...	13.250.1...

รูปที่ 4.5 แสดงถึงการเปิดเซิร์ฟเวอร์ (running) t2.micro



รูปที่ 4.6 การเข้าสู่ Jupyter notebook ที่อยู่บนเซิร์ฟเวอร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยประกอบไปด้วยส่วนของฮาร์ดแวร์และโปรแกรม ผลการทดลองของฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการถ่ายเก็บรูปสไลด์มะเร็งปากมดลูกที่ได้จากวิธีการ Liquid-based Pap smear มีความสามารถในการถ่ายภาพที่มีการซูมน้อยที่สุดคือ 3.5x มีขอบเขตการมองเห็นลักษณะวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.22 มิลลิเมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 30.40 ตารางมิลลิเมตร และมีความสามารถในการถ่ายภาพที่มีการซูมมากที่สุดคือ 10x มีขอบเขตการมองเห็นลักษณะสี่เหลี่ยมมีขนาด 2.50 x 1.67 มิลลิเมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 4.20 ตารางมิลลิเมตร สเตจของอุปกรณ์สามารถเคลื่อนที่เพื่อถ่ายเก็บสไลด์ โดยมีขนาดใหญ่ที่สุด 1.45 เซนติเมตร x 1.37 เซนติเมตร ผลการทดลองด้านการเคลื่อนที่แกนนอนและแกนตั้งของสเตจ พบว่าการเคลื่อนที่แนวตั้งสามารถทำได้ดี ไม่ก่อให้เกิดภาพเกิดการเบลอ แต่การเคลื่อนที่แนวนอนยังก่อให้เกิดภาพเกิดการเบลอ เพราะฉะนั้นหากต้องการนำไปใช้จริงควรต้องมีการปรับปรุงความเสถียรของตัวมอเตอร์ขับเคลื่อนก่อน

ผลการทดลองด้านโปรแกรมกับภาพเซลล์มะเร็งที่ผ่านการติดป้ายชื่อ ประกอบด้วยขั้นตอนการสอน ขั้นตอนการตรวจสอบ และขั้นตอนการทดสอบ จากการทดลองเมื่อนำโมเดลที่ถูกสอนแล้วไปผ่านขั้นตอนการสอน และขั้นตอนการตรวจสอบแล้ว พบว่าโมเดล resnet50, resnet101 และ resnet152 มีค่าความแม่นยำร้อยละ 88, 87 และ 90 ซึ่งพบว่าโมเดล resnet152 เป็นโมเดลที่มีความแม่นยำมากที่สุด แต่เมื่อนำโมเดลที่ถูกสอนแล้วไปผ่านขั้นตอนการทดสอบ จากนั้นจึงใช้วิธีการทางสถิติคือ Binary Classification จากนั้นจึงคำนวณหาค่าความแม่นยำ (Accuracy), ค่าความไว (Sensitivity) และค่าความจำเพาะ (Specificity) พบว่าโมเดล resnet50 มีค่าร้อยละ 88, 84 และ 95 ตามลำดับ โมเดล resnet101 มีค่าร้อยละ 90, 97 และ 77 ตามลำดับ และโมเดล resnet152 มีค่าร้อยละ 85, 87 และ 80 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโมเดล resnet101 เป็นโมเดลที่มีความแม่นยำและค่าความไวมากที่สุด แต่โมเดล resnet50 เป็นโมเดลที่มีค่าความจำเพาะมากที่สุด

อัลกอริทึมของโปรแกรมในงานวิจัยนี้เป็นการใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาประยุกต์ใช้กับงานทางการแพทย์ ซึ่งก็คือทำโปรแกรมเพื่อช่วยมาทดแทนการขาดแคลนนักพยาธิวิทยาที่มีความเชี่ยวชาญในการอ่านสไลด์เซลล์มะเร็งปากมดลูก การออกแบบอัลกอริทึมในการวิจัยนี้ได้ออกแบบให้โปรแกรมแยกผลการอ่านสไลด์เซลล์มะเร็งเพียง 2 กลุ่ม (คลาส) คือ ผลชนิดลบหรือไม่มีเซลล์มะเร็ง และผลชนิดบวกหรือมีเซลล์มะเร็ง ผลการทดลองกับภาพเซลล์มะเร็งที่ผ่านการติดป้ายชื่อ พบว่าโปรแกรมสามารถแยกแยะภาพที่เป็นเซลล์ปกติ และภาพที่เป็นเซลล์มะเร็งได้ดี โดยมีความแม่นยำระหว่างร้อยละ 85 ถึง 90 จากการทดลอง 3 โมเดล และผลการทดลองกับภาพที่ถ่ายจากอุปกรณ์ของ

งานวิจัยนี้ จำนวน 20 รูป พบว่าเมื่อเราสอนโมเดลด้วยภาพจากแหล่งเก็บภาพที่หนึ่ง และเมื่อนำมาทดสอบหรือใช้งานกับภาพจากแหล่งเก็บภาพอีกที่หนึ่ง ในกรณีที่อุปกรณ์เก็บภาพต่างกัน ภาพที่ได้ อาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นโมเดลไม่ควรใช้ภาพในการเรียนรู้จากแหล่งเก็บภาพที่หนึ่ง เพื่อไปใช้กับภาพจากแหล่งอื่น เพื่อป้องกันการให้ผลผิดพลาด ในการทดสอบนี้พบว่าความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะลดลงโดยคิดเป็นร้อยละ 22.22, 27.84 และ 26.32 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอัลกอริทึมต้องพัฒนาตามมาตรฐานการบ่งบอกระดับเซลล์มะเร็งว่าเป็นมากหรือน้อยตามที่แพทย์ใช้งาน

การทำระบบประมวลผลและเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆ ในส่วนของการประมวลผลยังไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากติดปัญหาของจำนวน Instance type ชื่อ p2.xlarge ที่ต้องการใช้ในการประมวลผล อัลกอริทึมมีจำนวนไม่เพียงพอต่อผู้ใช้ที่ต้องการเข้าไปใช้งาน ดังนั้นจึงไม่มีผลการทดสอบอัลกอริทึมบนกลุ่มเมฆ และในส่วนของ การเก็บข้อมูลสามารถใช้งานได้ผ่าน โดยเลือกใช้ Instance type ชื่อ t2.micro เพื่อทำการทดสอบในส่วนของ การเก็บข้อมูลแทน การมีระบบประมวลผลและเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆจะทำให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งาน สามารถส่งต่อข้อมูล ผลของการอ่านสไลด์ได้รวดเร็วขึ้น และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อคอมพิวเตอร์ราคาแพง ที่มาพร้อมการ์ดจอที่มีกำลังในการประมวลสูงอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. อุปกรณ์ควรมีการปรับปรุงการจัดวางสไลด์ และที่วางสไลด์ในแกนการเคลื่อนที่แนวนอนใหม่ เพื่อแก้ไขปัญหาเกิดการเบลอของภาพเมื่อมีการเลื่อนสไลด์แกนนอน
2. อุปกรณ์ควรมีการปรับปรุงการซูมขนาดมากที่สุด ให้มีค่าซูมมากกว่านี้เพื่อใช้ในการวินิจฉัยที่ต้องการความละเอียดมาก
3. ควรมีการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับกล้องถ่ายภาพ ควบคุมมอเตอร์ รวมถึงการวิเคราะห์ผลไว้ในโปรแกรมตัวเดียว
4. อัลกอริทึมของโปรแกรมควรมีพัฒนาด้านการแบ่งกลุ่มเซลล์มะเร็งให้เป็นไปตามมาตรฐานที่นักพยาธิวิทยาใช้งาน
5. การพัฒนาด้านความแม่นยำของโปรแกรมควรมีทำความร่วมมือกับแพทย์เพื่อให้แพทย์เก็บผลภาพถ่ายจากสไลด์เซลล์มะเร็งปากมดลูกพร้อมทำการติดป้ายชื่อ จุดประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มขนาดของฐานข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมประเภทปัญญาประดิษฐ์ นอกจากนี้ อาจจะมีการประมวลผลภาพ (pre-processing) เพื่อดึงจุดเด่นของภาพออกมาก่อนไปใช้งาน อาจเป็นการช่วยปัญญาประดิษฐ์ให้เรียนรู้ง่ายขึ้น
6. การทำระบบประมวลผลและเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆ ถ้าหากไม่ต้องการที่จะใช้บริการจากผู้ให้บริการที่มีอยู่ อาจพัฒนาเซิร์ฟเวอร์ของตัวเองขึ้นมา เพื่อทดแทนปัญหาจำนวนพื้นที่ใช้งานไม่เพียงพอ

บรรณานุกรม

- กอบกุล ตั้งสินมั่นคง. “การรายงานผลการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกโดยระบบ Bethesda. ” *สงขลานครินทร์เวชสาร ปีที่ 23*. สงขลา : ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2548. หน้า 297-311.
- คณะเจ้าหน้าที่บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). “เซ็นเซอร์รับภาพ แบบ CCD และ CMOS.” [Online]. Available : http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701.2552.
- ชลศณีย์ คล้ายทอง. “มะเร็งปากมดลูก (Cervical cancer).” [Online]. Available : haamor.com/th/มะเร็งปากมดลูก/. 2556.
- ปิยวัฒน์ เลาวหุตานนท์ , อาคม ชัยวีระวัฒน์ , เสาวคนธ์ ศุกรโยธิน , วีรวิทย์ อิมสำราญ และธีรวิทย์ คูหะเปรมะ, (ผู้รวบรวม). “แนวทางการตรวจคัดกรอง วินิจฉัยและรักษาโรคมะเร็งปากมดลูก.” พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โฉมสีการพิมพ์. 2556.
- พลอยไพริน อินทศร. “องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ควรรู้เพื่อการใช้กล้อง.” [Online]. Available : [https://cameresociety.wikispaces.com/องค์ประกอบต่าง+ๆ+ที่ควรรู้เพื่อการใช้กล้อง. \(2560ก\)](https://cameresociety.wikispaces.com/องค์ประกอบต่าง+ๆ+ที่ควรรู้เพื่อการใช้กล้อง. (2560ก))
- พลอยไพริน อินทศร. “หลักการการทำงานของกล้องถ่ายภาพ.” [Online]. Available : [https://cameresociety.wikispaces.com/หลักการการทำงานของกล้องถ่ายภาพ. \(2560ข\)](https://cameresociety.wikispaces.com/หลักการการทำงานของกล้องถ่ายภาพ. (2560ข)).
- พลอยไพริน อินทศร. “ประเภทของเลนส์.” [Online]. Available : [https://cameresociety.wikispaces.com/ประเภทของเลนส์. \(2560ค\)](https://cameresociety.wikispaces.com/ประเภทของเลนส์. (2560ค)).
- ไพโรพนาเวส เลิศคำ. “แหล่งกำเนิดแสง.” [Online]. Available : <https://sites.google.com/a/eisth.org/sciencesection/khea-su-bth-reiyn-withyasastr/withyasastr-prathm-suksa/withyasastr-p-4/saeng-laea-kar-mxng-hen-1/haelng-kaneid-saeng. 2557>.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “กล้องดิจิทัล.” [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/กล้องดิจิทัล. 2560>.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “ความไวและความจำเพาะ.” [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/ความไวและความจำเพาะ. 2560>.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “เซนเซอร์รูปภาพ.” [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/เซนเซอร์รูปภาพ. 2559>.

- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “แสง.” [Online]. Available :<https://th.wikipedia.org/wiki/แสง>. 2561.
- วีทิต วรรณเลิศลักษณ์. “แสงและเลนส์.” [Online]. Available : <http://www.scimath.org/lesson-physics/item/7245-2017-06-12-15-27-50>. 2560.
- โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์. “มะเร็งปากมดลูก.” [Online]. Available : <https://www.bumrungrad.com/th/women-center-health-obgyn-bangkok-thailand/conditions/cervical-cancer>. 2560.
- โรงพยาบาลบีเอ็นเอช. “มะเร็งปากมดลูก (Cervical cancer).” [Online]. Available : <https://www.bnhhospital.com/th/bnh-library/มะเร็งปากมดลูก-cervical-cancer/>. 2560.
- Alexander Hirner. “Transfer learning with PyTorch.” [Online]. Available : <https://towardsdatascience.com/transfer-learning-with-pytorch-72a052297c51>. 2560.
- Anaconda, Inc.. “Anaconda Cloud.” [Online]. Available : <https://anaconda.org/>. 2561.
- Anaconda, Inc... “Installing on Linux.” [Online]. Available : <https://conda.io/docs/user-guide/install/linux.html>. 2560.
- Amazon Web Services, Inc.. “Configure a Windows Client.” [Online]. Available : <https://docs.aws.amazon.com/mxnet/latest/dg/setup-jupyter-configure-client-windows.html>. 2561.
- Athiwat. “CUDA คืออะไร.” [Online]. Available : <https://medium.com/@athivvat/cuda-คืออะไร-baef4ec32963>. 2560.
- Boronow, R.C., Death of the Papanicolaou smear? A tale of three reasons. Am J Obstet Gynecol, 1998. 179(2): p. 391-6.
- David Ziganto. “Configuring CUDA on AWS for Deep Learning with GPUs.” [Online]. Available : <https://dziganto.github.io/aws/cuda/deep%20learning/gpu/python/pytorch/CUDA-on-AWS-for-Deep-Learning/>. 2560.

- Joste, N., Overview of the cytology laboratory: specimen processing through diagnosis. *Obstet Gynecol Clin North Am*, 2008. 35(4): p. 549-63; viii.
- L. Denny et al. Chapter8: Screening for cervical cancer in developing countries. 2006. P. 1- 6
- Lieu, D., The Papanicolaou smear: its value and limitations. *J Fam Pract*, 1996. 42(4): P. 391-9.
- Mandelblatt, J.S., et al., Benefits and costs of using HPV testing to screen for cervical cancer. *JAMA*, 2002. 287(18): p. 2372-81.
- Michael Galarnyk. “**Setup and use Jupyter (IPython) Notebooks on AWS.**” [Online]. Available : <https://towardsdatascience.com/setting-up-and-using-jupyter-notebooks-on-aws-61a9648db6c5>. 2560.
- Monteiro, D.L.M., et al., Prognosis of Intraepithelial Cervical Lesion during Adolescence in Up to Two Years of Follow-Up. *Journal of Pediatric and Adolescent Gynecology*, 2010. 23(4): p. 230-236.
- NCI, Number of all new patients 2003 – 2012 and the leading site of cancer patient in female: 2012, in Hospital-Based Cancer Registry annual report 2012. P. 1-2
- NIKON SALES (THAILAND) CO LTD. “**D3400 คุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิค.**” [Online]. Available : http://www.nikon.co.th/th_TH/product/digital-slr-cameras/d3400#tech_specs. 2560.
- Ostor, A.G., Natural history of cervical intraepithelial neoplasia: a critical review. *Int J Gynecol Pathol*, 1993. 12(2): p. 186-192.
- Project Jupyter. “**Jupyter.**” [Online]. Available : <http://jupyter.org/>. 2561.
- PyTorch Core Team. “**torchvision 0.2.0.**” [Online]. Available : <https://pypi.python.org/pypi/torchvision>. 2561.
- Saraiya, M., et al., Cervical Cancer Screening With Both Human Papillomavirus and Papanicolaou Testing vs Papanicolaou Testing Alone: What Screening Intervals Are Physicians Recommending? *Arch Intern Med*. 170(11): p. 977-986.
- Smith et al. Cancer Screening in the United States, 2015: A Review of Current American Cancer Society Guidelines and Current Issues in Cancer Screening. CA: *Cancer Journal for Clinicians*, 2015. p. 33.

The PyTorch core team. “**Pytorch.**” [Online]. Available : <http://pytorch.org/>. 2561.

WHO, Epidemiological status of cervical cancer, in Cervical Cancer Screening in Developing Countries: report of a WHO consultation 2002, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data: Geneva. P. 3

Wikipedia, the free encyclopedia. “**1951 USAF resolution test chart.**” [Online].

Available : https://en.wikipedia.org/wiki/1951_USAF_resolution_test_chart. 2561

Wikipedia, the free encyclopedia. “**Sensitivity and specificity.**” [Online].

https://en.wikipedia.org/wiki/Sensitivity_and_specificity. 2561.

Wright TC Jr, Schiffman M, Solomon D, et al: Interim guidance for the use of human papillomavirus DNA testing as an adjunct to cervical cytology for screening. Obstet Gynecol. 2004, 103: 304-309.

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิคของ DC servo motor

ตารางคุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิคของ DC servo motor

Specification	Value
Travel	13 mm
Backlash	<15 μm
Bidirectional Repeatability	<5.0 μm
Home Location Accuracy	<5.0 μm
Maximum Load Capacity	40 N (8.99 lb)
Velocity	3.0 mm/s (Max)
Acceleration	10 mm/s ² (Max)
Gearbox Ratio	29791:729 (Approx 41:1)
Limit Switches	Hall Effect Sensor
Lead Screw Pitch	1.0 mm
Motor Type	2-Phase Stepper
Microsteps per Revolution of the Motor	24 Full Steps, 2048 μsteps per Full Step 49,152 μsteps per Revolution
Calculated Minimum Incremental Motion	0.5 nm
Operating Temperature	5 to 40 °C (41 to 104 °F)
Cable Length	0.6 m (2 ft)
Connector	HDDB15
Required Controller	KST101

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิคของ K-Cube Stepper Motor Controller

ตารางคุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิคของ K-Cube Stepper Motor Controller

KST101 Specifications	
Motor Output	
Motor Drive Voltage	12 to 15 V (Depending on Supply)
Motor Drive Current	750 mA (Peak)
Motor Drive Type	12-bit PWM Control
Control Algorithm	Open-Loop Microstepping
Stepping	2048 Microsteps per Full Step
	49,152 Microsteps per Revolution (24 Step Motor ^a)
	409,600 Microsteps per Revolution (200 Step Motor ^b)
Position Feedback	Quadrature Encoder (QEP) Input, 5 V Differential
Encoder Feedback Bandwidth	500 kHz
Position Counter	32 bit
Operating Modes	Position and Velocity
Velocity Profile	Trapezoidal or 'S' Profile
Motor Drive Connector (15 Way D-Type)	
Motor Drive Outputs	Phase A and B
Quadrature Encoder (QEP) Input	Differential
Limit Switch Inputs	Forward, Reverse (+ Common Return)
Encoder Supply	5 V
Front Panel Controls	
Sprung Potentiometer Wheel	Variable-Speed Bidirectional Velocity Control, Forward/Reverse Jogging or Position Presets

KST101 Specifications	
Input Power Requirements	
Voltage	12 to 15 V Regulated DC (15 V Recommended)
Current	1 A (Peak)
General	
Computer Connection	USB 2.0 ^c
Housing Dimensions ^d (W x D x H)	60.0 mm x 60.0 mm x 49.2 mm (2.36" x 2.36" x 1.94")

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของโมเดล Resnet

Deep Residual Learning for Image Recognition

Deeper neural networks are more difficult to train. We present a residual learning framework to ease the training of networks that are substantially deeper than those used previously. We explicitly reformulate the layers as learning residual functions with reference to the layer inputs, instead of learning unreferenced functions. We provide comprehensive empirical evidence showing that these residual networks are easier to optimize, and can gain accuracy from considerably increased depth. On the ImageNet dataset we evaluate residual nets with a depth of up to 152 layers---8x deeper than VGG nets but still having lower complexity. An ensemble of these residual nets achieves 3.57% error on the ImageNet test set. This result won the 1st place on the ILSVRC 2015 classification task. We also present analysis on CIFAR-10 with 100 and 1000 layers. The depth of representations is of central importance for many visual recognition tasks. Solely due to our extremely deep representations, we obtain a 28% relative improvement on the COCO object detection dataset. Deep residual nets are foundations of our submissions to ILSVRC & COCO 2015 competitions, where we also won the 1st places on the tasks of ImageNet detection, ImageNet localization, COCO detection, and COCO segmentation.

Ref : arXiv:1512.03385 (<https://arxiv.org/abs/1512.03385>) for paper

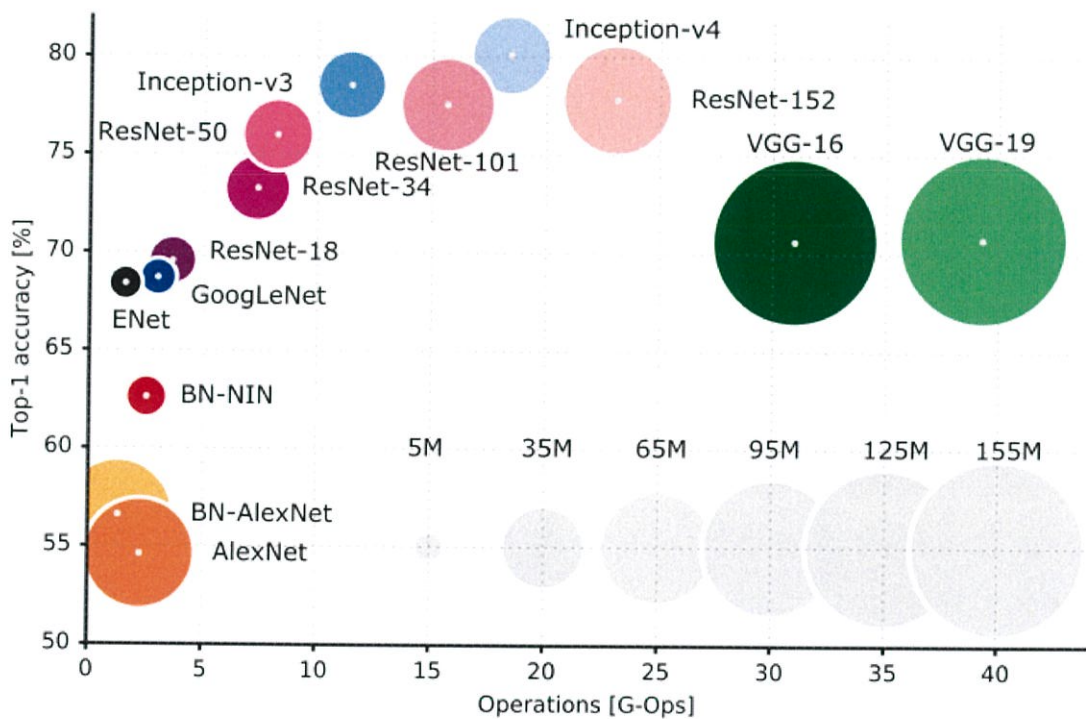
ภาคผนวก ง

รายละเอียดของโมเดล ANN

สถาปัตยกรรมของโมเดล ANN โดยแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่าง Top-1 accuracy และจำนวน EPOCH (Operations)

Top-1 accuracy คือความแม่นยำที่โมเดลทายผลถูกต้อง (ต้องเป็นผลที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุดด้วย) เช่น ถ้าสอนโมเดลให้เรียนรู้ แมว เสือ และสุนัข จากนั้นเรานำภาพแมวไปทดสอบว่าโมเดลจะทายผลเป็นสัตว์ชนิดไหน โดยสมมติว่าได้ค่าดังนี้ เสือ=0.6 แมว=0.3 และสุนัข=0.1 กรณีนี้เราจะไม่นับเพราะโมเดลทายเป็นเสือออกมา

แต่ถ้าหากใช้ Top-5 accuracy สำหรับตัวอย่างที่ตั้งกล่าว เราสามารถนับผลว่าโมเดลทายถูก เพราะแมวยังอยู่ใน 5 อันดับแรกที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุด



Ref :

<https://towardsdatascience.com/transfer-learning-with-pytorch-72a052297c51>

<https://stackoverflow.com/questions/37668902/evaluation-calculate-top-n-accuracy-top-1-and-top-5>

ภาคผนวก จ

รายละเอียดของ PyTorch และ Instance Type ของ AWS

PyTorch

PyTorch is a python package that provides two high-level features:

- Tensor computation (like numpy) with strong GPU acceleration
- PyTorch is quite fast – whether you run small or large neural networks.

PyTorch is a library that consists of the following components:

Package	Description
torch	a Tensor library like NumPy, with strong GPU support
torch.autograd	a tape based automatic differentiation library that supports all differentiable Tensor operations in torch
torch.nn	a neural networks library deeply integrated with autograd designed for maximum flexibility
torch.optim	an optimization package to be used with torch.nn with standard optimization methods such as SGD, RMSProp, LBFGS, Adam etc.
torch.multiprocessing	python multiprocessing, but with magical memory sharing of torch Tensors across processes. Useful for data loading and hogwild training.
torch.utils	DataLoader, Trainer and other utility functions for convenience
torch.legacy(.nn/.optim)	legacy code that has been ported over from torch for backward compatibility reasons

รายละเอียดของ Instance type ของ AWS

Ref : <https://aws.amazon.com/ec2/instance-types/>

Type	vCPUs	Clock Speed (GHz)	Memory (GB)	GPU	GPU Memory (GB)
t2.micro	1	2.5	1	-	-
p2.xlarge	4	2.7	61	Nvidia K80	12