



## รายงานการปฏิบัติงาน (ฝึกงาน)

การวิจัยในโครงการตรวจสอบความจ่วง และโครงการคลื่นสมองเพื่อการสั่งงานต่อเนื่อง  
Research Assistant in Drowsiness Detection and Continuous Brain-Controlled  
Interfaces

ณ สถาบันวิทย์สิริเมธี (VISTEC)

ศิระกร ลำไย

รหัสนิสิต 5910500023

ประจำปีการศึกษา 2562

ภาควิชาชีวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะชีวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## បញ្ជីយោ

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

## กิตติกรรมประกาศ

ประการแรก ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณครอบครัวที่สนับสนุนและตัดสินใจให้ทำในสิ่งที่เชื่อว่าถูกต้องมากโดยตลอดการให้อิสรภาพความคิดและการตัดสินใจนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น มีค่าอย่างยิ่ง และสร้างเสริมประสบการณ์ที่แข็งแรงในการตัดสินใจทำหลายอย่าง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ธีรวิทย์ วีลประสิทธิพร สถาบันวิทยาลัยศิริเมธี และอาจารย์ธนาวินท์ รักธรรมานนท์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนในการฝึกงานทั้งในช่วงปี 2561 และปี 2562 (กล่าวคือในสองปีที่ผ่านมา)

ขอขอบพระคุณอาจารย์จากภาควิชาศิวกรรมคอมพิวเตอร์ และวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้อยู่เบื้องหลังทัศนคติบาง ผู้ชัดเกลามุมมองต่อโลกใบนี้ และผู้มอบองค์ความรู้จำนวนมาก: อาจารย์จิตร์ทัศน์ ฝักเจริญผล, อาจารย์ชัยพร ใจแก้ว, อาจารย์ธนาวินท์ รักธรรมานนท์, อาจารย์ภาณุ รัตนวนพันธุ์, อาจารย์จาร เดชสุดวิชัย, อาจารย์กาญจนพันธุ์ สุขวิชัย และอื่นๆ ที่มีอาвлاءยนามได้หมวด

ขอบคุณเป็นอย่างยิ่งในไมตรีจิตจากนิสิต เจ้าน้ำที่ และเพื่อนนิสิต-นักศึกษาฝึกงานที่สถาบันวิทยาลัยศิริเมธี จากทั้งปีที่แล้วและปีนี้: พี่เอ็ม พี่น้ำเงิน พี่เติร์ด พี่รันนท พี่โอ บิล พี่ก้อง พี่อ๊อช พี่แก๊ป พี่เจ พี่ก้อง พี่อัน พี่แทน พี่ฉัตร พี่มินท พี่แบงค์ ออฟ นานีชา เบสท์ และไหหัน ทั้งนี้บุคลากรจำนวนไม่น้อยในสถาบันแห่งนี้เป็นผลผลิตแห่งความภาคภูมิใจของภาควิชาศิวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: พี่ต้า พี่วิท พี่เต็ล พี่เบญ พี่ทิน พี่บอส พี่จุบ พี่นัท และต้อง

ขอบคุณเพื่อนนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทั้งที่ให้กำลังใจในวันที่ห้อถอย กดตันให้พัฒนาตนเอง และมอบความมุ่งมั่นอันเต็มเปี่ยมให้: ริวิส, อัน, กิต, รล, เบนซ์, มอร์แกน, นัท, นิว, แพร์, จุ้ย, ป่าน, แพร, บ้า เติง และทุกคนที่อยู่ชื่อดีไม่หมด (อีกครั้ง)

ขอบคุณสมาชิกและ “แขกรับเชิญ” กลุ่มวิจัยเชิงทฤษฎี สำหรับบรรยายกาศที่สนุกยิ่งในการพักผ่อน: พี่เนยสด, พี่บาส, พี่จุน, พี่เช, พี่แปลน, พี่มะเหมี่ยว, พี่ชวิน, พี่หมูแดง, พี่บลู และที่สำคัญอย่างยิ่งคืออาจารย์จิตร์ทัศน์ ฝักเจริญผล อาจารย์หัวหน้ากลุ่มวิจัย

ขอบคุณวงดนตรีทุกแห่งและสมาชิกวงดนตรีทุกท่านที่ช่วยขับเคลื่อนสุนทรียศาสตร์ในการทำงาน: วงดูริยางค์พิล ษาร์โนミニกแห่งประเทศไทย, วงดูริยางค์ซิมโพนีแห่งลอนดอน, เบอร์ลินฟิลไฮร์โนミニก, เดอะ คาร์เรเพนเทอร์ส, เดอะ บีเทลลส์, แฟรงค์ ชีนาทรา, บีอีนเคพีร์ตี้อ็อท, พีเวอร์, ไปสังกุบชส.ตี, ชาบลูส์ และศิลปินจำนวนมากที่ที่มีเด่นชื่อ ขอขอบพระคุณหอศิลปวัฒนธรรมแห่งกรุงเทพมหานคร และเจ้าของผลงานทุกท่าน สำหรับอารมณ์สุนทรีย์ในยามวันหยุดซึ่งเป็นการเติมไฟให้กลับมาทำงานต่อได้เหมือนเดิม

การเกิดขึ้นของสถาบันวิทยาลัยศิริเมธีจะเป็นไปไม่ได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทปตท. จำกัด (มหาชน) พร้อมปริษท์ในเครือ และธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความมุ่งมั่นที่จะเห็นการขับเคลื่อนนโยบายทางวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยทั้งสองบริษัท และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการเกิดขึ้นของสถาบันฯ จะเป็นแรงสำคัญในการผลักดันประเทศไทยไป

นาย ศิรักร ลำไย  
ผู้จัดทำรายงาน

วันสุดท้ายของการปฏิบัติงาน  
31 สิงหาคม 2562

## สารบัญ

บทคัดย่อ . . . . .	1
กิตติกรรมประกาศ . . . . .	2
สารบัญ . . . . .	3
สารบัญรูป . . . . .	4
สารบัญตาราง . . . . .	5
บทที่ 1 บทนำ . . . . .	6
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและการทบทวนวรรณกรรม . . . . .	9
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินงาน . . . . .	16
บทที่ 4 ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ผล . . . . .	19
บทที่ 5 บทสรุป . . . . .	20
บทที่ A บันทึกประจำวัน . . . . .	21
บทที่ B ภาพถ่ายสถานที่ปฏิบัติงาน . . . . .	26

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 อาคารหอสมุด สถาบันวิทย์สิริเมธี . . . . .	7
รูปที่ 1.2 ทีมวิจัย Interfaces, ห้องปฏิบัติการ BRAIN . . . . .	8
รูปที่ 2.1 ภาพตำแหน่งของการติดขั้วนำไฟฟ้า (electrode) ตามระบบ International 10/20 . . . . .	9
รูปที่ 2.2 ภาพคลื่น EOG ขณะอยู่ในสถานะการนอนหลับ . . . . .	10
รูปที่ 2.3 (จากขวาไปซ้าย) โอลิเย่นบีซีไอ พร้อมตัวรับสัญญาณ . . . . .	11
รูปที่ 2.4 จากรุ่นลงล่าง: อิเล็ก trode แบบถ้วยทอง (Gold Cup) พร้อมสายสีเหลือง, หูฟัง, และอิเล็ก trode แบบเจง (Gel) บริเวณตึ่งหู . . . . .	12
รูปที่ 2.5 เปอร์เซปตรอน . . . . .	13
รูปที่ 2.6 เปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น . . . . .	15
รูปที่ 2.7 เปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้นซึ่งทำหน้าที่เป็นประตุสัญญาณ XOR . . . . .	15
รูปที่ A.1 ภาพถ่ายตาจากกล้อง IR . . . . .	22
รูปที่ A.2 ภาพถ่ายตาจากกล้องที่ประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของดวงตา ทั้งกรณีที่เปิดและปิดตา โดยประมวลผลภาพอุกมาเป็นที่เรียบร้อย . . . . .	23
รูปที่ B.1 สถานที่ทำงานหลังจากจัดที่ทำงานแล้ว . . . . .	26
รูปที่ B.2 หนังสือที่ได้รับมอบหมายให้อ่านและศึกษา ถ่ายคู่กับสไลด์สรุปงานวิจัย . . . . .	26
รูปที่ B.3 อุปกรณ์สำหรับติดตามดวงตา Gazepoint ขณะกำลังจับม่านตา . . . . .	27
รูปที่ B.4 สมาชิกทีม Drowsiness Research และสมาชิกทีม BRAIN ขณะทดสอบสมมติฐาน . . . . .	27
รูปที่ B.5 อาจารย์ธีรวิทย์ วีไลประสิทธิ์พร ขณะพบทวนงานวิจัยโดยคร่าว . . . . .	28
รูปที่ B.6 บรรยายจาก Prof Guan Cuntai . . . . .	28
รูปที่ B.7 ทีมวิศวกรรมคอมพิวเตอร์เกษตรศาสตร์ ณ สถาบันวิทย์สิริเมธี . . . . .	29

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบชนิดของอิเล็กโทรด . . . . . 12

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มา

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ 2556 ระบุให้ผู้เรียน ทุกคนต้องเข้ารับการฝึกงาน เพื่อเพิ่มพูนประสบการณ์ในการเรียนรู้ที่ไม่อาจหาได้ในห้องเรียน และเป็นการฝึกทักษะของวิศวกร ในการทำงานจริง

คณะกรรมการคอมพิวเตอร์ และภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จึงกำหนดให้มีการเรียนการสอนในรายวิชา 01204399 หรือการฝึกงาน แบ่งเป็นการฝึกงานภาคฤดูร้อนสำหรับนิสิตที่ไม่ได้ลงทะเบียน และฝึกงานต่อเนื่องในช่วงเวลาของภาคฤดูร้อน และภาควิชาศึกษาด้านของมหาวิทยาลัยสำหรับนิสิตที่ลงทะเบียน จึงเป็นที่มาของรายงานเล่มนี้ซึ่งเป็นหนึ่งในข้อกำหนด/ข้อบังคับ ของการฝึกงาน

#### 1.2 วัตถุประสงค์การปฏิบัติงาน

- เพื่อเพิ่มพูนประสบการณ์ในการเรียนรู้ที่ไม่อาจหาได้ในห้องเรียน
- เพื่อพัฒนาทักษะการทำงาน การสื่อสาร และทักษะ soft skills อื่นๆ
- เพื่อเป็นการเตรียมตัวในการทำโครงการวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และเป็นการเตรียมตัวเขียนวารสารทางวิชาการ

#### 1.3 ขอบเขต

ไม้มาเขียน

## 1.4 ประวัติและรายละเอียดสถานประกอบการ



รูปที่ 1.1: อาคารหอสมุด สถาบันวิทย์สิริเมธี

สถาบันวิทย์สิริเมธี (VISTEC) เป็นบัณฑิตวิทยาลัย (graduate school) ซึ่งมุ่งเน้นความเป็นเลิศในการทำวิจัย ตั้งอยู่ในพื้นที่วังจันทร์วัลเล่ย (Wangchan Valley) และเขตนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor of Innovation: EEC) เลขที่ 555 หมู่ 1 ตำบลป่าบุบิน อำเภอวังจันทร์ จังหวัดระยอง ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2558 โดยมูลนิพัฒสร้างสรรค์นวัตกรรม ภายใต้การสนับสนุนเงินทุนจากบริษัทในกลุ่มของการบิ๊กโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.)

VISTEC มุ่งเน้นการจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และเทคโนโลยี โดยมีศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้นแนวหน้า (Frontier Research Center) ซึ่งเป็นศูนย์กลาง ในการเสริมสร้างความเข้มแข็งทางการวิจัย และให้การสนับสนุน ด้านทุนการวิจัยแก่สถาบันฯ เป็นศูนย์รวมนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญสูง ช่วยขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านการศึกษา วิจัย การสร้างนวัตกรรม สร้างความร่วมมือทางด้านวิจัยกับสถาบันการศึกษา ภาครัฐกิจ ภาคอุตสาหกรรม และหน่วยงานด้าน การวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



รูปที่ 1.2: ทีมวิจัย Interfaces, ห้องปฏิบัติการ BRAIN

ห้องปฏิบัติการเบرن (Bio-inspired Robotics and Neural Engineering: BRAIN) ณ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันวิทยาลัยเริเม็ธ มุ่งเน้นศึกษาการสร้างหุ่นยนต์ที่มีลักษณะร่วมกับกายวิภาค (anatomy) ของสิ่งมีชีวิต และใช้เทคโนโลยีจำพวก Machine Learning หรือ Deep Learning ในการจำแนก วิเคราะห์ และประมวลผลคลื่นสมองของมนุษย์ เพื่อสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านสมอง (Brain Controlled Interfaces: BCIs)

ลักษณะงานที่ได้รับผิดชอบจากห้องปฏิบัติการฯ เป็นงานของผู้ช่วยนักวิจัย (Research Assistant: RA) ซึ่งช่วยนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาในการเตรียมการทดลอง ออกแบบ และพัฒนาเครื่องมือวัดผล ควบคุมการทดลอง และทดสอบสมมติฐานเพื่อตีพิมพ์องค์ความรู้ในวารสารวิชาการต่อไป

ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมการฝึกงานในครั้งนี้ คือ อ. ดร. ธีรวิทย์ วิไลประสิทธิ์พิร หัวหน้าหน่วยวิจัย (Principal Investigator: PI) และมีระยะเวลาบัญชีงานประมาณ 2 เดือน กล่าวคือตั้งแต่วันที่ 4 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2562

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นการสร้างพื้นฐานในด้านงานวิจัย รวมถึงเตรียมพื้นฐานในการทำโครงการวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ โดยมีความมุ่งหวังจะต่อยอดงานดังกล่าวเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ต่อไป

## บทที่ 2

### ความรู้พื้นฐานและการทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Biomarkers)

ตัวชี้วัดทางชีวภาพ (biomarkers) เป็นตัวบ่งชี้ต่อสภาวะต่างๆ ที่เกิดกับร่างกาย ซึ่งรวมถึงแต่ไม่จำกัดเพียงแต่สถานะการดื่น สภาพอารมณ์ หรือสัญญาณบ่งชี้ของโรค

#### 2.2 คลื่นสัญญาณชีวภาพ (Biosignals)

คลื่นสัญญาณชีวภาพ (biosignals) เป็นคลื่นสัญญาณจากการกระแสไฟฟ้าในร่างกาย ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธี การที่ต่างกันไป และผลจากการตรวจดูคลื่นแต่ละส่วนจะบ่งบอกซึ่งข้อมูลที่แตกต่างกันออกอไป เช่น กัน งานวิจัยของห้องปฏิบัติการเบรน มุนศึกษาคลื่นสัญญาณชีวภาพ Electroencephalography และ

#### 2.3 คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography)

Electroencephalography หรือ EEG เป็นคลื่นที่เกิดจากการตรวจดูกระแสไฟฟ้าของสมอง การตรวจวัดโดยมากไม่จำเป็นต้องทำการเจาะผิวหนัง (noninvasive) โดยใช้อิเล็กโตรดนำไฟฟ้าอ่านคลื่นสมองจากกระโหลก

การตรวจวัดและใช้ข้อมูลจากคลื่น EEG ส่วนมากมุ่งเน้นการใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ขึ้นกับเหตุการณ์ระดับของผู้ถูกวัด (Event Related Potential) กล่าวคือมุ่งสังเกตจุดสูงสุดและต่ำสุดของศักย์ไฟฟ้าของคลื่นสมอง และหาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ ระยะต้นและการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของศักย์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.1: ภาพตำแหน่งของการติดขั้วน้ำไฟฟ้า (electrode) ตามระบบ International 10/20

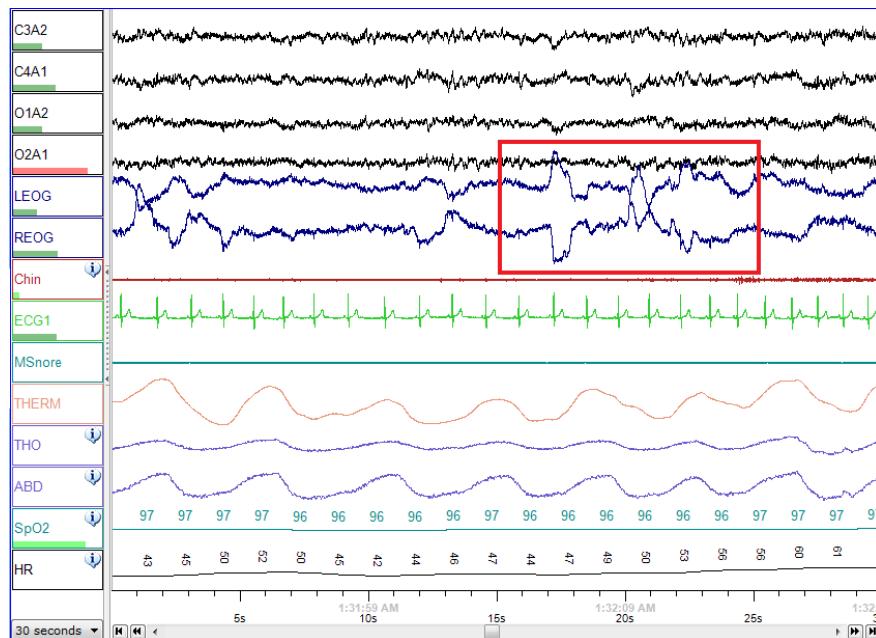
รูปภาพประกอบโดยผู้ใช้ Tomaton 124 บนโครงสร้างวิกิเมเดีย คอมมอนส์ ซึ่งงานเป็นสาธารณะแบบ

อย่างไรก็ตาม การใช้คลื่นไฟฟ้านั้นยังสามารถใช้ประโยชน์จากคลื่นส่วนอื่น อันได้แก่คลื่นส่วน Motor Cortex ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยการ “จินตนาการ” การขยับร่างกาย และการใช้คลื่นส่วน Vision Cortex เพื่อกระตุ้นการมองเห็น เช่นการ

ใช้สัญญาณ SSVEP จากสมองส่วนท้ายทอยซึ่งจะสั่นพ้อง กับการกระพริบของแสงในความถี่ที่ตามของเห็น

## 2.4 คลื่นไฟฟ้าจากการขับลูกตา (Electrooculography)

Electrooculography หรือ EOG เป็นคลื่นไฟฟ้าที่เกิดจากการขับลูกตา โดยหากมองลูกตาเป็นวัตถุที่สามารถหมุนได้ด้วยองค์ความอิสระ (Degree of Freedom: DOF) ทั้งหมด 2 องค์ความอิสระ สามารถจำความรู้นี้มาพิจารณาการใช้คลื่นจากกล้ามเนื้อการกลอกตาในการหาตำแหน่งการกลอกตาได้



รูปที่ 2.2: ภาพคลื่น EOG ขณะอยู่ในสถานะการนอนหลับ

รูปภาพประกอบโดยผู้ใช้ NascarEd บนโครงการวิกิมีเดีย คอมมอนส์ สัญญาอนุญาต Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported

การวัดคลื่น EOG สามารถทำได้ด้วยการติดอิเล็กtrodes จำนวน 2 คู่ เพื่อวัดการกลอกตาในแนวระนาบ (yaw) และการกลอกตาในแนวตั้ง (pitch) โดยค่าที่อ่านได้จากอิเล็กtrode หนึ่งคู่จะเป็นการกลอกตาในทิศทางหนึ่ง กล่าวคือการวัด EOG มุ่งสนใจความต่างศักยไฟฟ้าของอิเล็กtrode คู่นั้น โดยการกลอกตาไปทางซ้าย (หรือการกลอกตาขึ้น) จะให้ทิศทางของความต่างศักยไฟฟ้าที่ต่างจากการกลอกตาไปทางขวา (หรือการกลอกตาลง)

## 2.5 การวัดคลื่นไฟฟ้านร่างกาย

อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้านร่างกายโดยส่วนมากก็เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ (medical equipments) ซึ่งต้องมีความแม่นยำและ ความถูกต้องสูง เนื่องจากความถูกต้องในการอ่านค่าเพื่อวินิจฉัยโรคเป็นสิ่งสำคัญ จะผิดพลาดไม่ได้ อย่างไรก็ได้ กระแสของ ”นักสร้าง” (makers) ในกลุ่มนักพัฒนาและผู้สนใจเทคโนโลยี ทำให้การเข้าถึงอุปกรณ์ตั้งกล่าวเป็นไปได้ง่ายขึ้น เนื่องด้วยมีความพยายามในการสร้างฮาร์ดแวร์เปิดชอร์ส (open-source hardware) สำหรับวัดคลื่นดังกล่าว

### 2.5.1 โอเพ่นบีซีไอ (OpenBCI)



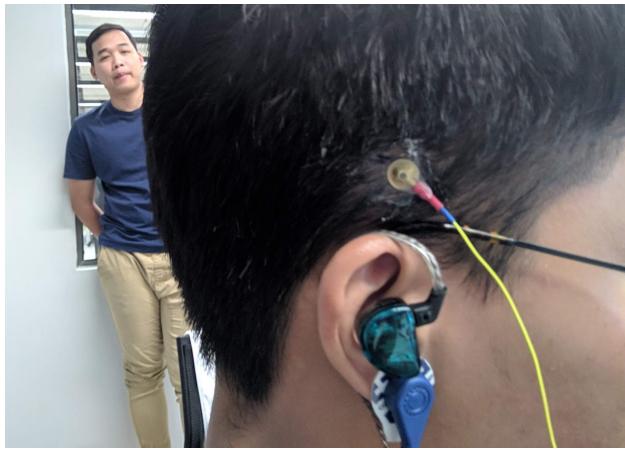
รูปที่ 2.3: (จากขวาไปซ้าย) โอเพ่นบีซีไอ พร้อมตัวรับสัญญาณ

โอเพ่นบีซีไอ (OpenBCI) เป็นฮาร์ดแวร์แบบเปิดซอร์ส (open-source hardware) สำหรับการวัดค่าทางชีวภาพ (biosensing) อันได้แก่ค่าศักย์ไฟฟ้าในร่างกายมนุษย์ ตัวฮาร์ดแวร์เปิดแบบผังออกแบบในลักษณะเดียวกับที่อาร์ดูโน่ (Arduino) เปิดผังการออกแบบจะเป็นสาระนั้น

โอเพ่นบีซีอิสามารถใช้ในการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งเกิดจากหัวสมอง (EEG) กล้ามเนื้อ (EMG) และหัวใจ (EKG) โดยตัวบอร์ดเป็นวงจรตรรกะแบบ 32 บิตซึ่งใช้ชิป ADS1229 สำหรับการวัดค่าไฟฟ้าร่างกาย ผลิตโดยบริษัท Texas Instruments และรองรับการวัดซ่องสัญญาณได้สูงสุด 8 ซ่องสัญญาณพร้อมกัน

### 2.5.2 อิเล็กโทรด (Electrode)

อิเล็กโทรดคือข้อไฟฟ้าที่ทำการติดบนผิวหนังเพื่อวัดค่าศักย์ไฟฟ้าบริเวณจุดต่างๆ ที่สนใจ โดยมากมักใช้อิเล็กโทรดแบบถ้วยทอง (Gold cup electrodes) และแบบเจล (Get electrodes) ซึ่งสามารถเทียบกันได้ดังนี้



รูปที่ 2.4: จากบนลงล่าง: อิเล็กโทรดแบบถ้วยทอง (Gold Cup) พร้อมสายสีเหลือง, หูฟัง, และอิเล็กโทรดแบบเจล (Gel) บริเวณติ่งหู

	แบบถ้วยทอง	แบบเจล
การทำความสะอาดผิวหนัง	ต้องทำความสะอาดผิวหนังก่อน	
การติดอิเล็กโทรด	ต้องใช้ยานำไฟฟ้าผิวหนัง (skin conducting paste) เสมอ	อาจไม่ใช้ยานำไฟฟ้าผิวหนัง (skin conducting paste) แต่การใช้จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า
ความง่ายในการติด	ติดง่ายกว่าบริเวณที่มีผิวน้ำ	ติดผิวหนังยากกว่าหากมีผิวน้ำ
ความประเปื้อน	มาก เพราะยานำไฟฟ้าผิวหนังจะติดบริเวณผิวและศีรษะ	น้อย เจลสามารถลอกออกได้จากผิวหนังโดยไม่ทิ้งคราบ
ราคา	ถูกกว่า ใช้ซ้ำได้	แพงกว่า ส่วนเจลใช้ได้ครั้งเดียว

ตารางที่ 2.1: ตารางเปรียบเทียบชนิดของอิเล็กโทรด

## 2.6 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

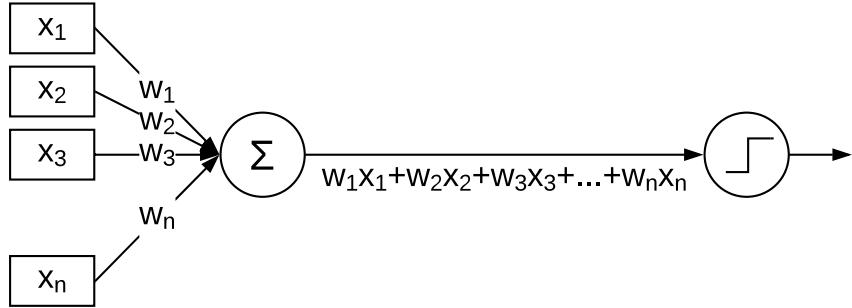
การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) คือความพยายามในการจำลองเซลล์ประสาทของมนุษย์ให้อยู่ในรูปโมเดลคอมพิวเตอร์ ด้วยความเชื่อทางหลักประสาทวิทยา (neurosciences) ว่าความฉลาดของสมองมนุษย์เกิดขึ้นได้จากการข่ายประสาทจำนวนมาก ที่เชื่อมเข้าถึงกัน

### 2.6.1 เปอร์เซปตรอน (Perceptron)

เปอร์เซปตรอน (Perceptron) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์สมองหนึ่งเซลล์ โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- รับเข้าข้อมูลมาในเซลล์จากหลายแหล่ง และให้น้ำหนักกับข้อมูลนั้นต่างกันไป
- ส่งออกข้อมูลเพียงค่าเดียว

ดังนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถเขียนออกมากจากหลักการสองข้อดังกล่าวได้ด้วยสมการ



รูปที่ 2.5: เปอร์เซปตรอน

$$y = f(W^T X + b)$$

เมื่อ  $W$  และ  $X$  เป็นเวกเตอร์ขนาด  $1 \times n$  (โดย  $n$  เป็นจำนวนข้อมูลรับเข้า),  $b$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์คงที่ (bias) และ  $f$  เป็นฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) ซึ่งอาจเขียนรูปร่างของเปอร์เซปตรอนให้มีลักษณะรูปคล้ายเซลล์สมองได้ในลักษณะรูปที่ 2.5

ยกตัวอย่างการใช้เปอร์เซปตรอนในการแก้ปัญหาอย่างง่ายได้ในที่นี้

#### การคาดเดาราคาอสังหาริมทรัพย์

หากสำรวจราคาอสังหาริมทรัพย์แล้วพบว่า

- ราคาอสังหาริมทรัพย์จะเพิ่มขึ้นตามที่ดิน โดยเพิ่มขึ้นทุก 10,000 บาทต่อตารางวา
- ราคาอสังหาริมทรัพย์จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนห้องนอน โดยเพิ่มขึ้นทุก 200,000 บาทต่อห้องนอน
- ราคาอสังหาริมทรัพย์จะลดลงตามจำนวนอายุปี โดยลดลงทุก 7,000 บาทต่ออายุของอสังหาริมทรัพย์

จะสามารถเขียนเปอร์เซปตรอนเพื่อคาดเดาราคาอสังหาริมทรัพย์ได้โดย

$$y = f(W^T X + b)$$

เมื่อ  $W$  ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์แสดงถึงความสัมพันธ์ข้อมูลรับเข้า ซึ่งเขียนได้จากความสัมพันธ์ดังแสดงด้านล่าง

$$W^T = \begin{bmatrix} 10000 & 200000 & -7000 \end{bmatrix}$$

$b$  เป็นใบแอก, จะสมมติให้  $b = 0$  (กล่าวโดยละเอียด ในที่นี้  $b$  คือราคัตั้งต้นของบ้าน 0 ห้องนอน พื้นที่ 0 ตารางวา อายุ 0 ปี) และ  $f(x) = x$  กล่าวคือเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น

หากต้องการคาดเดาราคาบ้านที่มี 3 ห้องนอน เนื้อที่ 100 ตารางวา และมีอายุ 7 ปี จะสามารถเขียนเวกเตอร์  $P$  ได้เป็น

$$X = \begin{bmatrix} 3 \\ 100 \\ 7 \end{bmatrix}$$

และผลการทำนายราคาบ้านคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}
 y &= f(W^T X + b) \\
 &= f\left(\begin{bmatrix} 10000 & 200000 & -7000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 3 \\ 100 \\ 7 \end{bmatrix}\right) \\
 &= f(30000 + 20000000 + (-49000)) = f(19981000) \\
 &= 19981000
 \end{aligned}$$

### การสร้างประตูสัญญาณตรรกะด้วยเปอร์เซปตロン

เราสามารถสร้างประตูสัญญาณตรรกะ (logic gates) บางชนิดได้ด้วยเปอร์เซปตرون เช่นการสร้าง AND และ OR gate

ยกตัวอย่างโครงสร้างของ AND gate ซึ่งสามารถสร้างได้ด้วยการทำหน้าที่

- $X$  เป็นเมตริกซ์ขนาด  $1 \times 2$  กล่าวคือเมื่อรับค่า  $x_1, x_2$  เป็นค่า 0 หรือ 1 แทนสัญญาณจริงหรือเท็จแล้ว

$$X = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

- กำหนดค่าของเมตริกซ์  $W$  เป็น

$$W^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- กำหนดค่าของบีโอด  $b = -2$

- กำหนดฟังก์ชัน  $f(x)$  เป็น step function กล่าวคือ

$$f(x) = \begin{cases} 1; & x \geq 0 \\ 0; & \text{ในกรณีอื่น} \end{cases}$$

และการสร้าง OR gate สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันโดยเปลี่ยน  $b$  เป็น  $b = -1$

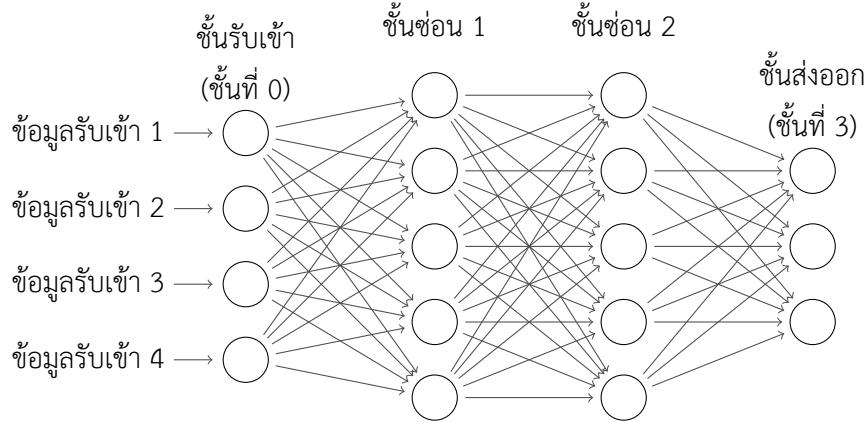
### 2.6.2 เปอร์เซปตرونแบบหลายชั้น (Multi Layer Perceptron)

เรารู้สังเกตว่าเปอร์เซปต่อนหนึ่งตัวนั้นทำหน้าที่ได้เพียงแยก (classify) หรือลดถอย (regress) ปัญหาที่เป็นปัญหาเชิงเส้น (linear problems) ได้เท่านั้น อย่างในก็ตามหากเรากำหนดให้ฟังก์ชัน  $f$  เป็นฟังก์ชันที่ไม่ใช่ฟังก์ชันเส้น ตรงแล้ว เราอาจสร้างเปอร์เซปต่อนแบบหลายชั้น (Multi Layer Perceptron) ขึ้นมาได้โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.6

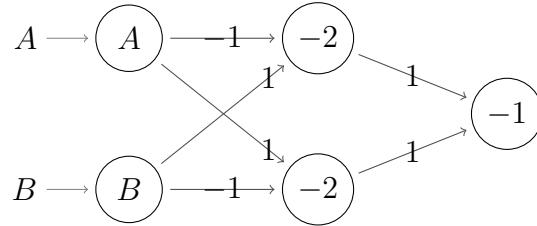
เรารู้สังเกตว่าเปอร์เซปต่อนหนึ่งตัวนั้นทำหน้าที่ได้เพียงแยก (classify) หรือลดถอย (regress) ปัญหาที่เป็นปัญหาเชิงเส้น (linear problems) ได้เท่านั้น อย่างในก็ตามหากเรากำหนดให้ฟังก์ชัน  $f$  เป็นฟังก์ชันที่ไม่ใช่ฟังก์ชันเส้น ตรงแล้ว เราอาจเขียนแทนหน้าที่ของโครงข่ายจากเปอร์เซปต่อนชั้นที่  $i$  ไปยังชั้นที่  $j$  ( $j = i + 1$ ) ได้เป็น

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \dots & w_{n_i 1} \\ w_{12} & w_{22} & \dots & w_{n_i 2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1n_j} & w_{2n_j} & \dots & w_{n_i n_j} \end{bmatrix}$$

เมื่อจำนวนเปอร์เซปตอรอนในชั้นที่  $k$  เท่ากับ  $n_k$



รูปที่ 2.6: เปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น



รูปที่ 2.7: เปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้นซึ่งทำหน้าที่เป็นประตูสัญญาณ XOR

ยกตัวอย่างเช่น เราจะสามารถสร้างประตูสัญญาณ XOR (XOR gate) ได้จากเปอร์เซปตรอนแบบหลายชั้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยเลขในแต่ละเปอร์เซปตรอนแทนค่าไบแอส ( $b$ ) และเลขบนเส้นเชื่อมแทนค่าน้ำหนัก ( $w$ ) และกำหนดให้ฟังก์ชันกระตุ้น  $f$  เป็นพังก์ชันขั้นบันได (step function) กล่าวคือ

$$f(x) = \begin{cases} 1; & x \geq 0 \\ 0; & \text{ในกรณีอื่น} \end{cases}$$

เปอร์เซปตรอนดังกล่าว เมื่อรับค่า  $A$  และ  $B$  เป็น 0 หรือ 1 จะส่งออกค่า  $A \oplus B$

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีดำเนินงาน

#### 3.1 การออกแบบการทดลอง

เพื่อจำลองสถานการณ์ในการสร้างความง่วงและตรวจวัดความง่วง การทดลองจึงมีรูปแบบและกระบวนการ (experiment protocol) ดังนี้

##### 3.1.1 งานสมீอัน (task load)

งานสมீอัน หรือ task load คือการออกแบบภาระงานให้ผู้ใช้รู้สึกง่วงและเหนื่อยล้าเมื่อปฏิบัติตามงานนั้นเป็นเวลา的工作 การออกแบบงานนั้นถูกออกแบบมาจากการ [ข้อมูลปกปิด] ของบริษัท [ข้อมูลปกปิด] ซึ่งผู้ [ข้อมูลปกปิด] จำเป็นจะต้องเปรียบเทียบ [ข้อมูลปกปิด] ว่า [ข้อมูลปกปิด] สอดคล้องกับ [ข้อมูลปกปิด] ที่ได้รับหรือไม่

ด้วยข้อพิจารณาข้างต้น จึงทำการออกแบบงานสมீอันในลักษณะดังนี้

(ข้อมูลปกปิด)

##### 3.1.2 การตรวจวัดชีวภาพ

การตรวจวัดชีวภาพในการทดลอง จะใช้อุปกรณ์ตามนี้

- PERCLOS: กล้อง Logitech BRIO

• (ข้อมูลปกปิด)

• (ข้อมูลปกปิด)

• (ข้อมูลปกปิด)

• (ข้อมูลปกปิด)

ทั้งหมดต่อเชื่อมกับระบบคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB ของอุปกรณ์ยึดตำแหน่งศีรษะ (head mounting device)

### 3.1.3 การตรวจวัดความถูกต้องของโหลดงาน

เพื่อให้มั่นใจว่าโหลดงานที่ออกแบบนั้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง จึงจำเป็นต้องออกแบบการทดลองเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง (task validation) โดยออกแบบให้มีกลุ่มควบคุม (ข้อมูลปกปิด) กลุ่ม กลุ่มละประมาณ (ข้อมูลปกปิด) คนในการทำงานที่มีสภาวะแตกต่างกันไปดังนี้

• กลุ่มที่ 1: (ข้อมูลปกปิด)

• กลุ่มที่ 2: (ข้อมูลปกปิด)

• กลุ่มที่ 3: (ข้อมูลปกปิด)

### 3.1.4 การตรวจวัดความสัมพันธ์

จะสนใจในการตรวจวัดความสัมพันธ์ 2-3 อย่างดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่าง PERCLOS และ (ข้อมูลปกปิด)

เป็นการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานและตรวจสอบการตั้งค่าของอุปกรณ์ ซึ่งสนใจการทดลองดังนี้

(ข้อมูลปกปิด)

ความสัมพันธ์ระหว่าง (ข้อมูลปกปิด) เมื่อ (ข้อมูลปกปิด)

จากการทดลองในขั้นตอนก่อนออกแบบการทดลอง พบร่วมกัน (ข้อมูลปกปิด) นั้นมีการตอบสนองที่เปลี่ยนไปตาม

(ข้อมูลปกปิด) ดังนี้

(ข้อมูลปกปิด)

จึงออกแบบการทดลองในกลุ่มที่ใหญ่ขึ้นเพื่อพิสูจน์สมมติฐานนี้ดังนี้

(ข้อมูลปกปิด)

## บทที่ 4

### ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ผล

บทที่ 5

บทสรุป

## ภาคผนวก A

### บันทึกประจำวัน

4/6/2562

เนื่องจากเข้าทำงานเป็นวันแรก จึงต้องจัดสถานที่ทำงาน และทำงานต่อจากที่ได้รับมอบหมายก่อนการฝึกงาน  
งานที่ได้รับมอบหมายโดยคร่าวว่าคือการวิเคราะห์สภาวะความร่วงในคน โดยศึกษาจากกลุ่มเป้าหมายของพนักงาน  
บริษัท ซึ่งอาจารย์ที่ปรึกษาให้สิทธิ์ในการกำหนดแนวทางการวิเคราะห์ได้โดยอิสระ อย่างไรก็ตามงานของการวิเคราะห์ความ  
ร่วง โดยตั้งต้นนั้นมักใช้การวิเคราะห์ภาพจากดวงตา (gaze monitoring) ซึ่งใช้วันนี้ในการทางานวิจัยตั้งต้น  
นอกจากนี้ยังศึกษาแนวทาง ข้อกำหนด และมาตรฐานจริยธรรมในการทดลองภายในมนุษย์ (human subject  
research)

5/6/2562

ศึกษาแนวทางในการทำ eye gazing ตามหนังสือที่ได้รับมอบหมาย และนำเสนองานวิจัยต่อจากที่เลือกจากเมื่อ  
วาน  
ปรับแก้แนวทางในการวิจัย และได้รับมอบหมายให้ออกแบบวิธีการทดลองโดยคร่าว หารือกับทีมโปรแกรมเมอร์  
ว่าด้วยซอฟต์แวร์สำหรับการทดลอง

6/6/2562

ศึกษาอุปกรณ์สำหรับติดตามดวงตา (Gazepoint) ก่อนจะพบว่าอุปกรณ์มีข้อจำกัดในการทำงานบางส่วน ทำให้  
ไม่สามารถดึง ภาพดวงตาออกมาใช้ในโปรแกรมภายนอกได้ และติดต่อกับผู้ผลิตอุปกรณ์เพื่อหารือความเป็นไปได้ในการดึง  
ภาพดวงตา

ศึกษาการใช้ Pytorch ในการทำการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) แทนที่ Keras

7/6/2562

เปลี่ยนแนวทางการทำวิจัยด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ มาเป็นการทำวิจัยบนกล้ามเนื้อตา (EOG) ค้นคว้าและทบทวน  
วรรณกรรม ที่เกี่ยวข้องกับงาน  
ทำแบบทดสอบสำหรับที่เรียนจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จนอยู่ในเกณฑ์ได้รับประกาศนียบัตรผ่านการอบรม

10/6/2562

นักเรียนจากโครงการพัฒนาอัจฉริยภาพทางวิทยาศาสตร์เข้ามาร่วมในทีม โดยการทดลองในส่วนของ Drowsiness  
research ถูกแบ่งออกเป็นสองงานที่ต้องทดลองร่วมกัน จึงต้องตกลงแนวทางการทดลองให้ชัดเจน

ทดลองให้นักเรียนตั้งกล่าวศึกษาการวัดคลื่นสมองโดยอุปกรณ์ OpenBCI, ให้คำแนะนำถึงการเตรียมผิวหนัง (skin  
preparation) ก่อนการติดอิเล็ก trode, การเลือกใช้ชนิดอิเล็ก trode และข้อดี-ข้อเสียของอิเล็ก trode เต็ลชนิด

11/6/2562

ทำงานที่ได้รับมอบหมายต่อจากเมื่อวาน

12/6/2562

นัดประชุมงานกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ สรุปแนวทางการทดลอง และตัดสินใจเพิ่มการวัด PVT (Psychomotor vigilance task) เพิ่มเติมในการทดลอง

เขียนโปรแกรมสำหรับทดลอง PVT โดยใช้การสื่อสารบนอุปกรณ์หลายเครื่องเพื่อลดความจำเป็นในการซื้อปุ่ม (physical button) ด้วยเหตุผลทางงบประมาณ

ช่วงเย็นรับประทานอาหารเย็นร่วมกับอาจารย์ธงชัย ชิวปรีชา

13/6/2562

ได้รับมอบหมายให้ทดลองจับภาพตาเพื่อหา PERCLOS ด้วยกล้องเร็บแคมแบบที่มีหลอดอินฟราเรด ในเบื้องต้นสามารถครอบตัดเฉพาะส่วน ที่เป็นลูกตาออกจากภาพใบหน้าแบบเต็มหน้าได้ อย่างไรก็ตาม ไม่ประสบความสำเร็จในการคำนวนร้อยละพื้นที่ของตาคำนวณที่ไม่ถูกหนังตาบดบัง

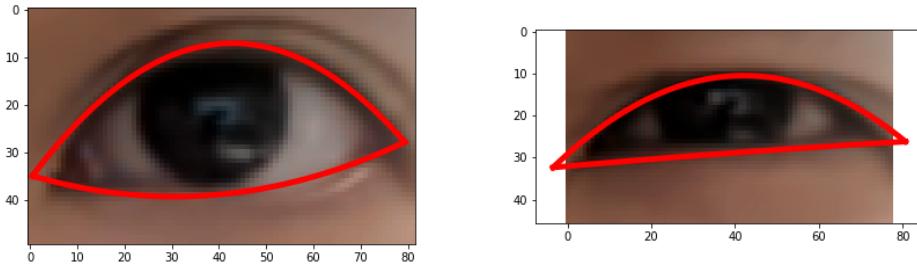


รูปที่ A.1: ภาพถ่ายตาจากกล้อง IR

14/6/2562

ศึกษาและทดสอบทวนวรรณกรรมว่าด้วยการประมวลผลภาพลูกตา และนำมาประยุกต์เขียนบนไลบรารี OpenCV จนสามารถสกัดตำแหน่งของตาออกมานา จำกัดความสำเร็จได้

ตัดสินใจเปลี่ยนจากเว็บแคมพร้อมหลอด IR เป็นกล้องธรรมดาก



รูปที่ A.2: ภาพถ่ายตาจากกล้องที่ประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของดวงตา ทั้งกรณีที่เปิดและปิดตา โดยประมวลผลภาพออกมาเป็นที่เรียบร้อย

**17/6/2562**

ได้รับมอบหมายกระหันหันให้ร่วมเขียนเปเปอร์กับทีม SSVEP จึงเบลี่ยนสโคปงานเป็นการเขียนเปเปอร์ให้สามารถส่งตีพิมพ์ได้เร็วที่สุด  
ศึกษาการใช้งานเครื่องมือทางสถิติ และทบทวนวรรณกรรมเท่าที่จำเป็น

**18/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัย

**19/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

**20/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

**21/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

**24/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

**25/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

**26/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

**27/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

**28/6/2562**

เขียน ทบทวน และตรวจงานงานวิจัยต่อ

**1/7/2562**

กลับมาทำงานในส่วนของการตรวจจับความผิด ทดสอบเครื่องมือในการตรวจสอบความผิดของผ่านดวงตา

**2/7/2562**

ประชุมรวมของห้องปฏิบัติการ และเขียนเอกสารการวิจัยในมนุษย์

**3/7/2562**

ทบทวนวรรณกรรมสำหรับการตรวจจับความผิด

**4/7/2562**

ทบทวนวรรณกรรมสำหรับการตรวจจับความผิด

**5/7/2562**

ทบทวนวรรณกรรมสำหรับการตรวจจับความผิด

**8/7/2562**

พัฒนาตัวตรวจจับดวงตาสำหรับพิจารณาความผิดต่อ

**9/7/2562**

พัฒนาตัวตรวจจับดวงตาสำหรับพิจารณาความผิดต่อ

**10/7/2562**

พัฒนาตัวตรวจจับดวงตาสำหรับพิจารณาความผิดต่อ

**11/7/2562**

ประชุมกับนักประสาทวิทยาเพื่อปรับปรุงการทดลอง ปรับปรุงการทดลองต่อจากเมื่อวาน

**12/7/2562**

ปรับปรุงการทดลองต่อจากเมื่อวาน

**15/7/2562**

รับการทดลองครั้งแรกสำหรับการวิเคราะห์ความผิด เพื่อทดลองหาข้อผิดพลาดจากการทำงาน

**17/7/2562**

รับตัวประเมินผลวิดีโอสำหรับการทดลอง

งานวิจัยที่ส่งตีพิมพ์ได้รับการตีกลับ จึงได้รับมอบหมายให้นำมาปรับทวนงานวิจัย และตรวจสอบงานใหม่

18/7/2562

ทดลองหากความสัมพันธ์บนชุดข้อมูลดวงตาที่ได้จากการทดลอง

19/7/2562

ทดลองหากความสัมพันธ์บนชุดข้อมูลดวงตาที่ได้จากการทดลอง

22/7/2562

ทดลองหากความสัมพันธ์บนชุดข้อมูลดวงตาที่ได้จากการทดลอง

23/7/2562

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

24/7/2562

เขียน ทบทวน และตรวจทานงานวิจัยต่อ

30/7/2562

ทดลองหากความสัมพันธ์บนชุดข้อมูลดวงตาที่ได้จากการทดลอง ประชุมโดยกระชับเพื่อสรุปแนวทางการออกแบบ  
การทดลอง

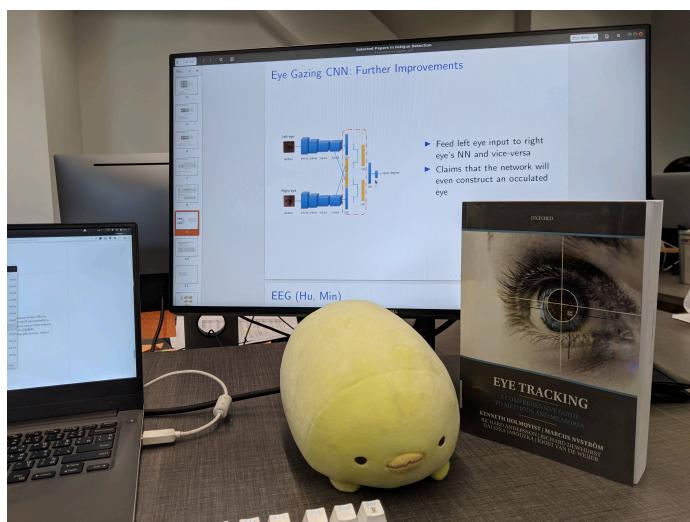
## ภาคผนวก B ภาพถ่ายสถานที่ปฏิบัติงาน

ภาพการฝึกงานวันที่ 4/6/2562



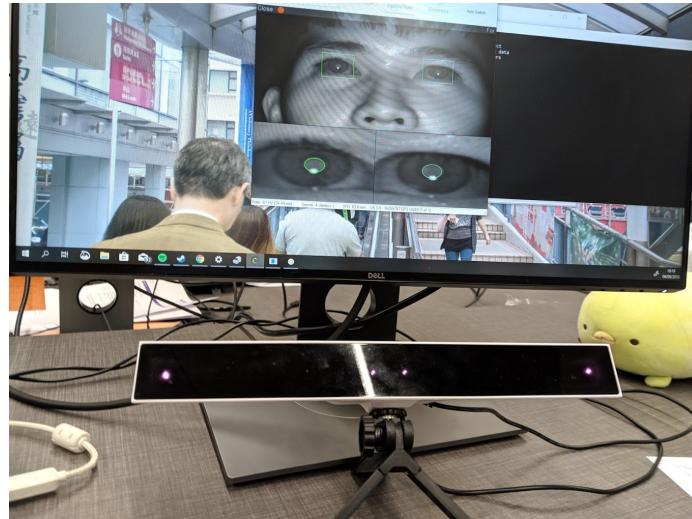
รูปที่ B.1: สถานที่ทำงานหลังจากจัดที่ทำงานแล้ว

ภาพการฝึกงานวันที่ 5/6/2562



รูปที่ B.2: หนังสือที่ได้รับมอบหมายให้อ่านและศึกษา ถ่ายคู่กับสไลด์สรุปงานวิจัย

ภาพการฝึกงานวันที่ 6/6/2562



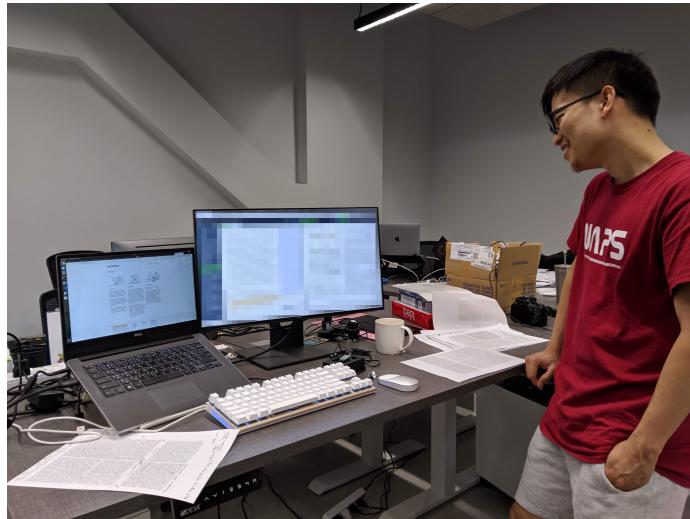
รูปที่ B.3: อุปกรณ์สำหรับติดตามดวงตา Gazepoint ขณะกำลังจับม่านตา

ภาพการฝึกงานวันที่ 10/6/2562



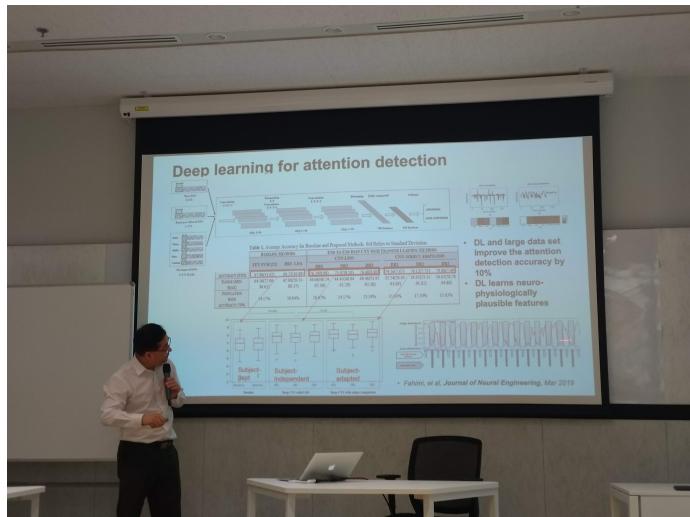
รูปที่ B.4: สมาชิกทีม Drowsiness Research และสมาชิกทีม BRAIN ขณะทดสอบสมมติฐาน

ภาพการฝึกงานวันที่ 24/6/2562



รูปที่ B.5: อาจารย์ธีรวิทย์ วิไลประสิทธิ์พิร ขณะทบทวนงานวิจัยโดยคร่าว

ภาพการฝึกงานวันที่ 8/7/2562



รูปที่ B.6: บรรยายจาก Prof Guan Cuntai

ภาพการฝึกงานวันที่ 23/7/2562



รูปที่ B.7: ทีมวิศวกรรมคอมพิวเตอร์เกษตรศาสตร์ ณ สถาบันวิทย์สิริเมธี