ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) แอปพลิเคชันคัดกรองความเสี่ยงภาวะหยุดหายใจขณะหลับ

(ภาษาอังกฤษ) OSA-Detect: Sleep apnea risk screening application

ชื่อผู้พัฒนาโครงการ

ชื่อ – สกุล นาย วรพล พงษ์ธนพิบูล

ระดับ มัธยมศึกษาปีที่ 5

โทรศัพท์ 097-1459545

สังกัด โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

Email wbyte4u@gmail.com

ชื่อ – สกุล นาย กานตวิชญ์ ใจสิน

ระดับ มัธยมศึกษาปีที่ 5

โทรศัพท์ 064-9267338

สังกัด โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

Email kantawitjaisin353@gmail.com

ชื่อ – สกุล นาย ธีธัช ศุนวัต

ระดับ มัธยมศึกษาปีที่ 5

โทรศัพท์ 095-4489910

สังกัด โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

Email teetat2010@gmail.com

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ชื่อ – สกุล นาย โอบนิธิ เงินกลั่น

ตำแหน่ง ครูที่ปรึกษา

โทรศัพท์ 083-0686415

สังกัด โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

Email oabniti.n@prc.ac.th

สาระสำคัญของโครงการ

ภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น (OSA) เป็นภัยเงียบที่**คนไทยกว่า 7.7 ล้านคน**กำลังเผชิญ แต่**มีเพียง 8 แสนคน** (Resmed Asia) ที่ได้รับการวินิจฉัย ข้อจำกัดสำคัญคือ "ความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงการคัดกรอง" เนื่องจากการตรวจมาตรฐาน (PSG) ในโรงพยาบาลมีคิวรอนานและ**ค่าใช้จ่ายสูงถึง 8,000 - 15,000 บาท** (HDmall) แม้จะมีการใช้สมาร์ทวอทช์หรือแอปพลิเคชันคัดกรองในตลาด แต่ยังพบอุปสรรคใหญ่ 2 ประการ ได้แก่ 1) ความแม่นยำที่ลดลงเมื่อเจอสภาพแวดล้อมจริงทั้งเสียงรบกวนหรือเสียงกรนจากคู่นอน และ 2) ความกังวลด้านความเป็นส่วนตัวจากการต้องอัปโหลดไฟล์เสียงในห้องนอนขึ้นระบบคลาวด์ ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ผู้ป่วยหลายรายปฏิเสธการใช้งาน

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว นวัตกรรม **"OSA-Detect"** จึงถูกพัฒนาให้สมาร์ทโฟนระดับเริ่มต้นสามารถทำงานเป็นเครื่องมือคัดกรองที่มีประสิทธิภาพผ่านกระบวนการใช้งานที่เรียบง่าย โดยเริ่มต้นจากผู้ใช้วางสมาร์ทโฟนไว้ข้างเตียงและเปิดแอปพลิเคชันก่อนนอน จากนั้นระบบจะเข้าสู่กระบวนการดักจับและประมวลผลเสียงแบบเรียลไทม์อยู่เบื้องหลังตลอดทั้งคืนโดยไม่รบกวนการพักผ่อน และจะแสดงผลประเมินความเสี่ยงทันทีเมื่อผู้ใช้ตื่นนอน การทำงานนี้ขับเคลื่อนด้วยกระบวนการทำงานเชิงลึกที่เริ่มต้นจากฟังก์ชันคัดกรองและแยกแยะเสียง โดยใช้เทคนิค Voice Activity Detection (VAD) เพื่อสกัดเฉพาะช่วงเวลาที่มีเสียงเกี่ยวข้อง ผนวกกับอัลกอริทึมที่สามารถแยกแยะเสียงของผู้ใช้ออกจากเสียงรบกวนและเสียงของคู่นอนได้อย่างแม่นยำ จากนั้นคลื่นเสียงจะถูกแปลงเป็นภาพความถี่ (Mel-Spectrogram) เพื่อเข้าสู่ฟังก์ชันวิเคราะห์แพทเทิร์นความผิดปกติด้วยสถาปัตยกรรม Lightweight CNN ที่มีความแม่นยำสูง จุดเด่นที่สร้างความแตกต่างคือฟังก์ชันปกป้องความเป็นส่วนตัว (Privacy by Design) ซึ่งใช้เทคนิค Model Quantization ในการบีบอัดโมเดล AI ให้สามารถประมวลผลแบบ On-device ได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ ข้อมูลเสียงจะถูกวิเคราะห์และลบทิ้งในหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ทันทีโดยไม่มีการส่งข้อมูลขึ้นระบบคลาวด์ ก่อนที่ระบบจะนำข้อมูลทั้งหมดมาประมวลผลในฟังก์ชันแดชบอร์ด เพื่อสรุปสถิติความถี่ในการหยุดหายใจและประเมินระดับความเสี่ยงออกมาในรูปแบบที่เข้าใจง่ายสำหรับผู้ใช้งาน

ในด้านการนำไปใช้งาน OSA-Detect ถูกออกแบบมาเพื่อเป็น "เครื่องมือคัดกรองด่านหน้า" (Triage Tool) สำหรับใช้งานในครัวเรือน โดยไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนการวินิจฉัยทางการแพทย์ แอปพลิเคชันจะบันทึกข้อมูลออกมาเป็นสมุดบันทึกสุขภาพดิจิทัล เพื่อให้ผู้ใช้นำข้อมูลเบื้องต้นนี้ไปปรึกษาแพทย์ในโรงพยาบาลชุมชนหรือศูนย์บริการสาธารณสุข โครงการนี้จึงเป็นนวัตกรรมที่ช่วยคัดกรองกลุ่มเสี่ยงสูงให้เข้าสู่ระบบการตรวจ PSG ได้อย่างตรงจุด ช่วยลดความแออัดและลดต้นทุนของสถานพยาบาล พร้อมทั้งเพิ่มโอกาสให้ผู้ป่วยโรค OSA ได้รับการรักษาในระยะเริ่มต้นอย่างทันท่วงที

คำสำคัญ (Keywords) : ภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น (Obstructive Sleep Apnea: OSA), การตรวจการนอนหลับมาตรฐาน (Polysomnography: PSG), สมาร์ทโฟนระดับเริ่มต้น (Budget Smartphones), ปัญญาประดิษฐ์ (AI), ประมวลผลบนอุปกรณ์ (On-device Processing), ปัญญาประดิษฐ์ขนาดเล็กประสิทธิภาพสูง (Lightweight AI)

หลักการและการให้เหตุผล

สาเหตุในการเกิดโรคหยุดหายใจขณะหลับในประเทศไทย

ภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น (Obstructive Sleep Apnea: OSA) เกิดจากความผิดปกติของโครงสร้างและสรีรวิทยาของระบบทางเดินหายใจส่วนบนระหว่างการนอนหลับ ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากการหย่อนตัวของกล้ามเนื้อทางเดินหายใจส่วนบน (Upper Airway Muscle Relaxation) โดยเฉพาะเนื้อเยื่อบริเวณช่องคอ เช่น เพดานอ่อน (Soft Palate) ลิ้นไก่ (Uvula) และโคนลิ้น (Base of Tongue) ที่ตกลงมาปิดกั้นช่องทางเดินหายใจ ส่งผลให้ทางเดินหายใจแคบลงหรืออุดตันอย่างสมบูรณ์ ลมหายใจผ่านได้ไม่สะดวกหรือหยุดชะงัก ทำให้ร่างกายตกอยู่ในภาวะพร่องออกซิเจน (Hypoxia) และเกิดการคั่งของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด (Hypercapnia) นอกจากนี้ ภาวะ OSA ยังอาจเกิดจากความผิดปกติของ โครงสร้างทางกายวิภาค (Craniofacial Anatomy) เช่น ผู้ที่มีขากรรไกรล่างเล็ก ทางเดินหายใจแคบ หรือคางร่น (Micrognathia) ซึ่งส่งผลต่อพื้นที่การไหลเวียนของอากาศ รวมถึง ภาวะโรคอ้วน (Obesity) ที่มีการสะสมของเนื้อเยื่อไขมันบริเวณผนังลำคอ ซึ่งเพิ่มแรงกดทับต่อระบบหายใจขณะเอนตัวนอน ทำให้ความสามารถในการเปิดกว้างของทางเดินหายใจลดลง (โรงพยาบาลนนทเวช)

อีกหนึ่งกลไกสำคัญคือผลกระทบต่อระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System) เมื่อร่างกายขาดออกซิเจน สมองจะถูกกระตุ้นให้ตื่นตัวเป็นระยะ (Microarousals) เพื่อสั่งการให้กล้ามเนื้อเปิดทางเดินหายใจอีกครั้ง ซึ่งวงจรการหยุดหายใจและการตื่นตัวที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ นี้ ทำให้โครงสร้างการนอนหลับถูกทำลาย (Sleep Fragmentation) และกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนความเครียด ซึ่งนำไปสู่ภาระการทำงานที่หนักขึ้นของระบบหลอดเลือดและหัวใจ โดยสรุป สาเหตุของโรคหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นเกิดจากปัจจัยหลายด้านร่วมกัน ทั้งความหย่อนตัวของกล้ามเนื้อ โครงสร้างทางสรีรวิทยาที่ผิดปกติ และปัจจัยทางร่างกาย ซึ่งล้วนส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบหายใจ ระบบประสาท และระบบไหลเวียนโลหิต และอาจนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนที่เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ หากไม่ได้รับการคัดกรองและรักษาอย่างทันท่วงที

ภาพที่ 1 รูปสาเหตุการเกิด

ภาพที่ 1 ทางเดินหายใจในขณะหลับ สืบค้นจาก www.nonthavej.co.th

การตรวจคัดกรองภาวะหยุดหายใจขณะหลับชนิดอุดกั้น (OSA) เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถรู้ตัวและเข้าสู่กระบวนการรักษาได้ทันท่วงที จึงมีความสำคัญอย่างมากในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคแทรกซ้อนร้ายแรงและการเสียชีวิตที่จะเกิดขึ้นในอนาคต แต่ในปัจจุบันยังพบปัญหาและข้อจำกัดในการเข้ารับการตรวจประเมินคุณภาพการนอนหลับ (Polysomnography: PSG) โดยการตรวจมาตรฐานในโรงพยาบาลนั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูงเนื่องมาจากต้องใช้ห้องปฏิบัติการเฉพาะทาง (Sleep Lab) และเครื่องมือทางการแพทย์ที่ซับซ้อน อีกทั้งยังต้องใช้เวลาในการตรวจตลอดทั้งคืน (อย่างน้อย 6-8 ชั่วโมง) ประกอบไปด้วยการติดเซนเซอร์และสายสัญญาณจำนวนมากตามร่างกายของผู้ป่วย เช่น การวัดคลื่นสมอง คลื่นไฟฟ้าหัวใจ และระดับออกซิเจนในเลือด ซึ่งในขั้นตอนการตรวจนั้นผู้ป่วยมีความจำเป็นที่จะต้องเดินทางไปนอนค้างคืนที่โรงพยาบาล ทำให้เกิดความอึดอัดและรบกวนการนอนหลับตามธรรมชาติ ประกอบกับศูนย์ตรวจที่มีจำกัดทำให้ต้องรอคิวนาน ก่อให้เกิดความไม่สะดวกสบาย และไม่สามารถทำให้ผู้ที่มีความเสี่ยงสามารถเข้าถึงการคัดกรองได้โดยง่ายและทันท่วงที

ภาพที่ 2 รูปการรักษาแบบ PSG

สืบค้นจาก www.bangkokhospital.com

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเครื่องมือในการคัดกรองภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นด้วยการวิเคราะห์สัญญาณเสียงขณะนอนหลับแบบออฟไลน์บนตัวอุปกรณ์ด้วยปัญญาประดิษฐ์อีกทั้งยังสามารถช่วยลดภาระหน้าที่ของบุคลากรทางการแพทย์ และทำให้ผู้คนที่มีความเสี่ยงภาวะหยุดหายใจขณะหลับในแต่ละระดับ สามารถเข้าถึงการคัดกรองได้ง่ายขึ้นในราคาที่ถูกลงและลดความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตหรือการเจ็บป่วยร้ายแรงจากภาวะแทรกซ้อน โดย OSA-Detect มีเป้าหมายที่จะพัฒนาแอปพลิเคชันที่มีความสามารถในการตรวจคัดกรองและติดตามโรคในระยะเริ่มต้นอย่างรวดเร็วและแม่นยำ เพื่อให้การรักษาและเข้าสู่กระบวนการทางการแพทย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเข้ารับการรักษาได้อย่างทันท่วงที โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และเครื่องมือการวิเคราะห์กิจกรรมเสียงบนสมาร์ทโฟน

ปัญหาหรือประโยชน์ที่เป็นเหตุเป็นผลให้ควรพัฒนาโปรแกรม

<u>ปัญหาเป็นเหตุผลให้ควรพัฒนาโปรแกรม</u>

ปัญหาสำคัญที่เป็นเหตุผลในการพัฒนาโปรแกรมคือสภาพความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงการตรวจวินิจฉัยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นด้วยวิธีมาตรฐาน (PSG) ที่มี**ค่าใช้จ่ายสูงถึง 8,000 ถึง 15,000 บาท** ส่งผลให้ผู้ป่วยที่มี**ความเสี่ยง7.7 ล้านคน** ไม่เคยได้รับการวินิจฉัยและสูญเสียโอกาสในการรักษาตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ประกอบกับแอปพลิเคชันคัดกรองในท้องตลาดปัจจุบันยังไม่สามารถตอบโจทย์การใช้งานจริงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากผู้ใช้งานมีความกังวลขั้นสูงด้านความเป็นส่วนตัวจากการต้องอัปโหลดข้อมูลเสียงขึ้นไปประมวลผลบนคลาวด์ ตลอดจนเผชิญกับข้อจำกัดทางสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ที่ต้องเปิดไมโครโฟนประมวลผลต่อเนื่องตลอดการนอนหลับ **6 ถึง 8 ชั่วโมง** ซึ่งทำให้แบตเตอรี่สมาร์ทโฟนสิ้นเปลืองอย่างรวดเร็ว รวมถึงเกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินผลความเสี่ยงจากการไม่สามารถแยกแยะเสียงรบกวนรอบข้างหรือเสียงจากคู่นอนได้ ซึ่งข้อจำกัดทั้งหมดนี้ล้วนเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้การคัดกรองและเฝ้าระวังโรคด้วยตนเองยังไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

<u>ประโยชน์ที่เป็นเหตุผลให้ควรพัฒนาโปรแกรม</u>

ประโยชน์สำคัญที่เป็นเหตุผลให้ควรพัฒนาโปรแกรม OSA-Detect คือการสร้างนวัตกรรมคัดกรองภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นเบื้องต้นที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำ ซึ่งช่วยลดความเหลื่อมล้ำทางสาธารณสุข ลดระยะเวลารอคอยการตรวจด้วยวิธีมาตรฐาน (PSG) และช่วยให้ผู้ที่มีความเสี่ยงสามารถเข้าสู่กระบวนการรักษาได้อย่างทันท่วงทีก่อนเกิดภาวะแทรกซ้อนร้ายแรง นอกจากนี้ ตัวระบบยังมอบประโยชน์ขั้นสูงด้านความปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคลผ่านการประมวลผลปัญญาประดิษฐ์แบบออฟไลน์บนตัวอุปกรณ์ (On-device Inference) ที่ช่วยขจัดข้อกังวลเรื่องข้อมูลเสียงรั่วไหลสู่ระบบคลาวด์

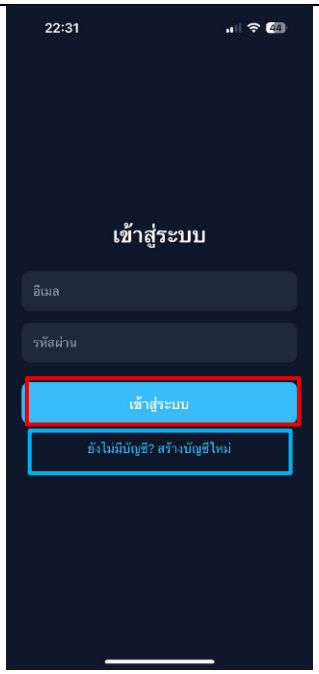
ตลอดจนเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมห้องนอน ผ่านการบูรณาการระบบกรองเสียงรบกวนและเสียงคู่นอน ซึ่งช่วยลดการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางลงกว่าร้อยละ 70 ทำให้ประหยัดแบตเตอรี่สมาร์ทโฟนและประเมินผลได้อย่างแม่นยำ นวัตกรรมนี้จึงถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการส่งเสริมการดูแลสุขภาพเชิงป้องกันและยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานอย่างยั่งยืน

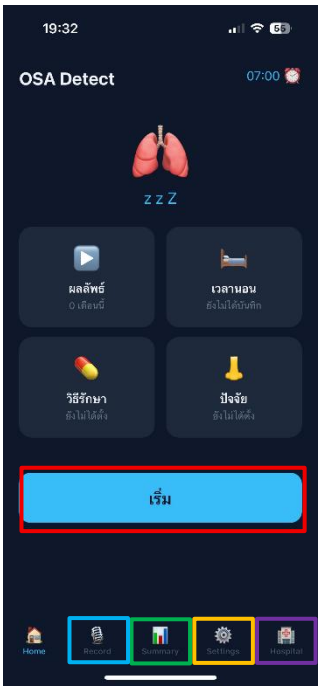
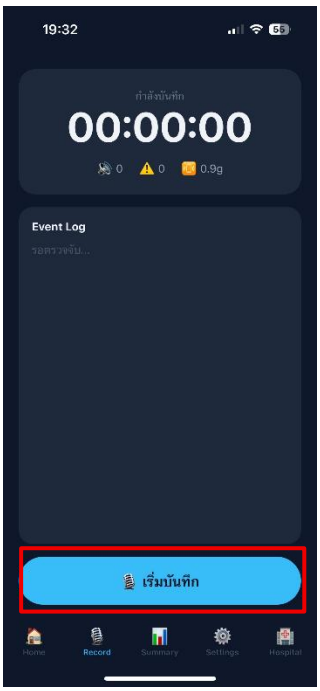
<u>เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ</u>

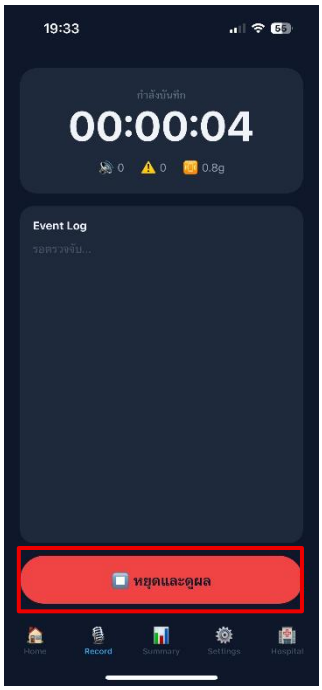
เป้าหมายหลักของ OSA-Detect คือลดจำนวนผู้ป่วยที่ตกหล่นและป้องกันภาวะแทรกซ้อน โดยพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่ใช้เทคโนโลยี AI (Transfer Learning) วิเคราะห์เสียงและการเคลื่อนไหวขณะหลับเพื่อคำนวณดัชนีหยุดหายใจสังเคราะห์ (Pseudo-AHI) ขอบเขตระบบออกแบบมาเพื่อเป็นเครื่องมือคัดกรองเบื้องต้นด่านหน้า (Screening Tool) เพื่อเตือนให้ผู้มีความเสี่ยงสูงเข้ารับการตรวจยืนยันที่โรงพยาบาลได้อย่างทันท่วงที พร้อมบูรณาการระบบแนะนำสถานพยาบาลใกล้เคียงอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยลดภาระงานคัดกรองของบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

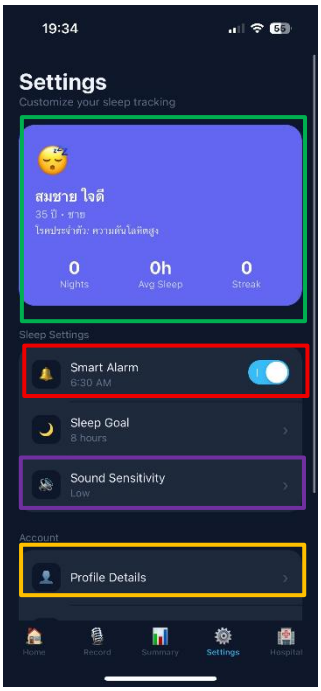
รายละเอียดของการพัฒนา

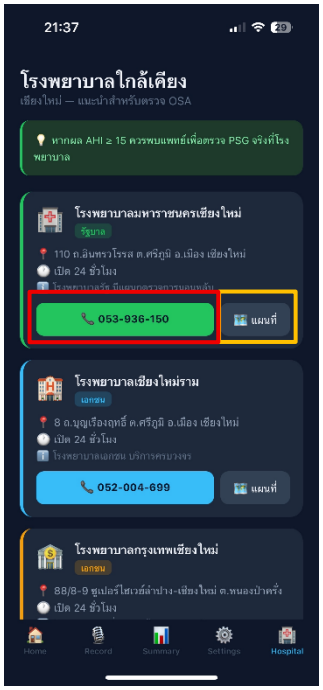
1.ตัวอย่างภาพ User Interface ของการใช้งาน Application โดยสามารถใช้งานผ่านทาง มือถือ (นำเสนอตัวอย่างรูปแบบของหน้าจอโทรศัพท์ 2556 x 1179)

หมายเลข	User interface (UI)	คำอธิบาย
A1	หน้าต่างต้อนรับ	แสดงทางเลือกสำหรับเข้าใช้งาน
		กรณีมีบัญชี: กดเข้าสู่ระบบ (•) กรณีไม่มีบัญชี: กดสร้างบัญชีใหม่ (•)
A2	หน้าต่างต้อนรับ	*กรณีไม่มีบัญชี
		กรอก ชื่อ นามสกุล เพศ อายุ โรคประจำตัว(ถ้ามี) กดลงทะเบียนเพื่อไปต่อ (•) หากต้องการเข้าสู่ระบบ กดเข้าสู่ระบบ (•)

หมายเลข	User interface (UI)	คำอธิบาย
B1	หน้าหลัก	แสดงในเมนูทั้งหมดในระบบ
		ดูข้อมูลสรุปเบื้องต้น: ผลลัพธ์, เวลานอน, วิธีรักษา, และปัจจัยต่างๆ กดปุ่ม "เริ่ม" ไปยังหน้าเตรียมบันทึกการนอนหลับ (•) หรือสามารถกดแถบเมนูด้านล่างเพื่อไปหน้า Record (•), Summary (•), Settings (•), Hospital (•)
B2	หน้าเตรียมบันทึกการนอนหลับ	หน้าจอแสดงสถานะพร้อมทำงาน
		กดปุ่ม "เริ่มบันทึก" (•) สามารถกดแถบเมนูด้านล่างเพื่อสลับไปหน้าอื่นได้ตามต้องการ

หมายเลข	User interface (UI)	คำอธิบาย
B3	หน้ากำลังบันทึก	แอปพลิเคชันกำลังทำงาน บันทึกเสียงและจับเวลา
		หน้าจอจะแสดงเวลาที่กำลังเดินอยู่ และไอคอนสถานะการตรวจจับ เมื่อตื่นนอน กดปุ่ม "หยุดและดูผล" เพื่อจบการบันทึก (•) สามารถกดแถบเมนูด้านล่างเพื่อสลับไปหน้าอื่นได้ตามต้องการ
B4	หน้าแบบสอบถามหลังตื่นนอน	หน้าจอแสดงสถานะพร้อมทำงาน
		กดเลือกคำตอบ: ประเมินอาการหลังตื่น (ความรู้สึก, ปวดหัว, เจ็บคอ, ความง่วง, สมาธิ) เมื่อตอบครบ 5 ข้อ กดปุ่ม "ดูผลการนอน" เพื่อให้ระบบประมวลผล (•)

หมายเลข	User interface (UI)	คำอธิบาย
B5	หน้าสรุปผล	แอปพลิเคชันกำลังทำงาน บันทึกเสียงและจับเวลา
		ดูผลการประเมิน: กราฟระดับการกรน, ระยะเวลานอน, จำนวนครั้งที่กรน, ค่า AHI, ระดับความเสี่ยง และช่วงเวลาที่ เกิดความผิดปกติ (Timeline) สามารถกดแถบเมนูด้านล่างเพื่อสลับไปหน้าอื่นได้ตามต้องการ
B6	หน้าการตั้งค่า	เมนูสำหรับจัดการการตั้งค่าต่างๆ
		ดูโปรไฟล์ส่วนตัว: ข้อมูลชื่อ, อายุ, เพศ, สถิติการนอน (•) กดเปิด/ปิด การทำงานของ Smart Alarm (•) กดเลือกระดับความไวเสียง (Sound Sensitivity) (•) หากต้องการเปลี่ยนบัญชีหรือจัดการโปรไฟล์ กดเลือกที่เมนูในหมวด Account (•)

หมายเลข	User interface (UI)	คำอธิบาย
B7	หน้าค้นหาโรงพยาบาล	แอปพลิเคชันกำลังทำงาน บันทึกเสียงและจับเวลา
		เลื่อนดูรายชื่อโรงพยาบาลที่แอปพลิเคชันแนะนำ (อิงจากตำแหน่งที่ตั้ง เช่น ในรูปคือเชียงใหม่) ผู้ใช้สามารถดู ป้ายกำกับ (Tag) เพื่อประกอบการตัดสินใจ เช่น เป็นโรงพยาบาล "รัฐบาล" หรือ "เอกชน" ปุ่มโทรศัพท์ (เบอร์โทร): หากต้องการสอบถามค่าใช้จ่ายหรือนัดหมายคิวตรวจ (•) ปุ่ม "แผนที่": หากต้องการเดินทางไปที่โรงพยาบาล (•)

เทคนิคหรือเทคโนโลยีที่ใช้

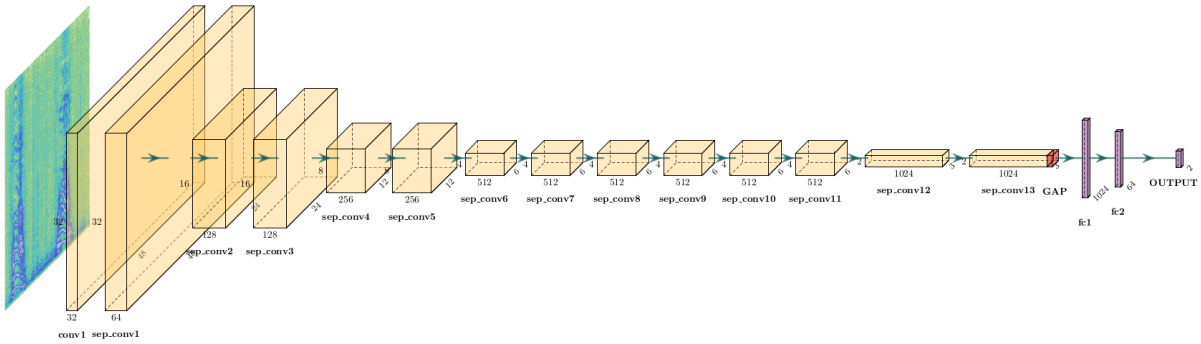
โครงการนี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมเทคโนโลยี YAMNet (เวอร์ชัน PyTorch) ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรม Deep Convolutional Neural Network ที่พัฒนาต่อยอดมาจาก MobileNet V1 เป็นแบบจำลองหลักในการจำแนกประเภทและจัดหมวดหมู่สัญญาณเสียงที่เกี่ยวข้องกับภาวะหยุดหายใจขณะหลับ โดยการพัฒนาจะดำเนินกระบวนการฝึกฝน (Training) และทดสอบประสิทธิภาพร่วมกับชุดข้อมูลสัญญาณเสียงมาตรฐานระดับสากล ได้แก่ Sleep-EDF Database Expanded ซึ่งบรรจุข้อมูลสัญญาณสรีรวิทยาและเสียงระหว่างการนอนหลับตลอดทั้งคืน และชุดข้อมูล SnoreSound (หรือ Snoring Dataset) ที่มีความเด่นชัดในการคัดแยกชนิดเสียงกรน

ในขั้นตอนการเตรียมและจัดสรรข้อมูล (Data Preprocessing) ระบบจะทำหารตัดแต่งสัญญาณเสียงทางกายภาพและใช้ไลบรารี Librosa หรือ Torchaudio ในการแปลงสัญญาณคลื่นเสียงดิบในโดเมนเวลา (Time Domain) ให้กลายเป็นข้อมูลภาพความถี่สเปกโทรแกรมในโดเมนความถี่ในรูปแบบ Log-Mel Spectrogram เพื่อให้สอดคล้องกับโครงสร้าง Input ที่โมเดล YAMNet ต้องการ เนื่องจากลักษณะทางสถิติของชุดข้อมูลพบปัญหาความไม่สมดุลของข้อมูล (Class Imbalance) ระหว่างจำนวนตัวอย่างเสียงนอนกรนปกติและสภาวะการหยุดหายใจที่หาได้ยากกว่า โครงการจึงได้บูรณาการเทคนิค SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) ในการสังเคราะห์คุณลักษณะของกลุ่มสัญญาณเสียงหยุดหายใจ (Minority Class) ขึ้นมาเพิ่มเติมในมิติทางคณิตศาสตร์ เพื่อป้องกันไม่ให้แบบจำลองเกิดความเอนเอียง (Bias) ไปยังคลาสที่มีจำนวนมากกว่า ควบคู่ไปกับการกำหนดฟังก์ชันความสูญเสียแบบ Focal Loss ในกระบวนการคำนวณการเรียนรู้ ซึ่งฟังก์ชันนี้จะช่วยลดน้ำหนักความสำคัญของตัวอย่างข้อมูลที่จำแนกได้ง่ายลง และเพิ่มน้ำหนักความสำคัญให้กับกลุ่มข้อมูลเสียงหยุดหายใจที่จำแนกได้ยาก (Hard Negatives) ส่งผลเป็นการกระตุ้นแบบจำลองให้มุ่งเน้นการเพิ่มค่าความไว (Sensitivity หรือ Recall) ในการคัดกรองกลุ่มสัญญาณเสียงหยุดหายใจอันเป็นเป้าหมายสำคัญของโครงการ

เมื่อแบบจำลองได้รับการฝึกฝนและ Fine-tuning จนมีประสิทธิภาพและค่าความแม่นยำตามเกณฑ์มาตรฐานทางวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ จะเข้าสู่กระบวนการเตรียมการติดตั้งลงบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยเริ่มต้นจากการส่งออกและแปลงสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมจากระบบ PyTorch ให้อยู่ในฟอร์แมตกลางด้วย ONNX (Open Neural Network Exchange) จากนั้นจึงใช้เครื่องมือแปลงไฟล์พอร์ตข้ามระบบนิเวศ (Ecosystem) ไปเป็นรูปแบบ TensorFlow Lite (TFLite) พร้อมทั้งประยุกต์ใช้เทคนิค INT8 Quantization ซึ่งเป็นกระบวนการบีบอัดพารามิเตอร์และค่าน้ำหนัก (Weights) ภายในแบบจำลองจากทศนิยมความละเอียดสูง (Float32) ให้กลายเป็นเลขจำนวนเต็มขนาด 8 บิต (Integer 8-bit) ส่งผลให้สามารถบีบอัดขนาดไฟล์ของแบบจำลองให้เล็กลงได้ถึงประมาณ 4 เท่า และช่วยลดอัตราการใช้งานหน่วยความจำชั่วคราว (RAM Consumption) ทำให้แบบจำลองมีความเหมาะสมและยืดหยุ่นสูงในการนำไปติดตั้งและรันคำนวณแบบออฟไลน์บนตัวอุปกรณ์ (On-device Offline Processing) ผ่านเฟรมเวิร์ก Flutter ซึ่งปลั๊กอิน tflite_flutter จะทำหน้าที่ควบคุมกลไกการทายผล (Inference) ภายในสมาร์ทโฟนโดยตรง กระบวนการนี้ช่วยให้ระบบสามารถประมวลผลได้โดยไม่ต้องพึ่งพาการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและไม่ต้องส่งสัญญาณเสียงดิบ

ของผู้ใช้งานขึ้นไปวิเคราะห์บนระบบคลาวด์ (Cloud) ซึ่งเป็นการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูลผู้ใช้งานตามหลักการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลอย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดด้านกายภาพของสภาพแวดล้อมจริงในห้องนอน ระบบส่วนหน้ายังได้บูรณาการร่วมกับเทคโนโลยีการตรวจจับกิจกรรมเสียงด้วย WebRTC VAD (Voice Activity Detection) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกความแตกต่างระหว่างเสียงมนุษย์ (Speech/Voice) และเสียงเงียบหรือเสียงรบกวนทั่วไปในระดับฮาร์ดแวร์ ทำงานประสานสัมพันธ์กับระบบประเมินและวิเคราะห์ระดับพลังงานคลื่นเสียง Acoustic Energy Mapping ที่พัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณความเข้มข้นและความหนาแน่นของคลื่นเสียง ทำให้ระบบสามารถคัดกรองและตัดสัญญาณเสียงรบกวนในสภาพแวดล้อม (Background Noise) รวมถึงสัญญาณเสียงสะท้อนที่อยู่ห่างไกลออกไป เช่น เสียงพลิกตัว หรือเสียงนอนกรนจากคู่นอนที่นอนอยู่ข้างเคียง โดยระบบจะกำหนดเงื่อนไขในการบริหารจัดการพลังงาน (Power Management) ให้แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์หลัก (AI Model) อยู่ในสภาวะพัก (Idle) และจะสั่งการให้แบบจำลองตื่นขึ้นมาทำงานเฉพาะในช่วงเวลาที่อัลกอริทึม WebRTC VAD และ Acoustic Energy Mapping ตรวจพบความถี่และระดับพลังงานของกิจกรรมเสียงกรนหรือเสียงหายใจที่ผิดปกติของตัวผู้ใช้งานเท่านั้น จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงวิศวกรรมซอฟต์แวร์และการจำลองสถานการณ์ใช้งานจริงพบว่า อัลกอริทึมควบคุมและจัดสรรพลังงานดังกล่าว สามารถลดภาระการทำงานหนักต่อเนื่องของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU Overhead) บนสมาร์ทโฟนลงได้กว่าร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับการเปิดโมเดล AI ประมวลผลตลอดเวลา ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานแบตเตอรี่ในสภาวะการทำงานข้ามคืนลดลงเหลือเพียงร้อยละ 10-20 ต่อรอบการนอนหลับตลอดทั้งคืน ทำให้สมาร์ทโฟนทั่วไปสามารถเปิดใช้งานแอปพลิเคชันได้โดยไม่มีปัญหาเครื่องร้อนจัดหรือแบตเตอรี่หมดระหว่างคืน โดยตัวแอปพลิเคชันจะทำการคำนวณ คัดแยก และประมวลผลออกมาเป็นค่าดัชนีชี้วัดความเสี่ยงเบื้องต้นของผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำและเสถียร ภายใต้มาตรฐานการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลอย่างเคร่งครัดและปลอดภัยสอดคล้องกับระเบียบวิธีวิจัยทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์อย่างเป็นระบบ



ภาพที่ 3 รูปการทำงานของ YAMNet

สืบค้นจาก medium.com

การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชั่น

การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน OSA-Detect จะแบ่งเป็น 2 ส่วนการพัฒนาประกอบด้วย FrontEnd และ BackEnd โดยในส่วนของการทำ FrontEnd ทีมผู้พัฒนาใช้ Expo (React Native) ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน OSA-Detect โดยประกอบไปด้วยระบบหลัก ๆ 7 ระบบ ได้แก่ **1) ระบบการเข้าสู่ระบบ** ผู้ใช้จะต้องเข้าสู่ระบบก่อนที่จะใช้งานแอปพลิเคชัน โดยระบบจะระบุตัวตนของผู้ใช้ และบันทึกข้อมูลการเข้าสู่ระบบ รวมไปถึงข้อมูลส่วนตัวเบื้องต้น **2) ระบบแบบสอบถามประเมินอาการ** การใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินความเสี่ยงก่อนการนอนและอาการทางอัตวิสัยหลังตื่นนอน **3) ระบบบันทึกข้อมูลขณะนอนหลับ** ระบบต้องสามารถบันทึกสัญญาณเสียงและการเคลื่อนไหวของร่างกายผ่านเซนเซอร์ของสมาร์ทโฟนได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งคืน **4) ระบบปัญญาประดิษฐ์ประมวลผลข้อมูล** ข้อมูลเสียงและเซนเซอร์จะถูกนำไปประมวลผลด้วยปัญญาประดิษฐ์ภายในอุปกรณ์ (On-device Inference) เพื่อจำแนกเหตุการณ์และคำนวณค่าดัชนีการหยุดหายใจสังเคราะห์ (Pseudo-AHI) โดยระบบต้องมีความแม่นยำและรวดเร็วในการวิเคราะห์ **5) ระบบแสดงผลลัพธ์** ระบบจะแสดงผลลัพธ์การคัดกรองและระดับความเสี่ยงภาวะหยุดหายใจขณะหลับบนหน้าจอสมาร์ทโฟน พร้อมกราฟแจกแจงตามช่วงเวลา โดยผลการคัดกรองนั้นจะต้องถูกแสดงอย่างชัดเจนและเข้าใจง่ายสำหรับผู้ใช้งาน **6) ระบบบันทึกประวัติการคัดกรองย้อนหลัง** ระบบจะบันทึกประวัติสถิติการนอนหลับย้อนหลังของผู้ใช้งาน ผู้ใช้จะสามารถดูผลการคัดกรองย้อนหลังได้ **7) ระบบค้นหาโรงพยาบาล** ระบบจะค้นหาและแนะนำสถานพยาบาลหรือศูนย์ตรวจการนอนหลับ (Sleep Center) ที่ใกล้ที่สุดเมื่อตรวจพบว่ามีความเสี่ยง ในส่วนของการทำ BackEnd ทีมผู้พัฒนาได้ใช้ Firebase ในการจัดการกับข้อมูลผู้ใช้บริการ และพัฒนาฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บประวัติผลการประเมินความเสี่ยงและสถิติการนอนหลับของผู้ใช้บริการ

รายละเอียดโปรแกรมที่จะพัฒนา

Input

- ข้อมูลสัญญาณเสียงขณะนอนหลับจากไมโครโฟนของสมาร์ทโฟน(AudioSignal)
- ข้อมูลการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Actigraphy) จากมาตรความเร่ง (Accelerometer) ของสมาร์ทโฟน
- ข้อมูลโปรไฟล์ผู้ใช้งานและแบบสอบถามประเมินความเสี่ยงผ่านหน้าจอ Touchscreen ของสมาร์ทโฟนผู้ใช้งาน

Output

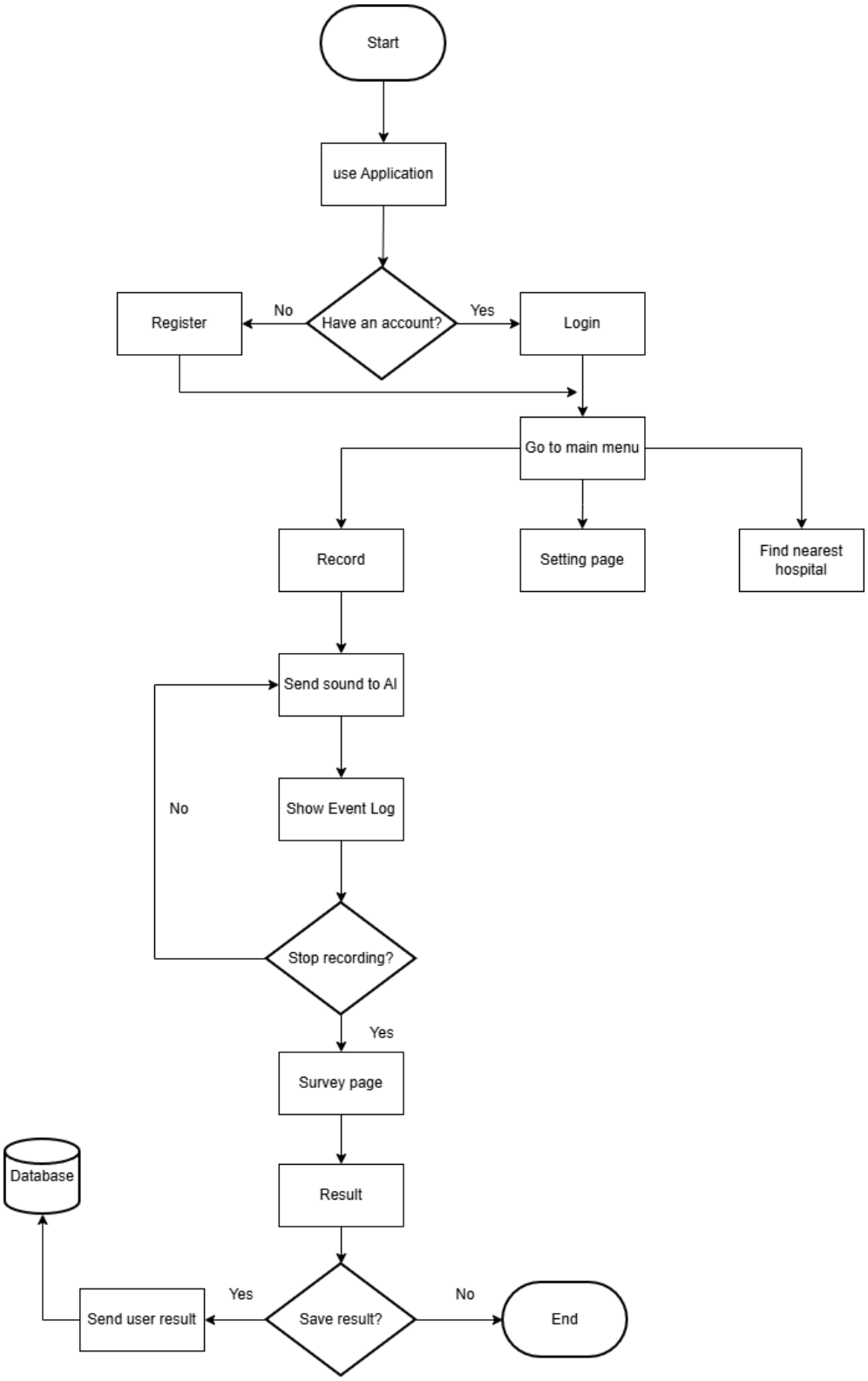
- แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพการนอนหลับ ระดับการกรน ค่าดัชนีการหยุดหายใจสังเคราะห์ (Pseudo-AHI) และระดับความเสี่ยงภาวะหยุดหายใจขณะหลับ บนหน้าจอสมาร์ทโฟนของผู้ใช้งาน

Functional Specification

- **ระบบการเข้าสู่ระบบ**
    - ผู้ใช้จะต้องเข้าสู่ระบบก่อนใช้งานแอปพลิเคชัน
    - ระบบจะจัดเก็บข้อมูลโปรไฟล์เบื้องต้น เช่น ชื่อ,อายุ,เพศ, น้ำหนัก,ส่วนสูงและโรคประจำตัวเพื่อนำไปประกอบการประเมินความเสี่ยง
- **ระบบบันทึกข้อมูลขณะนอนหลับ**
    - ระบบสามารถบันทึกเสียงและการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งานตลอดทั้งคืนได้อย่างต่อเนื่อง ทำงานบนสมาร์ทโฟนโดยตรง
- **ระบบปัญญาประดิษฐ์**
    - การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Machine Learning/Transfer Learning) การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นเสียงและสัญญาณการเคลื่อนไหวเพื่อจำแนกเสียงปกติ,เสียงกรน,เสียงอุดกั้นทางเดินหายใจ และการขยับตัวโดยประมวลผลได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว
- **ระบบแบบสอบถามและประเมินอาการเบื้องต้น**
    - ระบบมีแบบสอบถามคัดกรองความเสี่ยงก่อนใช้งานและแบบประเมินอาการหลังตื่นนอน

- **ระบบสรุปผลและแสดงผล**
    - ระบบสรุปผลการวิเคราะห์และแสดงระดับความเสี่ยงโรคหยุดหายใจขณะหลับ (OSA) บนหน้าจอสมาร์ทโฟน พร้อมกราฟแสดงช่วงเวลา (Timeline) การเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติตลอดคืน
- **ระบบบันทึกประวัติการตรวจย้อนหลัง**
    - ระบบจะทำการบันทึกประวัติสถิติการนอนหลับย้อนหลัง โดยผู้ใช้สามารถดูผลสรุปการตรวจเปรียบเทียบเป็นรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือนได้
- **ระบบค้นหาและแนะนำโรงพยาบาล**
    - ระบบสามารถค้นหาและแนะนำโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลที่มีแผนกตรวจการนอนหลับ(Sleep Center) ในพื้นที่ใกล้เคียง เมื่อระบบวิเคราะห์พบว่าผู้ใช้งานมีความเสี่ยงสูง เพื่ออำนวยความสะดวกในการไปพบแพทย์เฉพาะทาง

โครงสร้างของซอฟต์แวร์ (Design)



เครื่องมือที่ใช้พัฒนา

การพัฒนาแอปพลิเคชัน (Software)

1. Figma: เป็นเครื่องมือออกแบบกราฟิกที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างของแอปพลิเคชั่น
2. Visual Studio Code: โปรแกรมแก้ไขโค้ดหลักที่ใช้ในการเขียนและทดสอบระบบแอปพลิเคชัน
3. Firebase Database ใช้จัดเก็บข้อมูลแบบ Realtime สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชั่น

การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ (AI & Machine Learning)

1. Librosa / Torchaudio: ใช้แปลงไฟล์เสียงดิบให้เป็นภาพ Spectrogram เพื่อให้โมเดลอ่านเข้าใจ
2. Imbalanced-learn (SMOTE): ใช้ปรับสมดุลและเพิ่มจำนวนตัวอย่างเสียงหยุดหายใจที่มีน้อย
3. PyTorch: ใช้เป็น Framework หลักในการสร้าง เทรน และคำนวณโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม
4. YAMNet (PyTorch Version): ใช้เป็นโครงสร้างโมเดลหลัก (Audio Classifier) เพื่อนำมาเทรนจำแนกเสียงกรนและหยุดหายใจ
5. Focal Loss (Custom Function): ใช้คำนวณความผิดพลาดเพื่อบังคับให้โมเดลเน้นจับเสียงหยุดหายใจที่แยกแยะยาก
6. ONNX: ใช้แปลงไฟล์โมเดลจาก PyTorch ให้เป็นรูปแบบกลางเพื่อเตรียมเปลี่ยนเป็น TFLite
7. onnx2tf / TensorFlow Lite Converter: ใช้ในการแปลงโมเดลต่อเป็น .tflite พร้อมทำ INT8 Quantization บีบอัดขนาดให้เล็กและรันเร็วขึ้น
8. tflite_flutter (Plugin): ใช้เรียกโมเดลเสียง .tflite มาประมวลผลแบบออฟไลน์ภายในแอปพลิเคชัน Flutter

ขอบเขตและข้อจำกัดของโปรแกรมที่พัฒนา

1. การเข้ารับคัดกรองภาวะหยุดหายใจขณะหลับด้วย OSA-Detect จะต้องเป็นผู้ที่นอนในห้องที่ไม่มีเสียงรบกวนดังผิดปกติ และไม่มีเสียงกรนจากบุคคลอื่นที่นอนร่วมเตียงเดียวกัน
2. ในการบันทึกการนอนหลับ สมาร์ทโฟนจะต้องมีไมโครโฟนที่ทำงานได้ปกติและต้องวางไว้ใกล้ตัวผู้ใช้ (เช่น บนโต๊ะข้างเตียง) เท่านั้น เนื่องจากระยะห่างที่มากเกินไปจะทำให้ระบบไม่สามารถรับเสียงหายใจและนำไปวิเคราะห์ต่อได้
3. ในกรณีที่ ไม่มีอินเทอร์เน็ต จะไม่สามารถใช้งานระบบเข้าสู่ระบบ เก็บสถิติประวัติย้อนหลัง และระบบค้นหาโรงพยาบาลในแอปพลิเคชัน OSA-Detect ได้

บรรณานุกรม

1.Resmed Asia (Thailand). (2568, 26 ธันวาคม). เปิดสถิติ คนไทย 7.7 ล้านคน เสี่ยงเกิดภาวะหยุดหายใจขณะหลับ. ฐานเศรษฐกิจ. https://elibrary.oic.or.th/article/694e013cb613e

2.Mayo Clinic Staff. (2023). Polysomnography (sleep study). Mayo Clinic. https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/polysomnography/about/pac-20394877

3.HDmall. (ม.ป.ป.). ตรวจการนอนหลับ (Sleep test) คืออะไร ตรวจอะไรบ้าง ราคาเท่าไร?. https://hdmall.co.th/health-checkup/sleep-test

4.โรงพยาบาลนนทเวช. (ม.ป.ป.). ภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น (Obstructive Sleep Apnea - OSA). https://www.nonthavej.co.th/Obstructive-Sleep-Apnea.php

5.Li, X. (2025). Snoring recognition deep learning method based on transfer learning and spatio-temporal feature extraction. In *Proceedings of the ACM Conference*. ACM Digital Library. https://doi.org/10.1145/3733006.3733016

6.Çakıroğlu, M. A., Aydoğan, E. K., Bolattürk, Ö. F., Aydoğan, S., İsmailoğulları, S., & Delice, Y. (2026). Non-contact acoustic screening for sleep apnea: A subject-aware deep learning approach. *Sleep and Breathing, 30*(1), 36. https://doi.org/10.1007/s11325-026-03594-2

7.Cassette Sleep Study. (1992). Sleep-EDF database expanded [Data set]. PhysioNet. https://physionet.org/content/sleep-edfx/1.0.0/

8.Google. (2019). *YAMNet: A pretrained deep net that predicts audio event classes* (Version 1) [Computer software]. TensorFlow Hub. https://tfhub.dev/google/yamnet/1

9.Nandakumar, R., Gollakota, S., & Watson, N. (2015). Contactless sleep apnea detection on smartphones. In *Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys '15)* (pp. 45–57). https://doi.org/10.1145/2742647.2742674

10.Cavusoglu, M., Kamasak, M., Erogul, O., Ciloglu, T., Serinagaoglu, Y., & Akcam, T. (2007). An efficient method for snore/nonsnore classification of sleep sounds. *Physiological Measurement, 28*(8), 841–853. https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/8/007

11.Kim, D. H., Kim, S. W., & Hwang, S. H. (2022). Diagnostic value of smartphone in obstructive sleep apnea syndrome: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE, 17*(5), e0268585. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268585

12.Abd-Alrazaq, A., Aslam, H., AlSaad, R., Alsahli, M., Ahmed, A., Damseh, R., Aziz, S., & Sheikh, J. (2024). Detection of sleep apnea using wearable AI: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research, 26*, e58187. https://doi.org/10.2196/58187

13.Hwang, D., et al. (2024). In-home smartphone-based prediction of obstructive sleep apnea in conjunction with level 2 home polysomnography. *JAMA Network Open*. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10654929/

14.Zhou, G., Zhou, W., Zhang, Y., Zeng, Z., & Zhao, W. (2023). Automatic monitoring of obstructive sleep apnea based on multi-modal signals by phone and smartwatch. In *Proceedings of the 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 1–4). https://doi.org/10.1109/EMBC40787.2023.10340237

15.Srichan, S., et al. (2023). The NH-OSA score in prediction of clinically significant obstructive sleep apnea among the Thai population: Derivation and validation studies. *Sleep and Breathing, 27*(3), 913–921. https://doi.org/10.1007/s11325-022-02642-x

16.Benjafield, A. V., Ayas, N. T., Eastwood, P. R., Heinzer, R., Ip, M. S. M., Morrell, M. J., Nunez, C. M., Patel, S. R., Penzel, T., Pépin, J. L., Peppard, P. E., Sinha, S., Tufik, S., Valentine, K., & Malhotra, A. (2019). Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea. *The Lancet Respiratory Medicine, 7*(8), 687–698. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(19)30198-5

ประวัติและผลงานของผู้พัฒนาโครงการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชื่อ – สกุล นาย วรพล พงษ์ธนพิบูล
ระดับ มัธยมศึกษาปีที่ 5
โทรศัพท์ 097-1459545
สังกัด โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่
Email wbyte4u@gmail.com

ผลงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รางวัลรองชนะเลิศ Samsung Solve for Tomorrow 2025: ทีม AI Spinecheck
2. รางวัลรองชนะเลิศเหรียญทองแดง Innovative Robot AI Thai Gen Award: WRGTH 2025
3. The Bronze Medal in AI Genius Battle: Internal Robot Racing 2025 (IRR2025)

ชื่อ – สกุล นาย กานตวิชญ์ ใจสิน
ระดับ มัธยมศึกษาปีที่ 5
โทรศัพท์ 064-9267338
สังกัด โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่
Email kantawitjaisin353@gmail.com

ผลงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. The Silver Medal in Science Innovation Project Competition

ชื่อ – สกุล นาย ธีธัช ศุนวัต
ระดับ มัธยมศึกษาปีที่ 5
โทรศัพท์ 095-4489910
สังกัด โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่
Email teetat2010@gmail.com

ผลงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. The Gold Medal in Tetrix Competition IRR 2025