



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์บนคลาวด์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง
Cervical Cancer Cells Classification using Artificial Intelligent on Cloud and Internet of Things

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินอุดหนุนทั่วไป (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
สารบัญภาพ.....	V
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 โครงข่ายประสาทเทียม.....	17
2.2 Classification.....	18
2.3 ระบบการรู้จำใบหน้าหรือ ระบบการจดจำใบหน้า.....	19
2.4 Machine learning for cancer detection.....	19
2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 ทำการออกแบบ และจัดซื้ออุปกรณ์.....	28
3.2 ค่าความละเอียด.....	29
3.3 ค่ามุมมองของภาพ.....	30
3.4 ค่ากำลังขยายหรือซูม.....	30
3.5 ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายเก็บภาพทั้งแผ่นสไลด์.....	30
3.6 ทำการออกแบบตัวยึัดตำแหน่งของอุปกรณ์.....	33
3.7 การออกแบบอัลกอริทึมของโปรแกรมประมวลผล.....	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	36
4.1 การประกอบ Hardware.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์.....	36
บทที่ 5 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	40
5.1 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	40
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย ให้แนบบรรายงานการใช้จ่ายเงิน.....	44
ประวัตินักวิจัย.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

3.1 คุณสมบัติของระบบถ่ายภาพ.....	31
4.1 ผลการทดลองความเป็นรณาบของอุปกรณ์ในแนวนอน.....	37
4.2 ผลการทดลองความเป็นรณาบของอุปกรณ์ในแนวตั้ง.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนตรวจคัดกรองแบบต่าง ๆ.....	1
1.2 ตัวอย่างการเรียนรู้จดจำใบหน้าโดยใช้ Deep Learning.....	4
1.3 Convolutional Neural Network (CNN).....	4
1.4 Flow เปรียบเทียบระหว่าง Machine Learning VS Deep Learning.....	6
1.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Deep Learning Network ในปัจจุบัน.....	6
1.6 การทำงานของ Supervised Learning.....	7
1.7.กระบวนการ Testing.....	7
1.8 ตัวอย่างการ Training และ การ Testing.....	8
1.9 ขั้นตอนการเตรียมภาพ.....	9
1.10 กระบวนการ Training.....	9
1.11 กระบวนการทำงานของ Convolutional Neural Networks.....	9
1.12 การทำ Convolution Layer : CONV.....	10
1.13 ตัวอย่างการคำนวณ Convolution Layer : CONV.....	11
1.14 การทำ Rectified Linear Unit : RELU.....	12
1.15 ตัวอย่างขั้นตอนการทำ Pooling Layer : POOL.....	12
1.16 สรุปการกระบวนการทำงานของ CNNs.....	13
1.17 Machine Learning algorithms.....	13
1.18 แผนผังรูปแบบการเรียนรู้ของ Machine Learning.....	14
1.19 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแบ่งแยกสี.....	15
1.20 ภาพขนาด 13 x 13 pixels ที่มี 2 องค์ประกอบ.....	15
2.1 โครงสร้าง Layer ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	17
2.2 ตัวอย่างของ Classification.....	19
2.3 Hodgkin's Lymphoma Detection.....	19
2.4 Find Hodgkin's Lymphoma.....	20
2.5 Is machine learning a correct approach.....	21
2.6 Deep learning approaches for Hodgkin's Lymphoma detection.....	21

2.7 Stacked Autoencoders.....	22
2.8 Deep Belief Networks using Restricted Boltzmann Machines.....	23
2.9 Overview of deep network for object recognition.....	23
2.10 Object recognition – Hodgkin’s Lymphoma.....	24
2.11 ตัวอย่างการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องภายในร่างกายชนิดมูกว้างด้วยแสงฟลูออเรสเซนส์.....	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

2.12 ภาพตัวอย่างจากชิ้นเนื้อ.....	27
3.1 การออกแบบระบบแสงโดยรวมของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ.....	28
3.2 ภาพระบบจริงที่สามารถถ่ายภาพจากสไลด์ที่เตรียมจาก pap smear ได้.....	28
3.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบถ่ายภาพ.....	29
3.4 USAF-1951.....	29
3.5 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ.....	30
3.6 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ.....	31
3.7 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายต่ำสุด 3.5 ชุม.....	32
3.8 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายมากที่สุด 10 ชุม.....	32
3.9 ฐานยกกล้อง.....	33
3.10 ฐานยึดที่ยกเลนส์.....	33
3.11 ฐานยกเลนส์โก้ววัตถุ.....	33
3.12 ฐานยึดที่ยกเลนส์.....	34
3.13 ฐานบน 3-Axis Linear Stage.....	34
3.14 3-Axis Linear Stage.....	34
3.15 แผนภาพขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม.....	35
4.1 การประกอบ Hardware.....	36
5.1 ตัวอย่างเซลล์ปกติชนิดต่าง ๆ.....	40
5.2 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งชนิดต่าง ๆ.....	41
5.3 ภาพเครื่องสแกนเสร็จสมบูรณ์.....	43

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ระบบคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์บนคลาวด์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง

แหล่งเงิน ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินอุดหนุนทั่วไป (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ.....2561.....จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน.....1,634,500.....บาท

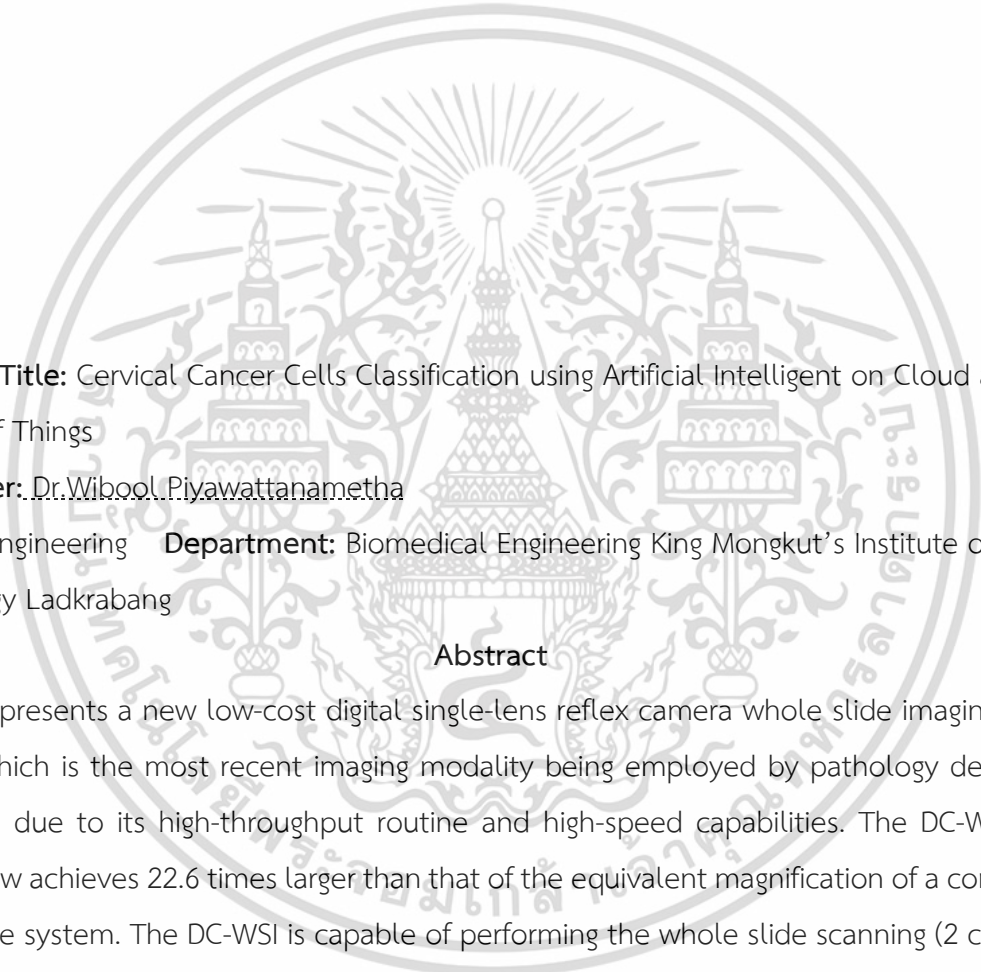
ระยะเวลาทำการวิจัย.....2.....ปี ตั้งแต่.....1 ตุลาคม 2560.....ถึง.....30 กันยายน 2562

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา (หัวหน้าโครงการ) ภาควิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนากล้องที่สามารถดิจิทัลที่มีราคาถูกเพื่อทำการถ่ายภาพสไลด์เนื้อเยื่อด้วยความผิดปกติของเซลล์ในการวินิจฉัยโรคมะเร็ง หรือที่เรียกว่า whole slide (DS-WSI) system. โดยระบบนี้มี field of view มากกว่า Microscope ทั่วไปถึง 22.6 เท่า. ซึ่งระบบนี้สามารถที่สแกนทั้งสไลด์(ขนาด 2 cm^2) ภายในเวลา 2 วินาที

คำสำคัญ กล้องจุลทรรศน์, กล้องส่องตรวจ, whole slide imaging



Research Title: Cervical Cancer Cells Classification using Artificial Intelligent on Cloud and Internet of Things

Researcher: Dr. Wibool Piyawattanametha

Faculty: Engineering **Department:** Biomedical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This work presents a new low-cost digital single-lens reflex camera whole slide imaging (DC-WSI) system, which is the most recent imaging modality being employed by pathology departments worldwide due to its high-throughput routine and high-speed capabilities. The DC-WSI system field of view achieves 22.6 times larger than that of the equivalent magnification of a conventional microscope system. The DC-WSI is capable of performing the whole slide scanning (2 cm²) under 2 seconds.

Keywords: whole slide imaging; low-cost camera



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) ที่เป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัย ประเภทเงินวิจัย จากทุนอุดหนุน การวิจัยประเภทเงินอุดหนุนทั่วไป(งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ 2561 และอนุเคราะห์สถานที่รวมถึง สาธารณูปโภคต่าง ๆ ในการทำวิจัยจาก สจล.จนโครงการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ นักวิจัยขอจึงขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

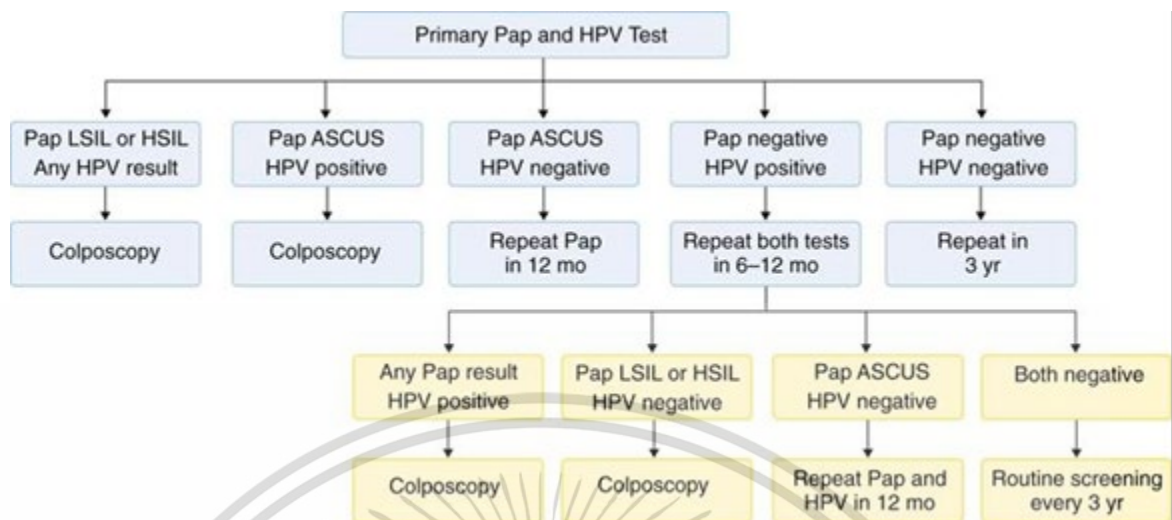
ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒนเมธา



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 แผนการตรวจคัดกรองแบบต่าง ๆ [11]

ในปัจจุบันการตรวจกรองมะเร็งปากมดลูกได้ใช้เทคนิค Pap smear และเทคนิคการตรวจหาดีเอ็นเอของเชื้อไวรัส HPV ซึ่งเทคนิคทั้งสองดังกล่าวได้ถูกยอมรับและถูกนำไปใช้ควบคุมโรคมะเร็งปากมดลูกในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว [1] แต่เทคนิคการตรวจคัดกรองกลับใช้ไม่ได้ผลดีเท่าที่ควรในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาทั่วโลกโดยมากกว่า 80% ของผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกทั้งหมดพบอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนารวมถึงประเทศไทย [2-3] โดยสาเหตุหลักได้แก่ ความขาดแคลนทรัพยากรและบุคลากรทางด้านสาธารณสุข ความรู้ความเข้าใจของประชาชนเกี่ยวกับการตรวจคัดกรองโรคมะเร็งปากมดลูก และข้อจำกัดเรื่องความไว ความจำเพาะ และต้นทุนในการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกของเทคนิคที่ใช้ตรวจคัดกรองที่ใช้อยู่ ในปัจจุบันการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกด้วยเทคนิคทางเซลล์วิทยาหรือ Pap smear มีข้อจำกัดทางเทคนิคคือ การเกิดผลลบลง (false negative) ซึ่งอาจเกิดจากตัวแปรที่บ่งชี้รอยโรคไม่ถูกเก็บมาในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเซลล์จากผู้ป่วยซึ่งแพทย์อาจไม่สามารถเก็บเซลล์ที่ผิดปกติได้หากบริเวณรอยโรคมีขนาดเล็กทำให้ยากในการระบุตำแหน่งบริเวณของรอยโรคหรืออยู่ในบริเวณที่เก็บตัวอย่างเซลล์ได้ยาก รวมถึงขั้นตอนในการเตรียมสไลด์และการย้อมเซลล์ที่มีคุณภาพดี การตรวจหาเซลล์ที่ผิดปกติซึ่งมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างเซลล์ที่เก็บมาจำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการเก็บ เตรียม และตรวจวินิจฉัย [4-6] ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวทำให้เทคนิคทางเซลล์วิทยา หรือ Pap smear เป็นเทคนิคที่มีความไวต่ำ การที่จะนำมาใช้คัดกรองมะเร็งปากมดลูกให้ได้ผลผู้ป่วยจำเป็นต้องมาตรวจซ้ำอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ 2 ปี ทำให้ต้องใช้งบประมาณและบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการบริหารจัดการสูง การพัฒนาเทคนิคการตรวจ DNA ของเชื้อไวรัส HPV ที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งปากมดลูกสามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่อง

ผลลบลง (false negative) ได้ส่วนหนึ่งแต่เนื่องจากเชื้อไวรัส HPV เป็นเชื้อที่พบได้ทั่วไปในกลุ่มประชากร และผู้ป่วยที่ติดเชื้อไวรัส HPV มากกว่า 90% สามารถกำจัดและหายเป็นปกติได้เองโดยไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง [7-8] ทำให้เทคนิคการตรวจ DNA ของเชื้อไวรัส HPV มีความไวเกินไปและมีต้นทุนในการตรวจที่สูงเนื่องจากเทคนิคดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือขั้นสูงเพื่อตรวจหา DNA ของเชื้อไวรัส การตรวจแบบเซลล์วิทยา หรือ Pap smear ร่วมกับการตรวจหา DNA ของเชื้อไวรัส HPV เรียกว่าเทคนิค Co-testing ซึ่งสามารถลดความถี่ของการนัดตรวจซ้ำในกระบวนการตรวจคัดกรองได้เป็นอย่างน้อย 3 ปีต่อครั้งและใช้งบประมาณรวมของการตรวจคัดกรองน้อยกว่าการตรวจคัดกรองที่ใช้เทคนิค Pap smear เพียงอย่างเดียวทุก 2 ปี [9-10] Co-testing จัดเป็นวิธีมาตรฐานในการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกในปัจจุบันตามข้อกำหนดขององค์กรสากลต่าง ๆ เช่น ACOG, ACS และ USPSTF ซึ่งจากข้อจำกัดในเรื่องความไวและความจำเพาะของเทคนิคทั้งสองดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หากพบความผิดปกติจากผลการตรวจจึงจำเป็นต้องทำการตรวจยืนยันโดยการส่องกล้องกำลังขยายต่ำ (Colposcopy) เพื่อหาบริเวณรอยโรคเพื่อตัดชิ้นเนื้อตรวจยืนยันผลด้วยเทคนิคทางพยาธิวิทยาก่อนวางแผนให้การรักษา โดยกระบวนการการบริหารจัดการเพื่อพิจารณาส่งผู้ป่วยตัดชิ้นเนื้อพิสูจน์ผลด้วยเทคนิคทางพยาธิวิทยาหลังจากการตรวจ Pap smear และการตรวจ DNA ของเชื้อไวรัส HPV ดังแสดงในภาพที่ 1.1

จากข้อจำกัดทางด้านเทคนิคและกระบวนการจัดการดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการตรวจรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกต้องใช้เวลานานหลายสัปดาห์ จากข้อมูลรายงานสถิติโรคมะเร็งของสถาบันโรคมะเร็งแห่งชาติ ปี 2555 ที่ผ่านมา จะเห็นว่าจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่เพิ่มขึ้นทุกปี โดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาจนถึงรายงานทางสถิติล่าสุด (ปี 2555) ได้มีผู้ป่วยมะเร็งเพิ่มขึ้นจาก 10.71% ในปี 2546 เป็น 17.77% ในปี 2555 ของผู้ป่วยทั้งหมดของประเทศและยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีก โดยผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกมีจำนวนผู้ป่วยเป็นอันดับที่สองคือ 14.39% ของผู้ป่วยมะเร็งเพศหญิงทั้งหมด [12] จำเป็นต้องนัดผู้ป่วยเพื่อมาตรวจและเก็บตัวอย่างเซลล์หลายครั้ง ทำให้มีโอกาสสูญเสียผู้ป่วยระหว่างการนัดตรวจรักษาได้มาก และยังต้องใช้บุคลากรทางสาธารณสุข ได้แก่ แพทย์, พยาบาล, เจ้าหน้าที่ผู้มีความเชี่ยวชาญในการเตรียมตัวอย่างเซลล์และชิ้นเนื้อและพยาธิแพทย์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบระบบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการทำงานของระบบจะประกอบไปด้วยเครื่องสแกนเซลล์ตัวอย่างที่ได้เก็บมาจากผู้ป่วยในขั้นตอนการทำ Pap smear และทำการส่งภาพของเซลล์ไปยังเครื่องแม่ข่าย (server) ซึ่งเครื่องแม่ข่ายจะทำการคัดกรองเซลล์ ด้วยการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) และส่งผลของการตรวจคัดกรองกลับมา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการนี้ได้มุ่งเน้นการออกแบบระบบในการตรวจคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์ที่ทำงานอยู่บนคลาวด์ โดยระบบนี้จะประกอบไปด้วย 1) เครื่องสแกนตัวอย่างเซลล์ที่ได้จากการ Pap smear ซึ่งเครื่องสแกนนี้สามารถที่จะสแกนเซลล์เนื้อเยื่อที่ได้จากปากมดลูกของผู้ป่วย และทำการบันทึกภาพ รวมถึงส่งภาพไปในเครื่องแม่ข่ายผ่านทางอินเทอร์เน็ต 2) ระบบการประมวลผลเพื่อคัดกรองเซลล์ที่ทำงานอยู่บนเครื่องแม่ข่าย โดยระบบดังกล่าวจะใช้ปัญญาประดิษฐ์ชนิดโครงข่ายประสาท (Neural network) เพื่อทำการคัดกรองภาพของเซลล์ปากมดลูกที่ส่งมาด้วยเครื่องสแกนที่ออกแบบในโครงการวิจัยนี้

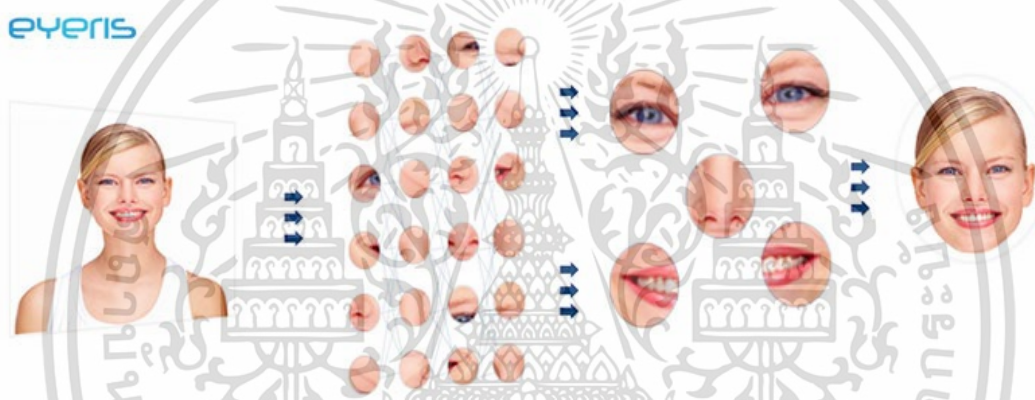
1.4 สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

กระบวนการในการตรวจคัดกรองที่ใช้เวลามากที่สุดในการคัดกรองด้วยเทคนิค Pap smear คือ การส่องตรวจเพื่อหาเซลล์ที่ผิดปกติบนตัวอย่างเนื้อเยื่อที่เก็บมาจากผู้ป่วย เพราะจำนวนของเซลล์ที่ผิดปกติที่บ่งบอกถึงรอยโรคมะเร็งปากมดลูกของเซลล์เรื้องนั้นมีจำนวนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับเซลล์ตัวอย่างทั้งหมด ทำให้ขั้นตอนในการค้นหาเซลล์ที่ผิดปกติดังกล่าวต้องใช้เวลา และความอดทนอย่างมาก ดังนั้นการใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในส่วนของการค้นหาเซลล์ที่ผิดปกตินั้นจะสามารถทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความสะดวกขึ้น ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีเวลาในการตรวจสอบผลการคัดกรองมากขึ้น ความแม่นยำในการตรวจคัดกรองจึงสูงขึ้น ดังนั้นระบบการคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์ในโครงการนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกในปัจจุบันได้

กระบวนการในการตรวจคัดกรองที่ใช้เวลามากที่สุดในการคัดกรองด้วยเทคนิค Pap smear คือ การส่องตรวจเพื่อหาเซลล์ที่ผิดปกติบนตัวอย่างเนื้อเยื่อที่เก็บมาจากผู้ป่วย เพราะจำนวนของเซลล์ที่ผิดปกติที่บ่งบอกถึงรอยโรคมะเร็งปากมดลูกของเซลล์เรื้องนั้นมีจำนวนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับเซลล์ตัวอย่างทั้งหมด ทำให้ขั้นตอนในการค้นหาเซลล์ที่ผิดปกติดังกล่าวต้องใช้เวลา และความอดทนอย่างมาก ดังนั้นการใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในส่วนของการค้นหาเซลล์ที่ผิดปกตินั้นจะสามารถทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความสะดวกขึ้น ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีเวลาในการตรวจสอบผลการคัดกรองมากขึ้น ความแม่นยำในการตรวจคัดกรองจึงสูงขึ้น ดังนั้นระบบการคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์ในโครงการนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกในปัจจุบันได้

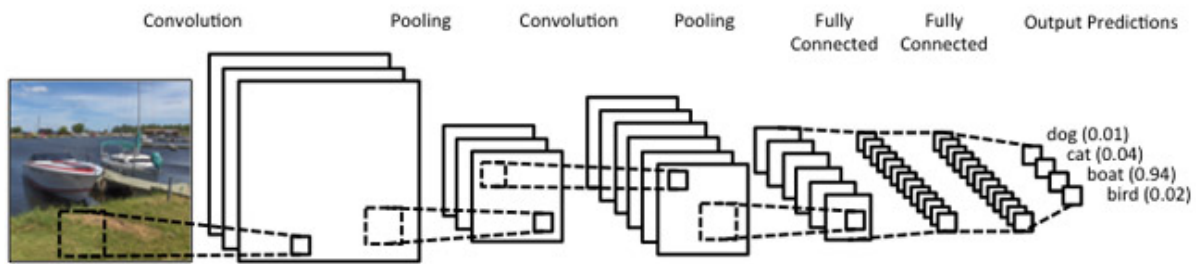
1.4.1 การเรียนรู้เชิงลึก(Dep Learning)

Deep Learning เป็นชุดคำสั่ง (algorithm) ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้เครื่องจักรหรือเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้และเข้าใจได้เหมือนกับมนุษย์ โดยชุดคำสั่งนี้จะทำให้ตัวเครื่องจักรสามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก และมีการจำลองเครือข่ายประสาทแบบเดียวกับในสมองของมนุษย์ เช่น รูปภาพหนึ่งชุดคำสั่งจะทำให้รูปภาพเปลี่ยนเป็นเวกเตอร์ของความสว่างต่อจุดพิกเซล หรือมองในระดับสูงขึ้นเป็นเซตของขอบของวัตถุต่าง ๆ หรือมองว่าเป็นพื้นที่ของรูปร่างใด ๆ ก็ได้ การแทนความหมายดังกล่าวจะทำให้การเรียนรู้ที่จะทำงานต่าง ๆ ทำได้ง่ายขึ้นไม่ว่าจะเป็นการเรียนรู้จดจำใบหน้าหรือการรู้จำการแสดงออกทางสีหน้า จะเห็นได้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยี Deep Learning นั้นสามารถนำไปพัฒนาได้อย่างหลากหลาย



ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างการเรียนรู้จดจำใบหน้าโดยใช้ Deep Learning [23]

Deep Learning คือ Machine Learning ตัวหนึ่งที่ไม่จำกัดการทำงานแต่กับรูปภาพเท่านั้น แต่จะทำงานกับข้อมูลเสียงหรือข้อมูลตัวเลขอื่น ๆ ก็ได้ ซึ่งลักษณะของ Deep Learning ที่ใช้เป็นมาตรฐานในปัจจุบันนั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลประเภทรูปภาพที่แต่ละพิกเซลมีความหมายเชื่อมโยงกัน ทำให้ Deep Learning มีประโยชน์ในการช่วยลดความยุ่งยากในกระบวนการทำ Machine Learning สำหรับข้อมูลรูปภาพลงอย่างมีนัยสำคัญได้ เพราะ การสร้างแบบจำลอง Machine Learning ที่เรียนรู้ข้อมูลจากรูปภาพนั้นจะไม่ใช่ลักษณะของการใส่รูปเข้าไปในแบบจำลองโดยตรง แต่รูปจะต้องผ่านกระบวนการสกัดคุณลักษณะออกมาก่อน แล้วจึงนำคุณลักษณะที่สกัดมาได้ไปใส่ให้แบบจำลอง Machine Learning เรียนรู้ต่อไป



ภาพที่ 1.3 Convolutional Neural Network (CNN)

เทคนิคมาตรฐานของ Deep Learning ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน [24]

ถ้าหากเป็น Machine Learning ในอดีตจะต้องเริ่มจากการคิดก่อนว่าสิ่งใดคือคุณลักษณะที่จะเลือกมาเป็นตัวแทนของความเป็นวัตถุนั้น ๆ เช่น สี ความมันวาวของผิว จำนวนมุม ขนาด ความโค้งงอ ฯลฯ เมื่อสรุปเซตของคุณลักษณะที่จะใช้ได้แล้ว จึงมาสร้างระบบสำหรับสกัดคุณลักษณะดังกล่าวออกจากภาพ แล้วจึงนำกลุ่มของคุณดังกล่าวที่สกัดได้ส่งไปเข้าแบบจำลอง Machine Learning เพื่อเรียนรู้หรือเพื่อทดสอบต่อไป ซึ่งวิธีการดำเนินการขั้นต้นจะทำให้ไม่ทราบคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการแยกวัตถุอย่างแท้จริง ไม่สามารถระบุได้ว่าจะมีคุณลักษณะสักกี่ตัวถึงจะเพียงพอและให้ผลการคัดแยกที่ดีได้ เพราะเป็นการตั้งสมมติฐานและความคิดของผู้วิจัยเองเท่านั้น ทำให้เป็นปัญหาลำดับแรกของ Machine Learning ในอดีตที่ต้องตั้งสมมติฐานและลองทดสอบดูผลด้วยตนเอง

แต่หากเป็น Deep Learning ตรรกะที่มีรูปภาพตัวอย่างมากพอสำหรับใส่เข้าไปให้ Deep Learning ใช้เรียนรู้ จะสามารถตัดปัญหาว่าสิ่งใดคือคุณลักษณะที่สำคัญของวัตถุได้ ทำให้ผู้วิจัยไม่ต้องตั้งสมมติฐานเอง เพราะความซับซ้อนภายในของแบบจำลอง Deep Learning จะช่วยตัดสินใจเลือกให้โดยอัตโนมัติ

1. ความสามารถของ Deep Learning Network

- 1) สามารถทำให้เครื่องจักรเรียนรู้ที่จะทำงานได้ด้วยตนเองโดยอัตโนมัติ
- 2) ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามามันก็จะสามารถเรียนรู้เพิ่มเติมได้ด้วยตนเอง

2. ลักษณะโดยทั่วไปของ Deep Learning Network

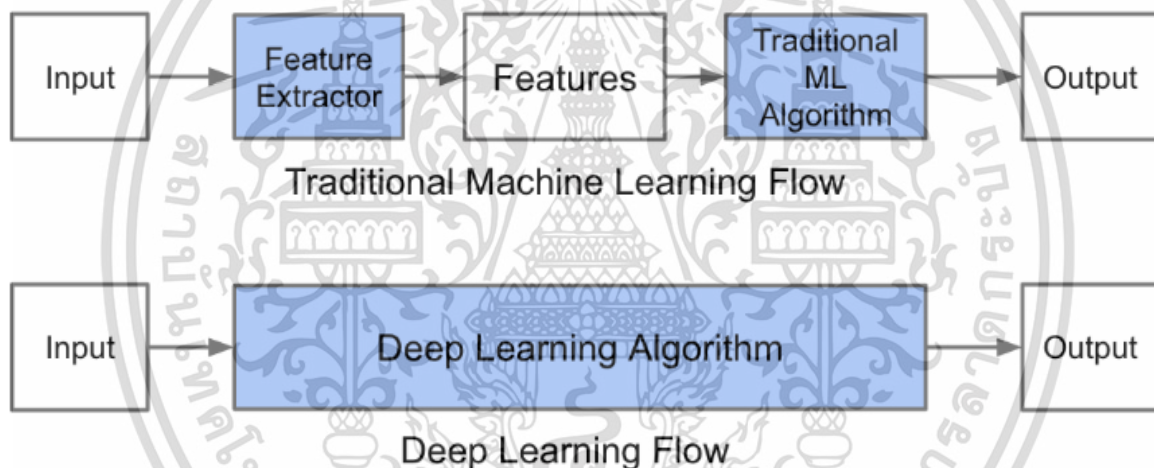
มีโครงสร้างการทำงานคล้ายๆกับอย่างอื่น สามารถทำงานได้หลากหลายบนแอปพลิเคชันที่มีความแตกต่างกันได้

3. ข้อแตกต่างของ Traditional Machine Learning กับ Deep Learning

กระบวนการของ Machine Learning เมื่อป้อน Input เข้าไป โปรแกรมจะทำการ Extract (การสกัด) ข้อมูลต่าง ๆ ออกมาจากข้อมูลที่ทำกร Input เข้าไป เพื่อให้โปรแกรมสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปซึ่งก็คือขั้นตอน Feature Extraction (การสกัดคุณลักษณะ) โดยขั้นตอนนี้จะทำให้ได้คุณลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เด่นของข้อมูล input และลดทรัพยากรของข้อมูลinputเพื่อให้่ายต่อการประมวลผลต่อไป หลังจากขั้นตอน Feature Extraction ประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้ชุดModel ของข้อมูลที่inputเข้ามาใหม่ โดยข้อมูลชุดนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลเดิมที่มีอยู่ เพื่อทำการจัดแยกกลุ่มของข้อมูลและนำข้อมูลไปจัดเก็บสำหรับใช้ทำนายหรือตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลชุดต่อไป ส่วน Deep Learning Network นั้นเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมของ Machine Learning ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะคล้ายกับ Machine Learning เพียงแต่ Deep learning Network ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบอัลกอริทึม และสอนอัลกอริทึมให้กับคอมพิวเตอร์ เพียงแค่ทำการเตรียมข้อมูลภาพตัวอย่างที่ต้องการใช้งานเอาไว้ แล้วนำภาพเหล่านั้นป้อนเข้ากระบวนการของ Machine Learning และโปรแกรมจะทำการประมวลผลโดยอัตโนมัติ แต่หากผู้ใช้ต้องการที่จะทำนายรูปภาพ ก็เพียงแค่ป้อนรูปภาพที่ต้องการทำนายเข้าไป โปรแกรมก็จะทำการประมวลผลเพื่อเปรียบเทียบรูปภาพที่ต้องการทำนายกับข้อมูลรูปภาพที่มีอยู่เพื่อแสดง output ออกมา

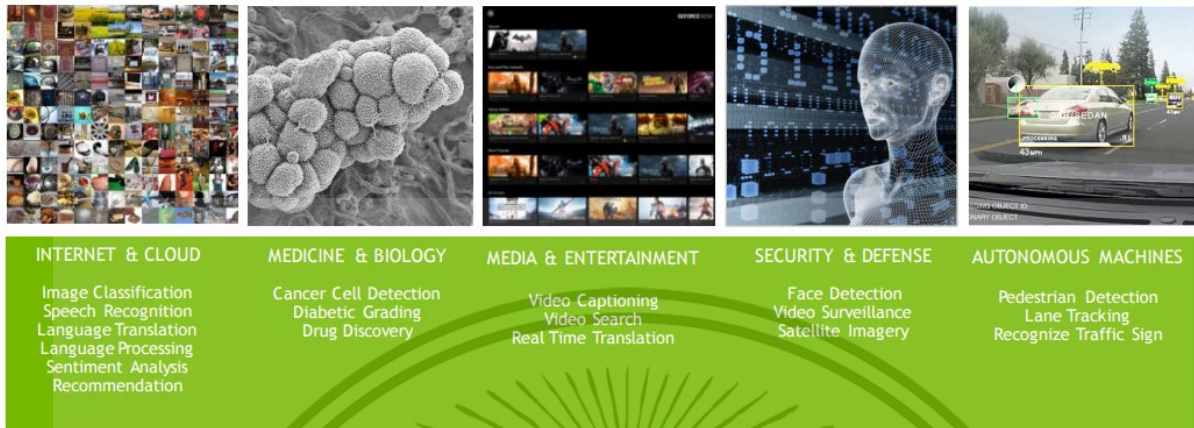


ภาพที่ 1.4 Flow เปรียบเทียบระหว่าง Machine Learning VS Deep Learning [25]

4. การนำ Deep Learning มาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน

- 1) การแยกคน เป็นการแยกแยะใบหน้าแต่ละคน เช่น การติดแท็กใน Google+ และ Facebook
- 2) การแยกวัตถุที่ไม่ใช่คน เป็นการแยกแยะสิ่งมีชีวิต เช่น แยกแมวออกจากสุนัข จากสื่อการแยกแยะสิ่งไม่มีชีวิต เช่น แยกโต๊ะออกจากเก้าอี้
- 3) แยกเสียง เป็นการแยกแยะสำเนียงภาษาพูดให้เป็นภาษาเขียน และการแปลภาษา
- 4) แยกการแต่งกาย เป็นการแยกได้ว่าใครแต่งตัวในสไตล์เดียวกับเราบ้าง แล้วเสนอข้อมูลว่ามีเสื้อผ้าแนวนั้นมีอยู่ที่ไหนบ้าน [26]

DEEP LEARNING EVERYWHERE



ภาพที่ 1.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Deep Learning Network ในปัจจุบัน [27]

5. ข้อเสียของ Deep Learning

- (1) ความสามารถในการประมวลผลยังจำลองได้ไม่เหมือนสมองมนุษย์ 100 %
- (2) ในด้านข้อมูลยังมีความผิดพลาดสูงอยู่

6. Deep Learning Network Overview

ประเภทของ Machine learning แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ 1. Supervised Learning 2. Unsupervised Learning และ 3. Semi-Supervised Learning โดย Deep learning framework ที่คณะผู้จัดทำเลือกมาทำการศึกษานั้น จัดอยู่ในประเภทของ Supervised Learning ซึ่ง Supervised Learning เป็นการเรียนรู้แบบที่ต้องได้รับคำแนะนำก่อนว่าข้อมูลชุดนั้นเป็นข้อมูลของสิ่งใด เช่น ภาพสุนัขเราต้องทำการใส่ข้อมูลสุนัขพร้อมกับการบอกว่าเป็นภาพของสุนัข เพื่อให้โปรแกรมเรียนรู้และทำการจำแนกไว้ในข้อมูลสุนัข



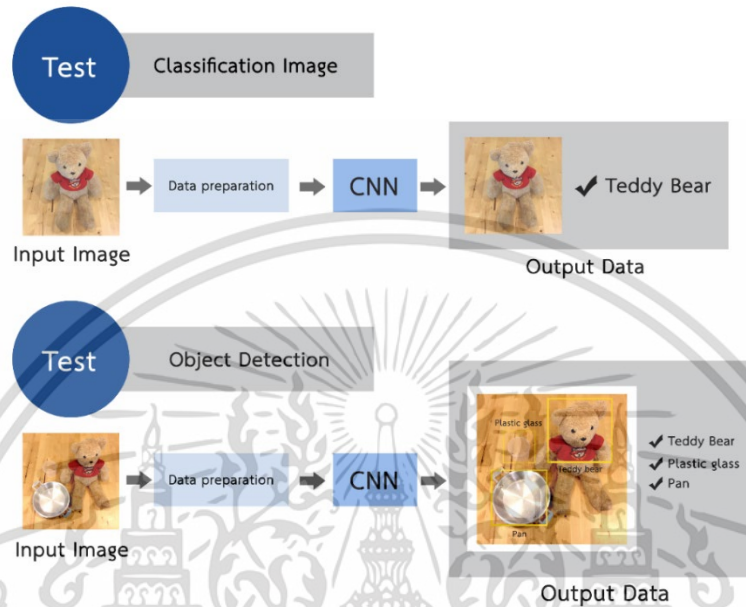
ภาพที่ 1.6 การทำงานของ Supervised Learning[28]

กระบวนการทำงานของ Deep Learning Network ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1) Training เป็นขั้นที่มีการป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมเพื่อประมวลผลจำแนกข้อมูลและนำไปจัดเก็บไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

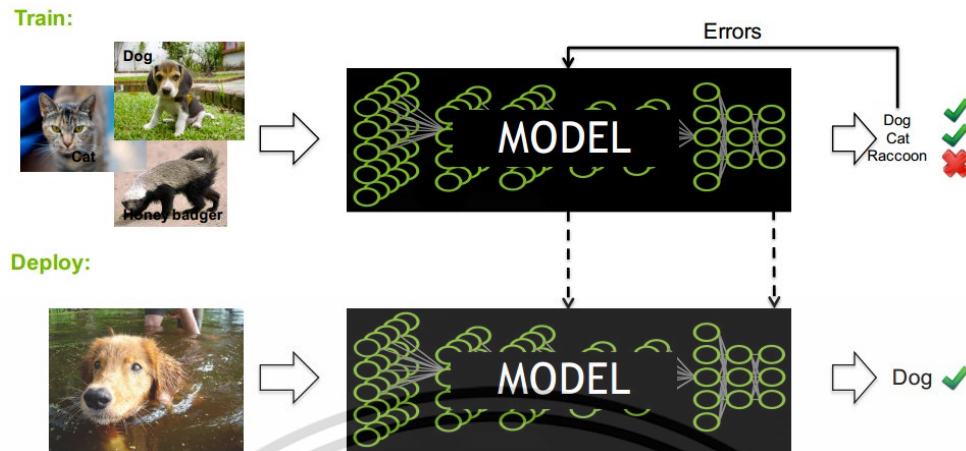
2) **Test** เป็นขั้นที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลใหม่เข้าไปในโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมทำการประมวลผลและทำนายออกมาว่าจัดเป็นข้อมูลในประเภทใด โดยการทำนายนั้นโปรแกรมจะนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการ Training



ภาพที่ 1.7 กระบวนการ Testing

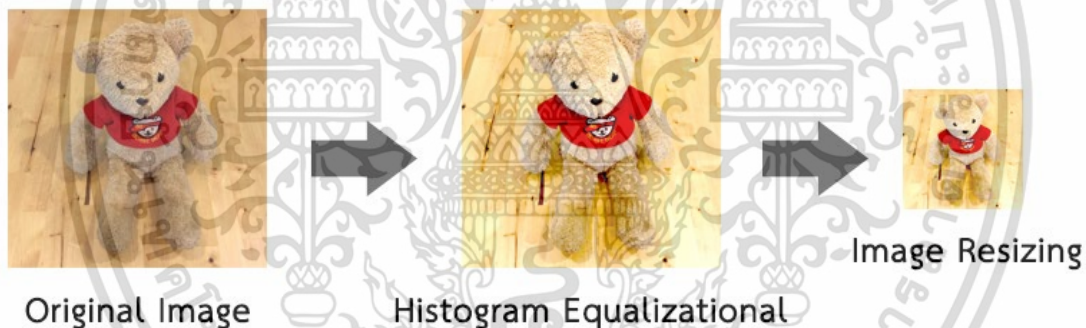
7. ขั้นตอนการ Training

การ Training เป็นขั้นตอนที่มีการนำข้อมูลเข้าไปประมวลในโปรแกรม โดยข้อมูลนั้นจะต้องมีมุมมองที่หลากหลาย และมีความถูกต้อง เช่น ข้อมูลรูปตัว X ที่นำมาใช้ในการประมวลผลควรมีตัว X ในหลากหลายมิติเพื่อให้ผลการทำนายออกมามีความแม่นยำมากที่สุด การประมวลผลการทำนายประเภทของข้อมูลอาจมีความผิดพลาดได้หากข้อมูลที่ได้รับเข้ามาไม่ตรงกับข้อมูลที่มีการ Training ไว้ โปรแกรมก็จะไม่สามารถทำนายประเภทได้ เช่น เราเคยเก็บรูปสุนัขและแมวเอาไว้ แต่เรานำรูปสัตว์ชนิดอื่นมาทำการ test โปรแกรมจะไม่สามารถทำนายได้



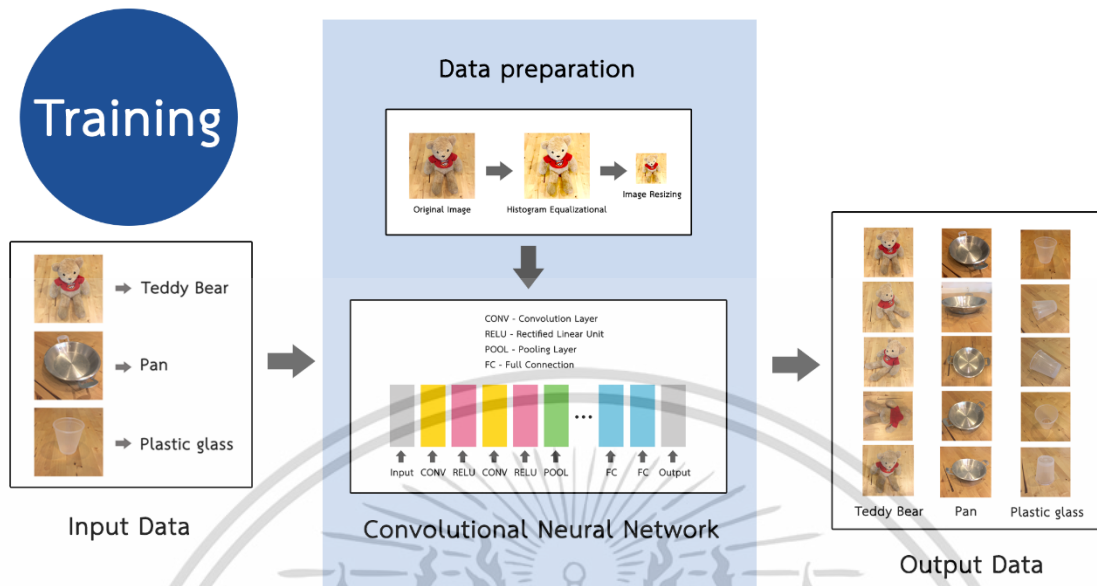
ภาพที่ 1.8 ตัวอย่างการ Training และ การ Testing[29]

ในการนำข้อมูลเข้าสู่ขั้นตอนของDeep Learning Network นั้นโปรแกรมจะทำการเตรียมข้อมูล โดยการปรับขนาดของรูปภาพและทำให้รูปภาพมีความคมชัดมากขึ้น เพื่อเตรียมพร้อมเข้าสู่ขั้นตอนการ Training



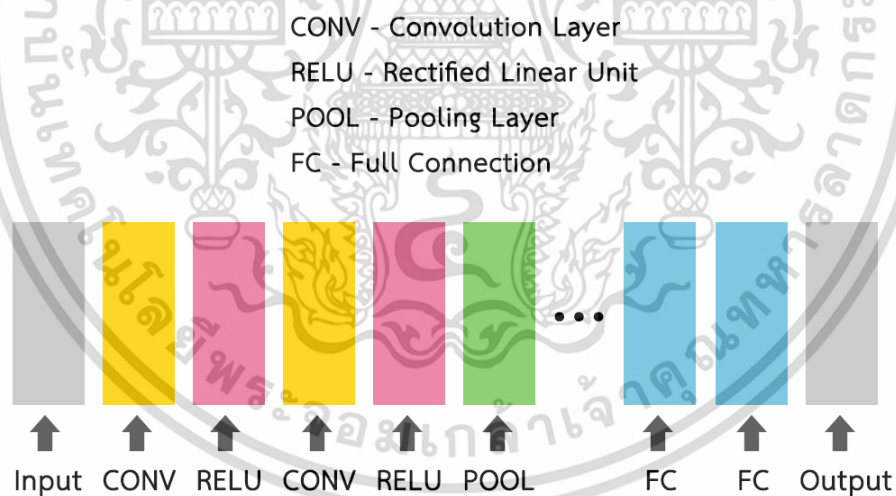
ภาพที่ 1.9 ขั้นตอนการเตรียมภาพ

หลังจากการเตรียมข้อมูลแล้วก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการจัดทำเป็น model หรือรูปแบบการเรียนรู้เพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการ Test โดยในที่นี้เราใช้กระบวนการ Convolutional Neural Networks : CNN ในการประมวลผลรูปภาพ เพื่อให้การจำแนกข้อมูลง่ายขึ้น และสามารถจัดเก็บได้



ภาพที่ 1.10 กระบวนการ Training

7.1 Convolutional Neural Networks



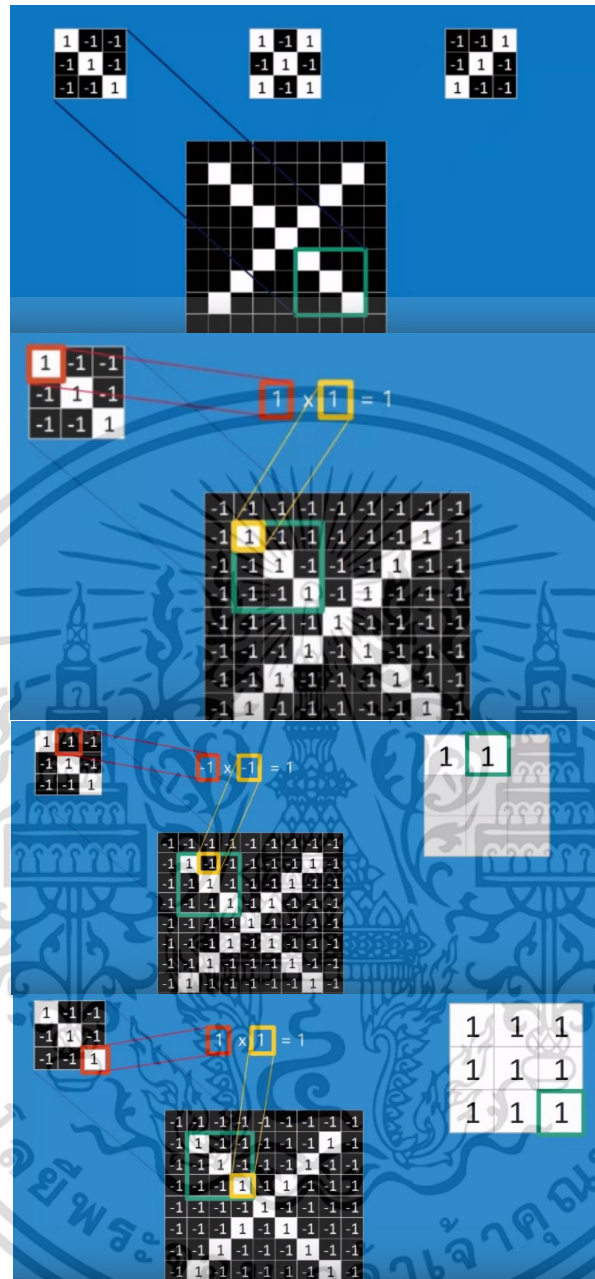
ภาพที่ 1.11 กระบวนการทำงานของ Convolutional Neural Networks

(1) Convolution Layer : CONV

ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับฟิลเตอร์ให้ภาพ ด้วยฟิลเตอร์หลายแบบ เพื่อให้ได้ภาพในหลายๆ

คุณลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

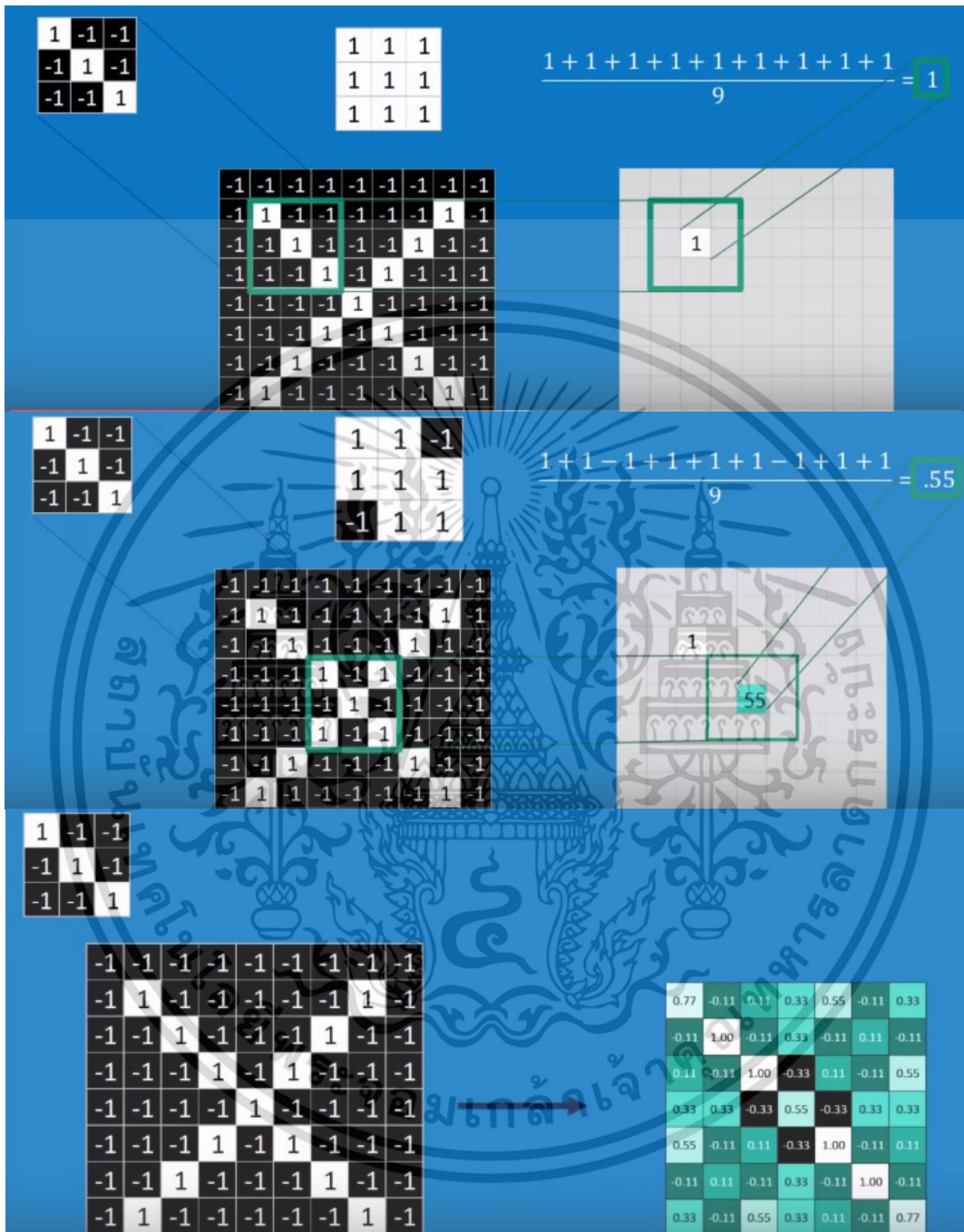


ภาพที่ 1.12 การทำ Convolution Layer : CONV [30]

- 1) คำนวณแต่ละค่าในพิกเซลของ feature ของภาพที่สอดคล้องกัน
- 2) คูณแต่ละพิกเซลของ feature กับ filter โดยเป็นค่าของพิกเซลที่สอดคล้องกันในภาพ
- 3) บวกทุกคำตอบเข้าด้วยกันและหารด้วยจำนวนรวมของพิกเซลใน feature หากทั้งสองพิกเซลมีสีขาว (จะมีค่าเป็น 1)

แล้ว $1 * 1 = 1$ หากทั้งสองเป็นสีดำ (จะมีค่าเป็น -1) แล้ว $(-1) * (-1) = 1$ ซึ่งถ้าหากตรงกันจะทำให้ผลลัพธ์มีค่าพิกเซลเป็น 1 หากไม่ตรงกันเป็น -1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



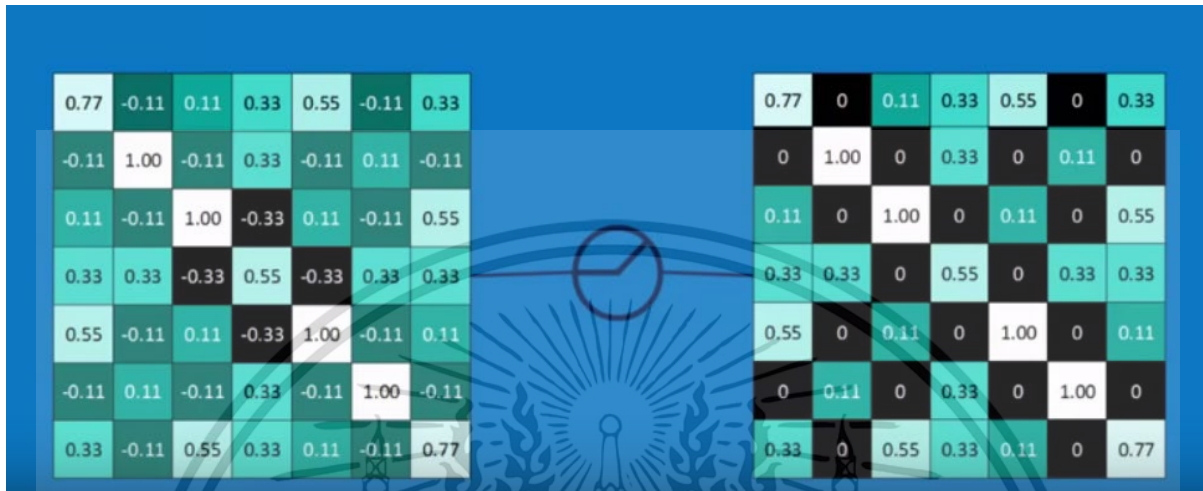
ภาพที่ 1.13 ตัวอย่างการคำนวณ Convolution Layer : CONV [30]

4) ทำซ้ำทุก ๆ พิกเซลของ feature ของภาพ

(1) Rectified Linear Unit : RELU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

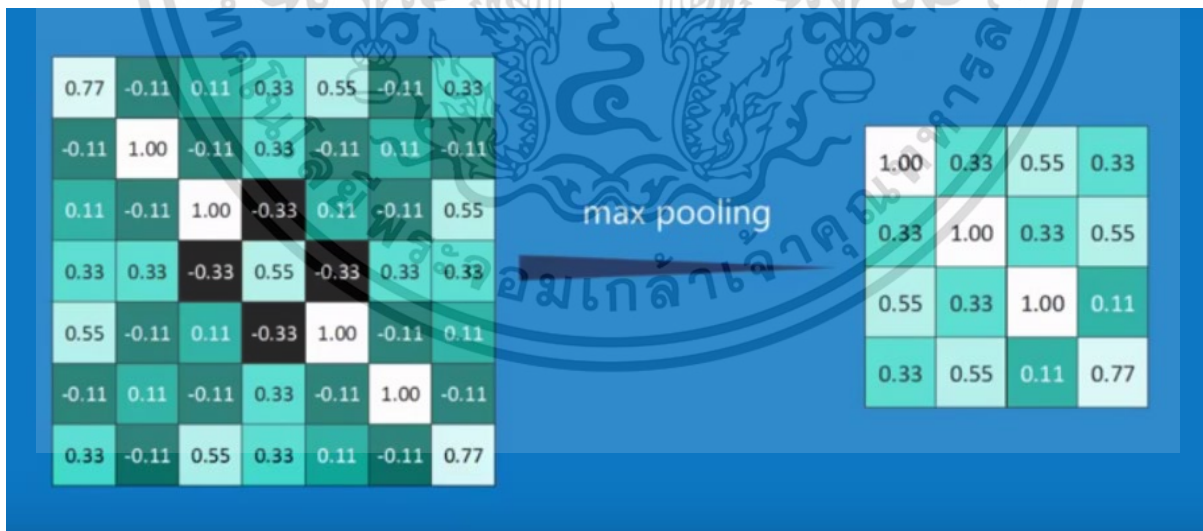
นำ output จาก ขั้นตอนการ Convolution ก่อนหน้ามาคำนวณจากนั้นผลลัพธ์ที่ได้คือค่าของ
น้ำหนักใหม่



ภาพที่ 1.14 การทำ Rectified Linear Unit : RELU [30]

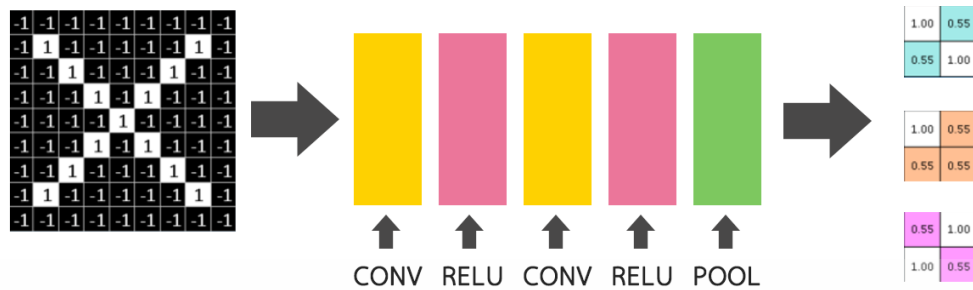
(2) Pooling Layer : POOL

ในส่วนของการขั้นตอนการ Pooling นั้น จะทำการเลือกค่าที่มากที่สุด จากขนาดเมทริกซ์ ที่เลือกไว้
ออกมา เพื่อปรับขนาดให้รูปภาพเล็กลง และได้คุณลักษณะที่สำคัญของข้อมูลออกมา



ภาพที่ 1.15 ตัวอย่างขั้นตอนการทำ Pooling Layer : POOL [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

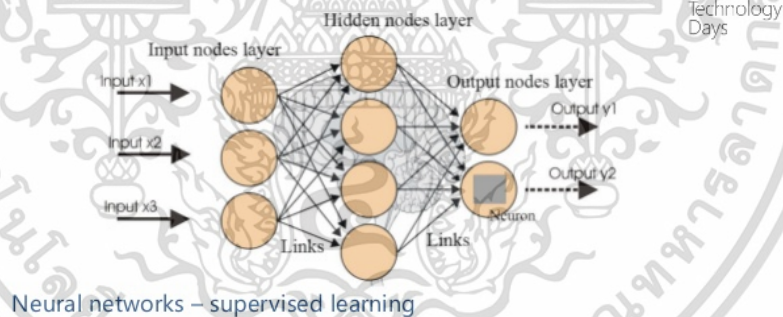


ภาพที่ 1.16 สรุปการกระบวนการทำงานของ CNNs [30]

8. Machine learning

Machine Learning เป็นชุดคำสั่งที่ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้ด้วยตัวเอง โดยที่คนไม่จำเป็นต้องไปโปรแกรมมันหรือทำอะไรก็ตาม ปลอมให้มันเรียนรู้เอง สิ่งที่เราต้องทำคือการตั้งค่า กฎการเรียนรู้ โดยใช้ Math เมื่อทำการตั้งค่าเสร็จ เราก็นำข้อมูลใส่เข้าไปในโปรแกรม เพื่อที่จะให้คอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้ [31]

Machine Learning algorithms



ภาพที่ 1.17 Machine Learning algorithms [32]

(1) รูปแบบการเรียนรู้ของ Machine Learning มีรูปแบบการเรียนรู้ 3 รูปแบบดังนี้

1) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)

เป็นการเรียนรู้โดยอาศัยข้อมูลและ label จากข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น การแบ่งประเภทข้อมูล (classification) และ การวิเคราะห์การถดถอย (regression)

2) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning)

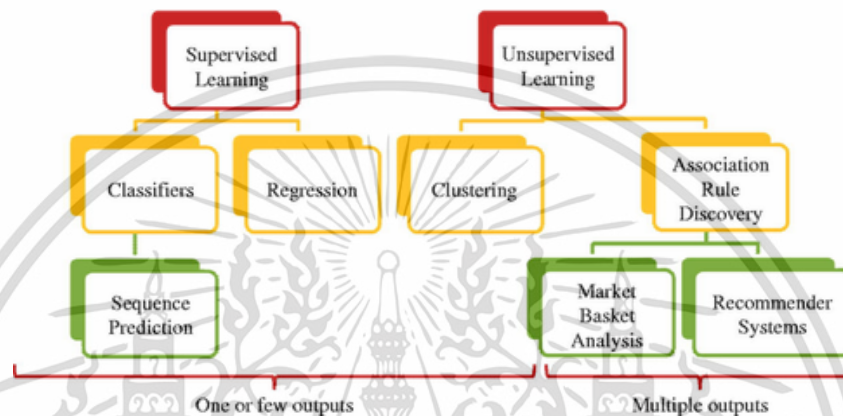
การเรียนรู้ไม่ได้มี label ที่บอกว่าข้อมูลนั้นคืออะไร แต่การเรียนรู้นี้จะจัดข้อมูลนำเข้า (input) จัดเป็นกลุ่ม (cluster) บนพื้นฐานของความเหมือน (similarities) และความแตกต่าง (differences) ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของข้อมูลนำเข้า (input patterns) ตัวอย่างเช่น การหาโครงสร้างที่ซ่อนอยู่ในข้อมูล ประกอบไปด้วย Dimensionality reduction , Clustering และ Manifold learning

3) การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement learning)

เป็นการเรียนรู้แบบแผนซึ่งกำหนดการกระทำของระบบจากสิ่งที่สังเกตได้แนวความคิด คือ เรียนรู้จากสิ่งแวดล้อมรอบตัว ตัวอย่างการเรียนรู้เช่น เกม OX [33]



ภาพที่ 1.18 แผนผังรูปแบบการเรียนรู้ของ Machine Learning [34]

(2) ทำไมต้องใช้ Machine Learning

มนุษย์เรามีความสามารถในการตัดสินใจได้ไม่แน่นอนเหมือนเครื่องจักร อารมณ์มีผลต่อการตัดสินใจมากกว่าเหตุผล ดังนั้นในงานที่ต้องทำซ้ำ ๆ เป็นประจำ หรือการตัดสินใจในสถานการณ์ต่างๆ การนำเครื่องมืออย่างคอมพิวเตอร์มาช่วยตัดสินใจจะช่วยลด ความผิดพลาดของคนทำงาน (Human Error) ได้

(3) Machine Learning นำไปประยุกต์ใช้ในงานอะไรบ้าง

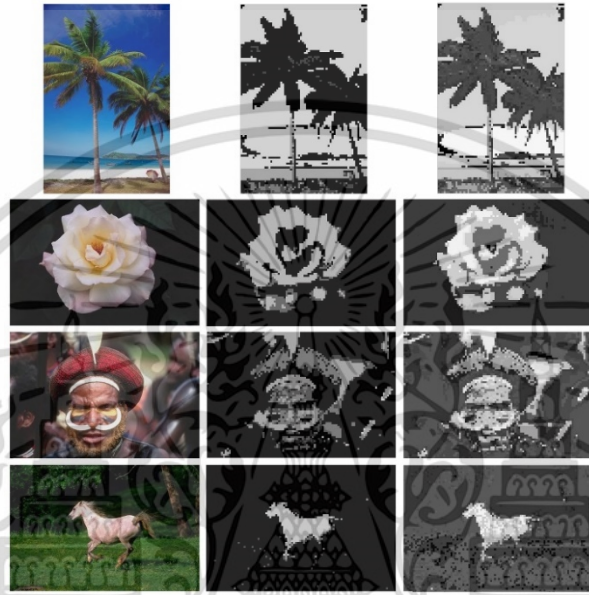
- 1) Casino นำ Machine Learning ใช้กล้องแกล้งดูลูกค้าใหม่ จับดูพฤติกรรมของลูกค้า หากเล่นเสียมาก ก็จะพาไปเลี้ยงข้าวเพื่อให้รู้สึกดีและกลับมาเล่นใหม่
- 2) predpol.com ใช้วิเคราะห์แนวโน้มการเกิดอาชญากรรม [35]

9. การตรวจหาวัตถุ (Object detection)

เป็นกระบวนการตรวจจับวัตถุต่าง ๆ ในรูปภาพ เช่น ในหนึ่งรูปมีรูปหมา รูปแมวอยู่ก็สามารถตรวจจับหาว่าในรูปมีหมาและแมวประกอบอยู่ ขั้นตอนการตรวจหาวัตถุ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่

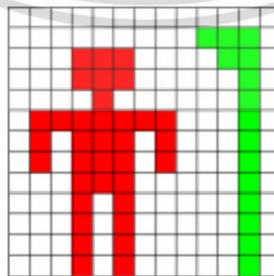
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) การแบ่งแยกสี (Color Segmentation) เป็นขั้นตอนที่แบ่งแยกวัตถุตามสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากแต่ละวัตถุในรูปภาพที่มีสีแตกต่างกัน จะสามารถทำให้เราค้นพบรูปร่างของวัตถุนั้นๆได้ เช่น การแยกลูกฟุตบอลกับพื้นสนามเมื่อลูกฟุตบอลมีสีขาว สนามหญ้ามีสีเขียว ก็จะสามารถแยกออกจากกันได้ เมื่อแบ่งแยกสีตามความแตกต่างแล้ว กระบวนการนี้จะเปลี่ยนรูปภาพเป็นสีขาวดำเพื่อแบ่งแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง และเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 ต่อไป



ภาพที่ 1.19 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการแบ่งแยกสี [36]

(2) การนับจำนวนองค์ประกอบในรูปภาพ (Connected Component Counting) เป็นขั้นตอนที่นำภาพขาวดำที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำการนับองค์ประกอบภายในภาพเดียวกัน การนับจำนวนองค์ประกอบภาพจะใช้วิธีการกวาดจุดภาพทุกจุดจากซ้ายไปขวา และบนลงล่าง จนกว่าจะพบจุดสีขาวรอบๆทั้ง 4 ทิศ กวาดนับไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถที่จะหาจุดต่อไปได้อีก ข้อมูลองค์ประกอบเหล่านี้จะนำมาใช้คำนวณหาจุดกึ่งกลาง ขนาด และมิติของรูปภาพได้



ภาพที่ 1.20 ภาพขนาด 13 x 13 pixels ที่มี 2 องค์ประกอบ [37]

10. การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction)

การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ เป็นการแยกหรือสกัดเอาข้อมูลที่สำคัญของภาพออกมา ซึ่งลักษณะเฉพาะของภาพเป็นคุณสมบัติที่สามารถหาได้โดยใช้ ขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยที่ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพประกอบด้วย 3 ส่วนคือสี รูปร่างและพื้นผิว

(1) สี (Color) เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่มีบทบาทสำคัญในระบบค้นคืนภาพ เช่น ฮิสโตแกรมสีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสีที่ถูกนำมาใช้บ่อยๆเนื่องจากสีเป็นสิ่งที่สามารถมองเห็นได้ง่าย และเป็นสิ่งแรกที่สามารถสังเกตเห็นได้จากการมองภาพ นอกจากนี้สียังสามารถใช้ในการแยกแยะกลุ่มของภาพออกตามเนื้อหาได้เป็นอย่างดี เช่น สีฟ้าของน้ำทะเล สีแดงของดอกไม้ สีเขียวของต้นไม้ เป็นต้น

(2) รูปร่าง (Shape) เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้อธิบายถึงรูปร่างและลักษณะ รวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพซึ่งทำให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง หรือแยกแยะระหว่างวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้

(3) พื้นผิว (Texture) เป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายความหยาบความละเอียดหรือความซับซ้อนของวัตถุภายในภาพ ซึ่งแต่ละภาพอาจจะประกอบด้วยวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไปการวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้นการค้นคืนภาพที่ใช้พื้นผิวเป็นลักษณะเฉพาะของภาพส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในการค้นหาภาพจากกลุ่มภาพพื้นผิวเช่นภาพพื้นผิวของหินชุดภาพพื้นผิวของใบไม้ เป็นต้น [37]

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

มะเร็งปากมดลูก, , Pap Smear, whole slide imaging

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ระบบการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกด้วยปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถลดต้นทุนทางด้านเงินทุน บุคลากร เวลาในการปฏิบัติงาน ในการทำ Pap smear และยังเป็นการสร้างระบบการเก็บของข้อมูลของภาพ สแกนเซลล์ตัวอย่างของผู้ป่วยเพื่อใช้ในการสืบค้น ค้นหาวิจัยทางการแพทย์ หรือเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาด้านอื่นต่อไป โดยสามารถจำแนกประโยชน์ที่จะได้รับออกเป็นข้อได้ดังนี้

11.1 เครื่องต้นแบบสแกนเซลล์มะเร็งปากมดลูก ที่สามารถสแกนภาพตัวอย่างเซลล์มะเร็งปากมดลูกที่ได้จาก Pap smear และส่งไปยังเครื่องแม่ข่ายผ่านทางอินเทอร์เน็ต

11.2 โปรแกรมบนเครื่องแม่ข่าย (ซึ่งเครื่องแม่ข่ายจะอยู่บนคลาวด์) ที่สามารถคัดกรองเซลล์มะเร็งปากมดลูกได้ โดยคัดกรองจากลักษณะทางกายภาพของเซลล์ เช่น อัตราส่วนของนิวเคลียสเทียบกับของเหลวในเซลล์ เป็นต้น

11.3 ฐานข้อมูลของภาพที่สแกนจากเครื่องสแกนเซลล์มะเร็งปากมดลูกบนเครื่องแม่ข่าย (บนคลาวด์) เพื่อประโยชน์ในการสืบค้น และใช้เป็นฐานข้อมูลในการทำวิจัยต่อไป

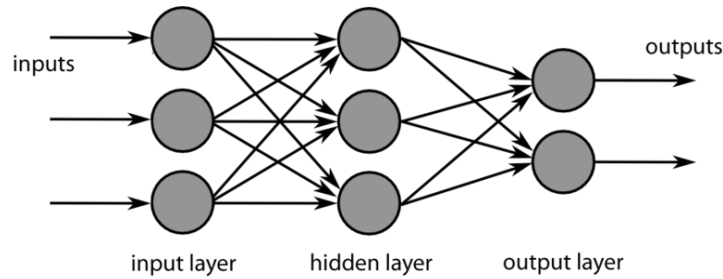
บทที่ 2 แนวความคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

2.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

เป็นการสร้างคอมพิวเตอร์ที่จำลองเอาวิธีการทำงานของสมองมนุษย์ หรือทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักคิดและจดจำในแนวเดียวกับโครงข่ายประสาทของมนุษย์ เพื่อช่วยให้คอมพิวเตอร์ฟังภาษามนุษย์ได้เข้าใจ อ่านออก และรู้จำได้ ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นสมองกล

(1) การทำงานของ Neural Networks

เมื่อมี 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 สิ่งสำคัญคือเราต้องทราบค่า weight และ threshold สำหรับสิ่งที่เราต้องการเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จำ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้มันรู้จัก pattern ของสิ่งที่เราต้องการให้มันรู้จำ เรียกว่า "back propagation" ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จำ ในการฝึก feed-forward Neural Networks จะมีการใช้อัลกอริทึมแบบ back-propagation เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่าย (Network Weight) หลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้ว ค่าที่ได้รับ (output) จากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักคะแนนต่อไป



ภาพที่ 2.1 โครงสร้าง Layer ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น [38]

(2) การเรียนรู้สำหรับ Neural Networks

1) Supervised Learning การเรียนแบบมีการสอน

เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจสอบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก โครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น (เปรียบเทียบกับคน เหมือนกับการสอนนักเรียนโดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ)

2) Unsupervised Learning การเรียนแบบไม่มีการสอน

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด โครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ (เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน)

(3) การประยุกต์ใช้งาน Neural Networks

เนื่องจากความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุม ซึ่งมีผู้นำมาประยุกต์ใช้งานหลายประเภท ได้แก่

- 1) งานการจัดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน เช่น ลายมือ ลายเซ็นต์ ตัวอักษร รูปหน้า
- 2) งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ (มี inputs และ outputs แต่ไม่ทราบค่า inputs กับ outputs มีความสัมพันธ์กันอย่างไร)
- 3) งานที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (โครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับตัวเองได้)
- 4) งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ
- 5) งานทำนาย เช่น พยากรณ์อากาศ พยากรณ์หุ้น

6) การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมควบคุมกระบวนการทางเคมีโดยวิธีพยากรณ์แบบจำลอง (Model Predictive Control)

7) การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายกลับในการทำนายพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวอาคาร

8) การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาไซโครเมตริกชาร์จ การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมระบบ HVAC [39]

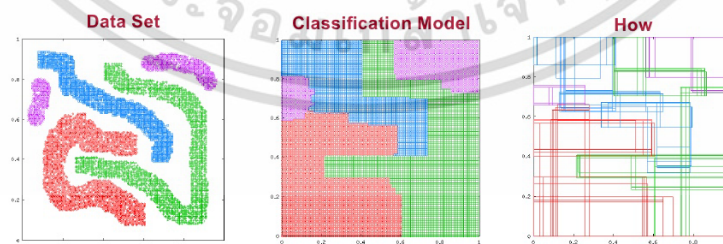
2.2 Classification

Classifications เป็นขั้นตอนในการจำแนกและตัดสินใจว่าอินพุตที่เข้ามานั้นเป็นภาพรถชนิดใดโดยในขั้นตอนนี้มีหลายวิธีการด้วยกัน เช่น การเปรียบเทียบอินพุตกับโครงสร้างของภาพ รถยนต์ในฐานข้อมูล การเปรียบเทียบอินพุตกับกฎเพื่อการตัดสินใจ การใช้โครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้ของเครื่องจักร การคำนวณเชิงวิวัฒนาการในส่วนของเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการทำโปรเจกจะเป็นส่วนของการเรียนรู้ของเครื่องจักร

การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) เป็นเทคนิคหรือกระบวนการที่ใช้สำหรับปรับแต่งเครื่องจักรหรือคอมพิวเตอร์ให้ มีพฤติกรรมเฉพาะตัวที่สนับสนุน การเรียนรู้โดยจะมีเทคนิคต่างๆ หลายวิธีแต่ที่เทคนิคที่สนใจคือ เทคนิค Nearest Neighbor Classification

(1) Nearest Neighbor Classification เป็นการเรียนรู้ประเภท Unsupervised Learning ซึ่งเป็นการจำแนกหรือจัดกลุ่มที่มีวิธีการไม่ซับซ้อน โดยพิจารณาจากชุดข้อมูลที่ใกล้เคียงกันกล่าวคือ ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับค่าของข้อมูลที่พิจารณามากที่สุดในที่นี้ค่าความใกล้เคียงจะหมายถึงระยะทางที่มีค่าน้อยที่สุดระหว่างชุดข้อมูลกับข้อมูลที่พิจารณา [40]

Example of Data Classification



The *classification model* can be implemented in *several ways*:

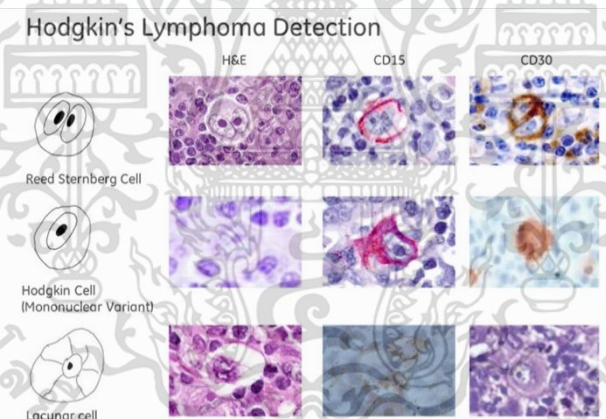
- Rules
- Decision trees
- Mathematical formulae

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของ Classification [41]

2.3 ระบบการรู้จำใบหน้าหรือ ระบบการจดจำใบหน้า (Face recognition system)

เป็นระบบการตรวจหาใบหน้าของมนุษย์และปรับภาพใบหน้าโดยอัตโนมัติ กรอบจะปรากฏขึ้นบนใบหน้าที่ถูกตรวจจับ และโฟกัส สี และค่าการวัดแสงจะถูกปรับโดยอัตโนมัติ นอกจากนั้นเมื่อบันทึกด้วยคุณภาพแบบ HD เทคโนโลยีการบีบอัดจะจัดสรรความจุของข้อมูลให้ลดลง แต่ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากขึ้นเพื่อปรับคุณภาพของภาพ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตัวอย่างที่เก็บบันทึกไว้ อาจจะทั้งใบหน้า หรือเพียงบางส่วน ขึ้นกับชนิดของวิธีแยกเอกลักษณ์ใบหน้า ระบบการรู้จำใบหน้าเป็นส่วนหนึ่งของ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในส่วนเนื้อหาของเรื่องการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine perception) [42]

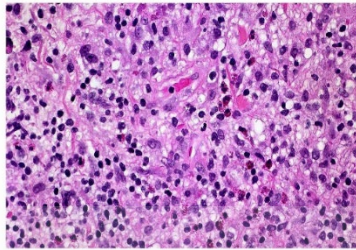
2.4 Machine learning for cancer detection [45]



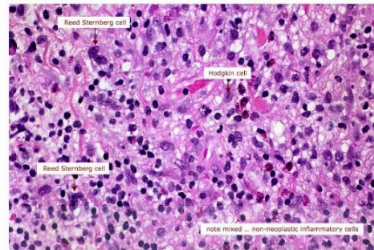
ภาพที่ 2.3 Hodgkin's Lymphoma Detection [45]

ความผิดปกติของเซลล์ที่จะก่อให้เกิดเซลล์มะเร็งในขั้นตอนต่อไป ที่เรียกว่า Hodgkin's Lymphoma ซึ่งยังแบ่งได้หลากหลายประเภทไม่ว่าจะเป็น Red Sternberg cell Hodgkin cell หรือแม้กระทั่ง Lacunar cell

Find Hodgkin's Lymphoma (Hint: Reed Sternberg Cells)



Find Hodgkin's Lymphoma (Hint: Reed Sternberg Cells)



ภาพที่ 2.4 Find Hodgkin's Lymphoma [45]

ปัญหาที่พบในปัจจุบันการหาเซลล์ที่ผิดปกติต่าง ๆ เหล่านี้โดยใช้เพียงแค่ตาเปล่ามันมันย่อมไม่ต่างอะไรกับการงมเข็มในมหาสมุทรซึ่งการที่เราจะหาเซลล์ที่มีความผิดปกติต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาด้านบนนั้นน้อยยากให้เราได้ลองดูจากภาพตัวอย่าง จากภาพตัวอย่างนั้นเป็นการขยายเพียงกล้องที่มีกำลังขยาย 20เท่าแต่การตรวจสอบต้องใช้ถึง 100เท่าและมันง่ายมากที่เราจะพลาดบางจุดไปได้ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเซลล์หลายๆชนิดมีความคล้ายคลึงกันมากซึ่งถ้าจะแยกออกมาย่อมใช้เวลาเป็นวันเลยทีเดียวหรืออาจจะเป็นเดือนมันจะส่งต่อระยะของผู้ป่วยในโรคมะเร็งนั้นๆ อาจจะเปลี่ยนจากขั้นที่1,2 เป็นขั้นที่ 3,4ด้วย ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Machine Learning เข้ามามีส่วนช่วยเพื่อใช้ในการทางการแพทย์มากขึ้นเพื่อความสะดวกสบายของแพทย์และความรวดเร็วอีกทั้งยังไม่ทำให้ผู้ป่วยต้องเสี่ยงต่อการเสียชีวิตอีกด้วย

Machine Learningในการตรวจสอบเซลล์มะเร็งนั้นมันทำงานอย่างไร และปัญหาต่าง ๆ ที่Machine learningต้องเจอเพื่อให้สามารถค้นหาได้อย่างใกล้เคียงที่สุด ได้นั้นมีดังนี้ 1 Brightness or Contrast ไม่จำเป็นต้องใช้การประมวลผลอะไรเลยเพราะมันจะมาจากการทำแลปและปรับภาพโดยแพทย์เท่านั้นแต่การใช้ scanner ต่างกันจากแลปที่ต่างกัน ถึงถ้าคุณใส่ตัวอย่างเดียวกันในแลปที่ต่างกันตัว scanner ที่ต่างกันผลย่อมออกมาต่างกัน 2 สีและความเข้มของภาพ เช่น ถ้าหากเราใช้ภาพที่เก่าย่อมทำให้สีของภาพนั้นไม่ดีและเมื่อเทียบกับภาพปัจจุบันมันย่อมทำให้ผลการทดลองออกมาต่างกันด้วย หรือในบางกรณีที่ใช้ microscopic ที่จำเป็นต้องใช้ greyscaleแต่เราต้องการได้ภาพสีมันก็ย่อมทำให้ผลที่ได้ต่างกันด้วย 3 ขนาด รูปร่างและตำแหน่ง เรื่องนี้ค่อนข้างจะทั่วไปอยู่แล้วเพราะมันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเซลล์หรือตัวอย่างเนื้อเยื่อหรืออะไรก็ตามที่ใช้ในการหาตำแหน่งของเซลล์มะเร็ง ต่อมาการOrientated & Position ที่จะขึ้นอยู่กับตัวอย่างเนื้อเยื่อเท่านั้นการปรับเพื่อหาตำแหน่งไม่ว่าจะขึ้นหรือลงไปทางซ้ายหรือทางขวาและสุดท้ายแต่ไม่ท้ายสุดนั่นคือ Noise ซึ่งแน่นอนว่ามันจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่เราใช้ไม่ว่าจะเป็น microscopic หรือ Fluorescent microscopic ซึ่งก่อให้เกิด Noise และทำให้ผลที่ตามมาคือจุดที่ไม่จริงอยู่หรือทำให้การค้นหานั้นคลาดเคลื่อนเพียงเพราะ Noise จะเห็นได้ว่าปัญหาเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อเราต้องการหาเซลล์มะเร็งโดยใช้เครื่องมือต่างๆย่อมก่อให้เกิดการเสียเวลามากมาย แต่มันจะมีหลักที่คนชอบคิดว่าเป็นเรื่องยากคือ 1 มีรูปแบบที่ตายตัวความจริงนั้นรูปแบบเหล่านี้ไม่ตายตัวเพียงแต่เป็นข้อมูลสุ่มที่มาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

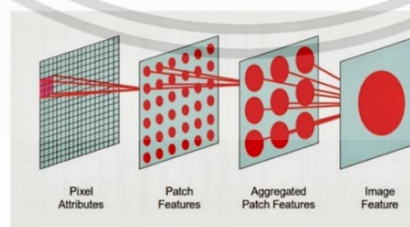
หลากหลายแหล่งเท่านั้น 2 จะเป็นเรื่องที่ยากถ้าเราใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหารูปที่ตายตัวของมัน เหล่านั้น 3 มีข้อมูลมากมายที่ยังไม่ได้ถูกจัดจำแนกไว้อย่างชัดเจนและข้อสุดท้ายมันมีข้อมูลที่น้อยมากที่ถูกจัดจำแนกไว้อย่างชัดเจน เราจะสามารถใช้ deep learning ทำอะไรได้บ้างซึ่งในส่วนนี้จะมีการบอกขั้นตอนกระบวนการทำงานของ Deep learning ว่ามันทำอะไรบ้างจึงจะทำให้ผลที่ออกมาที่มีความแม่นยำสูงมีความผิดพลาดน้อยแต่กระนั้นย่อมเกิดความผิดพลาดได้เป็นธรรมดาแต่หากความผิดพลาดนั้นเป็นความผิดพลาดที่ดี สมมติเช่นมีการตรวจสอบว่ามีจุดที่คาดว่าจะเซลล์มะเร็งแต่เมื่อแพทย์มาคั่นว่านั่นไม่ใช่เซลล์มะเร็งและไม่มีอันตรายย่อมส่งผลที่ดีกว่าการที่มันไม่สามารถตรวจสอบหาเซลล์นั้นได้เลยย่อมก่อให้เกิดผลร้ายอื่น ๆ ตามมา อาจจะตอนแรกที่ตรวจสอบนั้นเป็นระยะแรกหรือระยะสองแต่หากตรวจสอบผิดพลาดอาจจะลามไประยะอื่นได้

Is machine learning a correct approach?

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. Brightness/contrast | <- Imager calibration |
| 2. Color/intensity | <- Stain (H&E, CD15, CD30) |
| 3. Size | <- Magnification level |
| 4. Shape | <- Cell structure |
| 5. Orientation | <- Tissue structure |
| 6. Position | <- Tissue structure |
| 7. Noise | <- Light reflection/refraction |
1. Pattern exists
 2. It is very hard for a human to define the pattern mathematically
 3. A large amount of "unlabelled" data is available
 4. A small amount of "labelled" data is available

ภาพที่ 2.5 Is machine learning a correct approach [45]

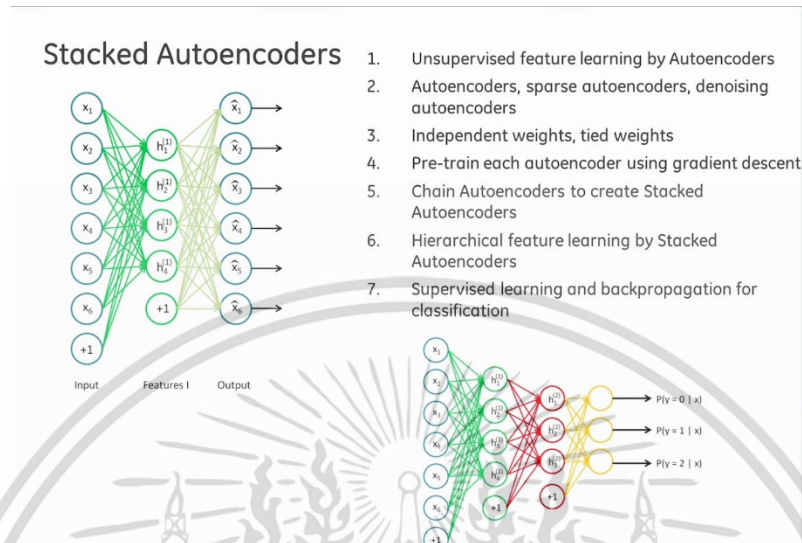
Deep learning approaches for Hodgkin's Lymphoma detection



1. Stacked Autoencoders
2. Deep Belief Networks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.6 Deep learning approaches for Hodgkin's Lymphoma detection [45]

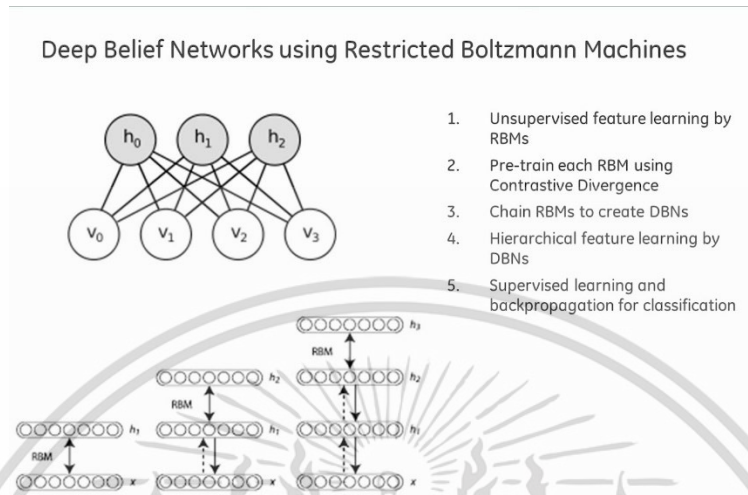


ภาพที่ 2.7 Stacked Autoencoders [45]

ดังนั้นเราจึงต้องใช้กระบวนการต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีอะไรผิดพลาดซึ่งกระบวนการแรกเรียกว่าการ Stack encoder จะแบ่งออกมาได้ดังนี้ 1 unsupervised learning by autoencoders จากรูปด้านซ้ายมือจะเห็นว่ามันมีการใส่ข้อมูล input ลงไป มี hidden layer และยังมี output จากตรงนี้สิ่งที่เราจะเห็นนั้นจะเห็นเพียงแค่ input และ outputออกมาเท่านั้น ส่วน hidden layerนั้นจะใช้การเปรียบเทียบกับน้ำหนักในแต่ละตัวแปรของแต่ละ layer ในแต่ละ input นั้น ๆ ไปเรื่อย ๆ เพื่อหาทางที่ดีที่สุดออกมาและรวดเร็วที่สุดส่วนข้อต่อมา 2 การ denoising autoencoder การเปรียบเทียบตัวแปรในช่วง hidden layer นั้นค่อนข้างจะเยอะมากจึงต้องมีขั้นตอนนี้เข้ามาเพื่อช่วยในการเปรียบเทียบให้เร็วขึ้นหรือในบางครั้ง การที่มีขนาดเล็กเกินไปหรือขนาดที่เท่ากันนั้น การ denoising ช่วยในการเปรียบเทียบให้ง่ายขึ้นและข้อต่อมาเป็นข้อที่สาม independent weight, tied weight เมื่อขั้นตอนการ autoencoder มาถึงแล้วหรือใกล้จบนั้น ขั้นตอนนี้ก็ทำขึ้นมาเพื่อให้การ learning นั้นสมบูรณ์ยิ่งขึ้นโดยที่บางรูปแบบนั้นค่อนข้างจะคล้ายกันในทางด้านการวิเคราะห์เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ แต่หลักการประกอบทางด้านการวิเคราะห์มันจะเป็นเส้นตรงเพราะว่าการทำการบางอย่างที่ถูกทำในรูปแบบที่ไม่ใช่เส้นตรงนั้นจะเป็นรูปตัวเอส หรือในรูปแบบกราฟ Tangent มันจะทำให้เกิดความยุ่งยากดังนั้นการที่แปลงจากสิ่งที่ไม่เป็นรูปแบบเส้นตรงให้เป็นเส้นตรงขั้นตอนนี้เรียกว่า pre-training คุณสามารถ pretrain ได้โดยใช้ Layer น้อย ๆ ใช้รูปแบบที่น้อย ๆ ก่อนและค่อยเพิ่มมากขึ้น ๆ เรื่อย ๆ จนสุดท้ายสามารถทำการ stack autoencoder ได้เรื่อย ๆ และทำให้ระบบเครือข่ายเส้นประสาทของปัญญาประดิษฐ์นั้นทำงานได้ดีและคุ้นชินกับ input ที่เราใส่เข้าไปได้ ทำให้เราสามารถจำแนกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเรายังสามารถใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่ยังไม่ได้จำกัดความหรือแบ่งแยกไว้เพื่อใช้ในการฝึกการจำแนกและเรียนรู้รูปแบบต่าง ๆ ได้มากขึ้นมันย่อมทำให้เกิดความแม่นยำมากขึ้น

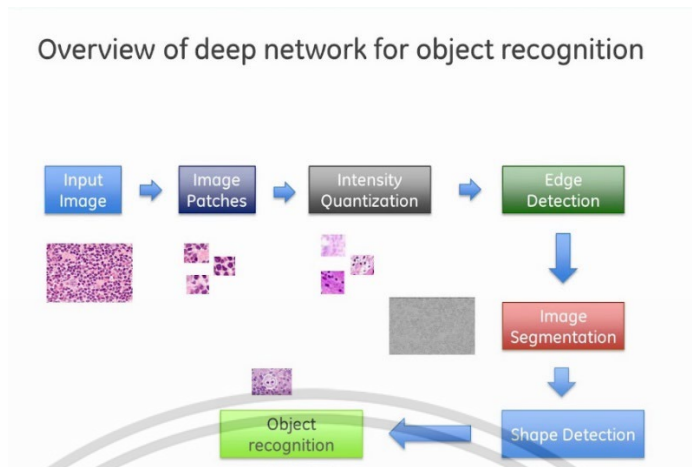
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะการรวมกันของรูปแบบบางรูปแบบทั้งรูปแบบใหม่และรูปแบบเก่านั้นย่อมทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
จำแนกได้ง่ายขึ้น



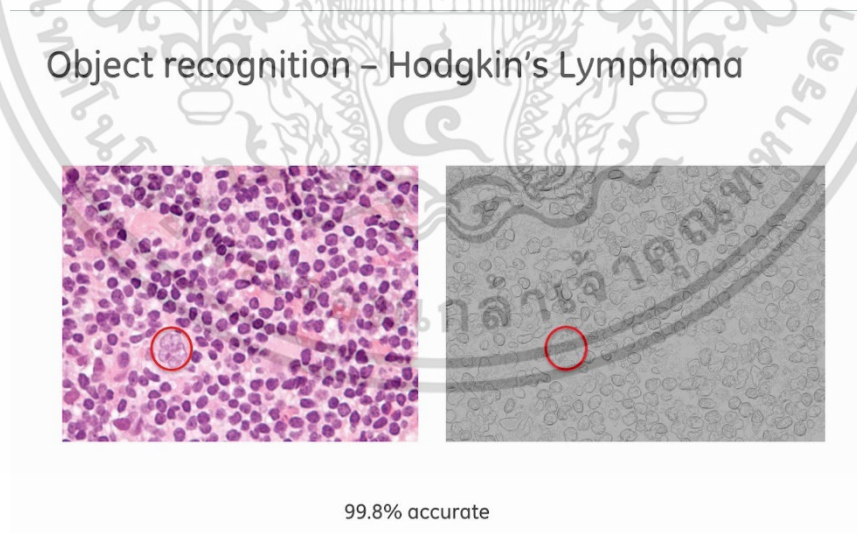
ภาพที่ 2.8 Deep Belief Networks using Restricted Boltzmann Machines [45]

ต่อมาเราได้ลองทำการทดลองอีกอย่างหนึ่งที่ชื่อว่า Deep belief network ซึ่งถูกจำกัดโดย Boltzman machine คุณจะเห็นได้ว่ามันมีเพียงแค่ 2 layer ที่มองเห็นได้จะมี Layer V ที่เห็นได้และมี Layer H ที่เป็น hidden layer ซึ่งเราใช้เป็นค่าย่อเพื่อสะดวกในการเรียก ในกรณีนี้เราใช้การ contrast divergence algorithm เพื่อใช้ในการ pretrain และที่เห็นในด้านล่างซ้ายของ slide คือการ stacking เซตจำกัดของ Boltzman เหล่านี้มันมีหลาย Layer เพื่อใช้ในการลำดับขั้นตอนต่าง ๆ แลหะอันที่คล้ายกันเพื่อใช้ในการ Stacking Encoders อีกด้วยและเมื่อถึงในขั้นตอนสุดท้ายเราจะทำการ Supervised learning และ กระบวนการย้อนกลับเพื่อใช้ในการจัดจำแนกครั้งสุดท้ายและจะทำการ Autoencoder ตัว Deep Belief network เพื่อความแม่นยำมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่บางครั้งการฝึกการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีนี้ค่อนข้างยากแต่กระนั้นก็ขึ้นอยู่กับเป็นกรณี ๆ กันไปเช่นบางอย่างการทำให้เสร็จได้นั้นก็ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่เราใช้ในการทำการทดลองต่าง ๆ



ภาพที่ 2.9 Overview of deep network for object recognition [45]

เริ่มจากขั้นตอนแรกจะมีการ input image เข้าเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการ input เพื่อใช้ในกระบวนการที่สองต่อนั้นก็คือ การแยกภาพออกมาเป็นส่วนๆ ซึ่งทำให้การจัดจำแนกนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ต่อมาคือการบอกจำนวนเชิงปริมาณความหนาแน่นและการตรวจจับขอบของรูปทรงต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ ได้ หลังจากการแบ่งรูปออกเป็นส่วนๆ นั้นเราจะไปทำการตรวจจับรูปทรงของเซลล์ที่อยู่ในรูปเกิดการเปรียบเทียบและขั้นตอนนี้ค่อนข้างจะใหญ่มากเพราะจะเกิดกระบวนการต่าง ๆ มากมายเรื่อย ๆ และสุดท้ายการจดจำรูปภาพเพื่อใช้ในการ retrain ในครั้งต่อไปและเก็บไว้เพื่อง่ายต่อการ ตรวจสอบในอนาคต



ภาพที่ 2.10 Object recognition – Hodgkin's Lymphoma [45]

นี่คือสิ่งที่เราจะแสดงให้เห็นว่า การสิ่งที่เราเห็นและ deep network เห็นนั้นต่างกันอย่างไร ดูจากซ้ายมือเป็น Red Sternberg Cell และด้านขวามือคือการตรวจสอบแบบต่าง ๆ โดยใช้ deep network และเรานั้นค่อนข้างจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำเร็จในเรื่องของความแม่นยำที่ใช้ในการตรวจจับได้ซึ่งเห็นได้ว่าเกือบจะ100%เลยทีเดียวที่ได้ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์มากเมื่อเทียบกับการนำไปใช้ในส่วนอื่นต่าง ๆ และสามารถต่อยอดได้เรื่อย ๆ ได้อย่างไม่มีสิ้นสุดเพื่อการพัฒนาเพื่อความรวดเร็วและความสะดวกสบายในอนาคต

2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการวิจัยในเรื่องของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ หรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการบันทึกภาพเกี่ยวกับจุลกายวิภาคศาสตร์เนื้อเยื่อ (histological) ได้รับความสนใจ และถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอุปกรณ์รับภาพชนิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีการวิเคราะห์พยาธิวิทยาระยะไกล (Telepathology) ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวมีความสำคัญในการศึกษาพยาธิวิทยาของโรคต่าง ๆ อย่างมาก โดยเฉพาะโรคที่มีการวินิจฉัยด้วยการเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อเป็นหลักอย่างโรคมะเร็ง โดยในปี 2003 Dr. B. Molnar และคณะ [13] ได้ทำการวิจัยในการสร้างดิจิทัลสไลด์ของตัวอย่างเนื้อเยื่อที่เกี่ยวกับกระเพาะอาหารและลำไส้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลอง (virtual microscopy) โดยการทดลองนี้ได้พัฒนาต่อยอดมาจากงานวิจัยของ Asmara Afework และคณะ [14] ซึ่งเป็นการวิจัยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลอง โดยการใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์จำลองร่วมกับการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากการสร้างดิจิทัลสไลด์ของซอฟต์แวร์สำเร็จรูป โดยในการเก็บภาพจากตัวอย่างเนื้อเยื่อนั้น ทีมวิจัยของ Dr. B. Molnarดังกล่าวได้ใช้เครื่อง Axioplan 2 MOTซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าระบบตัวกล้องจุลทรรศน์มีขนาดใหญ่ ผลการการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลองในการวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวกับกระเพาะ และลำไส้มีความแม่นยำถึง 95.1% ซึ่งเมื่อเทียบกับการวินิจฉัยด้วยตาเปล่าที่มีความแม่นยำ 98% ทำให้เห็นว่า การวินิจฉัยด้วยเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลองมีความแม่นยำที่สามารถเชื่อถือได้ ซึ่งเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อในสไลด์ในแบบเสนอโครงการวิจัยนี้ ได้ใช้หลักการเดียวกันกับเทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์จำลอง เพราะเนื่องจากผู้ปฏิบัติการไม่จำเป็นต้องส่องวินิจฉัยตัวอย่างเนื้อเยื่อจริง แต่วินิจฉัยผ่านทางภาพที่ได้จากการบันทึก และประมวลผลบนคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันเทคนิคการตรวจรักษามะเร็งชนิดต่างๆในระดับโมเลกุลมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวินิจฉัยและการรักษา โดยเฉพาะการติดตามด้วยสารนำสัญญาณภาพ เช่น สารเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ เอนไซม์และสารที่ทำให้เกิดสี (chromogen) เพื่อใช้การตรวจวินิจฉัยเนื้อเยื่อมะเร็งได้อย่างจำเพาะ ซึ่งตัวอย่างของการใช้สารเรืองแสงที่จำเพาะต่อรอยโรค จะเห็นได้จากหลักฐานงานวิจัยที่พบว่าการนำโปรตีน p16INK4a [15-18] ไปใช้เป็นโมเลกุลบ่งชี้ทางชีววิทยาของมะเร็งปากมดลูกโดยใช้แอนติบอดีเป็นโมเลกุลตรวจจับสามารถช่วยเพิ่มความจำเพาะให้กับเทคนิคการตรวจวินิจฉัยและลดความแปรปรวนของการแปลผลตรวจวินิจฉัยรอยโรยในแต่ละครั้งหรือในแต่ละบุคคล (Inter-intra observer variations) [19-20] Piyawattanametha และคณะ [21] จึงเลือกใช้โปรตีน p16INK4a เป็นโมเลกุลเป้าหมายเพื่อศึกษาพัฒนาเปปไทด์จับจำเพาะสำหรับใช้ในงานตรวจรักษามะเร็งปากมดลูกในระดับโมเลกุล โดยเปปไทด์จับจำเพาะจากโครงการวิจัยนี้สามารถใช้ในการตรวจรักษาในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งมีชีวิตโดยดัดแปลงติดฉลากเปปไทด์สังเคราะห์ด้วยสารนำสัญญาณภาพสำหรับการตรวจวินิจฉัยกล้องจุลทรรศน์
ตรวจภายใน (Endomicroscope) [22]

2.5.1 Convolutional Neural Network for 3D Object Recognition Based on RGB-D Dataset

Jianhua Wang และคณะ [43] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่อง Convolutional Neural Network for 3D Object Recognition Based on RGB-D Dataset โดยผลงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการรู้จำวัตถุ 3 มิติ ด้วยการพิจารณาจากชุดข้อมูล RGB-D ของรูปภาพนั้นๆ ผู้จัดทำได้เริ่มการทดลองวิธีการสกัดคุณลักษณะเฉพาะของวัตถุแต่ละชนิด โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่าการสอนให้โปรแกรมจดจำคุณลักษณะเฉพาะของวัตถุ (Training) ซึ่งวิธีการนี้จะใช้การจำลองรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้เหมือนกับการทำงานของสมองมนุษย์ และแบ่งแยกวัตถุตามสีที่แตกต่างกันก่อน จากการใช้ชุดข้อมูล RGB-D มาพิจารณานั้นไม่มีความละเอียดเพียงพอที่จะใช้จำแนกวัตถุออกจากกันได้ ผู้จัดทำจึงได้นำ Caffe model มาใช้ในการสกัดคุณลักษณะเฉพาะของรูปภาพ ทำให้นอกจากแยกตามสีแล้วก็สามารถแยกตามมิติความลึกของรูปภาพได้อีกด้วย ทำให้การผู้จัดทำสามารถสกัดคุณลักษณะเฉพาะออกมาได้ถูกต้องกว่าร้อยละ 91.35

จากการศึกษาผลงานวิจัยนี้พบว่า เป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์ทำให้ทราบถึงขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเฉพาะของวัตถุได้โดยการแยกตามสีกับความลึกของรูปภาพ แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้งานเรื่องขนาดของรูปภาพที่ไม่ควรใหญ่เกินไป และการรู้จำวัตถุยังไม่ได้ความแม่นยำมากนัก

2.5.2 Deep Learning Network for Face Detection

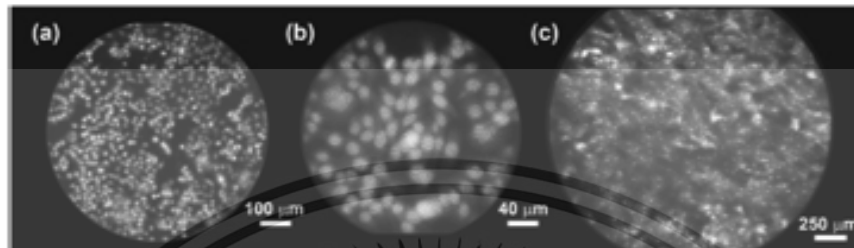
Xueyi Ye และคณะ [44] ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับเกี่ยวกับการเรียนรู้การตรวจจับใบหน้าโดยใช้วิธีการจำลองสถานะเซลล์ประสาทของสมองมนุษย์ เพื่อให้การตรวจสอบมีความถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็วมากขึ้น อีกทั้งยังมีการดึงข้อมูลหรือส่วนสำคัญออกจากข้อมูลดิบก่อนจะเข้ากระบวนการเรียนรู้ซึ่งทำให้จำนวนชั้น Hidden layer ลง เพื่อลดการเกิดข้อผิดพลาดของการป้อนข้อมูลและการเร่งความเร็วในการตรวจสอบร่วมกับการตรวจสอบสีผิว

จากการศึกษาผลงานวิจัย เราสามารถนำเอาแนวคิดของการสกัดใบหน้ามาช่วยในการจำแนกสิ่งของจากภาพถ่าย โดยเน้นการใช้กระบวนการเรียนรู้ด้วยตัวเองของคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการจำแนกสิ่งของจากภาพถ่าย

2.5.3 เทคโนโลยีกล้องจุลทรรศน์แบบส่องภายในร่างกายชนิดมุกว้าง

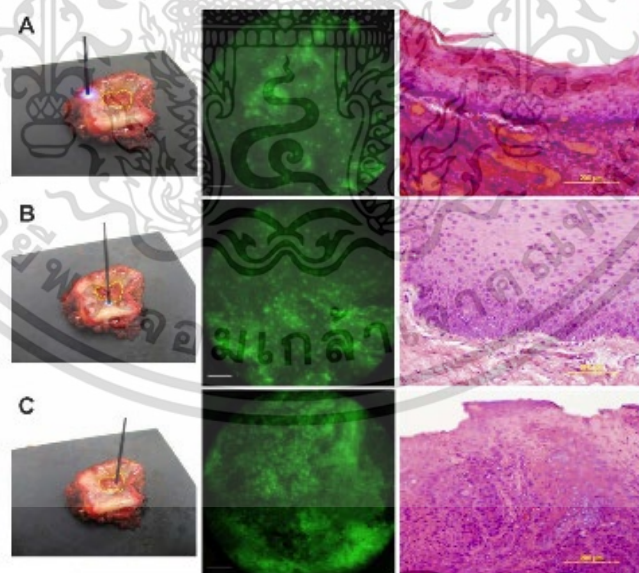
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนหน้านี้ Mark Pierce และคณะ [45] ได้พัฒนากล้องจุลทรรศน์แบบส่องภายในร่างกายชนิดมุมมองกว้างที่ให้ภาพที่คมชัดสามารถนำไปใช้เพื่อศึกษาวิจัยในเซลล์มีชีวิต(living cell) โดยสามารถแสดงภาพของเซลล์ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ในในเวลาจริง(real time) ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้องแสดงรูปที่ 9.1



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องภายในร่างกายชนิดมุมมองกว้างด้วยแสงฟลูออเรสเซนต์ (Wide-field fluorescent microscopy) ดูเซลล์ในระบบ In vivo

Richards-Kortum และคณะ [46] ได้ทำการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ชนิดมุมมองกว้างแบบราคาถูกลง เพื่อศึกษาเซลล์มะเร็งในช่องปากในระบบ Ex vivo โดยมีการใช้สารเรืองแสงเพื่อย้อมเซลล์ร่วมด้วย พบว่าสามารถแยกชนิดของเซลล์ผิดปกติจากเซลล์ปกติได้อย่างดี แสดงดังรูปที่ 9.2 นอกจากนั้นยังสามารถทดลองเบื้องต้นในระบบ In vivo โดยทดลองในช่องปากเพื่อดูเซลล์เยื่อปิวซึ่งเป็นเซลล์ที่ตรวจพบความผิดปกติในมะเร็งหลายชนิด พบว่าสามารถแสดงภาพของเซลล์ปกติที่ติดสารเรืองแสงได้เช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 ภาพตัวอย่างจากชิ้นเนื้อด้านซ้ายมือคือตำแหน่งที่ถ่ายภาพภาพกลางคือภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดมุมกว้าง (Wide-field microscopy) ภาพด้านขวาคือภาพของชิ้นเนื้อที่ถูกสไลด์และย้อมสีเซลล์ (A) เซลล์เยื่อผนังปกติ (B) ส่วนที่เริ่มมีการเจริญผิดปกติ (C) เซลล์มะเร็ง

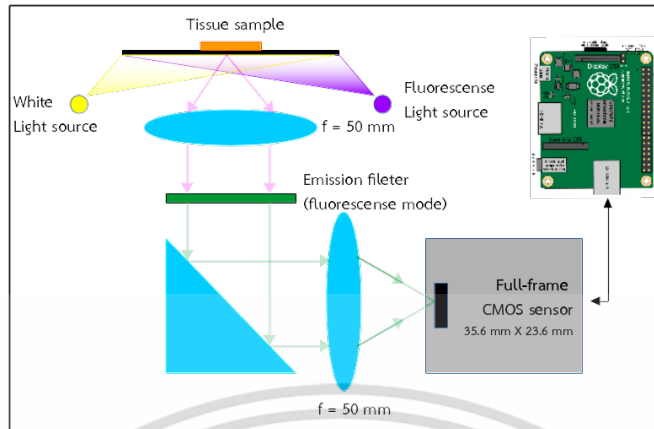
2.5.4 เทคโนโลยีเปปไทด์สังเคราะห์

ปัจจุบันเทคนิคการตรวจรักษามะเร็งชนิดต่าง ๆ ในระดับโมเลกุลมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวินิจฉัยและการรักษา โดยได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลายทั้งในการตรวจรักษาภายในร่างกายผู้ป่วย (in vivo) โดยตรง และการตรวจวินิจฉัยสิ่งส่งตรวจจากผู้ป่วยในห้องทดลอง (in vitro) เทคนิคการตรวจรักษาในระดับโมเลกุลที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบันอาศัยหลักการจับจำเพาะระหว่างโมเลกุลแอนติบอดีกับแอนติเจนเป้าหมายซึ่งมักเป็นโมเลกุลบ่งชี้ทางชีววิทยา (Biomarkers) ของเซลล์เนื้อเยื่อมะเร็ง โดยแอนติบอดีจะถูกใช้เป็นโมเลกุลตรวจจับ (Molecular probe) ติดฉลากด้วยสารนำสัญญาณภาพ เช่น สารเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ เอนไซม์และสารที่ทำให้เกิดสี (chromogen) เพื่อใช้การตรวจวินิจฉัยเนื้อเยื่อมะเร็งได้อย่างจำเพาะ โดยจากหลักฐานงานวิจัยพบว่าการนำโปรตีน p16INK4a [47-50] ไปใช้เป็นโมเลกุลบ่งชี้ทางชีววิทยาของมะเร็งปากมดลูกโดยใช้แอนติบอดีเป็นโมเลกุลตรวจจับสามารถช่วยเพิ่มความจำเพาะให้กับเทคนิคการตรวจวินิจฉัยและลดความแปรปรวนของการแปลผลตรวจวินิจฉัยรอยโรยในแต่ละครั้งหรือในแต่ละบุคคล (Inter-intra observer variations) [51-52] Piyawattanametha และคณะ [53] จึงเลือกใช้โปรตีน p16INK4a เป็นโมเลกุลเป้าหมายเพื่อศึกษาพัฒนาเปปไทด์จับจำเพาะสำหรับใช้ในงานตรวจรักษามะเร็งปากมดลูกในระดับโมเลกุล โดยเปปไทด์จับจำเพาะจากโครงการวิจัยนี้สามารถใช้ในการตรวจรักษาในร่างกายสิ่งมีชีวิตโดยดัดแปลงติดฉลากเปปไทด์สังเคราะห์ด้วยสารนำสัญญาณภาพสำหรับการตรวจวินิจฉัยกล้องจุลทรรศน์ตรวจภายใน (Endomicroscope) [54]

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

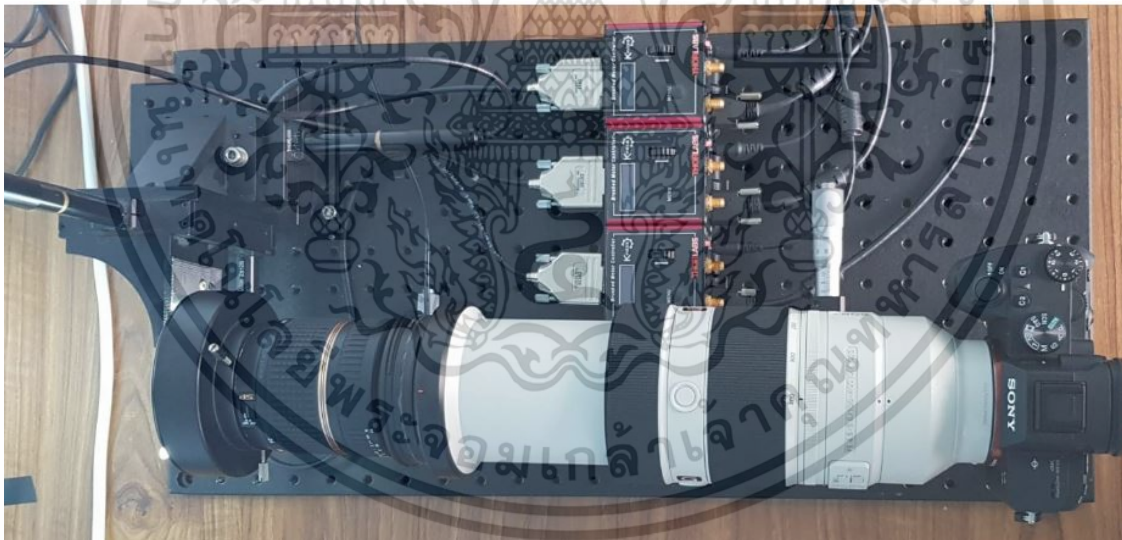
3.1 ทำการออกแบบ และจัดซื้ออุปกรณ์

ได้ทำการออกแบบโครงสร้างของระบบเพื่อการบันทึกภาพของเซลล์ที่ได้มาจากการทำ pap smear ตามภาพที่ 3.1



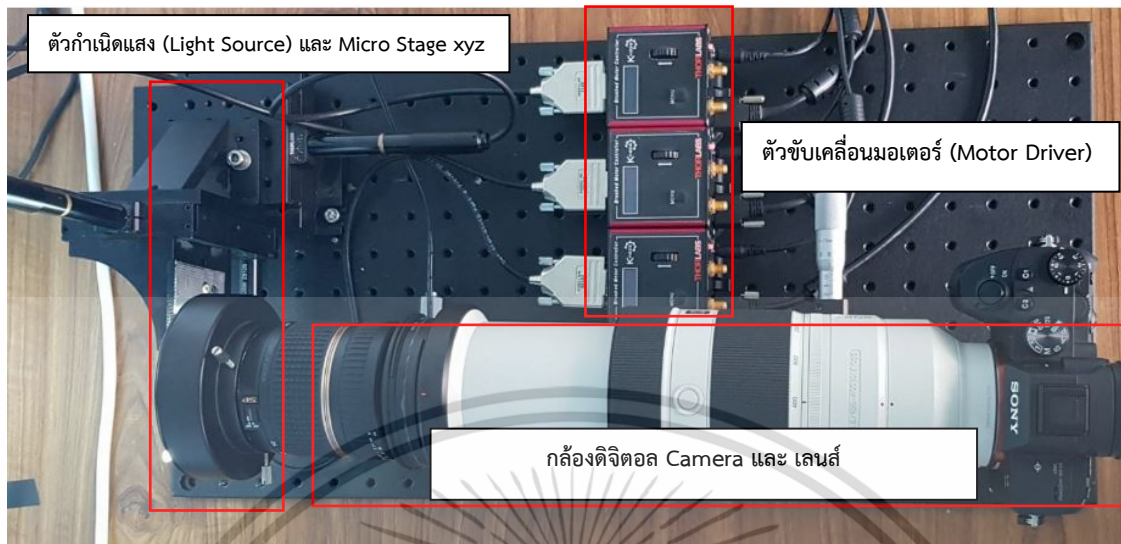
ภาพที่ 3.1 การออกแบบระบบแสงโดยรวมของเครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อ

ได้ทำการซื้ออุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ และประกอบขึ้นเป็นระบบจริงที่สามารถถ่ายภาพจาก CMOS sensor ได้ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของการนำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังเนื้อเยื่อ และส่วนของการรับภาพที่ได้เกิดจากการสะท้อนของแสงจากสไลด์เข้าสู่ตัวรับสัญญาณภาพ (กล้องดิจิทัล) ดังภาพที่ 3.2-3.3



ภาพที่ 3.2 ภาพระบบจริงที่สามารถถ่ายภาพจากสไลด์ที่เตรียมจาก pap smear ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

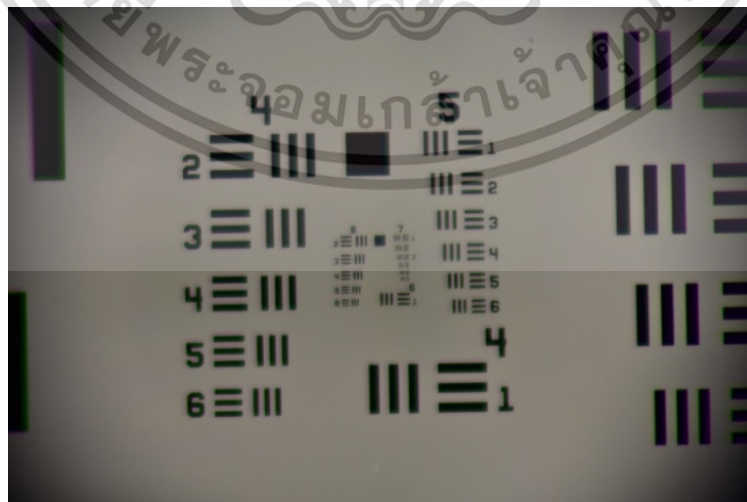


ภาพที่ 3.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบถ่ายภาพ

มีการทดลองเพื่อหาค่าความละเอียด (resolution) ค่ามุมมองของภาพ (field of view) ค่ากำลังขยายหรือซูม (zoom) ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพทั้งแผ่นสไลด์ ดังนี้

3.2 ค่าความละเอียด (resolution)

ค่าความละเอียด คือ ค่าระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดที่กล้องสามารถแยกจุด 2 จุดออกจากกันได้ โดยการทดลองหาค่าความละเอียด กระทำโดยใช้ Resolution Test USAF-1951 ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการใช้ทดลองหาค่าความละเอียดของระบบถ่ายภาพดังภาพที่ 3.4

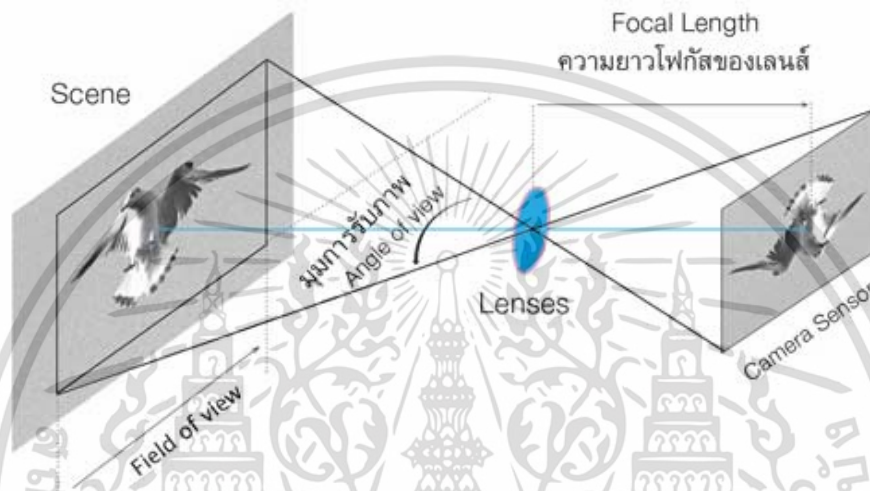


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.4 USAF-1951

3.3 ค่ามุมมองของภาพ (field of view)

ค่ามุมมองของภาพ คือ ค่าพื้นที่การมองเห็นของกล้องหรืออุปกรณ์ถ่ายภาพใด ๆ ที่อุปกรณ์ถ่ายภาพรับแสงจากพื้นที่นั้น ๆ ผ่านเลนส์ จากนั้นตกลงบนเซนเซอร์รับภาพของกล้อง ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ

3.4 ค่ากำลังขยายหรือซูม (zoom)

ค่ากำลังขยายหรือซูม คือ ค่าที่มีความสัมพันธ์เท่ากับระยะโฟกัสของเลนส์ telephotoหารด้วยระยะโฟกัสของเลนส์ wide-angle ซึ่งมีหน่วยซูม

$$\text{Zoom} = \frac{\text{focal length of Telephoto Lens}}{\text{focal length of Wide-angle Lens}}$$

(1)

3.5 ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายเก็บภาพทั้งแผ่นสไลด์

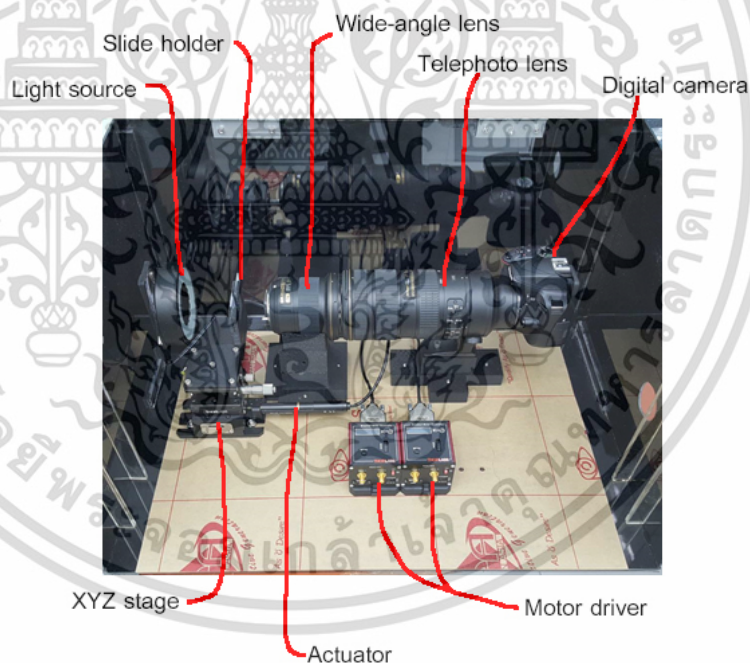
ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายเก็บภาพทั้งแผ่นสไลด์ คือ ระยะเวลาที่ระบบใช้ในการถ่ายเก็บภาพจากแผ่นสไลด์ ThinPrep ทั้งแผ่น โดยการประมาณจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่นระยะเวลาถ่ายภาพของกล้องซึ่งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการถ่ายภาพ 5 fps ระยะเวลากการเคลื่อนที่จากสแตจและระยะเวลาที่สแตจหยุดนิ่งหลังจากเคลื่อนที่ประมาณ 0.5 วินาที และพื้นที่ของแผ่นสไลด์ ThinPrep ประมาณ 500 ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของระบบถ่ายภาพ

Focal length of Telephoto lens	Focal length of Wide-angle lens	ค่าความละเอียด (μm)	ค่ากำลังขยาย (ซูม)	ค่ามุมมองของภาพ (mm^2)	ระยะเวลาที่ใช้ถ่ายภาพ (วินาที)
20	70	3.89	3.5	30.40	12
20	200	3.89	10	4.20	82.5



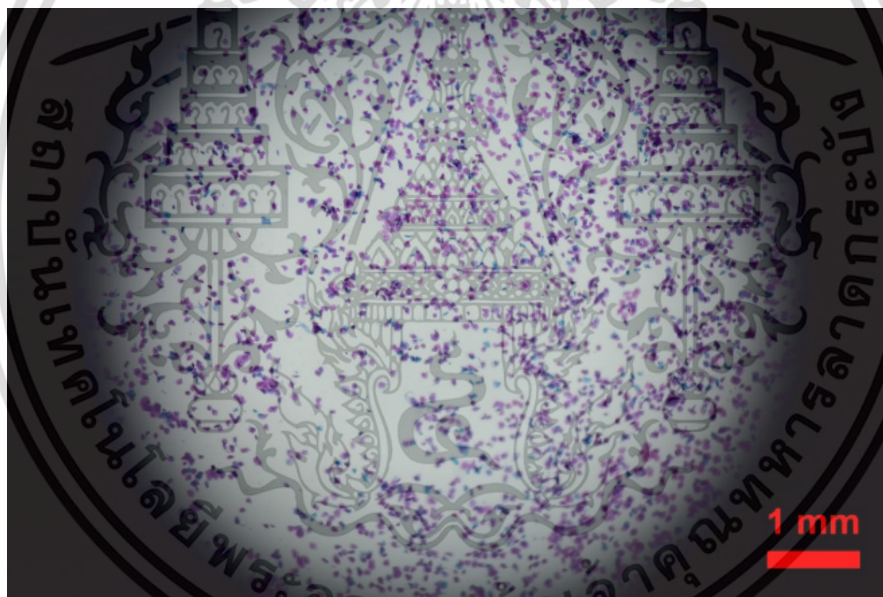
ภาพที่ 3.6 ต้นแบบของระบบถ่ายภาพ

จากภาพที่ 3.6 ระบบดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้อุปกรณ์มีหน้าที่ในการถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep โดยส่วนนี้จะอยู่ในกล่องดำเพื่อกันแสงรบกวนจากภายนอก กล่องมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร มีแหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED-ring ซึ่งเป็น LED ที่ให้แสงขาว จำนวน 48 หลอด สามารถปรับความเข้มของแสงได้ ซึ่งภาพที่สามารถถ่ายได้จะมีการซูมอยู่ในช่วง 3.5 – 10 ซูม ใช้กล้อง NIKON D3400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

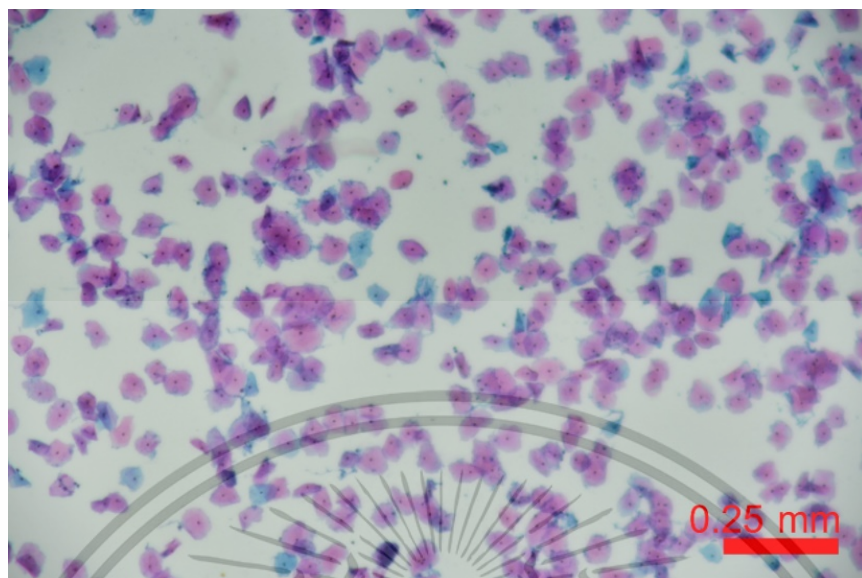
ที่มีขนาดเซนเซอร์กว้าง 23.5 มิลลิเมตร และยาว 15.6 มิลลิเมตร เป็นตัวรับภาพ มี XYZ สเตจสำหรับเลื่อนสไลด์ซึ่งสามารถเลื่อนได้ใน 3 แกนคือ แนวลึก แนวนอน และแนวตั้ง โดยการเคลื่อนที่ใช้ DC servo motor (ที่ถูกล้างคำสั่งจาก K-Cube Brushed DC Servo Motor Controller หรือ Motor driver) ควบคุมการเคลื่อนที่ และมีระยะการเคลื่อนที่แนวลึก แนวนอนและแนวตั้ง ครอบคลุมระยะทาง 12, 12 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ การเคลื่อนที่แนวตั้ง และแนวนอนทำหน้าที่เพื่อให้สามารถถ่ายได้ครอบคลุมทั้งสไลด์ และการเคลื่อนที่แนวลึกทำหน้าที่สำหรับปรับตำแหน่งของแผ่นสไลด์ ThinPrep ให้ไปที่จุดโฟกัสของเลนส์เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดที่สุด

ผลการทดลองการถ่ายภาพจากอุปกรณ์ที่ยึดตำแหน่งเรียบร้อยแล้วได้ผลดังภาพที่ 3.7 และ 3.8 จากผลการทดลองภาพที่ถ่ายออกมานั้นมีความคมชัดในระดับหนึ่งที่เราจะสามารถนำไปวิเคราะห์ในเบื้องต้นได้ว่า มีเซลล์มะเร็งหรือเซลล์ที่มีแนวโน้มจะเป็นเซลล์มะเร็งได้



ภาพที่ 3.7 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายต่ำสุด 3.5 ขุม

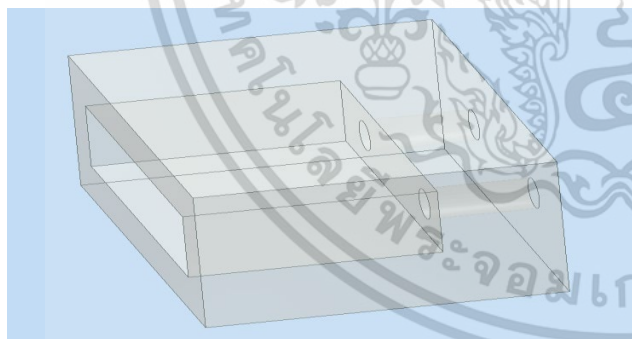
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



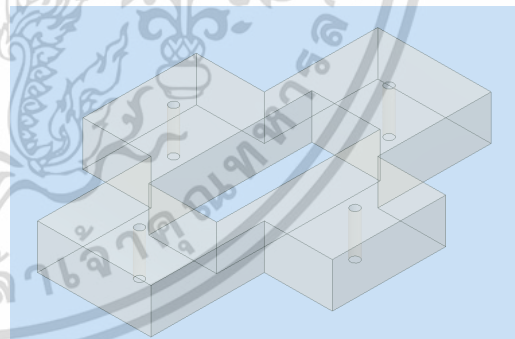
ภาพที่ 3.8 ภาพถ่ายแผ่นสไลด์ ThinPrep ที่กำลังขยายมากที่สุด 10 ชุม

3.6 ทำการออกแบบตัวยึดตำแหน่งของอุปกรณ์

ทำการยึดอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผ่นอะคริลิกเพื่อเตรียมทำเป็นกล่องเพื่อความสวยงาม คงทน และสะดวกต่อการใช้งาน การยึดตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้นั้นได้มีการใช้ชิ้นส่วนจากการปรี้น 3 มิติมาช่วยในการซัพพอร์ตในการวางตำแหน่งอุปกรณ์ให้มันคงยิ่งขึ้นโดยมีชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

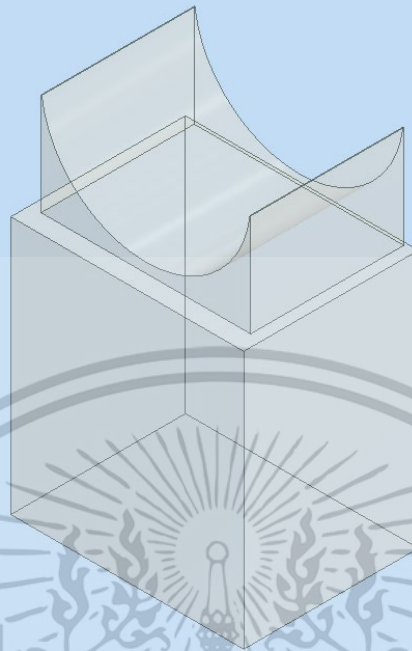


ภาพที่ 3.9 ฐานยกกล่อง

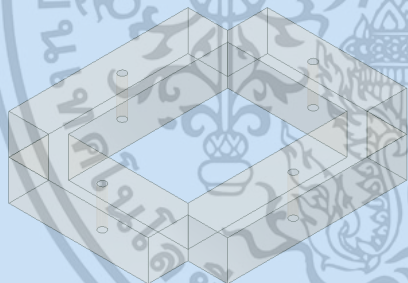


ภาพที่ 3.10 ฐานยึดที่ยกเลนส์

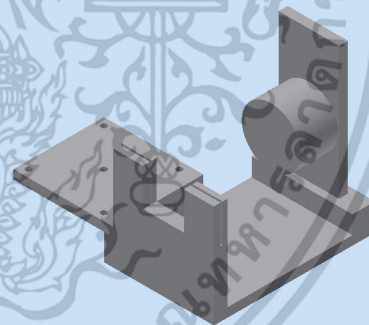
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ฐานยกเลนส์ใกล้วัตถุ

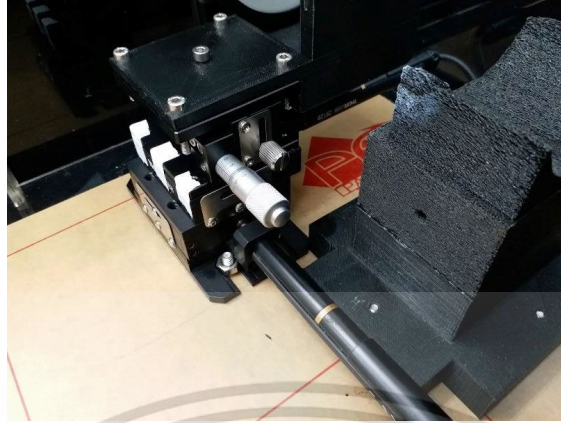


ภาพที่ 3.12 ฐานยึดที่ยกเลนส์



ภาพที่ 3.13 ฐานบน 3-Axis Linear Stage

3-Axis Linear Stage เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของสไลด์โดยจะนำฐานที่เอาไว้วางสไลด์ และแหล่งกำเนิดแสงมาติดไว้ข้างบน โดยส่วนของ stage นั้นก็มีแบ่งเป็น 3 ส่วนตามการเคลื่อนที่ โดยแต่ละส่วน นั้นก็จะมีมอเตอร์ทำหน้าที่ในการดันให้เคลื่อนที่ ก็จะแบ่งแกนได้เป็น หน้า-หลัง ซ้าย-ขวา และขึ้น-ลง



ภาพที่ 3.14 3-Axis Linear Stage

3.7 การออกแบบอัลกอริทึมของโปรแกรมประมวลผล

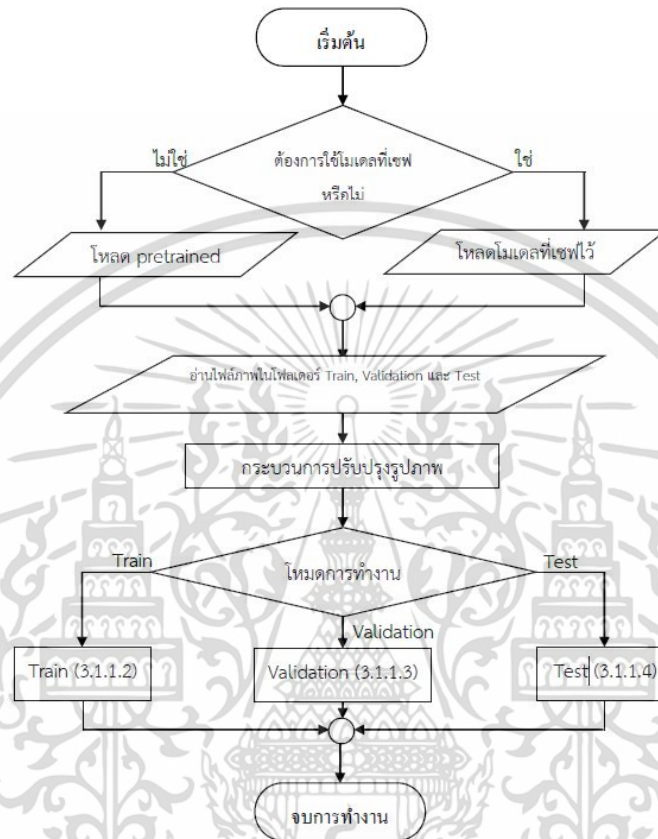
เลือกการประมวลผลโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) ในการประมวลผลภาพ ซึ่งไลบรารี (Library) ตัวหลักที่ใช้ในการประมวลคือไพทอน (Pytorch) ซึ่งเป็นไลบรารีในกลุ่มการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) และการเรียนรู้อย่างลึก (Deep Learning) ที่มีขนาดไลบรารีเล็ก มีความยืดหยุ่นและประมวลผลได้เร็วกว่าตัวอื่น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

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

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

1. ขั้นตอนการเตรียมรูปภาพ
2. ขั้นตอนการสอน (Train)

3. ขั้นตอนการตรวจสอบ (Validation)
4. ขั้นตอนการทดสอบ (Test)



ภาพที่ 3.15 แผนภาพขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

เครื่องตรวจ Pap smear ด้วยระบบ Deep Learning Technology นั้นเป็นอุปกรณ์ในการช่วยตรวจโรคมะเร็งปากมดลูกโดยการบันทึกภาพจากสไลด์ ThinPrep จากวิธี liquid-based เพื่อนำมาวิเคราะห์และประมวลผล ต้องมีการทดสอบความสามารถและคุณภาพของอุปกรณ์ในส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 การประกอบ Hardware

อุปกรณ์ส่วนฮาร์ดแวร์มีหน้าที่ในการถ่ายภาพสไลด์ ThinPrep โดยส่วนนี้จะอยู่ในกล่องเพื่อกันแสงรบกวนจากภายนอก กล่องมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร มีแหล่งกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เน็ดแสงที่เป็น LED-ring ซึ่งเป็น LED 48 หลอด สามารถปรับความเข้มของแสงได้ ซึ่งภาพที่สามารถถ่ายได้จะมี การชুমอยู่ในช่วง 3.5 – 10 เท่า และใช้กล้อง Sony และมีสเตจที่เอาไว้สำหรับเลื่อนสไลด์ซึ่งสามารถเลื่อนได้ใน 3 แกนคือ แกนลึก แกนนอน และแนวตั้ง โดยใช้ DC servo motor ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ 12 มิลลิเมตร และมี ค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ ประมาณ 5 ไมโครเมตร



ภาพที่ 4.1 การประกอบ Hardware

และแกนนอน เอาไว้ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายสไลด์เพื่อให้สามารถถ่ายได้ครอบคลุมทั้งสไลด์ ส่วนแนวลึก ทำหน้าที่ สำหรับหาระยะโฟกัสของเลนส์เพื่อให้ได้ระยะที่ภาพชัดที่สุด โดยควบคุม DC servo motor จาก K-Cube Brushed DC Servo Motor Controller

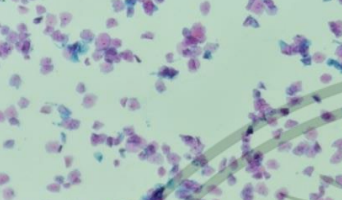
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์

การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์จะใช้ความเป็นรนาบของอุปกรณ์เป็นตัวอ้างอิง โดยวัดจาก ความเบลอของภาพ โดยการถ่ายภาพแล้วนำไปประมวลผลโดยซอฟต์แวร์หาค่าความเบลอของภาพ

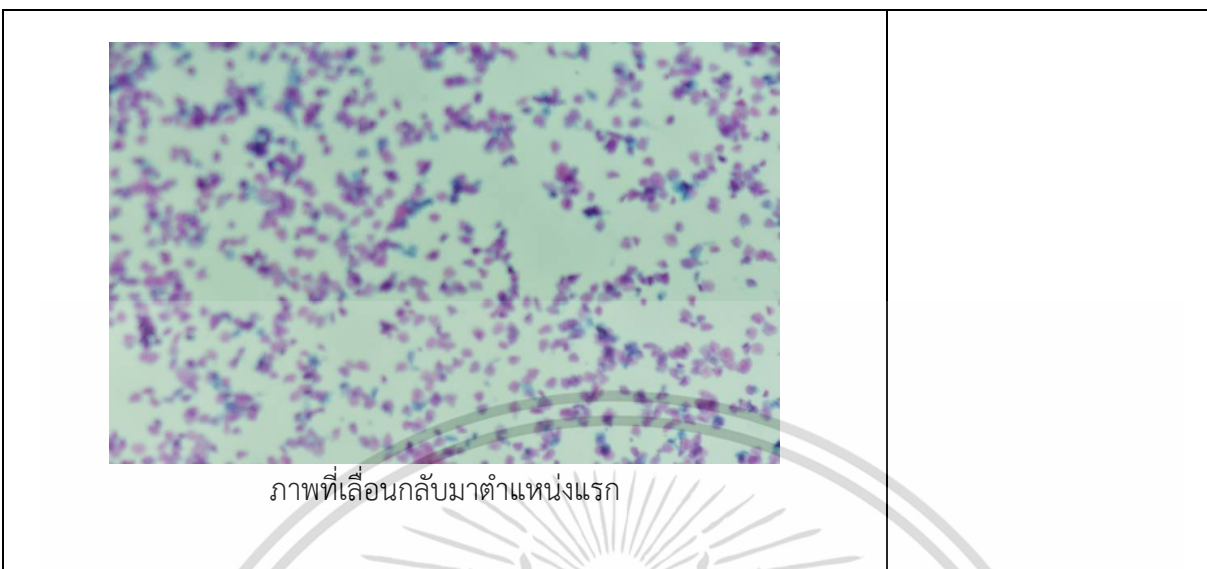
4.2.1 ทดสอบความเป็นรนาบในแนวนอน

ทำการทดสอบโดยถ่ายภาพในระยะที่ชัดที่สุด 1 ภาพ แล้วเลื่อนสไลด์ไปทางซ้าย 2 ครั้งโดยการเลื่อนซ้ายหรือขวา 1 ครั้งเป็นระยะ 2.3 มิลลิเมตร แล้วปรับให้ภาพนั้นชัดที่สุด จากนั้นเลื่อนกลับมาที่ ตำแหน่งในตอนแรก แล้วทำการถ่ายภาพจากนั้นนำภาพทั้ง 2 มาทดสอบหาค่าความเบลอ ยิ่งผลค่าความเบลอที่ได้จากซอฟต์แวร์มีค่าน้อย จะหมายความว่าภาพมีความเบลอมาก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความเป็นระนาบของอุปกรณ์ในแนวนอน

ภาพที่บันทึกได้	ค่าความเบลอจากซอฟต์แวร์
 ภาพอ้างอิง	4.90
 ภาพขยาย 2 ครั้ง	5.00

4.34



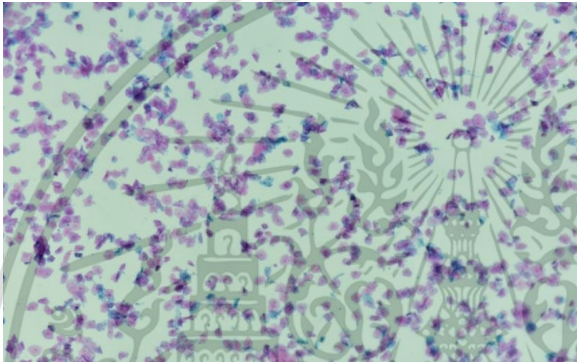
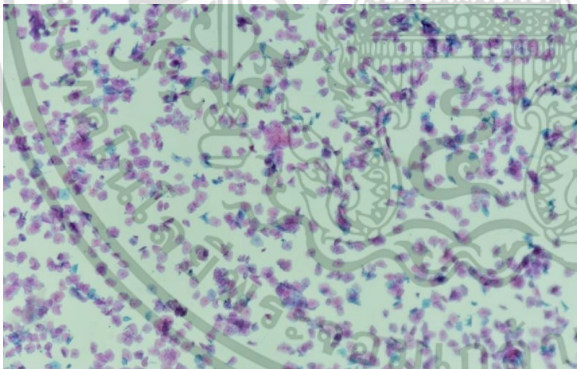
จากผลการทดลอง จะเห็นว่าค่าความเบลอของภาพหลังจากเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งเดิมมีค่าความเบลอ น้อยกว่าก่อนเลื่อนมาก แปลว่าอุปกรณ์นั้นไม่ได้ระนาบในแนวนอน เพราะเมื่อเลื่อนแล้วปรับภาพให้ชัดแล้ว เลื่อนกลับภาพมีความเบลอมากขึ้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเอียงของอุปกรณ์ในระนาบในแนวนอนในระดับ ที่มากที่จะมีผลต่อการเลื่อนสไลด์ไปทางซ้ายหรือขวา แล้วทำให้ภาพเกิดการเปลี่ยนระยะโฟกัส

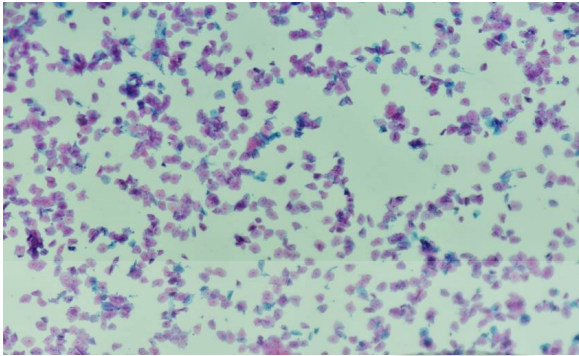
4.2.2 ทดสอบความเป็นระนาบในแนวตั้ง

ทำการทดสอบโดยถ่ายภาพในระยะที่ชัดที่สุด 1 ภาพ แล้วเลื่อนสไลด์ขึ้น 2 ครั้ง โดยการเลื่อน ขึ้นหรือลง 1 ครั้งเป็นระยะ 1.5 มิลลิเมตร แล้วปรับให้ภาพนั้นชัดที่สุดจากนั้นเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งในตอน แรก แล้วทำการถ่ายภาพจากนั้นนำภาพทั้ง 2 มาทดสอบหาค่าความเบลอ ยิ่งผลค่าความเบลอที่ได้จาก ซอฟต์แวร์มีค่าน้อย จะหมายความว่าภาพมีความเบลอมาก ถ้าค่าความเบลอจากซอฟต์แวร์มีค่ามาก จะ หมายความว่าภาพยิ่งชัด

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าค่าความเบลอของภาพหลังจากเลื่อนกลับมาที่ตำแหน่งเดิมมีค่าใกล้เคียง ของเดิมมาก ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าความเอียงในระนาบแนวตั้งมีผลน้อยมากต่อการเลื่อนสไลด์ ซึ่งทำให้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนระยะโฟกัสของภาพ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความเป็นระนาบของอุปกรณ์ในแนวตั้ง

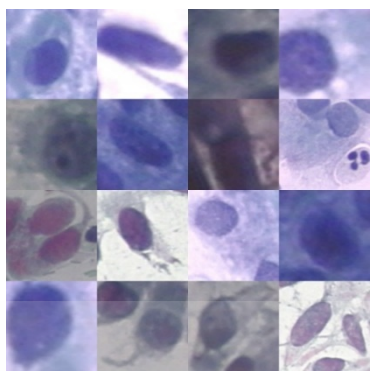
ภาพที่บันทึกได้	ค่าความเบลอจากซอฟต์แวร์
 ภาพอ้างอิง	4.90
 ภาพขยับขึ้น 2 ครั้ง	4.98

 ภาพที่เลื่อนกลับมาตำแหน่งแรก	4.85
---	-------------

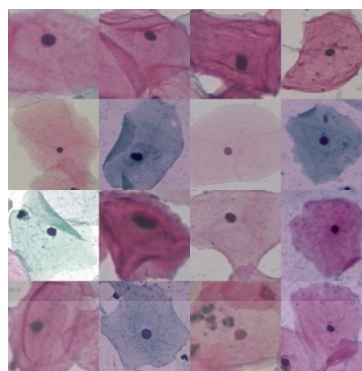
บทที่ 5 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

5.1 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย (Output)

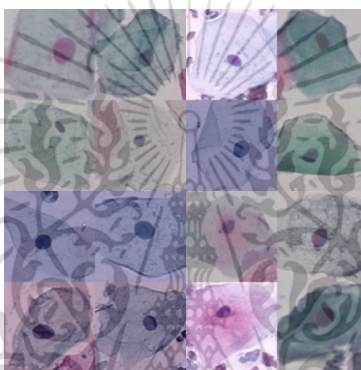
- 1) ซอฟต์แวร์ระบบ Deep Learning บนเครื่องอ่าน slide แบบ full-frame ที่สามารถอ่านข้อมูลและวิเคราะห์ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงการอ่านของแพทย์ที่มีความเชี่ยวชาญ
- รูปภาพเซลล์ Pap smear นำมาจากรฐานข้อมูลของ DTU/Herlev ที่เก็บมาจากตัวอย่างเนื้อเยื่อปากมดลูก ด้วยวิธี Pap smear ประกอบไปด้วยภาพเซลล์ทั้งหมด 917 ภาพ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ
1. เซลล์ปกติ (242 ภาพ) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด
 - Columnar
 - Intermediate squamous
 - Superficial squamous



(a) Columnar



(b) Intermediate squamous



(c) Superficial squamous

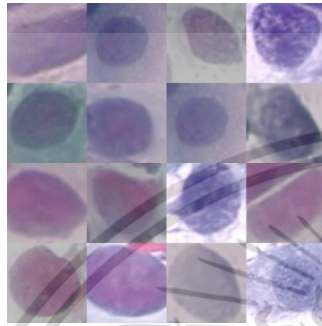
ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างเซลล์ปกติชนิดต่าง ๆ

- Columnar: เซลล์เยื่อบุผิวเรียงตัวได้ประมาณ 180 um^2 และมีไซโตพลาสซึมที่เป็น capnophilic และโปร่งแสง นิวเคลียสมีลักษณะกลมรีมักจะเป็นตุ่มที่มีโครมาตินกระจายอย่างประณีตและเมื่อย้อมสีแล้วจะเป็นสีน้ำเงินเข้มกว่าไซโตพลาสซึมดังที่แสดงในภาพที่ 5.1 (a)
- Intermediate squamous: เป็นเซลล์ระดับกลางมีขนาดประมาณ $800\text{-}1200 \text{ um}^2$ เซลล์รูปหลายเหลี่ยม (มีด้านตรงหลายด้าน) มีนิวเคลียสขนาดประมาณ 35 um^2 ขนาดของเซลล์แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเซลล์ในเยื่อบุผิวในขณะที่ขนาดของนิวเคลียสค่อนข้างคงที่ เมื่อทำการย้อมสีไซโตพลาสซึมเป็นสีฟ้าหรือเขียวน้ำเงินดังแสดงในภาพที่ 5.1 (b)
- Superficial squamous: เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ขนาดประมาณ 1600 um^2 นิวเคลียสวัดประมาณ 20 um^2 ไซโตพลาสซึมค่อนข้างสว่างแบ่งเขตอย่างชัดเจนและมีคราบสีแดง eosinophilia หรือ acidophilia ดังแสดงในภาพที่ 5.1 (c)

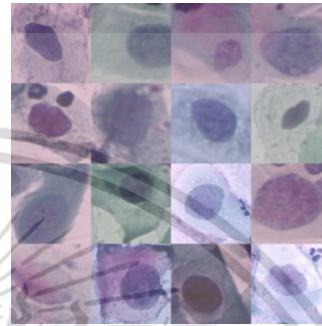
2. เซลล์มะเร็ง (675 ภาพ) แบ่งออกเป็น 4 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Carcinoma in situ
- Light dysplasia
- Moderate dysplasia
- Severe dysplasia



(a) Carcinoma in situ



(b) Light dysplasia



(c) Moderate dysplasia



(d) Severe dysplasia

ภาพที่ 5.2 ตัวอย่างเซลล์มะเร็งชนิดต่าง ๆ

- Carcinoma in situ: มีนิวเคลียสที่ขยายใหญ่ขึ้นประมาณ 3-5 เท่าของนิวเคลียสปกติและมีลักษณะกลมหรือรูปไข่ อัตราส่วนนิวเคลียสต่อเซลล์มีขนาดใหญ่มาก ขนาดเซลล์อยู่ระหว่าง $95 - 450 \text{ um}^2$ และมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ ไซโตพลาสซึมจะบางและมีสีน้ำเงินดังแสดงในภาพที่ 5.2 (a)
- Mild dysplasia: เซลล์มีขนาดใหญ่ประมาณ $1,000-1500 \text{ um}^2$ และรูปหลายเหลี่ยมอาจจะมีลักษณะกลมหรือรูปไข่เล็กน้อย ไซโตพลาสซึมจะมีลักษณะบางใสสามารถมองเห็นทะลุผ่านได้ นิวเคลียสมีขนาดค่อนข้างใหญ่ประมาณ 175 um^2 ลักษณะกลมหรือรูปไข่ ดังแสดงในภาพที่ 5.2 (b)

- Moderate dysplasia: ขนาดของเซลล์ประมาณ $300-700\text{ }\mu\text{m}^2$ มีลักษณะกลมหรือรูปไข่ที่มีไฮโทพลาสซึมมีสีน้ำเงิน นิวเคลียสมีค่าประมาณ $150\text{ }\mu\text{m}^2$ เป็นทรงกลมหรือรูปไข่โดยมีระดับ hyperchromasia ปานกลาง Chromatin นั้นมีความหยابและสม่ำเสมอตามที่แสดงในภาพที่ 5.2 (c)
- Severe dysplasia: เซลล์มีขนาดเฉลี่ยประมาณ $190\text{ }\mu\text{m}^2$ และรูปร่างของไฮโทพลาสซึมนั้นเป็นรูปไข่หรือเมล็ดถั่วและส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงิน ที่มีเส้นขอบไม่ชัดเจน นิวเคลียสจะขยายตัวประมาณ $80\text{ }\mu\text{m}^2$ และรูปไข่หรือกลมตามที่แสดงในภาพที่ 5.2 (d)

รูปภาพทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 70% สำหรับ Training 20% สำหรับ validation และอีก 10% สำหรับทดสอบโมเดลที่ถูกฝึกมา โดยการฝึกโมเดลจะใช้โมดูลสำเร็จรูปที่ชื่อว่า Pytorch เพราะมีโมเดลสำเร็จรูปไว้ให้ใช้ถึง 5 โมเดล คือ AlexNet, Densenet161, Resnet101, Vgg19_bn และ Squeezenet1_1 โดยจะทำการทดลอง 2 แบบคือ

1. โมเดลที่เรียนรู้ภาพเซลล์ที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เซลล์ปกติ และ เซลล์ที่ผิดปกติ (Binary classification)
2. โมเดลที่เรียนรู้ภาพเซลล์ที่ถูกแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มคือ Columnar, Intermediate squamous, Superficial squamous, Carcinoma in situ, Light dysplasia, Moderate dysplasia และ Severe dysplasia (Multiclass classification)

ทั้ง 2 แบบจะถูกฝึกด้วยโมเดลทั้งหมด 5 โมเดลดังที่กล่าวข้างต้น และนำมาเปรียบเทียบกับกันด้วยการวัด ความแม่นยำ (accuracy) ความไว (sensitivity) และความจำเพาะ (specificity) เพื่อดูประสิทธิภาพของแต่ละโมเดลที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกต่อไป

- 2) เครื่องสแกนตัวอย่างเนื้อเยื่อแสดงดังภาพที่ 5.3 จะสามารถบันทึกภาพได้ 2 โหมด คือ โหมด manual และโหมด automatic ซึ่งจะสามารถทำการบันทึกภาพ และส่งภาพไปยังส่วนหน่วยประมวลผลของสมองกลฝังตัว (embedded system)



ภาพที่ 5.3 ภาพเครื่องสแกนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

รายชื่อ publication จากโครงการวิจัยนี้

1. M. Dumripatanachod and W. Piyawattanametha, “Automated Paptest Diagnosis with Artificial Neural Network,” The 2017 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology a Theme on “Smart Embedded Systems for Industry 4.0,” Bangkok, Thailand, August 2-4, 2017.
2. Y. Promworn, C. Pintavirooj, and W. Piyawattanametha, “A comparative study of 3 deep learning. Models for Pap smear screening,” The 8th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON) 2018, Chiangmai, Thailand, November 21-24, 2018.

สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวม ทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน	-	-	-
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	1,634,500	1,634,500	-
ค่าวัสดุ	-	-	-
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	1,634,500	1,634,500	-
หมายเหตุ รายละเอียดค่าใช้จ่ายตามเอกสารแนบ			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงชื่อ



ผู้รับผิดชอบโครงการ

(.....อ.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา.....)

Wibool Piyawattanametha, PhD

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Group Leader, Advanced Light Microscopy

1 Soi Chalong Krung1, Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand, T: +66 (0)2-329-8000

Email: wibool@gmail.com and wibool.pi@kmitl.ac.th

Adjunct Professor, Institute for Quantitative Health Science & Engineering, Michigan State University

220 Trowbridge Rd, East Lansing, MI 48824, USA, T: +1 517-355-1855

Email: piyawatt@msu.edu

EDUCATION

University of California, Los Angeles, USA (2000 – 2004)

Doctor of Philosophy in Electrical Engineering

University of California, Los Angeles, USA (1997 – 1999)

Master of Science in Electrical Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand (1990 – 1994)

Bachelor of Electronics Engineering (Magna cum laude)

ACCOMPLISHMENTS/AWARDS

- Recognized on Times Higher Education Ranking Website as a notable KMITL Alumni (<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/king-mongkuts-institute-technology-ladkrabang>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Awarded 3rd prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2018, Hong Kong, China
- Awarded Gold Medal Award for Smart Road surface Monitoring System via Cloud Computing from the 46th International Exhibition of Inventions of Geneva 2018, Geneva, Switzerland
- Awarded Bronze Medal Award for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from the 46th International Exhibition of Inventions of Geneva 2018, Geneva, Switzerland
- Awarded Special prize for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from Korea Invention Promotion Association 2018
- Awarded Recognition Award for Smart Road surface Monitoring System via Cloud Computing from National Research Council of Thailand 2018, Bangkok, Thailand
- Awarded Recognition Award for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from National Research Council of Thailand 2018, Bangkok, Thailand
- Awarded 2nd prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China
- Awarded Silver Prize in Leaders in Innovation Fellowships 2017, the Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom
- Awarded 2nd prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2016, Paris, France
- Awarded Leaders in Innovation Fellowships 2017 from the Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom
- Awarded the Newton Fund Researcher Links in 2015 from the British Council, United Kingdom
- Awarded 3rd prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2015, Anchorage, Alaska, USA
- Awarded Fraunhofer-Bessel Research Award in 2014 from the Alexander von Humboldt Foundation, Berlin, Germany
- Awarded Young Scientists Award 2013 from the World Economic Forum (WEF), Geneva, Switzerland– given to top 40 young scientists under the age of 40 who plays transformation role in integrating scientific knowledge and technological innovation to improve the state of the world
- Awarded an excellent paper award from the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEJ) 2014, Bangkok, Thailand
- Awarded 2nd prize from True Innovation, Bangkok, Thailand 2012
- Awarded Erasmus Mundus Grant 2012 from the European Commission
- Awarded 2nd prize from the Global Entrepreneurship Competition (GEC) 2011, Barcelona, Spain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Outstanding paper award from Transducers 2011, Beijing, China, 2011
- Awarded 1st prize from the Global Social Venture Competition (GSVC) 2011, Bangkok, Thailand
- Achieved over 2600 citations with h-index of 25
- Served as a Director of Advanced Imaging Research Center at the Faculty of Medicine, Chulalongkorn University (2010-14)
- Contributed to seven book chapters and filed 5 patents in micro- and nano-systems and biomedical imaging technology
- Presented at over 300 professional meetings including invited talks at various world class research institutes
- Served as a principal investigator (PI) in the following funding agencies since 2009 (US\$ 3+ million):
 - National Research Council (NRC)
 - Chulalongkorn University
 - National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 - Office of the Higher Education Commission (OHEC)
 - Thailand Research Fund (TRF)
- Served as a founding member and an executive committee member of the Global Young Academy (GYA) and Thai Young Scientists Academy (TYSA) in 2010
- Elevated to be senior members of The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in 2010, The Optical Society of America (OSA) in 2011, and The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineering (SPIE) in 2012
- Served as a co-investigator in:
 - National Cancer Institute (NCI), USA-funded Network for Translational Research Award (US\$ 17+ million) to develop an endoscopic confocal microscope, ultrasound transducers, and nanoparticle-based wide-field spectral imaging devices, for molecularly-targeted disease detection in the gastrointestinal tract from 2005 to 2013
 - Howard Hughes Medical Institute (HHMI), USA-funded for Deep Brain Imaging Award (US\$ 5+ million) to develop ultraportable 2-photon microendoscopes for mouse brain imaging from 2006 to 2010
- Served as a technical and program reviewer for:
 - Department of Defense (DOD), USA
 - National Institutes of Health (NIH), USA
 - National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand
 - Thailand Research Fund (TRF)
- Served as a technical program committee member and a technical program chair for:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SPIE Photonics West Optical MEMS and Miniaturized Systems Conference from 2007 until present (chair)
- IEEE NANOMED Conference in 2012 until present (chair)
- IEEE CYBER Conference in 2012 (chair)
- International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM) in 2016 (chair)
- IEEE Optical MEMS and Nanophotonics (OMN) Conference from 2015 until present (committee)
- IEEE Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS) from 2012 until present (committee)
- International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE) from 2008 - 2013
- Served as a co-editor and a technical reviewer for:
 - Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS (JM3) in 2014 (guest editor)
 - PLOS ONE from 2012 to present (reviewer)
 - International Journal of Cancer (IJC) from 2011 until present (reviewer)
 - Journal of Biomedical Science and Engineering (JBSE) from 2008 until present (reviewer)
 - IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE) from 2006 until present (reviewer)
 - IEEE Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS) from 2005 until present (reviewer)
 - IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing from 2012 until present (reviewer)
 - Springer International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2012 until present (reviewer)
- Authored and co-authored over 80 manuscripts published in peer-reviewed conference proceedings and journals such as *IEEE*, *OSA*, *SPIE*, Elsevier, and *Nature Publishing Group*
- Taught classes or gave lectures at various institutes (UCLA, Stanford University, HKUST, TECHNION, Peking University, National Taiwan University, National Tsing Hua University, Tokyo University, etc.)

PROFESSIONAL EXPERIENCE

Michigan State University (2018 – Present)

Adjunct Professor, Institute for Quantitative Health Science & Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) (2014 – Present)

Group Leader of Light Microscopy, Vice Director of the KMITL Research and Innovation Division (2015-16)

Fraunhofer IPMS (2014 – Present)

Technology Consultant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

(2014 – 2016)

Vice Director of Research and Innovation

National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC)

(2009 – 2014)

Group Leader of Light Microscopy

Chulalongkorn University, Faculty of Medicine

(2009 – Present)

Director of Advanced Imaging Research (AIR) Center

Adjunct Professor, Department of Internal Medicine

Stanford University

(2007 – 2009)

Physical Science Research Associate

Departments of Applied Physics, Biology, Electrical Engineering, and Pediatrics

- Demonstrated the first clinical use of a novel handheld Dual-Axes Confocal microscope (10-mm diameter) in live human patients in skin, with the ultimate goal to examine for monitoring sub-mucosa cancer progression and drug delivery through skin
- Demonstrated the first Dual-Axes Confocal endoscope (< 5 mm diameter) for GI tract imaging
- Demonstrated the first use of MEMS based portable two-photon fluorescence microendoscope (< 3.5 grams) for deep brain imaging in live awaking mice to correlate their behaviors to brain activities

Stanford University

(2005 – 2006)

Post-doctoral research scholar

Departments of Applied Physics, Biology, Electrical Engineering, and Pediatrics

- Led a team of four to develop two novel miniaturized medical microendoscope and endoscope by combining MEMS, micro-optics, and beam scanning microscopy. Those microendoscopes/endoscopes are:
 - Two-photon microendoscope: to be used in small animal imaging
 - Dual-axes confocal endoscope: to be used in human patients
- Co-developed the first compact 2-D MEMS scanners with high speed and large angular rotation for endoscopic imaging applications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Optimized micro-fabrication process of MEMS scanners to increase production yield, production efficiency, and increase scanner performance
- Lectured in MEMS/Optics classes at Stanford University

University of California, Los Angeles

(1997 – 2004)

Graduate student researcher

- Demonstrated the first 2-D MEMS scanners based for an Ultrahigh Resolution Optical Coherence Tomography (UHR-OCT) imaging endoscope
- Designed, fabricated, and demonstrated the first 2-D MEMS scanners with electrostatic angular vertical comb (AVC) actuators based on surface and bulk micromachined techniques for endoscopic imaging application
- Demonstrated the first MEMS based Non-Interferometric Differential Confocal Scanning Optical Microscope
- Co-developed the first linearization control method for electrostatically actuated surface micromachined 2-D scanner
- Lectured in a MEMS fabrication/design class to undergraduate and graduate students at UCLA

Schlumberger Limited

(1994 – 1997)

Field Engineer (FE)

- Provided oil and gas reservoir evaluation engineering services by using electrical wireline logging technology to localize the hydrocarbon layers of the subsurface reservoir
- Managed and led a team of 4 members to provide these services
- Responsible for engineering services valued at \$300,000 - \$500,000 per month
- Collected and analyzed technical data and coordinated engineering project activities with major clients e.g. Exxon-Mobil, Unocal, and TOTAL

Research

1. Publication refereed

a. Journal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [1] L. Jung, D. Lopez, Z. Qiu, and W. Piyawattanametha, "2-D MEMS Scanner for Handheld Mutispectral Dual-Axis Confocal Microscopes," *IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS)*, May 24, 2018, vol. PP, no. 99, pp. 1-8.
- [2] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "New Endoscopic Imaging Technology Based on MEMS Sensors and Actuators," *Micromachines* 2017, 8(7), 210; doi:10.3390/mi8070210.
- [3] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "MEMS-Based Medical Endomicroscopes," *Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE)*, Vol.21, No.4, August 16, 2015, DOI 10.1109/JSTQE.2015.2389530.
- [4] N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, R. Jolivot, U. Jarujareet, K. Plaimas, P. Bhattarakosol, S. Patumraj, and W. Piyawattanametha, "Novel p16 binding peptide development for p16-overexpressing cancer cell detection using phage display," *Journal of Peptide Science*, Vol. 21, Issue 4, April 2015, pp. 265-273.
- [5] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "MEMS based fiber optical microendoscopes," *Displays*, Vol. 37, April 2015, pp 41-53.
- [6] C. B. Wong, B. Y. Khoo, S. Sasidharan, W. Piyawattanametha, S. Kim, N. Khemthongcharoen, M. Y. Ang, L. O. Chuah, and M. T. Liong, "Inhibition of *Staphylococcus aureus* by crude and fractionated extract from lactic acid bacteria," *Beneficial Microbes*, March 2015, 1;6(1):129-39.
- [7] C. Zhao, Y. K. Lee, R. Xu, C. Liang C, D. Y. Liu, W. Ma, W. Piyawattanametha, Y. Zohar, "Isolation of circulating tumor cells under hydrodynamic loading using microfluidic technology," *Advances in Mechanics*, 2014, 44: 201412.
- [8] N. Khemthongcharoen, S. Rattanavarin, R. Jolivot, and W. Piyawattanametha, "Advances in imaging probes and optical microendoscopic imaging techniques for early in vivo cancer assessment (invited paper)," *Journal of Advanced Drug Delivery Reviews*, July 30, 2014, Vol. 74, pp. 53-74.
- [9] K. Kongsamak, P. Pungpit, M. R. Kano, S. Komai, W. Piyawattanametha, and O. Phanraksa, "Perceptions of Research Excellence in Thailand and Japan," *Science Technology and Innovation Policy Review*, ISSN: 2093-3053, October 2013, Vol. 4, No. 2.
- [10] W. Piyawattanametha, H. Ra, Z. Qiu, S. Friedland, J. T. C. Liu, K. Loewke, G. S. Kino, O. Solgaard, T. D. Wang, M. J. Mandella, and C. H. Contag, "*In Vivo* Near-infrared Dual-Axis Confocal Microendoscopy in the Human Lower Gastrointestinal Tract," *Journal of Biomedical Optics* 17(2), February 2012, 021102:1-4.
- [11] C. L. Hoy, O. Ferhanoglu, M. Yildirim, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, "Optical design and imaging performance testing of a 9.6-mm diameter femtosecond laser microsurgery probe," *Optics Express* 19, 10536 - 10552 (2011).
- [12] K. Loewke, D. Camarillo, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, C. H. Contag, S. Thurn, and K. Salisbury, "*In Vivo* Micro-Image Mosaicing," *The IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, January 2011, Vol. 58, No. 1, pp. 159-171.

- [13] W. Piyawattanametha, H. Ra, E. Gonzalez, M. J. Mandella, G. S. Kino, O. Solgaard, D. Leake, R. L. Kaspar, A. Oro, and C. H. Contag, “*In vivo* imaging of human and mouse skin with a dual-axis confocal fluorescence microscope,” *Journal of Investigative Dermatology*, January 2011, 131, 1061-1066.
- [14] J. T. C. Liu, M. J. Mandella, N. O. Loewke, H. Haeberle, H. Ra, W. Piyawattanametha, O. Solgaard, G. S. Kino, and C. H. Contag, “Micromirror-scanned dual-axis confocal microscope utilizing a gradient-index relay lens for image guidance during brain surgery,” *Journal of Biomedical Optics*, April 2010, vol. 15, pp. 026029.
- [15] W. Piyawattanametha and T. D. Wang, “MEMS-Based Dual Axes Confocal Microendoscopy (Invited Paper),” *The IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE)*, July-August 2010, Vol. 16, Issue 4, pp. 804-814.
- [16] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, K. Loewke, T. D. Wang, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, “3-D Near Infrared Fluorescence Imaging using a MEMS-based Miniature Dual-Axes Confocal Microscope,” *The IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE)*, Sept-Oct 2009, Vol. 15, Issue 5, pp. 1344-1350.
- [17] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, L. D. Burns, R. P. J. Barretto, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, “*In vivo* brain imaging using a portable 2.9 gram two-photon microscope based on a microelectromechanical systems scanning mirror,” *Optics Letters*, August 1, 2009, Vol. 34, No. 15, pp. 2309-2311.
- [18] E. Gonzalez, H. Ra, R. P. Hickerson, Q. Wang, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, G. S. Kino, D. Leake, A. Avilion, O. Solgaard, T. C. Doyle, C. H. Contag, and R. L. Kaspar, “siRNA silencing of keratinocyte-specific GFP expression in a transgenic mouse skin model,” *Gene Therapy* (2009), Vol. 16, May 28, 2009, pp. 963-972.
- [19] E. Gonzalez, H. Ra, R. P. Hickerson, Q. Wang, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, G. S. Kino, D. Leake, A. Avilion, O. Solgaard, T. C. Doyle, C. H. Contag, and R. L. Kaspar, “Characterization of a transgenic GFP mouse skin model for development of siRNA delivery technologies,” *Journal of Investigative Dermatology*, April 2009, 129, S90.
- [20] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, “Miniaturized probe for femtosecond laser microsurgery and two-photon imaging,” *Optics Express*, Vol. 16 (2008), Issue 13, pp. 9996-10005.
- [21] H. Ra, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, P. L. Hsiung, J. Hardy, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “Three-dimensional *in vivo* imaging by a handheld dual-axes confocal microscope,” *Optics Express*, Vol. 16 (2008), Issue 10, pp. 7224-7232.
- [22] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, D. Lee, M. J. Mandella, G. S. Kino, C. H. Contag, and O. Solgaard, “Two-dimensional MEMS scanner for dual-axes confocal microscopy,” *IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS)*, Vol. 16, August 2007, pp. 969-976.

- [23] A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, W. Piyawattanametha, L. Fan, and M. C. Wu, "Two-axis MEMS Scanning Catheter for Ultrahigh Resolution Three-dimensional and *En Face* Imaging," *Optics Express*, Vol. 15 (2007), Issue 5, pp. 2445-2453.
- [24] J. T. C. Liu, M. J. Mandella, H. Ra, L. K. Wong, P. Hsiung, T. D. Wang, G. S. Kino, W. Piyawattanametha, C. H. Contag, and O. Solgaard, "A miniature near-infrared dual-axes confocal microscope utilizing a two-dimensional MEMS scanner," *Optics Letters*: Vol. 32 (2006), Issue 3, pp. 256-258.
- [25] W. Piyawattanametha, R. P. J. Barretto, T. H. Ko, B. A. Flusberg, E. D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "Fast-scanning two-photon fluorescence imaging based on a microelectromechanical systems two-dimensional scanning mirror," *Optics Letters*, Vol. 31, No. 12, July 1, 2006, pp. 2018-2020.
- [26] B. A. Flusberg, E. D. Cocker, W. Piyawattanametha, J. C. Jung, E. L. M. Cheung, and M. J. Schnitzer, "Fiber-optic Fluorescence Imaging (Invited Paper)," *Nature Methods*: 2, 941 - 950 (2005).
- [27] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, "Surface- and Bulk- Micromachined Two Dimensional Scanner Driven by Angular Vertical Comb Actuators," *IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS)*, Vol. 14, Issue 6, December 2005, pp.1329 – 1338.
- [28] M. Fujino, Pamela R. Patterson, H. Nguyen, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "Monolithically Cascaded Micromirror Pair Driven by Angular Vertical Combs for Two-Axis Scanning," *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 10, No. 3, May/June 2004, pp. 492-497.
- [29] H. Nguyen, D. Hah, P. R. Patterson, R. Chao, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "Angular Vertical Comb Driven Tunable Capacitor with High Tuning Capabilities," *IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS)*, June 2004, Vol. 3, No. 3, pp. 406-413.
- [30] H. Toshiyoshi, W. Piyawattanametha, C. -T. Chan, and M. C. Wu, "Linearization of Electrostatically Actuated Surface Micromachined 2-D Optical Scanner," *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS)*, June 2001, Vol. 10, No. 2, pp. 205-214.

b. Conference

- [1] W. Piyawattanametha, "Virtual biopsies with handheld dual-axis confocal microendoscope," *World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering*, Prague, Czech Republic, June 3-8, 2018.
- [2] W. Piyawattanametha, "Fiber-optical microendoscopy based on MEMS scanning technology (invited)," *Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-nano Technology 2018*, Hongkong, China, June 24-27, 2018.
- [3] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral MEMS based dual-axis microendoscope (invited)," *IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS)*, Singapore, April 22-26, 2018.
- [4] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral MEMS scanner based dual-axis microendoscope (invited)," *Focus on Microscopy*, Singapore, March 25-28, 2018.

- [5] W. Piyawattanametha, "The Global State of Young Scientists in ASEAN: What is the next step? (invited)," The International Workshop on Asian Young Academies, The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, Israel, February 11-13, 2018.
- [6] Z. Qiu, N. Loewke, W. Piyawattanametha, I. W. Jung, T. Teraphongphom, R. Ertsey, F. Schonig, S. Rogalla, S. Friedland, M. J. Mandella, D. Lopez, E. Rosenthal, and C. Contag, "MEMS based multi-spectral dual-axis confocal microendoscope for clinical applications (invited)," Photonics West 2018, San Francisco, CA, USA, January 30 - February 1, 2018.
- [7] T. Marumo, G. Murashova, D. Agnew, F. Schonig, M. J. Mandella, W. Piyawattanametha, Z. Qiu, M. Dantus, and C. H. Contag, "Design of MEMS based handheld multi-photon and second harmonic generation imaging system for early detection and imaging guided surgery of oral cancer (invited)," Photonics West 2018, San Francisco, CA, USA, January 30 - February 1, 2018.
- [8] S. Suwan and W. Piyawattanametha, "A handheld Escherichia coli Detection System," International Workshop on Advanced Image Technology, Chiangmai, Thailand, January 7-10, 2018.
- [9] M. Dumripatanachod and W. Piyawattanametha, "Automated Paptest Diagnosis with Artificial Neural Network," The 2017 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology a Theme on "Smart Embedded Systems for Industry 4.0," Bangkok, Thailand, August 2-4, 2017.
- [10] K. Phasuk, C. Pipitsombat, S. Pattanasak, and W. Piyawattanametha, "A fast Escherichia Coli Detector for Water Inspection," The 16th International Conference on Environment Engineering, Science, and Management, Bangkok, Thailand, May 17-18, 2017.
- [11] K. Phasuk, S. Suwan, and W. Piyawattanametha, "Development of E. coli detection," The 5th Higher Education Research Promotion Congress, Udonthani, Thailand, March 2-4, 2017.
- [12] C. Pipitsombat, K. Phasuk, S. Suwan, and W. Piyawattanametha, "Evaluation of rapid detection system for Escherichia coli in water samples," The 8th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON 2016), Luang Prabang, Lao People's Democratic Republic, December 6-8, 2016.
- [13] M. Dumripatanachod and W. Piyawattanametha, "Wide-field high-resolution fiber bundle based Endomicroscope for Cervical epithelium cells imaging," The 8th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2016), Luangprbang, Lao People's Democratic Republic, December 6-8, 2016.
- [14] M. Dumripatanachod and W. Piyawattanametha, "Centralized Pap Test Diagnosis with Artificial Neural Network and Internet of Things," The 10th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed), Macau, China, October 30 – November 2, 2016.
- [15] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Virtual biopsies with a MEMS scanner based confocal microscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2016, Matsushima, Sendai, Japan, April 17-20, 2016.
- [16] W. Piyawattanametha, "A handheld confocal microscope for 3D biopsies," Photonics West 2016, San Francisco, CA, USA, February 13-18, 2016.

- [17] M. Dumripatanachod and W. Piyawattanametha, "A Fast Depixelation Method of Fiber Bundle Image for an Embedded System," The 7th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON 2015), Pattaya, Thailand, November 25-27, 2015.
- [18] C. Pipitsombat and W. Piyawattanametha, "A Portable Escherichia Coli Detection Platform for Water Inspection," The 7th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON 2015), Pattaya, Thailand, November 25-27, 2015.
- [19] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Three-dimensional microscopy of biopsies with a handheld confocal microscope," Microscopy Conference 2015, Gottingen, Germany, September 6-11, 2015.
- [20] W. Piyawattanametha, "Three-dimensional microscopy of biopsies with a handheld confocal microscope," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2015, Jerusalem, Israel, August 2-6, 2015.
- [21] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy with MEMS technology (invited)," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2015, Xian, China, April 7-11, 2015.
- [22] C. Pipitsombat and W. Piyawattanametha, "Fiber-optical endoscopy with MEMS scanner technology," Photonics West 2015, San Francisco, CA, USA, January 31 – February 5, 2015.
- [23] W. Piyawattanametha, "Portable holographic imager for biological samples," The 7th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON 2014), Fukuoka, Japan, November 26-28, 2014.
- [24] W. Piyawattanametha, "High-resolution Imaging with MEMS based handheld confocal microscope," the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEEJ), Samui, Thailand, October 7-10, 2014.
- [25] W. Piyawattanametha, "Confocal microendoscopy (invited)," International Coastal Biology Congress 2014, Yantai, China, September 26-30, 2014.
- [26] W. Piyawattanametha, "MEMS based fiber-optical microendoscopy," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2014, Glasgow, Scotland, August 17-21, 2014.
- [27] W. Piyawattanametha, "Image Mosaicing Technique and Real-Time Imaging with MEMS based Handheld Confocal Microscope (invited)," The 18th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2014), Khon Kaen, Thailand, July 30 – August 1, 2014.
- [28] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy for early cancer detection (invited)," The 1st International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM 2014), Penang, Malaysia, May 27-29, 2014.
- [29] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy (invited)," The 2nd Optical Science of Dynamically Correlated Electrons (DYCE 2013), Kashiwa, Japan, December 17-18, 2013.
- [30] W. Piyawattanametha, "A review: Endoscopic imaging probe based on MEMS technology for nanomedicine (invited)," The 7th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed) 2013, Phuket, Thailand, November 10-13, 2013.
- [31] W. Piyawattanametha, "Advance in Light Microendoscopy (invited)," The 6th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON 2013), Krabi, Thailand, October 23-25, 2013.

- [32] W. Piyawattanametha, "A review of MEMS scanner based endoscopic optical imaging probe (invited)," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2013, Kanazawa, Japan, August 18-22, 2013.
- [33] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, R. Jolivot, I. L. Jung, D. Lopez, M. J. Mandella and W. Piyawattanametha, "MEMS multispectral confocal probe," the 16th International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2013), Barcelona, Spain, June 16-20, 2013.
- [34] P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, R. Jolivot, I. L. Jung, D. Lopez, and W. Piyawattanametha, "Handheld multispectral dual-axis confocal microscope for cervical cancer screening," Photonics West 2013, San Francisco, CA, USA, February 2-7, 2013.
- [35] N. Khemthongcharoen, A. Ruangphacha, U. jarujareet, S. Niruthisard, W. Piyawattanametha, "Phage-displayed p16INK4a binding peptide scanning from phage display library as a HPV-related cancer cells tracer," Molecular Medicine Conference 2012 (MMC), Bangkok, Thailand, December 19-22, 2012.
- [36] P. Sankatumvong, P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, I. L. Jung, and W. Piyawattanametha, "Characteristics of MEMS scanners with different driving bias," IEEE International Conference on Electron Devices and Solid State Circuit (EDSSC), Bangkok, Thailand, December 3-5, 2012.
- [37] N. Khemthongcharoen, A. Ruangphacha, W. Piyawattanametha, "Phage Display Specific p16INK4a Binding Peptide for Ex Vivo Cancer Cells Imaging," The 6th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed 2012), Bangkok, Thailand, November 4-7, 2012.
- [38] A. Ruangphacha, N. Khemthongcharoen, W. Piyawattanametha, "Homology modeling characterization of CDK4-roscovitine complexes," 11th International Conference on Bioinformatics (InCoB), Bangkok, Thailand, October 3-5, 2012.
- [39] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, R. Jolivot, I. W. Jung, D. López, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "Handheld Multispectral Confocal Microscope for Cervical Cancer Diagnosis," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Banff, Alberta, Canada, pp. 42-42, August 6-9, 2012.
- [40] I. W. Jung, S. Rattanavarin, S. Sarapukdee, M. J. Mandella, W. Piyawattanametha, "2-D MEMS scanner for handheld multispectral confocal microscopes," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Banff, Alberta, Canada, pp. 238-239, August 6-9, 2012.
- [41] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "Handheld Cervical Confocal Microscope Based on a MEMS Scanner," The 6th Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies (APCOT 2012), Nanjing, China, July 8-11, 2012.
- [42] U. Jarujareet, N. Khemthongchareon, W. Piyawattanametha, "Micro Objects Detection by a Portable Lensless Imaging Platform", The 6th Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies

(APCOT), Nanjing, China, July 8-11, 2012.

- [43] P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "MEMS-Based Handheld Dual-Axis Confocal Microscope for Cervix Cancer Screening," International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2012), Hua Hin, Thailand, May 16-18, 2012.
- [44] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy," Nano-Thailand 2012, Khon Kaen, Thailand, April 9-12, 2012.
- [45] U. Jarujareet and W. Piyawattanametha, "2D Correlation Map Based Object Detection in Digital In-line Holography," Nano-Thailand 2012, Khon Kaen, Thailand, April 9-12, 2012.
- [46] P. Wongsawatwariya, N. Khemthongcharoen, and W. Piyawattanametha, "Video Mosaicing for Real-time Field of View Enhancement," IEEE Robotics and Biomimetics (ROBIO), Phuket Island, Thailand, December 7-11, 2011.
- [47] W. Piyawattanametha, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "Cortical blood flow imaging with a portable MEMS based 2-photon fluorescence microendoscope," the 15th International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2011), Beijing, China, June 10-14, 2011.
- [48] T. Chantakien, P. Raphisak, I. Kumazawa, and W. Piyawattanametha, "MEMS-based handheld single-axis confocal microscope design and experiment," *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2011 8th International Conference on*, vol., no., pp.38-41, May 17-19, 2011.
- [49] W. Piyawattanametha and M. J. Schnitzer, "Cortical blood flow imaging with a portable MEMS based 2-photon fluorescence microendoscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2011, Kaohsiung, Taiwan, February 20-23, 2011.
- [50] T. Chantakien, P. Raphisak, I. Kumazawa, and W. Piyawattanametha, "Design and simulate of MEMS based confocal microscope probes," Information and Communication Technology for Embedded Systems (ICTES)," 2011 2nd International Conference, January 27-29, 2011.
- [51] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, S. Friedland, Z. Qiu, G. S. Kino, T. D. Wang, O. Solgaard, and C. H. Contag, "In Vivo Skin Microscopy," SPIE Photonics West 2011, Endoscopic Microscopy V, San Francisco, CA, January 25-29, 2011.
- [52] W. Piyawattanametha, "Smart microsystems for disease diagnostics," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2010, Sapporo, Japan, August 9-13, 2010.
- [53] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, S. Friedland, Z. Qiu, G. S. Kino, T. D. Wang, O. Solgaard, and C. H. Contag, "Dual-Axes Confocal Microendoscopy of Gastrointestinal Tract," SPIE Photonics West 2010, Endoscopic Microscopy V, San Francisco, CA, January 23-28, 2010.

- [54] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, C. H. Contag and O. Solgaard, "From Bench to Bedside with Advanced Dual-Axes Confocal Microendoscope," IEEE Microelectromechanical Systems (MEMS), Hong Kong, China, January 24-28, 2010.
- [55] W. Piyawattanametha and M. J. Mandella, "*In vivo* Imaging with MEMS based Confocal Microscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS), Xiamen, China, January 20-23, 2010, pp. 146.
- [56] W. Piyawattanametha, "Advanced Microendoscopy with Miniaturized Confocal Imaging Systems," IEEE Photonics Society Winter Topicals, Majorca, Spain, January 11-13, 2010.
- [57] W. Piyawattanametha, H. Ra, and M. J. Mandella, "*In vivo* Real Time Imaging by a Micromachined based Dual-axes Confocal Microscope," the 3rd IEEE International NanoElectronics Conference (INEC) 2010, Hong Kong, China, January 3-8, 2010, pp. 32.
- [58] W. Piyawattanametha, "3-D *in vivo* imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope," The 4th IEEE International Symposium on Biomedical Engineering, Plaza Athenee, Bangkok, December 14-18, 2009.
- [59] "In vivo real time imaging by a micromachined based confocal microscope," the 13th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MTAS), Jeju, Korea, November 1-5, 2009.
- [60] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, L. D. Burns, R. P. J. Barretto, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "A Portable MEMS Based Two-photon Fluorescence Microendoscope for Three-dimensional *in vivo* Imaging," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Clearwater Beach, Florida, August 17-20, 2009.
- [61] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, E. Gonzalez, R. L. Kaspar, G. S. Kino, C. H. Contag, and O. Solgaard, "Dual-Axes Confocal Microscopy for Human Skin Clinical Imaging," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Clearwater Beach, Florida, August 17-20, 2009.
- [62] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, R. Kaspar, and C. H. Contag, "*In vivo* microscopy in mouse models of monogenic skin disease," H. Ra, E. Gonzalez, World Molecular Imaging Congress, Montreal, Canada, September 23-26, 2009.
- [63] "Real-time *in Vivo* Cancer Diagnosis with a Microelectromechanical Systems (MEMS) Based Handheld Dual-Axes Confocal Microscope (Invited Talk)," the 4th Medical Biotech Forum 2009, Dalian, China, August 7-11, 2009, pp. 248.
- [64] H. Ra, E. Gonzalez, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, R. Kaspar, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "Sequential *in vivo* Molecular Imaging with a Dual-Axes Confocal Microscope," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore, MD, June 1-6, 2009.
- [65] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, E. Gonzalez, R. Kaspar, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, "*In vivo* clinical and intravital imaging with MEMS based Dual-Axes Confocal Microscopes," Optical Society of America, The OSA topical meeting in Novel Techniques in Microscopy, Vancouver, BC, Canada, April 27-29, 2009.

- [66] H. Ra, W. Piyawattanametha, E. Gonzalez, R. Kaspar, M. J. Mandella, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "In vivo Intravital Imaging with a Dual-Axes Confocal Microscope in Skin," IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS) Annual Meeting, Newport Beach, California, November 9-13, 2008, pp. 35-36.
- [67] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, E. Garai, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, "MEMS based dual-axes confocal clinical endoscope for real time *in vivo* imaging," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Freiburg, Germany, August 11-14, 2008, pp. 42-43.
- [68] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, D. K. Smith, T. L. Larson, W. Piyawattanametha, H. Ra, B. Korgel, K. Sokolov, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, "Two-photon luminescence imaging using a MEMS-based Miniaturized Probe," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), San Jose, CA, May 4-9, 2008, CThG5.
- [69] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, C. B. Du, C. H. Contag, G. S. Kino, O. Solgaard, and T. D. Wang, "Three-dimensional in-vivo imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope," SPIE Photonics West 2008, Endoscopic Microscopy III (6851-13), San Jose, CA, January 19-24, 2008.
- [70] K. E. Loewke, D. Camarillo, W. Piyawattanametha, and K. Salisbury, Jr., "Real-time image mosaicing with a dual-axes confocal microscope," SPIE Photonics West 2008, Endoscopic Microscopy III, Vol. 6851, pp. 68510-19, San Jose, CA, January 19-24, 2008.
- [71] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, "A Miniature microscope for two-photon imaging and femtosecond laser surgery," Frontiers in Optics (FIO), September 16, 2007, San Jose, CA.
- [72] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, R. P. J. Barretto, B. A. Flusberg, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "A Portable Two-photon Fluorescence Microendoscope based on a Two-dimensional Scanning Mirror," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Hualien, Taiwan, August 12-16, 2007, pp. 6-7.
- [73] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, C. B. Du, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "Three-dimensional *in vivo* Real Time Imaging by a Miniature Dual-axes Confocal Microscope based on a Two-dimensional MEMS Scanner," the 14th International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2007 & Eurosensors XXI), Lyon, France, June 10-14, 2007, pp. 439-442.
- [74] H. Ra, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "Three-Dimensional *in vivo* Reflectance and Fluorescence Imaging by a Handheld Dual-Axes Confocal Microscope," the Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore, MD, May 7-11, 2007, CTuEE1.
- [75] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, C. B. Du, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, "MEMS Based Dual-Axes Confocal Handheld Microscope for *in vivo* Imaging," SPIE Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6432), San Jose, CA.

- [76] M. J. Mandella, J. T. C. Liu, W. Piyawattanametha, H. Ra, P. L. Hsiung, L. K. Wong, T. D. Wang, C. H. Contag, and G. S. Kino, "Compact optical design for dual-axes confocal endoscopic microscopes," SPIE Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6443), San Jose, CA.
- [77] W. Piyawattanametha, B.A. Flusberg, R.P.J. Barretto, J.C. Jung, T.H. Ko, E.D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M.J. Schnitzer, "Toward portable two-photon fluorescence micro-endoscopy using a two-dimensional microelectromechanical (MEMS) scanning mirror," 2007 SPIE Photonic West Conference, Multiphoton Microscopy in the Biological Sciences VII, San Jose, CA, January 22, 2007.
- [78] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, and O. Solgaard, "Reflectance and fluorescence imaging with a MEMS dual-axes confocal microscope (*Invited Paper*)," Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6466), San Jose, CA.
- [79] W. Piyawattanametha, J. T. C. Liu, M. J. Mandella, H. Ra, L. K. Wong, P. Hsiung, T. D. Wang, G. S. Kino, and O. Solgaard, "MEMS Based Dual-axes Confocal Reflectance Handheld Microscope for *in vivo* Imaging," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Montana, USA, August 21-24, 2006.
- [80] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, and O. Solgaard, "Dual-axes Confocal Fluorescence Microscopy with a Two-dimensional MEMS Scanner," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Montana, USA, August 21-24, 2006.
- [81] H. Ra, Y. Taguchi, D. Lee, W. Piyawattanametha, and O. Solgaard, "Two-dimensional MEMS Scanner for Dual-Axes Confocal *in vivo* Microscopy," IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 2005, Istanbul, Turkey, January 22-26, 2006.
- [82] W. Piyawattanametha, R. P. J. Barretto, T. H. Ko, B. A. Flusberg, E. D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "Fast-scanning two-photon fluorescence imaging using a microelectromechanical systems two-dimensional scanning mirror," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2006, Long Beach, CA.
- [83] A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, W. Piyawattanametha, L. Fan, S. Hsu, M. Fujino, and M. C. Wu, "Ultrahigh resolution OCT imaging with a two-dimensional MEMS scanning endoscope," in Photonics West 2005, Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic Systems III, Session 11, 5692-49.
- [84] L. S. Fan, W. Piyawattanametha, M. Fujino, and M. C. Wu, "Endoscopic three-dimensional OCT imaging with MEMS scanner (*Invited Paper*)," Univ. of California, Los Angeles; A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, Massachusetts Institute of Technology, SPIE Photonics West 2005, MOEMS and Miniaturized Systems V, Session 5, 5719-20.
- [85] P. R. Patterson, D. Hah, M. Fujino, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "Scanning micromirrors: an overview (*Invited Paper*)," Optomechatronic Micro/Nano Components, Devices, and Systems, Optics East 2004, Philadelphia, PA, Proceedings of SPIE, vol. #5604.
- [86] W. Piyawattanametha, L. Fan, S. Hsu, M. Fujino, M. C. Wu, P. R. Herz, A. D. Aguirre, Y. Chen, and J. G. Fujimoto, "Two-dimensional Endoscopic MEMS Scanner for High Resolution Optical Coherence Tomography,"

Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2004, San Francisco, May 2004, CWS 2.

- [87] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, "A 2-D Scanner by Surface and Bulk Micromachined Angular Vertical Comb Actuators," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Waikoloa, HI, August 18-21, 2003, pp. 93-94.
- [88] "Cascaded Micromirror Pair Driven by Angular Vertical Combs for Two-Axis Scanning," IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Waikoloa, HI, August 18-21, 2003, pp. 99-100.
- [89] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. Wu, "A Surface and Bulk Micromachined Angular Vertical Combdribe for Scanning Micromirrors," Optical Fiber Conference 2003, Atlanta, USA, March 2003, pp. 251-252.
- [90] H. Nguyen, D. Hah, P. R. Patterson, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, "A Novel MEMS Tunable Capacitor based on Angular Vertical Comb Drive Actuators," Solid-State Sensor, Actuator, and Microsystems, Hilton Head Island, South Carolina, June 2-6, 2002, pp. 277-280.
- [91] W. Piyawattanametha, P. Patterson, G. D. Su, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, "A MEMS Non-Interferometric Differential Confocal Scanning Optical Microscope," The 8th International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2001 & Eurosensors XV), Munich, Germany, June 10-14, 2001, pp. 590-593.
- [92] H. Toshiyoshi, W. Piyawattanametha, C. T. Chan, and M. C. Wu, "Linearization and Analysis of Electrostatically Actuated MEMS 2-D Optical Scanner," Late News Technical Digest of Solid-State Sensor and Actuator Workshop (Hilton Head 2000), South Carolina, CA, USA, June 4-8, 2000, pp. 7-8.
- [93] W. Piyawattanametha, H. Toshiyoshi, J. LaCosse, and M. C. Wu, "Surface Micromachined Confocal Scanning Optical Microscope," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2000, San Francisco, CA, USA, May 7-12, 2000, pp. 447-448.
- [94] G. D. Su, W. Piyawattanametha, R. Rollier, L. Fan, and M. C. Wu, "MEMS 2D Scanning Mirror for Dynamic Alignment in Optical Interconnect," Proceedings of Integrated Photonics Research (IPR'99), Santa Barbara, CA, USA, July 1999.
- [95] W. Piyawattanametha, L. Fan, and M. C. Wu, "[MEMS Technology for Optical Crosslink for Micro/Nano Satellites](#)," The International Conference on Integrated Nano/Microtechnology for Space Applications (NanoSpace'98), NASA/Johnson Space Center, Houston, TX, USA, November 1-6, 1998.

2. Invited/keynote talks (selected)

- [1] "Microendoscopy techniques based on MEMS technology," APCOT, Hong Kong, China (Keynote).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 
- [2] "MEMS technology for light microscopy," International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China (Keynote).
- [3] "Light microendoscopy with MEMS technology," Imperial College, London, July 2016 (Invited).
- [4] "Innovation State of Thailand," Sci Days, Saint Petersburg, Russia, October 21, 2015 (Invited).
- [5] "Recent updates in optical microendoscopy," Institute of Photonics and Microsystems, Fraunhofer Institute, Dresden, Germany, August 31, 2015.
- [6] "Light microendoscopy with MEMS technology," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2015, Xian, China, April 7-11, 2015.
- [7] "Confocal microendoscopy," International Coastal Biology Congress 2014, Yantai, China, September 26-30, 2014.
- [8] "Image Mosaicing Technique and Real-Time Imaging with MEMS based Handheld Confocal Microscope," The 18th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2014), Khon Kean, Thailand, July 30 – August 1, 2014.
- [9] "Light microendoscopy for early cancer detection," The International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM) 2014, Penang, Malaysia, May 27-29, 2014.
- [10] "MEMS based medical microendoscope," Institute of Photonics and Microsystems, Fraunhofer Institute, Dresden, Germany, March 19, 2014.
- [11] "Early cancer detection with photonics technology," The 1st Young Scientists Meeting, Tokyo, Japan, February 13-14, 2014.
- [12] "Entrepreneurial Spirits in Thailand," The 1st Workshop for Young Scientists and Engineers, Jerusalem, Israel, November 25-28, 2013.
- [13] "Advance in light microendoscopy," Technion, Haifa, Israel, November 24, 2013.
- [14] "The Global Young Academy Activities," Regional Meeting of the Global Research Council (GRC), Jeju Island, Korea, November 18-19, 2013.
- [15] "MOEMS devices for endoscopic imaging," Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT), Seoul, South Korea, August 29, 2013.
- [16] "Advanced light microendoscopy," Seoul National University (SNU), Seoul, South Korea, August 28, 2013.
- [17] "Early cancer detection with optical imaging," Toyota Technological Institute University, Nagoya, Japan, August 23, 2013.
- [18] "Light microendoscopy for cancer detection," National Chiao Tung University, Taipei, Taiwan, July 18, 2013.
- [19] "Endoscopic imaging," National Taiwan University (NTU), Taipei, Taiwan, July 17, 2013.
- [20] "Advanced confocal imaging," the 2nd Bio-Photonics Workshop," Taipei, Taiwan, July 17-19, 2013.
- [21] "Light microendoscopy," University of Bourgogne, Bourgogne, France, May 7, 2013.
- [22] "Confocal microendoscopy and biomarkers," Conference on nanobiology, Okayama, Japan, March 12-13, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] "Advance in light microendoscopy," Bio4Apps 2012, Singapore, November 19-20, 2012.
- [24] "Light microscopy," University of Bourgogne, Bourgogne, France, October 16, 2012.
- [25] "Review: Microendoscopic imaging," South Africa's Council for Scientific and Industrial and Research (CSIR), Pretoria, South Africa, May 20, 2012.
- [26] "Biomedical imaging," 4th Khonkaen University (KKU) International Engineering Conference 2012, May 10-11, 2012.
- [27] "Micro- and nano-technology for medical devices," NSTDA Academy Lecture at NSTDA Science Park, January 19, 2012.
- [28] "Biomarkers technology for *in vivo* imaging," Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, November 9, 2011.
- [29] "Micro- and nano-technology R&D research in Thailand," ICMAN 2011, Shenzhen, CN November 4-6, 2011.
- [30] "Revolutionizing Microscope: Imaging, Analysis, and Application," Thai Society of Microcirculation, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University December 22, 2010.
- [31] "Advanced Confocal Microendoscopy," IAP Young Scientists Conference in the World Economic Forum, Tianjin, September 12-16, 2010.
- [32] "Noninvasive dermatologic measurement: from research to clinical," Dermatological Society of Thailand, September 10, 2010.
- [33] "Optical Microscopy 101," King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), August 30, 2010.
- [34] "Biological imaging with handheld microscope," King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), June 11, 2010.
- [35] "MEMS based endoscopic imaging," Argonne National Laboratory, Chicago, USA, April 3-7, 2010.
- [36] "Cancer Imaging with optical technique," Khonkaen University (KKU), April 23, 2010.
- [37] "Advanced Imaging with molecular- or bio-markers," NAC 2010, Thailand Science Park, Bangkok, March 28-30, 2010.
- [38] "Imaging Systems in Dermatology," Thai Dermatological Society Annual Meeting, Centrara Hotel, March 11-12, Bangkok 2010.
- [39] "Advanced Imaging with Nanotechnology," UK-Thailand Nanomedicine Symposium, Siriraj Hospital, Bangkok, March 23-24, 2010.
- [40] "Advanced Confocal Imaging," The Fifth National Conference on Optics and Applications (NCOA), Jaopraya Park Hotel, Bangkok, February 5, 2010, pp. 3.
- [41] "From Laboratory to Clinic with Endoscopic Imaging," Xiamen University, China, January 20, 2010.
- [42] "Photonics in Medical Imaging Technology," Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, January 5, 2010.
- [43] "3-D *in vivo* imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope," The 4th IEEE International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME), Plaza Athenee, Bangkok, December 14-18, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [44] "Biosensors for Medical Device Industry," NECTEC ACE 2009, Thailand Science Park, Convention Center (TSPCC), September 23-25, 2009.
- [45] "From lab to hospital with imaging technology," King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), Thailand, September 2009.
- [46] "Dual-Axes Confocal Microscopy for Human Skin Clinical Imaging (*Keynote*)," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Tampa, Florida, August 17, 2009.
- [47] "From Bench to Bedside with Advanced Microscopy," The 4th International Conference on Sensors 2009 (AsiaSense), The Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand, July 29-31, 2009.
- [48] "Advanced Optical Endoscopy and Microendoscopy," Stanford University Photonics Retreat (SUPR), Monterey, CA, April 3-5, 2009.
- [49] "Dual-Axes Confocal Microscope for Advanced Clinical Diagnosis," Medical Technology Symposium, Chiangmai University, Chiangmai, Thailand, November 12, 2008.
- [50] "Real time *in vivo* cancer diagnosis with a MEMS based Confocal Microscope," the 1st Annual Symposium on Molecular Imaging 2008, Belle Villa Resort Chiangmai, Thailand, November 9-12, 2008.
- [51] "*In vivo drug monitoring and real-time disease diagnosis with a MEMS based handheld Dual-Axes Confocal Microscope*," NanoThailand Symposium 2008, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, November 6-8, 2008.
- [52] "From bench to bedside with Advanced Microscopy and Endoscopy," at BIOTEC, a member of NSTDA, Bangkok, Thailand, November 4, 2008.
- [53] "Advanced Clinical Imaging (*Invited Talk*)," Ramathibodi University Hospital, Bangkok, Thailand, September 16, 2008.
- [54] "Clinical diagnostic with novel medical imaging systems," at Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems, Dresden, Germany, August 18, 2008.
- [55] "Novel biomedical imaging and drug monitoring with micro- and nano-technology," Tokyo University, Tokyo, Japan, May 19, 2008.
- [56] "MEMS and MOEMS packaging," Topcon Corporation, Tokyo, Japan, May 19, 2008.
- [57] "Skin imaging technique with a handheld dual-axes confocal microscope," the International Investigative Dermatology 2008, Kyoto, Japan, May 14, 2008.
- [58] "Real time skin microscopy with confocal microscopy," the International Society of Biophysics and Imaging of Skin (ISBS) 2008, Seoul, Korea, May 7-10, 2008.
- [59] "Advanced Endoscopy," the Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, September 5, 2007.
- [60] "MEMS Applications in Biomedical Imaging," the National Taiwan University (NTU), Taipei, Taiwan, August 17, 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [61] “MEMS based two-photon microendoscope,” Stanford Photonics Research Center Symposium (SPRC), Stanford CA, September 18-20, 2006.
- [62] “Surface and Bulk Micromachined Two-Dimensional Angular Vertical Comb Actuators Scanner for Endoscopic Ultrahigh Resolution Optical Coherence Tomography Imaging,” at Optical Sciences Center, the University of Arizona, October 8, 2004.

3. Media articles and awards (selected)

- [1] Listed on Times Higher Education Ranking Website as a notable KMITL Alumni (<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/king-mongkuts-institute-technology-ladkrabang>)
- [2] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “World Science Forum looks at bitcoin phenomenon,” December 7, 2017. (<http://www.nationmultimedia.com/detail/Economy/30333359>)
- [3] Won the 2nd prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China.
- [4] Press coverage on the Nation Newspaper on “KMITL Engineering Students Win Award,” July 19, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/KMITL-ENGINEERING-STUDENTS-WIN-AWARD-30290875.html>)
- [5] Won the 3rd prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2016, Paris, France.
- [6] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “First Science Leadership Programme for ASEAN,” July 19, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/First-Science-Leadership-Programme-for-Asean-30290867.html>)
- [7] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “The Indispensable Intertwined Ties in the Digital Era,” April 15, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/The-indispensable-intertwined-ties-in-the-digital--30283845.html>)
- [8] Won the 3rd prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2015, Anchorage, AK USA.
- [9] Won an excellent paper award from the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEEJ), Samui, Thailand, October 7-10, 2014.
- [10] Awarded Fraunhofer-Bessel Research Award in 2014 from the Alexander von Humboldt Foundation, Germany.
- [11] Interviewed by the Nation Newspaper on “A Classy Way to Success,” February 15, 2014. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20140215/283781376785057>)

- [12] Selected by the World Economic Forum (WEF), Switzerland in 2013 to be one of the 40 top young scientists under the age of 40 who plays transformation role in integrating scientific knowledge and technological innovation to improve the state of the world, Dalian, China, September 11-13, 2013.
- [13] Awarded Erasmus Mundus Grant in 2012 from the European Commission to conduct research in France.
- [14] Won the 2nd prize from True Innovation Award, Bangkok, Thailand, December 17, 2012.
- [15] Won outstanding paper award from the 16th International Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems Conference 2011 (Transducers 2011), Beijing, China, June 5-9, 2011.
- [16] Won the 2nd prize in Global Entrepreneurship Competition (GEC), Barcelona, Spain, June 15-16, 2011.
- [17] "Microendoscope," I-inspire Journal, Thailand, May 1, 2011.
- [18] Won the 1st prize Global Social Venture Competition (GSVC) South East Asia, March 3-4, 2011.
- [19] Elected to serve as an executive member of the Global Young Academy (GYA), Berlin, Germany, July 2012.
- [20] Co-founded the Global Young Academy (GYA), Berlin, Germany, February 14-16, 2010 (www.globalyoungacademy.net)
- [21] Press coverage in the Bangkok Post Newspaper on "New Device Gives Early Diagnosis of Cancers," March 23, 2010. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20100323/283467842451622>)
- [22] "MEMS microscope images brains," Research Highlights in Nature Photonics, Volume 3, October 2009.
- [23] "Intelligent microendoscope," Chevit-Cheva Channel 3 Program, Thailand, September 30, 2009.
- [24] "Tiniest two-photon MEMS microscope performs Brain Imaging," an article in Laser Focus World Magazine, USA, August 1, 2009.
- [25] "Cancer Imaging," an interview on the Bangkok Morning Talk, Thailand, Channel 11, June 19, 2009.
- [26] "Light microscopy for cancer diagnosis," Matichon Newspaper, Thailand, May 25, 2009.
- [27] Press coverage in the Bangkok Post Newspaper on "Novel approach to cancer," May 20, 2009.
- [28] "Optical microendoscope for cancer detection," Kao-sod Newspaper, Thailand, April 20, 2009. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20090520/282003258383144>)
- [29] "Cancer screening with optical microendoscope," Nation Weekend Magazine, Thailand, April 16, 2009.
- [30] "Novel imaging instrument for cancer diagnosis," Matichon Newspaper, Thailand, April 7, 2009.
- [31] "Optical endoscopist," Health Check Up Channel, Thailand, April 2, 2009.
- [32] "Advance optical microscope for cancer detection," Dailynews Newspaper, Thailand, March 30, 2009.
- [33] "Novel microendoscope for cancer detection," Naewna Newspaper, Thailand, March 28, 2009.
- [34] "Cancer diagnosis with endoscopic imaging," Bangkok Business, Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [35] "Detect cancer with optical microendoscope," Manager Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [36] "Novel microendoscope for early cancer detection," Thairath Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [37] "Early detection of cancer with optical microendoscope," Matichon Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [38] "Cancer detection with optical microendoscope," Voice TV, Thailand, March 24, 2009.
- [39] "Innovation that shapes the world," Bangkok Business Newspaper, Thailand, December 30, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [40] “Confocal Microscopy for medical imaging,” an interview on the Bangkok Morning Talk, Channel 11, December 2008.
- [41] “Novel Medical Imaging Instrument,” Bangkok Business Newspaper, Thailand, November 11, 2008.
- [42] “Microtechnology enables endoscopic confocal microscope,” SPIE Newsroom 2007.
- [43] “Creating a microscope that reads minds,” an interview on the American Broadcasting Company (ABC) News, USA, on October 19, 2007. Weblink: <http://abclocal.go.com/kgi/story?section=local&id=5716715>.
- [44] “Microtechnology enables endoscopic confocal microscopy,” in the SPIE Newsroom, USA, October 2006,
- [45] “MEMS-based scanning device facilitates microendoscopy,” an article in Biophotonics International Magazine, September 2006, pp. 27-28. Weblink: <http://pyramidal.stanford.edu/publications/Biophotonics-Sept2006-MEMS.pdf>.
- [46] “Two-dimensional OCT scanner promises *in-situ* diagnosis,” an article in Laser Focus World Magazine, USA, July 2004, pp. 47-48.

4. Patents

- [1] W. Piyawattanametha, “E. coli enumeration with fluorescence technique,” Thai Patent Application 1701006685, filed, December 7, 2017, Patent Pending.
- [2] W. Piyawattanametha, “Integrated wide-field and high-resolution catheter,” Thai Patent Application 1301005583, filed September 2013, Patent Pending.
- [3] N. Khemthongcharoen, W. Piyawattanametha, A. Ruangphacha, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, S. Pathumraj, S. Niruthisard, P. Sarapukdee, and R. Jolivot, “Development of a Fluorescence-labeled p16 peptide for cervical cancer screening,” Thai Patent Application 1201003486, filed September 2012, Patent Pending.
- [4] S. Rattanavarin, W. Piyawattanametha, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, A. Ruangphacha, and P. Sarapukdee, “Line-scan based dual-axis confocal imaging probe,” Thai Patent Application 1201004887, filed September 2012, Patent Pending.
- [5] W. Piyawattanametha, “Multi-spectral dual-axis confocal imaging probe,” Thai Patent Application 1101000602, filed April 2011, Patent Pending.

5. Book chapters (selected)

- [1] “Optical MEMS,” Intech Book Chapter 2012, Source: Microelectromechanical Systems and Devices, edited by

Nazmul Islam, ISBN 978-953-51-0306-6, Hard cover, 480 pages, Publisher: InTech, Published: March 28, 2012.

- [2] “Advances in Bio-Imaging: From Physics to Signal Understanding Issues State-of-the-Art and Challenges,” Series: Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 120, Loménie, Nicolas; Racoceanu, Daniel; Gouaillard, Alexandre (Eds.), 2012, 2012, XXII, 246 p. 129 illus., 84 in color, Softcover, ISBN 978-3-642-25546-5. Weblink: <http://www.springer.com/engineering/computational+intelligence+and+complexity/book/978-3-642-25546-5>.
- [3] “*In Vivo* Clinical Imaging and Diagnosis,” McGraw-Hill Book Chapter 2011, James W Tunnell, ISBN: 9780071626835 0071626832, Publisher: McGraw-Hill 2011.
- [4] “Miniature Dual Axes Confocal Microscope for *Real Time* in vivo Imaging,” Intech Book Chapter 2010, Source: Advances in Solid State Circuit Technologies, edited by: Paul K Chu, ISBN: 978-953-307-086-5, Publisher: INTECH, April 2010.
- [5] “Optical MEMS and Nano-Photonics,” in *MEMS/NEMS Handbook*, Chinese Science Publishing Company, 2005.

6. Professional membership

- [1] Senior Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in 2010.
- [2] Senior Member of the Optical Society of America (OSA) in 2011.
- [3] Senior Member of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineering (SPIE) in 2012.