โครงงานเลขที่ วศ.คพ. 261492/2568

เรื่อง

แพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก เฟส 2

โดย

กวิน ชูสิน	รหัส **650610745**
ณัฐพล ชนเวโรจน์	รหัส **650612082**
ธนวัฒน์ ใจเสริฐ	รหัส **650610768**
ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์	รหัส **650612089**

โครงงานนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2568

PROJECT No. CPE 261492/2568

Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2

Kawin Choosin	**650610745**
Natthapon Chanawerot	**650612082**
Thanawat Jaisert	**650610768**
Pariwat Wonginchan	**650612089**

A Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Bachelor of Engineering

Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chiang Mai University

2025

หัวข้อโครงงาน	: แพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก เฟส 2	
	: Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2	
โดย	: กวิน ชูสิน	รหัส 650610745
	ณัฐพล ชนเวโรจน์	รหัส 650612082
	ธนวัฒน์ ใจเสริฐ	รหัส 650610768
	ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์	รหัส 650612089
ภาควิชา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ.ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา	
ปริญญา	: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	: 2568	

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

..... หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
(ผศ.ดร. นวดนย์ คุณเลิศกิจ)

คณะกรรมการสอบโครงงาน

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา)

..... กรรมการ
(ผศ. โดม โพธิกานนท์)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร. นวดนย์ คุณเลิศกิจ)

หัวข้อโครงงาน	: แพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก เฟส 2	
	: Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2	
โดย	: กวิน ชูสิน	รหัส 650610745
	ณัฐพล ชนเวโรจน์	รหัส 650612082
	ธนวัฒน์ ใจเสริฐ	รหัส 650610768
	ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์	รหัส 650612089
ภาควิชา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ.ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา	
ปริญญา	: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	: 2568	

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการคัดกรองและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก (Oral Potentially Malignant Disorders: OPMD และ Oral Cancer) โดยมุ่งเน้นการเพิ่มการเข้าถึงบริการทางทันตกรรมในกลุ่มผู้สูงอายุและประชาชนในพื้นที่ห่างไกล ระบบ eDENT-ELDER Phase 2 ได้รับการออกแบบให้เป็นแพลตฟอร์มแบบ Hybrid ที่ผสานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับ Mobile Application และระบบ Tele-consult แบบ Asynchronous เพื่อสนับสนุนการคัดกรองโดยอาสาสมัครสาธารณสุขและบุคลากรแนวหน้า

ในด้านสถาปัตยกรรม ระบบได้รับการปรับปรุงจากรูปแบบ Monolithic ไปสู่ Modular Monolith บนแนวคิด Clean Architecture โดยใช้ Next.js สำหรับส่วน Frontend และ FastAPI สำหรับ Backend ร่วมกับฐานข้อมูล PostgreSQL และระบบจัดเก็บข้อมูล MinIO และ Redis เพื่อเพิ่มความสามารถในการขยายระบบและความทนทาน นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาระบบ AI แบบ Dual-Path ซึ่งประกอบด้วย Primary Path ที่ใช้ GPU (NVIDIA Triton Inference Server) และ Fallback Path ที่ใช้ CPU (TensorFlow Lite) เพื่อรองรับการทำงานต่อเนื่องและลดความเสี่ยงจาก Single Point of Failure โดยสามารถสลับการทำงานอัตโนมัติภายในเวลาไม่เกิน 1 วินาที

ผลการทดสอบระบบพบว่าสามารถรองรับการคัดกรองได้มากกว่า 500 กรณี โดยมีค่า latency เฉลี่ยต่ำกว่า 200 มิลลิวินาที และมีความเสถียรของระบบในระดับสูง นอกจากนี้ ระบบยังรองรับมาตรฐานความปลอดภัยของข้อมูล เช่น PDPA และ HIPAA ผ่านการเข้ารหัสแบบ End-to-End และการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงแบบ Role-Based Access Control

โดยสรุป ระบบ eDENT-ELDER Phase 2 เป็นแพลตฟอร์มทางการแพทย์ที่สามารถนำไปใช้งานจริงในระดับชุมชน ช่วยเพิ่มโอกาสในการตรวจพบโรคในระยะเริ่มต้น ลดภาระของบุคลากรทางการแพทย์ และสนับสนุนการพัฒนาระบบสุขภาพดิจิทัลอย่างยั่งยืน

Project Title	:	Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2
Name	:	Kawin Choosin 650610745
		Natthapon Chanawerot 650612082
		Thanawat Jaisert 650610768
		Pariwat Wonginchan 650612089
Department	:	Computer Engineering
Project Advisor	:	Assoc. Prof. Patiwet Wuttisarnwattana, Ph.D.
Degree	:	Bachelor of Engineering
Program	:	Computer Engineering
Academic Year	:	2025

ABSTRACT

This project presents a digital platform for detecting and analyzing Oral Potentially Malignant Disorders (OPMD) and oral cancer, aiming to improve access to early screening among elderly populations and underserved communities. The proposed system, eDENT-ELDER Phase 2, is designed as a hybrid AI-driven medical platform integrating mobile applications and asynchronous teleconsultation to support frontline healthcare workers and village health volunteers.

The system architecture has been re-engineered from a monolithic design to a modular monolith based on Clean Architecture principles. It employs Next.js for the frontend and FastAPI for the backend, along with PostgreSQL, MinIO, and Redis for data management and processing. A key contribution is the Dual-Path AI system, which combines a GPU-based primary inference pipeline (NVIDIA Triton) with a CPU-based fallback (TensorFlow Lite), enabling automatic failover within one second and ensuring high system availability.

Experimental results demonstrate that the platform can process over 500 screening cases with an average inference latency below 200 ms and high system reliability. The platform also complies with medical data security standards, including PDPA and HIPAA, through end-to-end encryption and role-based access control.

In conclusion, eDENT-ELDER Phase 2 provides a scalable and reliable AI-assisted screening platform suitable for real-world deployment, enhancing early detection rates, reducing healthcare workload, and supporting sustainable digital health systems.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการแพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก (eDENT-ELDER Phase 2) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา (Assoc. Prof. Patiwet Wuttisarnwattana, Ph.D.) อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และการสนับสนุนทางวิชาการอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ รวมถึงช่วยชี้แนะแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โดม โพธิกานนท์ (Asst. Prof. Dome Potikanond) และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นวดนย์ คุณเลิศกิจ (Asst. Prof. Navadon Khunlertgit, Ph.D.) คณะกรรมการสอบที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ผู้เชี่ยวชาญ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาสาสมัครสาธารณสุข (อสม.) และบุคลากรทางการแพทย์ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และสนับสนุนการพัฒนาโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมทีมทุกคนที่ร่วมแรงร่วมใจในการออกแบบ พัฒนา และทดสอบระบบ จนโครงการสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน กำลังใจ และความเข้าใจตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

กวิน ชูสิน
ณัฐพล ชนเวโรจน์
ธนวัฒน์ ใจเสริฐ
ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์
25 มีนาคม 2568

สารบัญ

บทคัดย่อ . . . . . ข
Abstract . . . . . ค
กิตติกรรมประกาศ . . . . . ง
สารบัญ . . . . . จ
สารบัญรูป . . . . . ช
สารบัญตาราง . . . . . ฌ

1 บทนำ **1**
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.1.1 ข้อจำกัดทางเทคนิคของระบบเดิม 4
1.2 ระบบเดิม เฟส 1: AIDOC 4
1.3 ข้อจำกัดของระบบเฟส 1 5
1.4 วิธีดำเนินงาน: การ Re-engineer สถาปัตยกรรมระบบ 6
1.4.1 เสาหลักที่ 1: Architecture Re-engineering 6
1.4.2 เสาหลักที่ 2: High-Availability AI (Dual-Path Inference) 6
1.4.3 เสาหลักที่ 3: Data and Processing Layer 7
1.4.4 เสาหลักที่ 4: Enterprise Security and Compliance 7
1.5 แนะนำ eDENT-ELDER เฟส 2 7
1.5.1 วิสัยทัศน์และคำขวัญ 7
1.5.2 กลุ่มเป้าหมาย 7
1.5.3 4 เสาหลักของแพลตฟอร์ม 7
1.6 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 8
1.6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
1.7 ภาคีและผู้ร่วมดำเนินงาน 9

2 การทำงานของระบบ **10**
2.1 เครื่องมือคัดกรองสุขภาพช่องปาก 10
2.2 กระบวนการยืนยันตัวตนและ Flow การทำงาน 10
2.2.1 ขั้นตอนการยืนยันตัวตน 10
2.2.2 Flow การทำงานระบบแบบ 5 เลน 11
2.2.3 อินเทอร์เฟซ Mobile สำหรับผู้ป่วยและ อสม. 11
2.2.4 Screener Dashboard 12
2.2.5 Specialist Dashboard 12
2.2.6 ภาพหน้าจอจากโปสเตอร์โครงงาน 12

3 สถาปัตยกรรม ระบบ AI และความปลอดภัย **14**
3.1 สถาปัตยกรรมระบบ 14
3.1.1 เปรียบเทียบระบบเดิมและระบบใหม่ 14
3.2 ระบบ AI แบบ Dual-Path ที่มีความพร้อมใช้งานสูง 16
3.2.1 Primary Path 16
3.2.2 Fallback Path 16
3.2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจริง 16
3.2.4 ผลลัพธ์เชิงสถาปัตยกรรม 17
3.3 โครงสร้างพื้นฐานสมัยใหม่และ DevOps 18
3.4 กรอบความปลอดภัยและการปฏิบัติตามมาตรฐาน 18

3.4.1 การคุ้มครองข้อมูลและความเป็นส่วนตัว 19
3.4.2 การควบคุมการเข้าถึงและการยืนยันตัวตน 20
3.4.3 Audit Trail และการตรวจสอบย้อนหลัง 21
3.4.4 การสอดคล้องกับมาตรฐานสาธารณสุข 22

4 การทดสอบและการรับรองคุณภาพ 23
4.1 การทดสอบและการรับรองคุณภาพทางวิศวกรรม 23
4.1.1 กลยุทธ์และเครื่องมือทดสอบ 23
4.1.2 ผลการทดสอบ 23
4.1.3 โปรไฟล์ภาระงานสังเคราะห์ (Synthetic Load) 24
4.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 26
4.2 การอภิปรายผล 27
4.3 สรุปผลการดำเนินงาน 27

5 บทสรุป 28
5.1 สรุปและบทสรุป 28

ก ภาคผนวก 31
ก.1 เอกสารประกอบเพิ่มเติม 31
ก.2 คู่มือการใช้งานระบบ 31

สารบัญรูป

1.1 สื่อมวลชนรายงานปัญหาการวินิจฉัยมะเร็งช่องปากล่าช้า ผู้ป่วยในชนบทมักซื้อยามารับประทานเองจนอาการรุนแรง ที่มา: Amarin News / กรมอนามัย 1
1.2 รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 1 2
1.3 รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 2 2
1.4 การ Annotation รอยโรคก่อนมะเร็งด้วย AI เส้นกรอบสีเหลืองแสดงบริเวณที่ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ 2
1.5 ข้อมูลรอยโรคช่องปากทั่วประเทศ ปีงบประมาณ 2559 (ยกเว้น กทม.) จำแนกเป็น 3 กลุ่มตามช่วงอายุ ที่มา: กรมอนามัย 3
1.6 จำนวนทันตแพทย์เฉพาะทาง ณ วันที่ 21 พฤศจิกายน 2567 แถวที่ 9 (ไฮไลต์) สาขาวิทยาการวินิจัยโรคช่องปาก มีทันตแพทย์เพียง 96 คน 3
1.7 ระบบ AIDOC เฟส 1: (ซ้าย) หน้า Consent และ Login; (ขวา) Workflow อัปโหลดภาพและคัดกรองด้วย AI สร้างด้วย Flask + Bootstrap + MySQL 5
1.8 สถาปัตยกรรมระบบเดิม: Flask ทำหน้าที่ทั้ง Frontend, Backend, AI Inference และ Image Storage ในหน่วยเดียว ความล้มเหลวของส่วนใดทำให้ระบบทั้งหมดหยุด 5

2.1 ขั้นตอนการยืนยันตัวตนของ eDENT-ELDER: กรอกเบอร์โทร ยืนยัน OTP ลง Consent PDPA และได้รับสิทธิ์ตามบทบาท 10
2.2 Flow การทำงานระบบ eDENT-ELDER แบบ 5 เลน 11
2.3 อินเทอร์เฟซ Mobile: รายชื่อผู้ป่วย ผล OHAT แบบ OHIP การถ่ายภาพ AI-Guided และหน้าแสดงผล AI (จากซ้ายไปขวา) 11
2.4 Screener Dashboard: คิวภาพเคสพร้อม AI Tag (ซ้าย) รายละเอียดเคสพร้อม Annotation (กลาง) และตาราง OHAT/OHIP (ขวา) 12
2.5 Specialist Dashboard: คิว Referral (ซ้าย) รายละเอียดเคส (กลาง) แผนที่ความเสี่ยงระดับจังหวัด (ขวา) 12
2.6 eDENT-ELDER Platform Interface (โปสเตอร์ v1): ระบบ AI ช่วยตรวจจับรอยโรค แสดง Workflow การคัดกรองแบบ Mobile-first 12
2.7 อินเทอร์เฟซวินิจฉัยสำหรับผู้เชี่ยวชาญ (บน) และผู้คัดกรอง (ล่าง) พร้อมการเชื่อมต่อผ่าน QR Code 13

3.1 สถาปัตยกรรมระบบเฟส 2 (High-Level): Next.js + FastAPI (DDD) + PostgreSQL/MinIO/Redis + Celery + Dual-Path AI + Security Layer + Integrations . . . 14
3.2 สถาปัตยกรรม Low-Level: JWT, gRPC/HTTP, Async Queue (Redis → Celery), และประเภทงาน Worker ทั้งหมด 15
3.3 ระบบ AI แบบ Dual-Path: Primary Path ผ่าน NVIDIA Triton (gRPC + TensorRT, <200 ms) พร้อม Auto Failover ไปยัง TFLite/FastAPI ภายใน <2 วินาที . 16
3.4 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ AI Inference Server: Request Duration (<200 ms), Failure Rate (≈0%), DALI vs. TensorRT Pipeline (≈19.7 vs. 20.5 ms) รวม 694 การคัดกรองที่สำเร็จ 18
3.5 โครงสร้างพื้นฐานสมัยใหม่: Docker Containerization ครบทุก Service, CI/CD Pipeline อัตโนมัติ Zero-Downtime Deployment และการแยก Staging/Production อย่างเข้มงวด 18

4.1 ผลการทดสอบ Unit/Integration: Coverage Report และ Vitest UI (900 Pass, 0 Fail) โดยรันเสร็จภายใน < 13 s 23

4.2 Request Duration 24
4.3 Failed Requests 25
4.4 Queue Time 25
4.5 Compute Time 26
4.6 AI Inference Latency 26

สารบัญตาราง

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

มะเร็งช่องปาก (Oral Cancer) ติดอันดับ 1 ใน 10 โรคที่พบบ่อยที่สุดในประเทศไทย ความท้าทายสำคัญในชุมชนชนบทคือพฤติกรรมการซื้อยาปฏิชีวนะมารับประทานเองเมื่อมีแผลในช่องปาก โดยไม่ปรึกษาแพทย์หรือทันตแพทย์ ส่งผลให้การวินิจฉัยล่าช้าและพบโรคในระยะลุกลาม ทำให้ผลการรักษาแย่ลงอย่างมีนัยสำคัญ

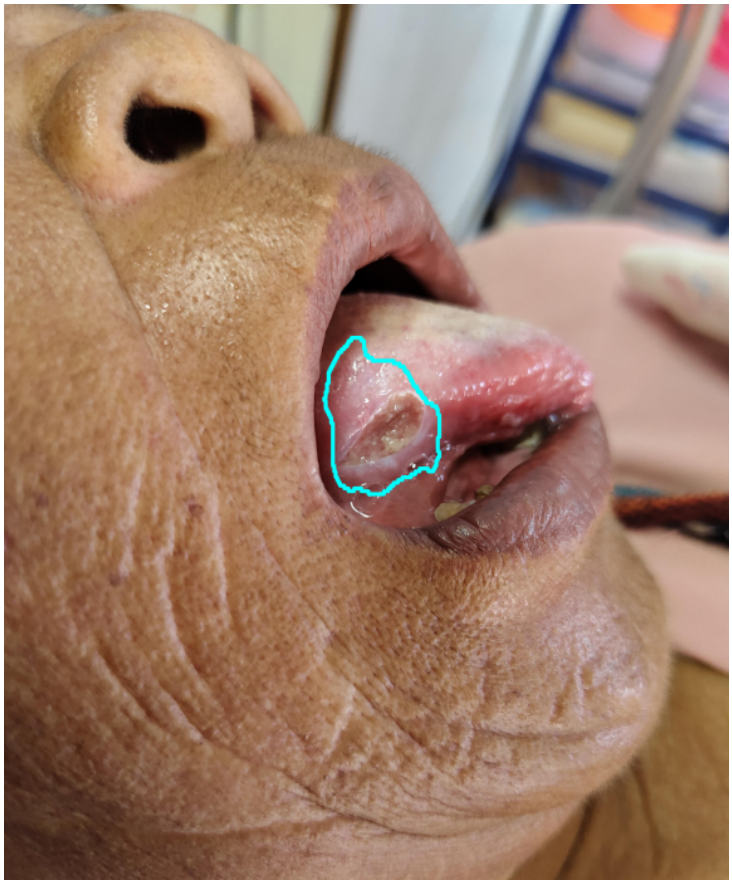
รูปที่ 1.1: สื่อมวลชนรายงานปัญหาการวินิจฉัยมะเร็งช่องปากล่าช้า ผู้ป่วยในชนบทมักซื้อยามารับประทานเองจนอาการรุนแรง ที่มา: Amarin News / กรมอนามัย

ข้อมูลจากกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข แบ่งรอยโรคในช่องปากออกเป็น 3 กลุ่มหลัก:

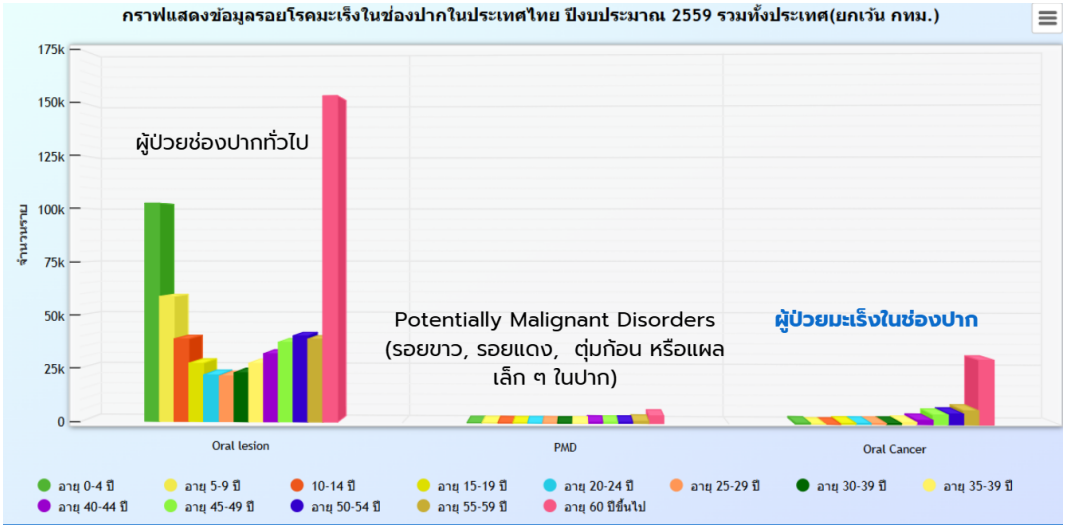
- **รอยโรคช่องปากทั่วไป (Oral Lesion)** — พบมากที่สุด ครอบคลุมทุกช่วงอายุ
- **รอยโรคก่อนมะเร็ง (PMD — Potentially Malignant Disorders)** — รอยขาว (Leukoplakia) รอยแดง (Erythroplakia) ก้อน และแผลเล็กในช่องปาก
- **มะเร็งช่องปาก (OSCC — Oral Squamous Cell Carcinoma)** — พบมากในกลุ่มอายุ 60 ปีขึ้นไป

รูปที่ 1.2: รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 1

รูปที่ 1.3: รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 2



รูปที่ 1.4: การ Annotation รอยโรคก่อนมะเร็งด้วย AI เส้นกรอบสีเหลืองแสดงบริเวณที่ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ



รูปที่ 1.5: ข้อมูลรอยโรคช่องปากทั่วประเทศ ปีงบประมาณ 2559 (ยกเว้น กทม.) จำแนกเป็น 3 กลุ่ม ตามช่วงอายุ
ที่มา: กรมอนามัย

สถิติจำนวนผู้ได้รับอนุมัติบัตรและวุฒิบัตร ของราชวิทยาลัยทันตแพทย์แห่งประเทศไทย

ลำดับ	สาขา	รวมทั้งหมด			มีชีวิต/เสียชีวิต	
		รวม	อนุมัติบัตร	วุฒิบัตร	มีชีวิต	เสียชีวิต
1	ศัลยศาสตร์ช่องปากและแม็กซิลโลเฟเชียล	476	104	372	471	5
2	ปริทันตวิทยา	187	70	117	184	3
3	ทันตกรรมสำหรับเด็ก	251	82	169	249	2
4	ทันตกรรมจัดฟัน	508	258	250	501	7
5	ทันตกรรมประดิษฐ์	241	122	119	238	3
6	ทันตสาธารณสุข	199	162	37	196	3
7	วิทยาเอ็นโดดอนต์	164	86	78	162	2
8	ทันตกรรมหัตถการ	67	48	19	66	1
9	วิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก	96	72	24	89	7
10	ทันตกรรมทั่วไป	308	46	262	308	0
11	ทันตกรรมบดเคี้ยวและความเจ็บปวดช่องปากใบหน้า	39	30	9	38	1
12	นิติทันตวิทยา	24	24	0	24	0
	รวม	2560	1104	1456	2526	34

รูปที่ 1.6: จำนวนทันตแพทย์เฉพาะทาง ณ วันที่ 21 พฤศจิกายน 2567 แถวที่ 9 (ไฮไลต์) สาขาวิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก มีทันตแพทย์เพียง 96 คน

ปัญหาหลัก

ผู้สูงอายุในชนบทอายุ 50 ปีขึ้นไป โดยเฉพาะกลุ่มเปราะบางที่พึ่งพาผู้ดูแล เผชิญอุปสรรคหนักในการเข้าถึงทันตแพทย์เฉพาะทาง เมื่อได้รับการวินิจฉัย มักพบว่าโรคลุกลามสู่ระยะท้ายแล้ว ส่งผลให้ผลการรักษาแย่ลงและค่าใช้จ่ายสูงขึ้นอย่างมาก

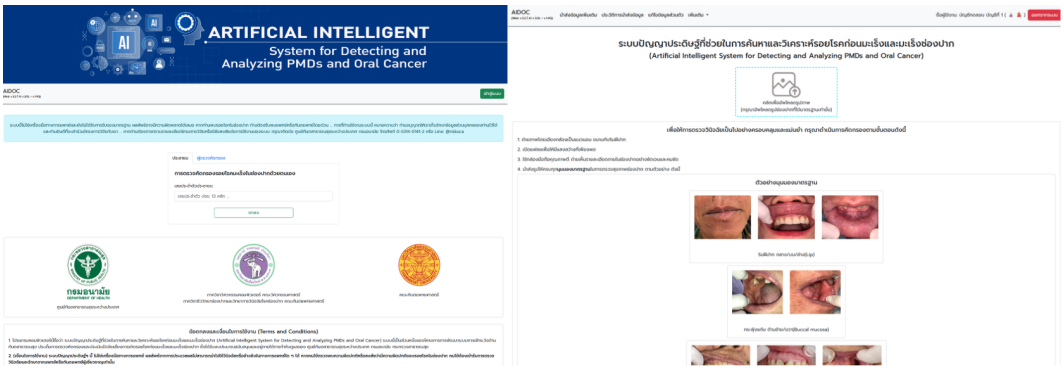
1.1.1 ข้อจำกัดทางเทคนิคของระบบเดิม

แม้ระบบต้นแบบในเฟส 1 จะมีความแม่นยำของ AI ที่น่าพอใจ แต่ยังไม่พร้อมสำหรับการใช้งานจริงในฐานะซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ *ในบริบทซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ ความแม่นยำของ AI เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ — ระบบต้องปลอดภัย โปร่งใส ตรวจสอบได้ และพร้อมใช้งานตลอดเวลา* ระบบเดิมมีช่องโหว่สำคัญ 5 ประการ:

- **ไม่มีกรอบการปฏิบัติตาม PDPA / HIPAA** — ข้อมูลสุขภาพผู้ป่วยถูกจัดเก็บโดยไม่ผ่านมาตรฐานคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล
- **AI แบบ Monolith เป็น Single Point of Failure** — หาก AI Service ล่ม ระบบทั้งหมดหยุดทำงานทันที ไม่มี Fallback
- **ไม่มีระบบ Audit Trail ป้องกันการแก้ไขย้อนหลัง** — ไม่มีกลไกตรวจจับหรือป้องกันการแก้ไขเวชระเบียนย้อนหลัง
- **โค้ดแบบ Monolith ขยายระบบไม่ได้** — การเปลี่ยนแปลงใดก็ตามเสี่ยงกระทบส่วนอื่น ไม่รองรับการ Scale Out แต่ละ Service
- **ไม่มี Role-Based Access Control (RBAC)** — ผู้ใช้ทุกคนที่ผ่านการยืนยันตัวตนเข้าถึงข้อมูลและฟังก์ชันได้เหมือนกัน

1.2 ระบบเดิม เฟส 1: AIDOC

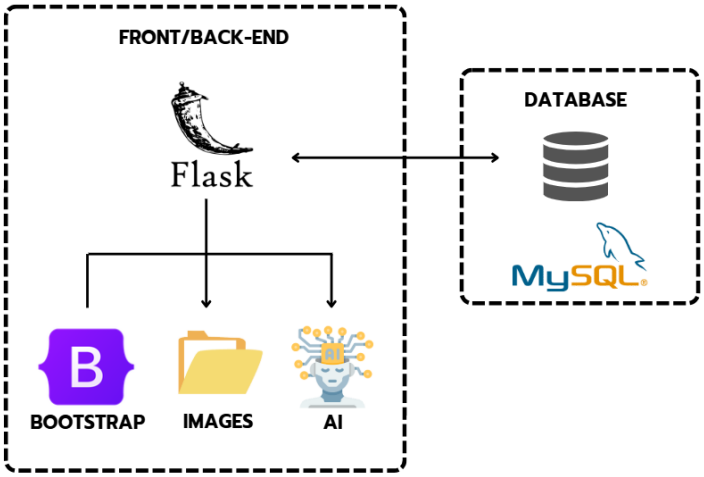
ระบบต้นแบบในเฟส 1 คือ **AIDOC** (*Artificial Intelligent System for Detecting and Analyzing PMDs and Oral Cancer*) พัฒนาและนำไปใช้งานร่วมกับกรมอนามัย สร้างบน Flask Monolith Architecture ใช้ Bootstrap เป็น UI จัดเก็บรูปภาพบน File System และใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูล



รูปที่ 1.7: ระบบ AIDOC เฟส 1: (ซ้าย) หน้า Consent และ Login; (ขวา) Workflow อัปโหลดภาพและคัดกรองด้วย AI สร้างด้วย Flask + Bootstrap + MySQL

1.3 ข้อจำกัดของระบบเฟส 1

"ซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ต้องมีความปลอดภัย โปร่งใส ตรวจสอบได้ และพร้อมใช้งานตลอดเวลา"



รูปที่ 1.8: สถาปัตยกรรมระบบเดิม: Flask ทำหน้าที่ทั้ง Frontend, Backend, AI Inference และ Image Storage ในหน่วยเดียว ความล้มเหลวของส่วนใดทำให้ระบบทั้งหมดหยุด

ข้อจำกัด	ผลกระทบ
ไม่มีการปฏิบัติตาม PDPA / HIPAA	ข้อมูลผู้ป่วยขาดการคุ้มครองตามกฎหมายและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง
Single Point of Failure	หาก Flask ล่ม ระบบทั้งหมดใช้งานไม่ได้ทันที
ไม่มี Audit Trail ป้องกันการแก้ไขย้อนหลัง	เวชระเบียนสามารถถูกแก้ไขโดยไม่มีหลักฐาน
โค้ดแบบ Monolith ขยายระบบยาก	การแก้ไข Bug หรืออัปเดต AI เสี่ยงทำให้ระบบอื่นพัง

1.4 วิธีดำเนินงาน: การ Re-engineer สถาปัตยกรรมระบบ

วิธีดำเนินงานหลักของเฟส 2 คือการ Re-engineer สถาปัตยกรรมระบบใหม่ทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็น 4 เสาหลักทางวิศวกรรม:

1.4.1 เสาหลักที่ 1: Architecture Re-engineering

- **Next.js** (Layered Design, Mobile-first) สำหรับ Frontend พร้อม Auth Guard และการแยก State Management
- **FastAPI + Clean Architecture + Domain-Driven Design (DDD)** สำหรับ Backend — Business Logic แยกจาก AI Layer อย่างสมบูรณ์
- **Async Queue Processing** (Redis + Celery Workers) ขจัดปัญหาเว็บค้างและ API Timeout จาก Synchronous AI Inference

1.4.2 เสาหลักที่ 2: High-Availability AI (Dual-Path Inference)

- **Primary Path:** NVIDIA Triton Inference Server (GPU, gRPC) พร้อม TensorRT Optimization
- **Fallback Path:** TensorFlow Lite (CPU, HTTP) พร้อม Auto Failover อัตโนมัติ
- **Health Monitoring:** ตรวจสอบสถานะต่อเนื่อง เปิด Auto-Switch ภายใน < 2 s

1.4.3 เสาหลักที่ 3: Data and Processing Layer

- **PostgreSQL** (OLTP + Audit) — ฐานข้อมูลหลักพร้อม Immutable Audit Schema
- **Redis** — Task Queue สำหรับงาน AI แบบ Async และ Cache
- **MinIO** — Object Storage สำหรับรูปภาพทางคลินิก
- **Celery Workers** — ประมวลผลเบื้องหลัง: AI Inference Queue, 2-Tier Audit Chain, Archival และงาน Compliance

1.4.4 เสาหลักที่ 4: Enterprise Security and Compliance

- **TLS 1.3** เข้ารหัสการสื่อสารทุกส่วนแบบ End-to-End
- **RBAC** ครอบคลุม 6 บทบาท: ผู้ป่วย, อสม., ทันตแพทย์, ผู้คัดกรอง, ผู้เชี่ยวชาญ, ผู้ดูแลระบบ
- **2-Tier Audit Logging + Hash-Chain** ป้องกันการแก้ไขย้อนหลัง ตรวจสอบได้ 100%
- **PDPA / HIPAA-ready** สอดคล้องกับกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของไทย

1.5 แนะนำ eDENT-ELDER เฟส 2

1.5.1 วิสัยทัศน์และคำขวัญ

"พบเร็ว – ส่งต่อเร็ว – ติดตามครบ"

"Detect Early — Refer Fast — Follow Up Completely"

1.5.2 กลุ่มเป้าหมาย

1. **ผู้สูงอายุที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป** — กลุ่มเปราะบาง อาศัยในชนบท และต้องพึ่งพาผู้ดูแล
2. **บุคลากรสาธารณสุขแนวหน้า** — อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ทันตาภิบาล และเจ้าหน้าที่ รพ.สต. ที่ผ่าน Train-the-Trainer 6–8 รุ่น

1.5.3 4 เสาหลักของแพลตฟอร์ม

Hybrid Mobile Platform	อินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่ายผ่านมุมมองมือถือ และ Web Dashboard สำหรับผู้ดูแลและเจ้าหน้าที่ภาคสนาม
AI-Guided Screening	AI ตรวจจับรอยโรค OPMD/OSCC พร้อม Assisted-Capture และ Quality-Gate รับรองคุณภาพภาพถ่าย
Elderly-Centric Empowerment	เสริมพลัง อสม. (อายุ 50+) ในการคัดกรอง สื่อสารความเสี่ยง และส่งต่ออย่างเป็นระบบ
Async. Tele-Consult	ระบบ Store-and-Forward เชื่อมต่อ อสม. กับผู้เชี่ยวชาญ โดยไม่ต้องนัดหมายพร้อมกัน

1.6 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. **พัฒนาและทดสอบระบบ AI คัดกรอง** OPMD/OSCC ให้มีความแม่นยำสูง ใช้งานได้ในภาคสนาม และเป็นที่ยอมรับของทันตแพทย์เฉพาะทาง
2. **พัฒนาแพลตฟอร์ม eDENT-ELDER** รองรับการคัดกรองด้วยตัวเองและการคัดกรองชุมชน
3. **ประเมินผลลัพธ์ด้านบริการและสังคม** วัดการเข้าถึง เวลาพบผู้เชี่ยวชาญ อัตราตรวจพบระยะแรก และความยั่งยืน

1.6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- **ระดับระบบ:** แพลตฟอร์มที่ผสาน AI ปลอดภัย ตรวจสอบได้ ลดภาระแนวหน้าและเพิ่มโอกาสตรวจพบระยะแรก (Stage-Shift)
- **ระดับชุมชน:** ผู้สูงอายุและครอบครัวในพื้นที่นำร่องได้รับการคัดกรองเร็วขึ้น หัวหน้า อสม. (อายุเฉลี่ย 50+) เป็นทั้งผู้ให้บริการและผู้รับประโยชน์

พื้นที่นำร่องหลัก: เชียงใหม่ • พะเยา • ภูเก็ต • หนองบัวลำภู
เครือข่ายเสริม: สุรินทร์ สมุทรปราการ และจังหวัดอื่นตามความพร้อม

1.7 ภาคีและผู้ร่วมดำเนินงาน

หน่วยงาน	บทบาท
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	คำปรึกษาทางคลินิกและเครือข่ายผู้เชี่ยวชาญ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ทีมพัฒนาระบบ
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ตรวจสอบและให้ Feedback ทางคลินิก
กรมอนามัย ศูนย์ทันตสาธารณสุขระหว่างประเทศ เชียงใหม่	ความร่วมมือด้านข้อมูลและการ Deploy
NurseCMU	บูรณาการงานสาธารณสุขชุมชน

บทที่ 2
การทำงานของระบบ

2.1 เครื่องมือคัดกรองสุขภาพช่องปาก

Oral Health Assessment Tool (OHAT) — ประเมินสภาพช่องปากเพื่อคัดกรองความเสี่ยง และตัดสินใจว่าควรส่งภาพเข้า AI วิเคราะห์หรือไม่

Oral Health Impact Profile (OHIP) — ประเมินผลกระทบของสุขภาพช่องปากต่อคุณภาพชีวิต ทั้งความเจ็บปวด การใช้ชีวิตประจำวัน และการเข้าสังคม

2.2 กระบวนการยืนยันตัวตนและ Flow การทำงาน

2.2.1 ขั้นตอนการยืนยันตัวตน

1. ผู้ใช้งานกรอกหมายเลขโทรศัพท์
2. ระบบตรวจสอบสถานะการลงทะเบียนในทะเบียนราษฎร์
3. *กรณีผู้ใช้ใหม่:* ลงทะเบียน Consent ตาม PDPA และยืนยันบทบาท
4. ส่งและยืนยัน OTP ผ่าน SMS
5. ให้สิทธิ์ตามบทบาท (ผู้ป่วย หรือ อสม./ผู้คัดกรอง)

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

`fig_auth_flow.png`

Diagram Flow การยืนยันตัวตน พร้อมภาพหน้าจอ Mobile (สไลด์ 12)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: `fig_auth_flow.png`

รูปที่ 2.1: ขั้นตอนการยืนยันตัวตนของ eDENT-ELDER: กรอกเบอร์โทร ยืนยัน OTP ลง Consent PDPA และได้รับสิทธิ์ตามบทบาท

2.2.2 Flow การทำงานระบบแบบ 5 เลน

เลน	หน้าที่
เลน 1 — ผู้ป่วย / อสม.	รับข้อมูลและ Consent; แบบสอบถาม OHAT/OHIP; ถ่ายภาพผ่าน Quality Gate; ส่งเข้า AI
เลน 2 — ระบบ AI	ตรวจสอบคุณภาพภาพ; ตรวจจับรอยโรคและประเมินความเสี่ยง; จัดการ Fallback
เลน 3 — ผู้คัดกรอง	Screener Dashboard; Triage ผล AI; Flag Retrain หรือ Escalate
เลน 4 — ผู้เชี่ยวชาญ	ยืนยันวินิจฉัย; แจ้งเตือน LINE; ติดตาม 14 วัน; ปิดเคส
เลน 5 — ผู้ดูแลระบบ / วิชาการ	Dashboard ระดับประชากร; แผนที่ความเสี่ยงจังหวัด; กำกับระบบ

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

`fig_system_flow.png`

Diagram Flow 5 เลนพร้อมภาพหน้าจอทุกกลุ่มผู้ใช้ (สไลด์ 13)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: `fig_system_flow.png`

รูปที่ 2.2: Flow การทำงานระบบ eDENT-ELDER แบบ 5 เลน

2.2.3 อินเทอร์เฟซ Mobile สำหรับผู้ป่วยและ อสม.

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

`fig_patient_vhv_ui.png`

หน้าจอ Mobile ผู้ป่วยและ อสม. (สไลด์ 14)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: `fig_patient_vhv_ui.png`

รูปที่ 2.3: อินเทอร์เฟซ Mobile: รายชื่อผู้ป่วย ผล OHAT แบบ OHIP การถ่ายภาพ AI-Guided และหน้าแสดงผล AI (จากซ้ายไปขวา)

2.2.4 Screener Dashboard

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_screener_dashboard.png

Screener Dashboard บน Tablet (สไลด์ 15)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_screener_dashboard.png

รูปที่ 2.4: Screener Dashboard: คิวภาพเคสพร้อม AI Tag (ซ้าย) รายละเอียดเคสพร้อม Annotation (กลาง) และตาราง OHAT/OHIP (ขวา)

2.2.5 Specialist Dashboard

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_specialist_dashboard.png

Specialist Dashboard บน Tablet (สไลด์ 16)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_specialist_dashboard.png

รูปที่ 2.5: Specialist Dashboard: คิว Referral (ซ้าย) รายละเอียดเคส (กลาง) แผนที่ความเสี่ยงระดับจังหวัด (ขวา)

2.2.6 ภาพหน้าจอจากโปสเตอร์โครงงาน

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_poster_interface.png

อินเทอร์เฟซแพลตฟอร์มจากโปสเตอร์ v1 (บน)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_poster_interface.png

รูปที่ 2.6: eDENT-ELDER Platform Interface (โปสเตอร์ v1): ระบบ AI ช่วยตรวจจับรอยโรค แสดง Workflow การคัดกรองแบบ Mobile-first

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_poster_screener.png

หน้าจอผู้เชี่ยวชาญและผู้คัดกรองจากโปสเตอร์ v1 (ล่าง)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_poster_screener.png

รูปที่ 2.7: อินเทอร์เฟซวินิจฉัยสำหรับผู้เชี่ยวชาญ (บน) และผู้คัดกรอง (ล่าง) พร้อมการเชื่อมต่อผ่าน QR Code

บทที่ 3
สถาปัตยกรรม ระบบ AI และความปลอดภัย

3.1 สถาปัตยกรรมระบบ

3.1.1 เปรียบเทียบระบบเดิมและระบบใหม่

เฟส 1 รวมทุกอย่างไว้ใน Flask Deployment เดียว เฟส 2 ใช้ **Service-Based Hybrid Architecture ที่มี Modular Monolith Core**

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_new_arch.png

ภาพรวมสถาปัตยกรรมระบบเฟส 2 (สไลด์ 17/19)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_new_arch.png

รูปที่ 3.1: สถาปัตยกรรมระบบเฟส 2 (High-Level): Next.js + FastAPI (DDD) + PostgreSQL/MinIO/Redis + Celery + Dual-Path AI + Security Layer + Integrations

Scalable · Maintainable · Future-proof

Technology Stack

Layer	เทคโนโลยี
Frontend	Next.js (Layered Design)
Backend	FastAPI (Domain-Driven Design)
ฐานข้อมูลหลัก	PostgreSQL (OLTP + Audit)
Object Storage	MinIO
Queue และ Cache	Redis
Background Workers	Celery
AI Primary	NVIDIA Triton Inference Server (TensorRT, gRPC)
AI Fallback	TensorFlow Lite via FastAPI (HTTP)
Integrations	SMS/OTP (Thaibureau), ทะเบียนราษฎร์, Maps

ข้อได้เปรียบหลัก

- Business Logic แยกออกจาก AI Inference Layer อย่างสมบูรณ์
- Schema Validation End-to-End: Zod (Frontend) + Pydantic (Backend)
- พร้อมสำหรับ Microservices ในการ Scale AI หรือข้อมูลในอนาคต

รายละเอียดสถาปัตยกรรม Low-Level

Component	รายละเอียด
JWT Auth Guard	Access/Refresh Token แบบ Stateless บังคับใช้ที่ทุก API Boundary
gRPC / HTTP	Primary Path ใช้ gRPC ไปยัง Triton; Fallback ใช้ HTTP REST ไปยัง TFLite
AI Inference Queue	Celery Queue บน Redis แยก Upload จาก Inference
2-Tier Audit Chain	ทุก Write เพิ่ม Record ที่มี Hash ของ Record ก่อนหน้า
Archival & Cleanup	Worker เก็บถาวร Record เก่าและบังคับนโยบาย Retention
Compliance Tasks	ตรวจสอบ Consent หมดอายุ, Anonymise ข้อมูล, รายงาน PDPA

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

`fig_lowlevel_arch.png`

Diagram สถาปัตยกรรม Low-Level (โปสเตอร์ v2)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: `fig_lowlevel_arch.png`

รูปที่ 3.2: สถาปัตยกรรม Low-Level: JWT, gRPC/HTTP, Async Queue (Redis → Celery), และประเภทงาน Worker ทั้งหมด

3.2 ระบบ AI แบบ Dual-Path ที่มีความพร้อมใช้งานสูง

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_dual_ai_arch.png

Diagram Dual-Path AI: Triton Primary และ TFLite Fallback (สไลด์ 20)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_dual_ai_arch.png

รูปที่ 3.3: ระบบ AI แบบ Dual-Path: Primary Path ผ่าน NVIDIA Triton (gRPC + TensorRT, <200 ms) พร้อม Auto Failover ไปยัง TFLite/FastAPI ภายใน <2 วินาที

3.2.1 Primary Path

- **Engine:** NVIDIA Triton Inference Server
- **การประมวลผล:** เร่งด้วย GPU (gRPC + TensorRT Optimization)
- **Latency:** < 200 ms ต่อการ Inference
- **Models:** รัน Ensemble Models พร้อมกัน (ตรวจรอยโรค + ตรวจคุณภาพภาพ)

3.2.2 Fallback Path

- **Engine:** TensorFlow Lite (CPU, HTTP via FastAPI)
- **Auto Failover:** <1 วินาที หาก Primary Path ล้มเหลว

3.2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจริง

สภาพแวดล้อมทดสอบ: CPU 4 Core, NVIDIA GTX 1060 GPU, RAM 32 GB

ตัวชี้วัด	ผลลัพธ์
จำนวนการคัดกรองที่สำเร็จทั้งหมด	**694**
อัตราความสำเร็จ Throughput	≈99.9%
Average Inference Latency (End-to-End)	< 500 ms
ความเร็ว Quality Check	< 100 ms
ความเร็ว Lesion Detection	≈400 ms
GPU Compute (TensorRT)	38.1 ms
DALI Preprocessing Stage	≈19.7 ms
เวลา Auto-Switch Failover	< 2 s
อัตราการ Inference ล้มเหลว	≈0%

3.2.4 ผลลัพธ์เชิงสถาปัตยกรรม

- **Zero-Downtime AI Capability** — สลับจาก Triton (GPU) ไปยัง TFLite (CPU) โดยไม่หยุดให้บริการ แม้ AI Server หลักจะ Crash
- **ขจัดปัญหา API Timeout** — AI Inference ประมวลผลแบบ Async (Batch/Queue) แก้ปัญหา Request บล็อกภายใต้โหลดสูง
- **Healthcare Compliance Ready** — RBAC และ 2-Tier Audit Logging ตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้ 100% ตามมาตรฐาน PDPA/HIPAA
- **Modular Design และ Scalability** — Scale Frontend, Backend และ AI ได้อย่างอิสระ เพิ่มฟีเจอร์ใหม่โดยไม่กระทบ Component อื่น
- **High Maintainability** — Schema Validation ด้วย Zod + Pydantic ลด Technical Debt แบบ End-to-End

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_performance_metrics.png

Dashboard ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (สไลด์ 21)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_performance_metrics.png

รูปที่ 3.4: ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ AI Inference Server: Request Duration (<200 ms), Failure Rate (≈0%), DALI vs. TensorRT Pipeline (≈19.7 vs. 20.5 ms) รวม 694 การคัดกรองที่สำเร็จ

3.3 โครงสร้างพื้นฐานสมัยใหม่และ DevOps

[ช่องว่างสำหรับรูปภาพ]

fig_devops.png

Docker, CI/CD Pipeline, Environment Segregation (สไลด์ 22)

แทนที่ด้วยไฟล์ภาพ: fig_devops.png

รูปที่ 3.5: โครงสร้างพื้นฐานสมัยใหม่: Docker Containerization ครบทุก Service, CI/CD Pipeline อัตโนมัติ Zero-Downtime Deployment และการแยก Staging/Production อย่างเข้มงวด

Full Containerization	ทุก Service อยู่ใน Docker ขจัด XAMPP Dependency ทำงานได้เหมือนกันทั้งบน Cloud และ On-Premise
CI/CD Pipeline	Pipeline อัตโนมัติแทนการ Clone/Install ด้วยมือ รองรับ Zero-Downtime Deployment
Environment Segregation	แยก Staging และ Production อย่างเด็ดขาด ป้องกัน Hardcoded Settings ในระบบจริง

3.4 กรอบความปลอดภัยและการปฏิบัติตามมาตรฐาน

ส่วนนี้ประเมินสถานะความปลอดภัยของเฟส 2 อย่างโปร่งใส โดยแยกแยะสิ่งที่ดำเนินการแล้ว สิ่งที่อยู่ระหว่างดำเนินการ และสิ่งที่อยู่นอกขอบเขตโครงงาน สัญลักษณ์:

3 ดำเนินการแล้ว สร้าง ทดสอบ และใช้งานอยู่จริง

~ บางส่วน มีกลไกหลักแล้ว แต่ยังไม่ได้รับการรับรองภายนอก

7 ยังไม่ได้ดำเนินการ วางแผนไว้แต่อยู่นอกขอบเขตเฟส 2

3.4.1 การคุ้มครองข้อมูลและความเป็นส่วนตัว

ข้อกำหนด	สถานะ	หมายเหตุ
เข้ารหัสข้อมูลระหว่างรับส่ง (TLS 1.3)	3	การสื่อสารทั้งหมดเข้ารหัสด้วย TLS 1.3
เข้ารหัสข้อมูลที่จัดเก็บ (ฐานข้อมูล)	~	เปิด PostgreSQL Encryption แล้ว แต่การเข้ารหัสระดับ Disk ขึ้นอยู่กับ Infrastructure
เข้ารหัสข้อมูลที่จัดเก็บ (Object Storage)	~	เปิด MinIO Server-Side Encryption แล้ว แต่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ KMS
การรับ Consent และจัดเก็บ (PDPA)	3	รับ Consent ผ่าน OTP พร้อม Timestamp และ User ID
สิทธิ์การลบข้อมูล (Right to Erasure)	7	ยังไม่ได้สร้าง Workflow ลบข้อมูลตาม PDPA ม.33 วางแผนสำหรับเฟส 3
นโยบาย Data Minimisation	~	เก็บเฉพาะข้อมูลที่จำเป็นทางคลินิก แต่ยังไม่มีเอกสารนโยบายอย่างเป็นทางการ
ควบคุมการถ่ายโอนข้อมูลข้ามพรมแดน	7	ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในไทย แต่ยังไม่ได้จัดทำ Transfer Impact Assessment

3.4.2 การควบคุมการเข้าถึงและการยืนยันตัวตน

ข้อกำหนด	สถานะ	หมายเหตุ
Role-Based Access Control (RBAC)	3	6 บทบาทบังคับใช้ที่ทุก API Route
JWT Authentication (Access + Refresh)	3	Access Token 15 นาที + Refresh Token อายุยาว บังคับผ่าน Auth Guard
OTP / SMS ยืนยันตัวตน	3	OTP ผ่าน Thaibureau SMS Gateway ใช้ทั้งการลงทะเบียนและยืนยันซ้ำ
Multi-Factor Authentication (MFA)	7	มี OTP เฉพาะตอนลงทะเบียน ยังไม่มี Step-Up MFA สำหรับบทบาทสิทธิ์สูง
Session Timeout และการยกเลิก	3	บังคับหมดอายุ; Redis Blacklist Refresh Token เมื่อ Logout
การจัดการ Credential (ไม่ Hardcode)	3	ใช้ Environment Variables ทั้งหมด ไม่มี Credential ในโค้ดหรือ Version Control
API Rate Limiting	3	Per-IP และ Per-User Rate Limiting ที่ API Gateway ป้องกัน Brute-Force
CORS Policy	3	CORS Allowlist เข้มงวด อนุญาตเฉพาะ Frontend Origins ที่รู้จัก

3.4.3 Audit Trail และการตรวจสอบย้อนหลัง

ข้อกำหนด	สถานะ	หมายเหตุ
2-Tier Audit Logging	3	บันทึกทุก Clinical Write และ Access Event ใน Immutable Audit Schema
Hash-Chain Integrity (ป้องกันการแก้ไข)	3	SHA-256 Hash ของ Record ก่อนหน้าในทุก Entry การแก้ไขย้อนหลังทำลาย Chain ตรวจพบได้ทันที
ตรวจสอบย้อนหลังได้ 100%	3	ทุก Record ตรวจสอบได้นับจากวันเริ่มระบบ
Export Audit Log สำหรับผู้กำกับดูแล	~	Admin Dashboard รองรับ Export CSV แต่รูปแบบรายงานสำหรับผู้กำกับดูแลยังไม่ได้มาตรฐาน
แจ้งเตือน Anomaly / Intrusion อัตโนมัติ	7	ยังไม่มีการแจ้งเตือนอัตโนมัติ เช่น การ Export ข้อมูลจำนวนมากหรือเข้าถึงนอกเวลา วางแผนสำหรับ Release ถัดไป

3.4.4 การสอดคล้องกับมาตรฐานสาธารณสุข

ข้อกำหนด	สถานะ	หมายเหตุ
การสอดคล้องกับ PDPA	~	Consent, Access Control และ Audit ดำเนินการแล้ว การรับรองสมบูรณ์ต้องการตรวจสอบทางกฎหมายและ Erasure Workflow (เฟส 3)
HIPAA Technical Safeguards	~	Access Control, Encryption และ Audit ดำเนินการแล้ว แต่ยังไม่มี Business Associate Agreement (BAA) และ Risk Assessment
ISO 27001 Information Security	7	สถาปัตยกรรม ออกแบบ ตาม หลัก ISO 27001 แต่ยังไม่เริ่มกระบวนการรับรองอย่างเป็นทางการ
ซอฟต์แวร์ อุปกรณ์ ทางการ แพทย์ (IEC 62304)	7	ไม่อยู่ในขอบเขตเฟส 2 จำเป็นหากต้องการขึ้นทะเบียน อย. ไทย หรือ CE Class II
Penetration Testing / Security Audit	7	ยังไม่ได้ทำ Penetration Test โดยบุคคลที่สาม มีเพียง Code Review ภายในและ Static Analysis

สรุป: เฟส 2 ดำเนินการควบคุมความปลอดภัยทางเทคนิคหลักครบถ้วนแล้ว ได้แก่ TLS Encryption, RBAC, JWT, OTP, Tamper-Proof Audit Logging และการจัดการ Credential อย่างถูกต้อง ช่องว่างที่เหลืออยู่คือ *การรับรองอย่างเป็นทางการ* (PDPA ทางกฎหมาย, HIPAA BAA, ISO 27001) *การตอบสนองภัยคุกคามขั้นสูง* (MFA สำหรับ Admin, Anomaly Alerting) และ *Workflow สิทธิ์เจ้าของข้อมูล* (การลบ, Data Portability) ทั้งหมดวางแผนสำหรับเฟส 3 ขณะที่แพลตฟอร์มมุ่งสู่การ Deploy ระดับประเทศ

บทที่ 4
การทดสอบและการรับรองคุณภาพ

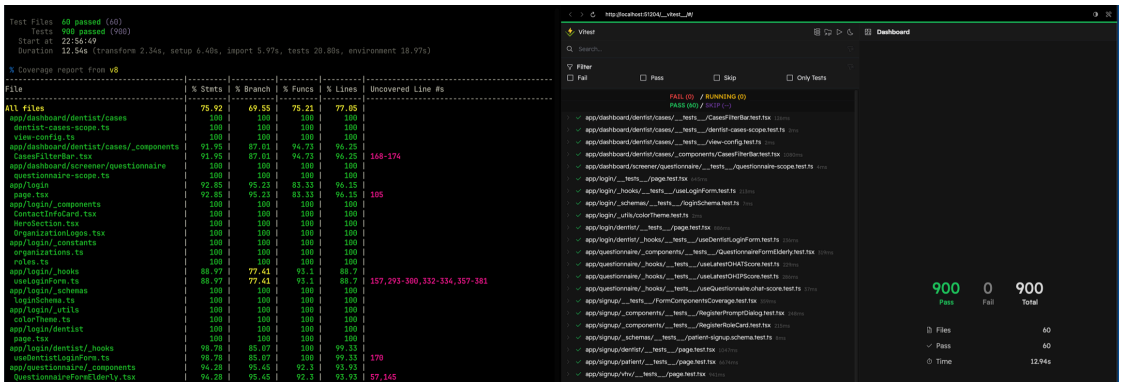
4.1 การทดสอบและการรับรองคุณภาพทางวิศวกรรม

4.1.1 กลยุทธ์และเครื่องมือทดสอบ

- **Unit Test** — ทดสอบ Function, Method และ Class แต่ละตัวแยกกัน
- **Integration Test** — ทดสอบการทำงานร่วมกันของหลาย Component
- **Load Test** — ทดสอบประสิทธิภาพของระบบภายใต้ภาระงาน เช่น จำนวนผู้ใช้พร้อมกัน, response time, throughput และความเสถียรของระบบ

เครื่องมือ	วัตถุประสงค์
Vitest	Test Runner สำหรับ Unit และ Integration Test ที่รวดเร็ว
React Testing Library	ทดสอบ UI ระดับ Component
jsdom	จำลองสภาพแวดล้อม Browser
Grafana	จำลองภาระงานผู้ใช้เพื่อทดสอบ Load/Performance ของระบบ
Prometheus	เก็บรวบรวม Metrics เช่น CPU, Memory, Latency

4.1.2 ผลการทดสอบ



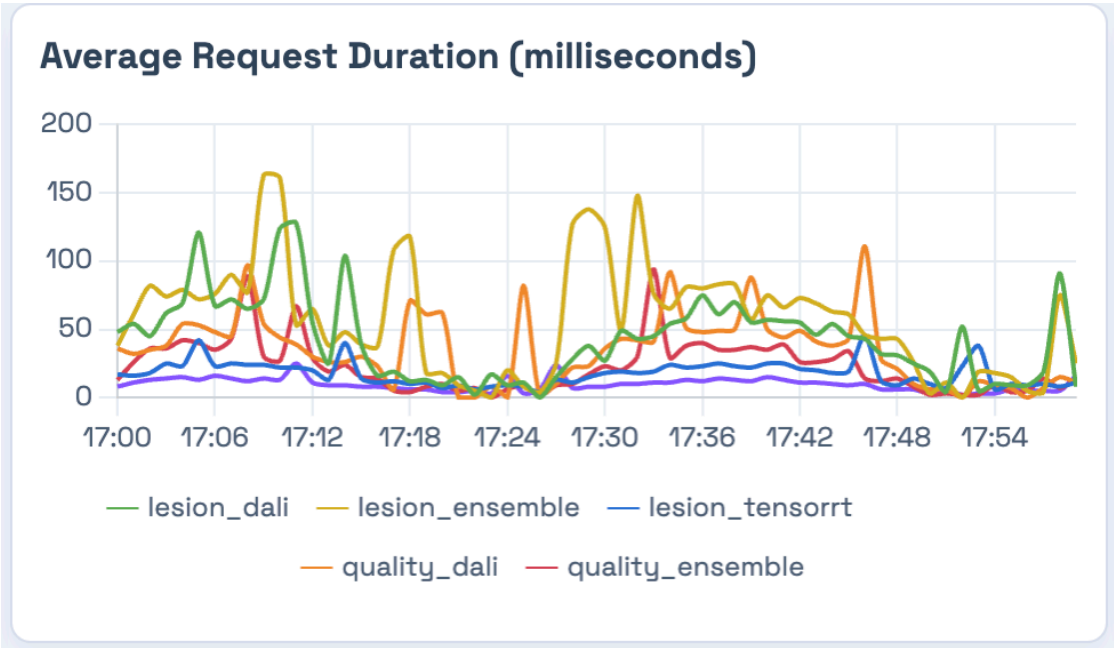
รูปที่ 4.1: ผลการทดสอบ Unit/Integration: Coverage Report และ Vitest UI (900 Pass, 0 Fail) โดยรันเสร็จภายใน < 13 s

จำนวน **Test** ทั้งหมด	900 (Unit + Integration)
สถานะ	ผ่าน **100%**
Code Coverage	≈75%
Critical Logic	**100%**
เวลาในการทดสอบ	< 13 s

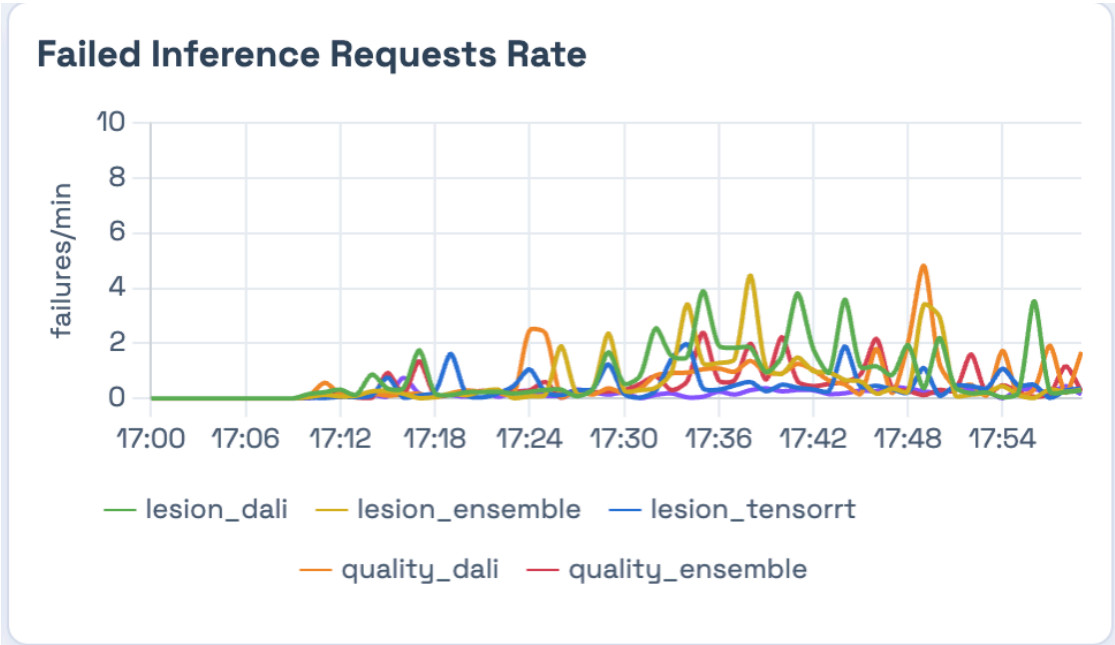
4.1.3 โปรไฟล์ภาระงานสังเคราะห์ (Synthetic Load)

สรุปผล Synthetic Load

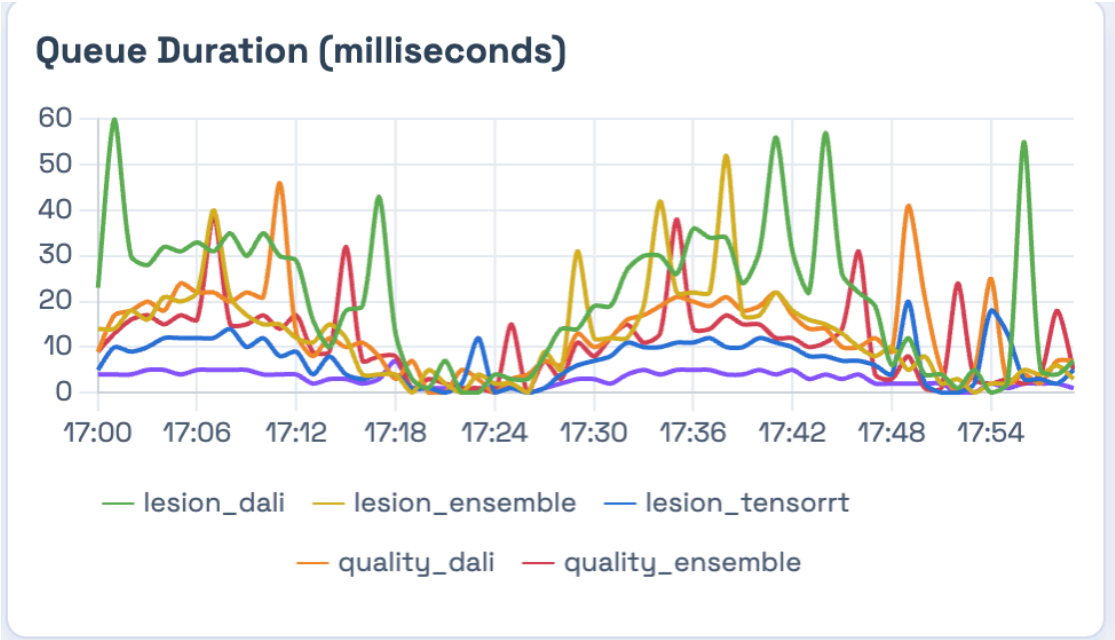
ระยะเวลา	1 ชั่วโมง
จำนวน **Request**	7,632
ค่าเฉลี่ย **RPS**	2.12
Success Rate	99.46%



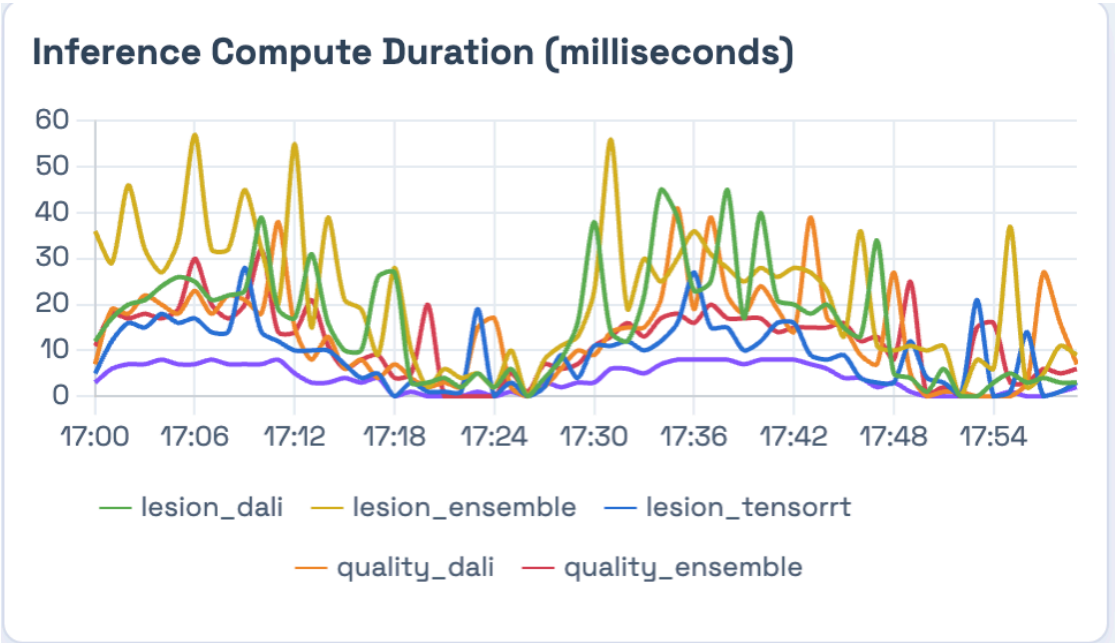
รูปที่ 4.2: Request Duration



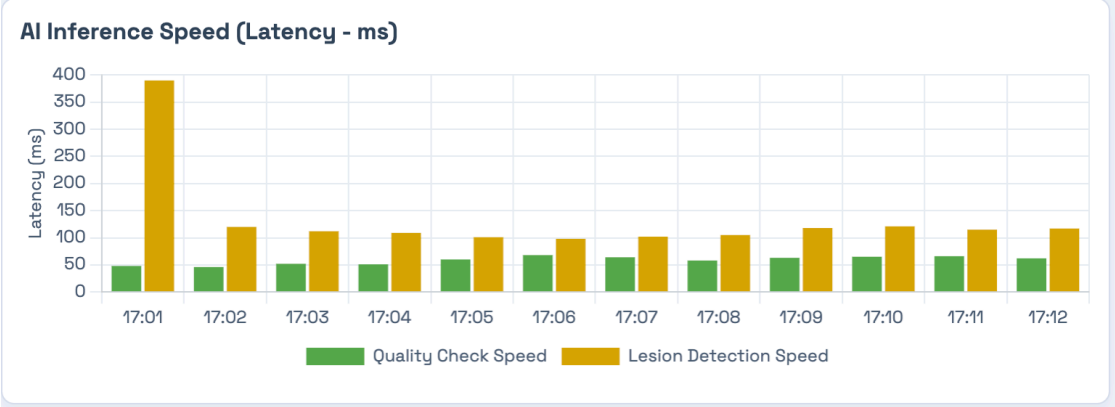
รูปที่ 4.3: Failed Requests



รูปที่ 4.4: Queue Time



รูปที่ 4.5: Compute Time



รูปที่ 4.6: AI Inference Latency

4.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบ พบว่าระบบมีอัตราความสำเร็จสูงถึง 99.46% ซึ่งสะท้อนถึงความเสถียรของระบบภายใต้ภาระงานต่อเนื่อง

แม้ค่า RPS จะไม่สูงมาก แต่สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริงในระดับชุมชน ซึ่งไม่ได้มีการใช้งานแบบหนาแน่นเหมือนระบบขนาดใหญ่

นอกจากนี้ ค่า latency และ queue time ที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจัดการคำขอได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เกิด bottleneck ใน pipeline

4.2 การอภิปรายผล

จากผลการทดสอบ พบว่าความสำเร็จของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับ AI เพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากการออกแบบระบบโดยรวม ทั้งในด้านสถาปัตยกรรม workflow และ usability

การใช้ Modular Architecture และ Dual-Path AI ช่วยเพิ่มความเสถียรและลดความเสี่ยงจากการล่มของระบบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในระบบทางการแพทย์

นอกจากนี้ การออกแบบ workflow ให้สอดคล้องกับการทำงานจริงของบุคลากร เช่น อสม. และทันตแพทย์ มีบทบาทสำคัญในการทำให้ระบบสามารถใช้งานจริงได้

อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัด เช่น การพึ่งพา AI จากภายนอก และการทดสอบที่ยังอยู่ในระดับนำร่อง

4.3 สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบ eDENT-ELDER Phase 2 สามารถทำงานได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ และมีศักยภาพในการนำไปใช้งานจริง

ระบบสามารถเพิ่มการเข้าถึงบริการ ลดภาระของบุคลากร และเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจพบโรคในระยะเริ่มต้น

ผลการทดสอบทั้งด้าน functional และ performance ยืนยันถึงความพร้อมของระบบในระดับ production

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปและบทสรุป

โครงการ eDENT-ELDER Phase 2 มีเป้าหมายเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของระบบเดิม และพัฒนาแพลตฟอร์มสำหรับการคัดกรองมะเร็งช่องปากในระดับชุมชนให้สามารถใช้งานได้จริง

จากผลการดำเนินงานในบทก่อนหน้า พบว่าระบบสามารถรองรับกระบวนการคัดกรองแบบครบวงจร ตั้งแต่การเก็บข้อมูลผู้ป่วย การวิเคราะห์ด้วย AI ไปจนถึงการให้คำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีความเสถียรและประสิทธิภาพในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง

นอกจากนี้ การออกแบบระบบในลักษณะ Modular Architecture ร่วมกับแนวคิด Dual-Path AI และ DevOps Pipeline ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่น สามารถขยายระบบได้ในอนาคต และลดความเสี่ยงจากความล้มเหลวของระบบ

ผลสำเร็จหลัก

- **สถาปัตยกรรม:** Hybrid Modular System (Next.js + FastAPI + DDD) แทน Legacy Monolith
- **ระบบ AI:** Dual-Path Inference Latency < 200 ms ภายใต้ Synthetic Load อัตรา Request สำเร็จ 99.46% Request ทั้งหมด 7,632
- **ความปลอดภัย:** กรอบ PDPA/HIPAA พร้อม Tamper-Proof Audit Logging และ RBAC ครอบคลุม 6 บทบาท
- **DevOps:** Docker Containerization ครบวงจร พร้อม CI/CD Pipeline และการแยก Environment เข้มงวด
- **คุณภาพ:** 900 Automated Test ผ่าน 100% Coverage 100% บน Critical Business Logic
- **ความร่วมมือ:** หลายสถาบัน ครอบคลุมทันตแพทยศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสาธารณสุขชุมชน

แพลตฟอร์มพร้อม Deploy ระดับนำร่องในเชียงใหม่ พะเยา ภูเก็ต และหนองบัวลำภู เพื่อช่วยให้ตรวจพบมะเร็งช่องปากในผู้สูงอายุชนบทเร็วขึ้น ลดการวินิจฉัยระยะท้าย และพัฒนาผลลัพธ์ผู้ป่วยในวงกว้าง

โครงการนี้ประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาคอขวดและจุดล้มเหลวของระบบเดิม เปลี่ยนผ่านสู่ **แพลตฟอร์มทางการแพทย์พร้อมใช้งานจริง (Production-Ready)** ด้วยสถาปัตยกรรมที่เสถียร ปลอดภัย และสมบูรณ์ระดับ Enterprise

ข้อจำกัดของโครงการ (Limitations):

- ระบบพึ่งพา AI Model จากภายนอก ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านการควบคุมคุณภาพและการปรับปรุงโมเดล
- การทดสอบยังอยู่ในระดับนำร่อง และยังไม่ได้ประเมินผลในระดับประชากรขนาดใหญ่
- ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพที่ผู้ใช้งานส่งเข้ามา
- การยอมรับของผู้ใช้งานในระยะยาวยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

งานในอนาคต (Future Work):

- ขยาย AI Model ครอบคลุมรอยโรคช่องปากเพิ่มเติม และปรับปรุงความแม่นยำด้วย Dataset Annotation จากพื้นที่นำร่อง
- ขยายสู่จังหวัดเพิ่มเติมและเชื่อมต่อกับระบบสารสนเทศสุขภาพ (HIS) ของไทย
- ดำเนินการศึกษา Clinical Validation อย่างเป็นทางการ วัด Stage-Shift และเวลาพบผู้เชี่ยวชาญในกลุ่มนำร่อง
- สำรวจการเชื่อมต่อ LINE OA และ PWA Offline Mode สำหรับชุมชนที่มีอินเทอร์เน็ตจำกัด

โดยสรุป โครงการนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการผสานเทคโนโลยีดิจิทัล เข้ากับระบบสาธารณสุขในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม และสามารถต่อยอดสู่การใช้งานในระดับประเทศได้ในอนาคต

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก

ก.1 เอกสารประกอบเพิ่มเติม

เพิ่มเอกสารหรือเนื้อหาประกอบที่เกี่ยวข้องกับโครงงานในส่วนนี้ เช่น แบบฟอร์มที่ใช้จริง ตัวอย่างข้อมูล หรือคำอธิบายเชิงเทคนิคเพิ่มเติม

ลิงก์ตัวอย่างสำหรับแทนที่

- Dataset: https://example.com/edent-elder/dataset
- Model Card: https://example.com/edent-elder/model-card
- Test Evidence: https://example.com/edent-elder/test-report

ก.2 คู่มือการใช้งานระบบ

อธิบายขั้นตอนการติดตั้งและการใช้งานระบบสำหรับผู้ใช้งานแต่ละบทบาท พร้อมภาพหน้าจอหรือลิงก์อ้างอิงที่จำเป็น

ลิงก์คู่มือ

- User Manual: https://example.com/edent-elder/user-manual
- Admin Manual: https://example.com/edent-elder/admin-manual
- API Documentation: https://example.com/edent-elder/api-docs