

ระบบตรวจนับจำนวนคนโดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วยปัญญาประดิษฐ์
PEOPLE COUNTING SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE VIDEO
ANALYTICS



โดย
นางสาวพิมพ์ชนก ชื่นจินดา
นางสาวสมัชญา เรืองพจนานพฤกษ์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบตรวจนับจำนวนคนโดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วยปัญญาประดิษฐ์
PEOPLE COUNTING SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE VIDEO
ANALYTICS



โดย
นางสาวพิมพ์ชนก ชื่นจินดา 60010718
นางสาวสมัชญา เรืองพจนานพฤกษ์ 60011018

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจนับจำนวนคนโดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วยปัญญาประดิษฐ์

PEOPLE COUNTING SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE VIDEO ANALYTICS

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพิมพ์ชนก ชื่นจินดา 60010718
2. นางสาวสมัชญา เรืองพจนานพฤกษ์ 60011018



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์เพราะได้รับความกรุณาชี้แนะและช่วยเหลืออย่างดี จากรองศาสตราจารย์ ดร.ยุทพงษ์ รังสรรค์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อย รวมถึงสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระหว่างการจัดทำปริญญาานิพนธ์ ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และประสบการณ์ รวมถึงอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ทั้งเครื่องมือและสถานที่ให้กับผู้จัดทำจนปริญญาานิพนธ์นี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุน ให้กำลังใจและความเมตตา แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ซึ่งสิ่งสำคัญคือการสนับสนุนให้โอกาสทางด้านการศึกษาที่มีค่ายิ่งแก่ผู้จัดทำจนปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นางสาวพิมพ์ชนก ชื่นจินดา
นางสาวสมัชญา เรืองพจนานพฤกษ์
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบตรวจนับจำนวนคนโดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วย
ปัญญาประดิษฐ์
PEOPLE COUNTER SYSTEM USING ARTIFICIAL
INTELLIGENCE VIDEO ANALYTICS

โดย นางสาวพิมพ์ชนก ชื่นจินดา 60010718
นางสาวสมัชญา เรืองพจนานพฤษ์ 60011018

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนา ระบบตรวจนับจำนวนคนที่ผ่านเข้าออกอาคารต่างๆ ผ่านการตรวจจับภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์จากกล้อง โดยใช้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ MOBILENET-SSD ในการตรวจจับคนที่ปรากฏขึ้นในภาพ แต่ละคนจะถูกกำหนดหมายเลขประจำตัว เพื่อใช้ในการติดตามตัวบุคคล จำนวนผู้คนที่เข้าและออกในสถานที่ จะถูกนับเมื่อมีการผ่านเส้นอ้างอิงที่กำหนด โดยระบบนี้ถูกประมวลผลบนบอร์ด NVIDIA JETSON NANO DEVELOPER KIT ทำการเชื่อมต่อกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อรับส่งข้อมูลในรูปแบบของอินเทอร์เน็ตในทุกอย่างได้ ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นมิตรกับความเป็นส่วนตัวของผู้คนและติดตั้งได้ง่ายในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ABSTRACT

In this project, a system for counting people entering and exiting a building based on realtime video captured from a single camera. First, an artificial intelligence algorithm named MobileNet-SSD is used for people detection visible in a video frame. Each people is labelled with a unique identifier and used for tracking multiple people across succeeding frames. The number of people going in and out of an observed area will be increment once people cross a reference line. The system runs on NVIDIA Jetson Nano Developer Kit connecting with cloud server to send and receive data in the form of Internet of Things. It is privacy-friendly and easily installable to difference environments.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การตรวจนับจำนวนคน	3
2.1.1 เซนเซอร์อัลตราโซนิก (ULTRASONIC SENSOR)	3
2.1.2 อาร์เรย์ของเซนเซอร์อินฟราเรด (INFRARED SENSOR ARRAY)	3
2.1.3 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว PIR (INFRARED MOTION SENSORS)	3
2.1.4 ฟิวชันเซนเซอร์ (SENSOR FUSION)	4
2.1.5 การนับจำนวนคนจากวิดีโอโดยใช้การลบพื้นหลัง	4
2.1.6 การนับจำนวนคนจากการประมวลผลวิดีโอโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิชัน	4
2.2 อัลกอริทึมตรวจจับวัตถุ (OBJECT DETECTION ALGORITHM)	4
2.2.1 สถาปัตยกรรมโมบายเน็ต (MOBILENET ARCHITECTURE)	5
2.2.2 SSD (SINGLE SHOT DETECTOR)	13
2.2.3 สถาปัตยกรรม MOBILENET SSD	19
2.2.4 CAFFE MODEL	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 อัลกอริทึมติดตามวัตถุ (OBJECT TRACKING ALGORITHM)	22
2.3.1 DISCRIMINATIVE CORRELATION FILTERS	22
2.3.2 DISCRIMINATIVE CORRELATION FILTERS FOR MULTIDIMENSIONAL FEATURES	23
2.4 ระบบการประมวลผลแบบ CLOUD COMPUTING	24
2.4.1 DATABASE-AS-A-SERVICE (DBAAS)	25
2.4.2 FIREBASE	25
2.5 หน้าจอผู้ใช้งาน (USER INTERFACE)	26
2.5.1 DJANGO	26
2.5.2 BOOTSTRAP	27
2.5.3 JQUERY	27
2.5.4 CHART JS	27
2.6 เว็บโฮสติ้ง (WEB HOSTING)	28
2.6.1 ประเภทของเว็บโฮสติ้ง	28
2.6.2 HEROKU	30
2.7 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน	31
2.8 ข้อกำหนดการควบคุมการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา	32
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	33
3.1 การออกแบบ	33
3.1.1 การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลตรวจ นับจำนวนคน	34
3.1.2 การส่งข้อมูลขึ้น CLOUD SERVER	40
3.1.3 การนำข้อมูลจาก CLOUD SERVER ไปแสดงผลเป็นกราฟ ที่หน้าจอผู้ใช้	42
3.1.4 การออกแบบและจัดทำ WEB HOSTING	44
3.1.5 สร้างการแจ้งเตือนโดยใช้บริการ LINE NOTIFY	46
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	50
3.2.1 คอมพิวเตอร์พกพา (LAPTOP)	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 3.2.1 คอมพิวเตอร์พกพา (LAPTOP) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ 50 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบภายในโครงข่ายประสาทเทียม	5
2.2 สถาปัตยกรรม MOBILENET	6
2.3 การคอนโวลูชันแบบแยกส่วนเชิงลึก	6
2.4 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม	8
2.5 ตัวอย่างการทำ BATCH NORMALIZE	9
2.6 ตัวอย่างการปรับพารามิเตอร์	9
2.7 กราฟฟังก์ชัน RELU	10
2.8 กราฟ ACTIVATION ของฟังก์ชัน RELU6	10
2.9 ตัวอย่างการทำพูลลิงค่าเฉลี่ย	11
2.10 ตัวอย่างการทำงานของชั้นเชื่อมโยงสมมุติ	12
2.11 ตัวอย่างการทำงานของชั้นซอฟต์แวร์แม็กซ์	12
2.12 ฟังก์ชันลักษณะหลายๆขนาด	13
2.13 กรอบที่ตั้งต้นที่เกิดขึ้นในวัตถุต่างชนิดกัน	14
2.14 INTERSECTION OVER UNION	16
2.15 กรอบ GROUND TRUTH BOX และกรอบที่ตั้งต้นโดยกรอบ GROUND TRUTH BOX แสดงเป็นสีน้ำเงินและกรอบที่ตั้งต้นแสดงเป็นสีเขียว	16
2.16 NON MAXIMUM SUPPRESSION	18
2.17 สถาปัตยกรรม MOBILENET SSD	19
2.18 ขนาดความละเอียดของฟังก์ชันลักษณะในแต่ละชั้นที่แตกต่างกัน	20
2.19 ขนาดความละเอียดของฟังก์ชันลักษณะและจำนวนกรอบที่ตั้งต้นในแต่ละชั้นที่ต่างกัน	20
2.20 เฟรมเวิร์ค CAFFE MODEL	22
2.21 FIREBASE	25
2.22 FIREBASE CLOUD FIRESTORE	26
2.23 เฟรมเวิร์ค DJANGO	27
2.24 เฟรมเวิร์ค BOOTSTRAP	27
2.25 ไลบรารี JQUERY	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.26	ไลบรารี CHART JS	28
2.27	การเชื่อมต่อระหว่างเว็บโฮสติ้ง อินเทอร์เน็ต และผู้ใช้บริการเว็บไซต์	28
2.28	HEROKU	30
2.29	บริการ LINE NOTIFY ของแอปพลิเคชัน LINE	31
3.1	BLOCK DIAGRAM ของระบบ	33
3.2	การตรวจจับวัตถุที่สนใจ	34
3.3	วัตถุที่สนใจได้รับการกำหนดเลขประจำตัวและคำนวณกึ่งกลางวัตถุ	36
3.4	การทำ EUCLIDEAN DISTANCE ระหว่างจุดกึ่งกลางวัตถุเดิม (สีม่วง) และวัตถุใหม่ที่ปรากฏขึ้น (สีเหลือง) ลูกศรแทน EUCLIDEAN DISTANCE ระหว่างตำแหน่งวัตถุเดิมกับตำแหน่งวัตถุใหม่	37
3.5	การจับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดกึ่งกลางวัตถุเดิมกับตำแหน่งวัตถุใหม่	37
3.6	การกำหนดหมายเลขประจำตัวให้กับวัตถุใหม่ และทำการเก็บตำแหน่งจุดกึ่งกลางของวัตถุใหม่	38
3.7	แผนผังการทำงานของโปรแกรม	39
3.8	การจัดเก็บข้อมูลของ FIREBASE CLOUD FIRESTORE	40
3.9	แผนผังการออกแบบฐานข้อมูล	41
3.10	โครงสร้างไฟล์เตอร์ของ DJANGO PROJECT	42
3.11	ภาพจำลองหน้าแสดงผลผู้ใช้	43
3.12	แผนผังการทำงานของหน้าจอบริษัท	43
3.13	โครงสร้างการรับส่งข้อมูลระหว่างเว็บโฮสติ้ง ฐานข้อมูล และผู้ใช้งานเว็บไซต์	44
3.14	ตัวอย่างหน้าเว็บไซต์ที่ทำการอัปเดตเสร็จเรียบร้อยแล้ว	46
3.15	การออก ACCESS TOKEN	47
3.16	การเลือกกลุ่มที่ต้องการรับการแจ้งเตือนจากแอปพลิเคชัน LINE	47
3.17	TOKEN ที่ได้รับจากแอปพลิเคชัน LINE เพื่อใช้ในการแจ้งเตือน	48
3.18	การแจ้งเตือนที่สร้างไว้ในแอปพลิเคชัน LINE	48
3.19	การส่งการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน LINE	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.20	แผนผังการสร้างการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน LINE	49
3.21	LAPTOP ACER SF314-51-58F9	50
3.22	บอร์ด JETSON NANO DEVELOPER KIT	51
3.23	XIAOMI XIAOVV 1080P USB WEBCAM	52
3.24	จอ LED SAMSUNG LS20D300NH/XT	52
3.25	WIRELESS USB ADAPTER TP-LINK (TL-WN821N)	53
4.1	สถานการณ์จำลองการเดินขึ้นและลง 1 คน	58
4.2	สถานการณ์จำลองการวิ่งขึ้นและลง 1 คน	59
4.3	สถานการณ์จำลองการเดินสวนกัน	60
4.4	สถานการณ์จำลองการวิ่งสวนกัน	60
4.5	สถานการณ์จำลองการเดินต่อกัน 2 คน	61
4.6	สถานการณ์จำลองการเดินต่อกัน 3 คน	62
4.7	สถานการณ์จำลองการเดินเรียงหน้ากระดาน 3 คน	63
4.8	สถานการณ์จำลองการเดินขึ้นและลง 5 คน	64
4.9	สถานการณ์เมื่อมีวัตถุที่ไม่สนใจเข้ามาในเฟรมภาพ	65
4.10	สถานการณ์เมื่อมีการปกปิดใบหน้าหรือส่วนหัวของวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจ	66
4.11	สถานการณ์เมื่อวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจและไม่สนใจอยู่ในลักษณะเดียวกัน	67
4.12	สถานการณ์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถแยกวัตถุที่สนใจกับวัตถุที่มีความคล้ายคลึงกันได้	68
4.13	การต่ออุปกรณ์ต่างๆของระบบ	69
4.14	โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ FIREBASE CLOUD FIRESTORE แบบเรียลไทม์	70
4.15	โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ FIREBASE CLOUD FIRESTORE แบบส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์ทุกๆ 5 นาที	71
4.16	กราฟความหนาแน่นของจำนวนผู้คนภายในอาคารแบบเรียลไทม์	72
4.17	กราฟความหนาแน่นของจำนวนผู้คนในแต่ละช่วงเวลา โดยแสดงทุกๆ 5 นาที	72
4.18	ฟังก์ชันการรับค่าพื้นที่ต่อตารางเมตร	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.19	ฟังก์ชันคำนวณและแสดงจำนวนคนที่รับได้ภายในอาคาร	73
4.20	หน้าเว็บไซต์แสดงจำนวนคนที่รับได้	73
4.21	บริการ LINE NOTIFY ของแอปพลิเคชัน LINE	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดของตัวกรองคอนโวลูชันและฟังก์ชันลักษณะในสถาปัตยกรรม MOBILENET	7
2.2 ขนาดของตัวกรองคอนโวลูชันและฟังก์ชันลักษณะในสถาปัตยกรรม MOBILENET SSD	21
3.1 ค่าความผิดพลาดและจำนวนเฟรมต่อวินาทีของจำนวนเฟรม การตรวจจับวัตถุต่อ 1 เฟรม	35
3.2 คุณสมบัติของ LAPTOP ACER SF314-51-58F9	50
3.3 คุณสมบัติของบอร์ด JETSON NANO DEVELOPER KIT	51
3.4 คุณสมบัติของ XIAOMI XIAOVV 1080P USB WEBCAM	52
3.5 คุณสมบัติของจอ LED SAMSUNG LS20D300NH/XT	53
3.6 คุณสมบัติของ WIRELESS USB ADAPTER TP-LINK (TL-WN821N)	53
4.1 ค่าความผิดพลาดของการตรวจนับจำนวนคนโดยการประมวลผลวิดีโอผ่าน โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์	56
4.2 ค่าความผิดพลาดของการตรวจนับจำนวนคนโดยการประมวลผลวิดีโอผ่าน บอร์ด NVIDIA JETSON NANO DEVELOPER KIT	57
4.3 การทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแบบเรียลไทม์โดย ประมวลผลระบบด้วยโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์	69
4.4 การทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแบบเรียลไทม์โดย ประมวลผลระบบด้วยบอร์ด NVIDIA JETSON NANO DEVELOPER KIT	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้เกิดไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ หรือที่รู้จักกันในชื่อ “โควิด-19” ซึ่งการแพร่ระบาดของไวรัสได้นำพาความเสียหายในหลาย ๆ ด้านมาสู่ทั่วโลก เช่น ปัญหาเศรษฐกิจและสังคม ปัญหาสาธารณสุข โดยมีการคาดการณ์ว่าเศรษฐกิจของประเทศไทยอาจหดตัวมากกว่าร้อยละ 5 ในปี 2563 เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมหลักในระบบเศรษฐกิจ ซึ่งภาคการท่องเที่ยวคิดเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 15 ของ GDP ยังไม่รวมถึงอัตราการลดลงของการส่งออกสินค้าต่าง ๆ ซึ่งการฟื้นฟูระบบเศรษฐกิจอาจใช้เวลามากกว่า 2 ปี [1]

ผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ที่จะต้องป้องกันและแก้ไข ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของปริญญาานิพนธ์ชิ้นนี้ คือ การควบคุมการใช้งานของผู้คนภายในอาคารไม่ให้เกิดอัตราที่กำหนดเพื่อลดการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 และนอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลที่ประมวลได้ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีก เช่น การนำข้อมูลความหนาแน่นของผู้คนในแต่ละช่วงเวลาไปวิเคราะห์เพื่อสร้างกลยุทธ์การตลาดหรือการจัดเตรียมทรัพยากรบุคลากร สถานที่และสิ่งแวดล้อมให้เพียงพอต่อผู้เข้าใช้บริการภายในอาคาร และการเปรียบเทียบจำนวนผู้คนที่เข้าใช้บริการภายในอาคารแต่ละอาคารที่แตกต่างกันเพื่อใช้ประกอบการดำเนินการดำเนินธุรกิจ เป็นต้น ผู้จัดทำจึงได้จัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ขึ้นมา โดยจะใช้การทำงานร่วมกันของกล้อง ไมโครคอมพิวเตอร์และฐานข้อมูล โดยระบบจะตรวจนับจำนวนคนที่เข้าออกอาคารต่างๆ ผ่านการตรวจจับภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์จากกล้อง และใช้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ในการตรวจจับคนที่ปรากฏขึ้นในภาพ ซึ่งใช้สองอัลกอริทึมหลัก คือ อัลกอริทึมตรวจจับวัตถุ จะทำหน้าที่ตัดสินใจว่าวัตถุคืออะไร อยู่ที่ตำแหน่งใด และอัลกอริทึมติดตามวัตถุจะทำหน้าที่ติดตามวัตถุจนกว่าวัตถุจะออกจากเฟรม และเชื่อมต่อกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud Server) เพื่อรับส่งข้อมูลในรูปแบบของอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things) ได้ รวมถึงมีการสร้างหน้าจอผู้ใช้ (User Interface) เพื่อให้มีการแสดงผลจำนวนคนที่เข้าออกสถานที่ต่างๆ และแสดงความหนาแน่นของผู้คนในแต่ละช่วงเวลา ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นมิตรกับความเป็นส่วนตัวของผู้คนและติดตั้งได้ง่ายในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายของโรคโควิด-19
- 2) เพื่อนำไปใช้ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม เช่น ตรวจสอบคนเข้าออกร้านค้าหรืออาคารต่างๆ
- 3) เพื่อนำข้อมูลจำนวนคนที่เก็บได้ไปใช้ประโยชน์ต่อในด้านการวิเคราะห์ข้อมูล
- 4) เพื่อจัดการทรัพยากรให้เหมาะสมต่อจำนวนคน
- 5) เพื่อสร้างระบบตรวจนับจำนวนคนที่มีความยืดหยุ่นในงบประมาณที่จำกัด
- 6) เพื่อศึกษาการสร้างหน้าจอบริการผู้ใช้ (User Interface) การทำงานของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ออกแบบระบบตรวจนับจำนวนคนประมวลผลแบบเรียลไทม์จากกล้อง
- 2) ทำการทดลองใช้จากเครื่องต้นแบบของระบบตรวจนับจำนวนคนเพียงชุดเดียว เพื่อควบคุมงบประมาณ
- 3) แสดงผลข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์โดยทำการออกแบบการแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิ
- 4) ใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud Server) จัดเก็บข้อมูลในรูปแบบฐานข้อมูลแบบ Nosql

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจนับจำนวนคน

ระบบการนับจำนวนคนเป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อหาวิธีหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่จะสามารถนับจำนวนคนได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ เพื่อเก็บข้อมูลทางสถิติต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์พฤติกรรมของกลุ่มบุคคลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการทำธุรกิจ ซึ่งการนับจำนวนคนนี้สามารถทำได้หลากหลายวิธี โดยปัญญาประดิษฐ์นี้เลือกใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิชัน (Computer Vision) ในการประมวลผลภาพจากกล้องวิดีโอ

2.1.1 เซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor)

วิธีนี้จะต้องมีกลุ่มเซนเซอร์โหนดแบบต้นไม้ (Tree-node) โดยในแต่ละโหนด (Node) จะทำให้เกิดพื้นที่อัลตราโซนิก ซึ่งในพื้นที่กว้างก็จะต้องมีการประสานงานของกลุ่มเซนเซอร์ Tree-node มากขึ้น มีอัลกอริทึมแบบกระจาย (Distributed Algorithm) เป็นตัวนับจำนวนคนที่ตรวจพบได้ ระบบดังกล่าวนี้ต้องการการซิงโครไนซ์ (Synchronization) ที่แม่นยำเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลพร้อมกัน ทำให้เงื่อนไขข้อนี้เป็นข้อจำกัดของระบบ [2]

2.1.2 อาร์เรย์ของเซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor Array)

ระบบต้องการเมทริกซ์ (Matrix) เซนเซอร์อินฟราเรดเพื่อสร้างตัวตรวจจับ โดยเมทริกซ์เป็นตัวที่ทำให้เกิดสัญญาณเซนเซอร์ ซึ่งวิธีนี้จะใช้อัลกอริทึมของการจัดจํารูปแบบ คือ การตรวจจับบุคคลที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณเซนเซอร์ [3]

2.1.3 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว PIR (Infrared Motion Sensors)

ระบบนี้จะใช้เซนเซอร์ PIR 3 ตัว เพื่อตรวจสอบในแต่ละขั้นตอน โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์แต่ละตัวด้วยลิงค์ (Link) RF แบบไร้สาย มีการรับเหตุการณ์ที่ตรวจพบการเคลื่อนไหว จากนั้นจะสรุปการนับจากแต่ละช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องกัน จำนวน และความแตกต่างของเวลาที่จุดสูงสุดของสัญญาณ วิธีนี้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการพัฒนาเทคโนโลยีตรวจนับจำนวนคน แต่มีข้อจำกัดคือค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูงขึ้น [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 ฟิวชันเซ็นเซอร์ (Sensor Fusion)

อุปกรณ์จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ PIR CO2 และกล้อง ระบบนี้จะขึ้นอยู่กับแบบจำลองมาร์คอฟซ่อนเร้น (Hidden Markovian Model) ที่ถ่ายทอดบนตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ที่ขยายออกเพื่อรับจำนวนคน เทคโนโลยีนี้รวมระหว่างการอ่านเซ็นเซอร์ในปัจจุบัน และข้อมูลในอดีตเพื่อประมาณค่าที่แท้จริงของระบบ รวมถึงการปรับค่าในกระบวนการสุ่มและสัญญาณรบกวนของเซ็นเซอร์ [5]

2.1.5 การนับจำนวนคนจากวิดีโอโดยใช้การลบพื้นหลัง

วิธีนี้จะขึ้นอยู่กับกล้องเป็นส่วนใหญ่ คนจะถูกระบุโดยใช้การลบพื้นหลังของภาพออก มีการระบุวัตถุและขนาดโดยประมาณ เปรียบเทียบกับขนาดพิกเซล (Pixel) ของวัตถุที่สร้างขึ้นก่อนหน้านี้ การวิเคราะห์ลักษณะนี้นำไปสู่การนับจำนวนคน ส่วนใหญ่จะมีข้อจำกัดในส่วนของการแยกภาพพื้นหลังของวิดีโอ คือ เมื่อภาพพื้นหลังและวัตถุที่สนใจมีสีเดียวกัน อาจทำให้เกิดปัญหาได้ [6]

2.1.6 การนับจำนวนคนจากการประมวลผลวิดีโอโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิชัน

วิธีนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกล้องโดยส่วนใหญ่ มีการแยกวัตถุที่สนใจ และคุณลักษณะเด่นของวัตถุต่างๆ จากการเรียนรู้แบบจำลอง (Train Model) ใช้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับและติดตามวัตถุที่สนใจ ปริมาณนี้เลือกใช้แนวทางนี้เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง ราคาประหยัด สามารถนับได้ทั้งสองทิศทาง รวมถึงไม่รบกวนพฤติกรรมของผู้คนที่เดินผ่านเข้าออก

2.2 อัลกอริทึมตรวจจับวัตถุ (Object Detection Algorithm)

อัลกอริทึมตรวจจับวัตถุจะทำหน้าที่ตัดสินใจว่าวัตถุคืออะไรและอยู่ในตำแหน่งไหนของภาพ โดยอัลกอริทึมตรวจจับวัตถุสามารถเลือกใช้ได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็น Haar Cascade, HOG + Linear SVM หรือจะใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เช่น R-CNNs, YOLO (You Only Look Once), SSDs (Single Shot Detectors) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอัลกอริทึมจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่ทำหน้าที่ในการแยกคุณลักษณะของภาพออกมา ซึ่งจะถูกระบุ Backbone โดยมีหลายวิธี ดังนี้ VGG, Resnet และ Mobilenet โดยปริมาตรนี้เลือกใช้วิธี Mobilenet และส่วนที่สอง คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการนำคุณลักษณะเด่นที่คัดแยกออกมาได้มาตรวจจับวัตถุที่อยู่ในภาพ ซึ่งมีวิธีที่ใช้หลายวิธี เช่น R-CNNs, YOLO และ SSDs โดยปริมาตรนี้เลือกใช้วิธี SSDs

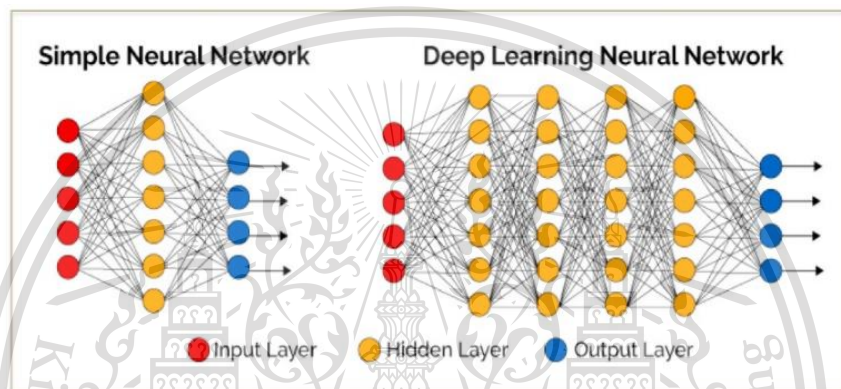
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1 สถาปัตยกรรมโมบายเน็ต (Mobilenet Architecture)

สถาปัตยกรรม Mobilenet ถูกสร้างขึ้นมาจากโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network) ซึ่งจัดเป็นการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ประเภทหนึ่ง คือ การสอนให้คอมพิวเตอร์เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งเซลล์ประสาท (Neuron) แต่ละเซลล์จะถูกเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่าย โดยภายในเซลล์ประสาทจะถูกแบ่งออกเป็นชั้น (Layer) และแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนดหลายโหนด โดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ Input layer, Hidden layer และ Output layer แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบภายในโครงข่ายประสาทเทียม [7]

โดยโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันจะมีความสามารถในการแก้ปัญหาด้านการจำแนกประเภทที่เป็นรูปภาพ โดยจะจำลองการมองเห็นของมนุษย์เป็นพื้นที่เล็กๆ และนำมาวมกันเพื่อประมวลผลในภาพรวม มีการแยกคุณลักษณะของรูปภาพนั้นๆ เช่น ลายเส้น การตัดกันของสี

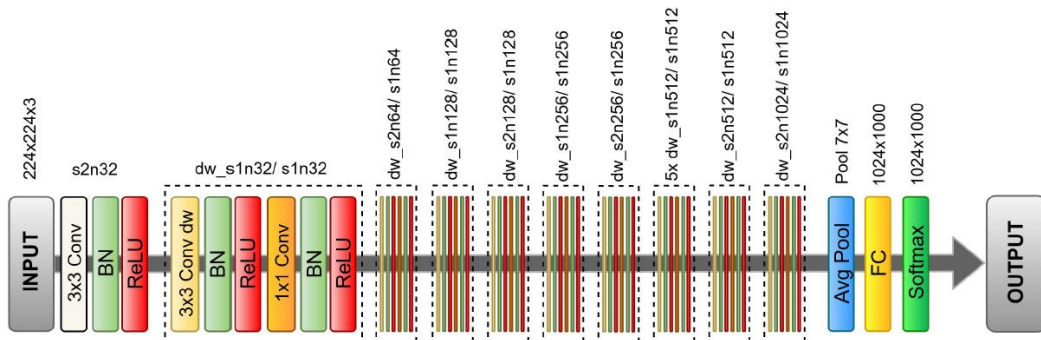
โครงสร้างของ Mobilenet ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 เริ่มจากการนำภาพตั้งต้น (Input Image) เข้าสู่การคอนโวลูชันแบบแยกส่วนเชิงลึก (Depthwise Separable Convolution) ซึ่งประกอบด้วยการคอนโวลูชันเชิงลึก (Depthwise Convolution) และการคอนโวลูชันแบบชี้จุด (Pointwise Convolutions) โดยชั้นคอนโวลูชันแรกที่มีขนาด 3×3 และมีขนาดตัวกรอง (Filter) เป็น 32 และสไตรด์ (Stride) มีค่าเป็น 2 จากนั้นจะทำการคอนโวลูชันอีก 13 ชั้น ซึ่งชั้นตอนนี้จะช่วยลดจำนวนพารามิเตอร์ (Parameter) และเวลาในการประมวลผล ในขณะที่ยังคงให้ความแม่นยำในระดับที่เหมาะสม หลังจากการแปลงแต่ละครั้งจะใช้ฟังก์ชันแบทช์นอร์มัลไลซ์ (Batch Normalize) และฟังก์ชัน ReLU ชั้นต่อมาคือชั้นพูลลิ่งค่าเฉลี่ย (Average Pooling Layer) จะทำหน้าที่ในการปรับขนาดเอาต์พุต (Output) ของชั้นคอนโวลูชันชั้นสุดท้าย ทำให้ฝังคุณลักษณะ (Feature Map) มีขนาดเล็กลง ตามด้วยชั้นเชื่อมต่อสมบูรณ์ (Fully Connected Layer) และชั้นสุดท้ายคือชั้นซอฟต์แวร์แม็กซ์ (Softmax Layer) ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นความน่าจะเป็นขึ้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



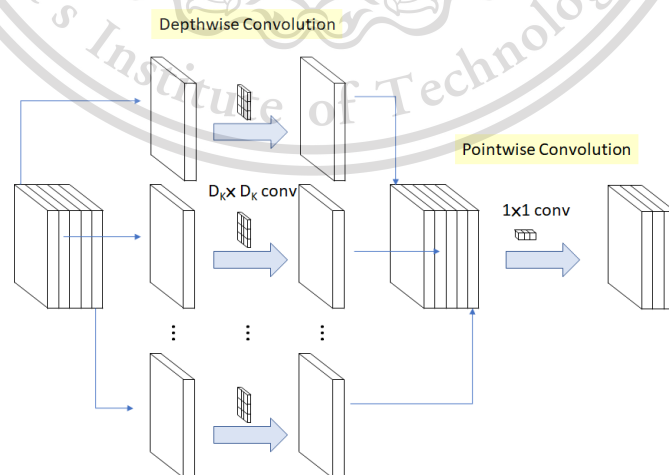
รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรม Mobilenet [8]

2.2.1.1 ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer)

ส่วนของการคอนโวลูชันจะทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของรูป เช่น สี ขอบ รูปทรง โดยจะมีตัวกรองที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบของรูปภาพ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นฟังก์ชันลักษณะ โดยมีสไตรด์ คือ ชั้น (Step) การเลื่อนของตัวกรอง ซึ่งจะประกอบด้วยสามส่วนหลัก

1) คอนโวลูชันแบบแยกส่วนเชิงลึก

Mobilenet ใช้การคอนโวลูชันแบบแยกส่วนเชิงลึก แสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วย การคอนโวลูชันเชิงลึก คือ คอนโวลูชันขนาด $D_k \times D_k$ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนขนาดของภาพ และการคอนโวลูชันแบบจุด คือ คอนโวลูชันขนาด 1×1 ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนมิติของภาพ โดยจะมีทั้งหมด 28 ชั้นเป็นหลัก การคอนโวลูชันแบบแยกส่วนเชิงลึกนี้ทำให้ลดจำนวนการคำนวณที่ใช้ลงไปได้มาก ทำให้ประมวลผลได้ไวขึ้น ในขณะที่ความแม่นยำถูกลดลงไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของตัวกรองคอนโวลูชันและฟังก์ชันลักษณะที่ใช้ในสถาปัตยกรรมของ Mobilenet



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.3 การคอนโวลูชันแบบแยกส่วนเชิงลึก [9] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 ขนาดของตัวกรองคอนโวลูชันและฟังก์ชันลักษณะในสถาปัตยกรรม Mobilenet [9]

Type/Stride	Filter Shape	Input Size
Conv / s2	3 × 3 × 3 × 32	224 × 224 × 3
Conv dw / s1	3 × 3 × 32 dw	112 × 112 × 32
Conv / s1	1 × 1 × 32 × 64	112 × 112 × 32
Conv dw / s2	3 × 3 × 64 dw	112 × 112 × 64
Conv / s1	1 × 1 × 64 × 128	56 × 56 × 64
Conv dw /s1	3 × 3 × 128 dw	56 × 56 × 128
Conv / s1	1 × 1 × 128 × 128	56 × 56 × 128
Conv dw / s2	3 × 3 × 128 dw	56 × 56 × 128
Conv / s1	1 × 1 × 128 × 256	28 × 28 × 128
Conv dw / s1	3 × 3 × 256 dw	28 × 28 × 256
Conv / s1	1 × 1 × 256 × 256	28 × 28 × 256
Conv dw / s2	3 × 3 × 256 dw	28 × 28 × 256
Conv / s1	1 × 1 × 256 × 512	14 × 14 × 256
Conv / s1	3 × 3 × 512 dw	14 × 14 × 512
Conv dw / s1	1 × 1 × 512 × 512	14 × 14 × 512
Conv dw / s2	3 × 3 × 512 dw	14 × 14 × 512
Conv / s1	1 × 1 × 512 × 1024	7 × 7 × 512
Conv dw / s2	3 × 3 × 1024 dw	7 × 7 × 1024
Conv / s1	1 × 1 × 1024 × 1024	7 × 7 × 1024
Avg Pool / s1	Pool 7 × 7	7 × 7 × 1024
FC / s1	1024 × 1000	1 × 1 × 1024
Softmax / s1	Classifier	1 × 1 × 1000

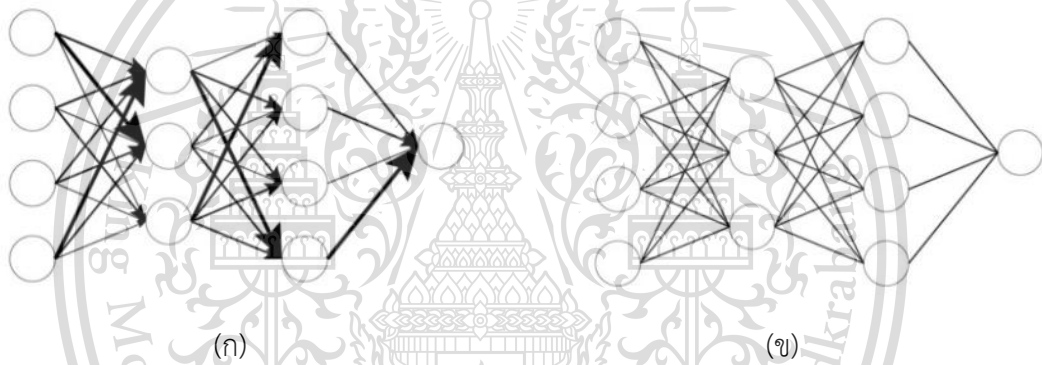
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2) Batch Normalize

Batch Normalize เป็นกระบวนการของอัลกอริทึมที่ทำให้การฝึกโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันเร็วขึ้นและมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยปรับค่าอินพุตที่ได้มาจากการทำคอนโวลูชันให้มีขนาดเหมาะสม ไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป โดยเปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ในแต่ละชั้น ขั้นตอนการทำนอร์มัลไลซ์นี้จะถูกนำไปใช้ก่อนการทำให้เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Function) ซึ่งการทำ Batch Normalize จะทำให้ในแต่ละชั้นมีการเรียนรู้ด้วยตัวเอง ลดการเชื่อมโยงกันกับชั้นอื่นๆ โดยรูปที่ 2.4 (ก) แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่ผ่านการ Batch Normalize ซึ่ง output จะมีความเชื่อมโยงกันมากในระหว่างชั้น รวมถึงช้าและไม่มีความเสถียรในการเรียนรู้ (Train) และรูปที่ 2.4 (ข) แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการ Batch Normalize โดยแต่ละชั้นจะมีความเป็นอิสระจากกันมากกว่าเดิม เร็วและมีความเสถียรในการเรียนรู้มากขึ้น



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม [10]

(ก) โครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่ผ่านการ Batch Normalize

(ข) โครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการ Batch Normalize

ชั้น Batch Normalize จะกำหนดค่าเฉลี่ย (μ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) โดยใช้สมการที่ 2.1 และ 2.2 จากนั้นจะทำการนอร์มัลไลซ์เวกเตอร์ $Z^{(i)}$ ด้วยสมการที่ 2.3 โดยมี ϵ เป็นค่าคงที่ รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการทำ Batch Normalize โดยมีเซลล์ประสาท 3 เซลล์ที่มีขนาด b จะเห็นได้ว่าเซลล์ประสาทแต่ละตัวจะเป็นไปตามการแจกแจงมาตรฐาน ต่อมาจะคำนวณเอาต์พุตของชั้น $Z^{(i)}$ โดยใช้การแปลงเชิงเส้นด้วย γ และ β ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ได้จากการเรียนรู้ แสดงในสมการที่ 2.4 ขั้นตอนต่อไปนี้จะช่วยให้แบบจำลอง (Model) สามารถเลือกการกระจาย (Distribution) ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละชั้น โดยการปรับพารามิเตอร์สองตัว คือ γ ใช้ในการปรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ β ใช้ในการปรับเส้นโค้งไปทางขวาหรือซ้าย ประโยชน์ของพารามิเตอร์ทั้งสองตัว คือ สามารถแก้ไขการกระจาย แสดงในรูปที่ 2.6 (ก) และทำให้สามารถใช้ระบบการทำงานที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่แตกต่างกันได้ แสดงในรูปที่ 2.6 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศวงนเวสหาหรับการเชงงานเพอการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

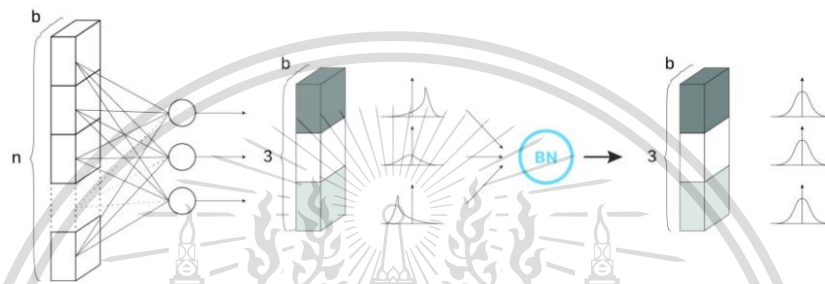
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_i Z^{(i)} \quad (2.1)$$

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_i (Z^{(i)} - \mu) \quad (2.2)$$

$$Z_{\text{norm}}^{(i)} = \frac{Z^{(i)} - \mu}{\sqrt{\sigma^2 - \epsilon}} \quad (2.3)$$

$$\tilde{Z} = \gamma * Z_{\text{norm}}^{(i)} + \beta \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำ Batch Normalize [10]



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการปรับพารามิเตอร์ [10]

(ก) ตัวอย่างการปรับพารามิเตอร์ β (ข) ตัวอย่างการปรับพารามิเตอร์ γ

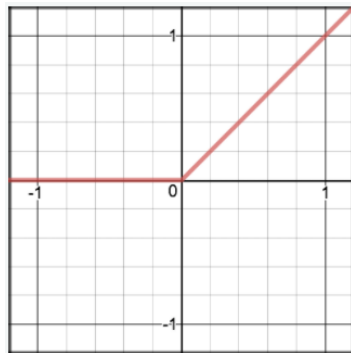
3) Rectified Linear Units

Rectified Linear Units หรือ ReLU ทำหน้าที่จำแนกคุณลักษณะของข้อมูลรูปภาพ โดยแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปของการไม่เป็นเชิงเส้น เป็นฟังก์ชันการเรียกใช้งานประเภทหนึ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงในมิติเชิงบวกแต่เป็นศูนย์ในมิติเชิงลบ โดยถ้าอินพุต (Input) มีค่าเป็นบวก ความชันจะมีค่าเป็น 1 เสมอ แสดงในรูปที่ 2.7 (ก) และ รูปที่ 2.7 (ข) แสดงกราฟอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ReLU ส่งผลให้การไล่ระดับสี (Gradient) ไม่มีการขาดหาย ทำให้การเรียนรู้แบบจำลองมีความรวดเร็วขึ้น โดยสมการของ ReLU function แสดงในสมการที่ 2.5 และสมการของอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ReLU แสดงในสมการที่ 2.6

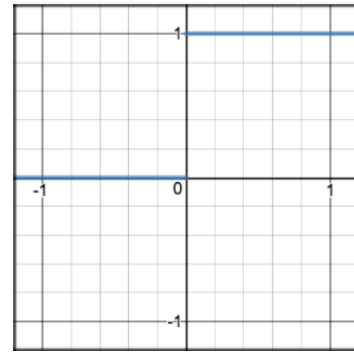
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

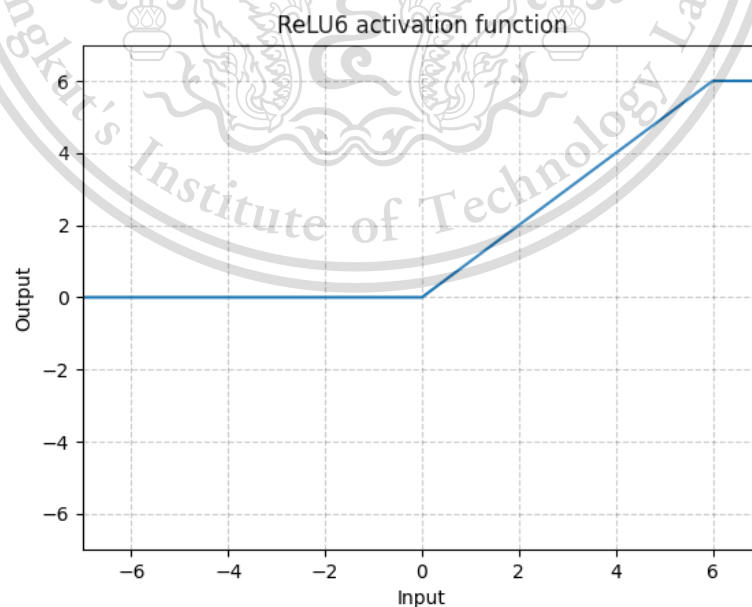
รูปที่ 2.7 กราฟฟังก์ชัน ReLU [11]

(ก) กราฟ Activation ของฟังก์ชัน ReLU (ข) กราฟอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ReLU

$$R(z) = \begin{cases} z & z > 0 \\ 0 & z \leq 0 \end{cases} \tag{2.5}$$

$$R'(z) = \begin{cases} 1 & z > 0 \\ 0 & z < 0 \end{cases} \tag{2.6}$$

โดยรูปที่ 2.8 แสดงกราฟ Activation ของฟังก์ชัน ReLU6 ซึ่งเลข 6 เป็นเพียงค่าที่เลือกตามจำนวนบิตที่ต้องการใช้ในการบีบอัดพารามิเตอร์ที่ได้รับการเรียนรู้ ซึ่งจะจำกัดการใช้งานสูงสุดไว้ที่ 6 โดยฟังก์ชัน ReLU6 เป็นการใช้งานที่พบได้บ่อยที่สุด



รูปที่ 2.8 กราฟ Activation ของฟังก์ชัน ReLU6 [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

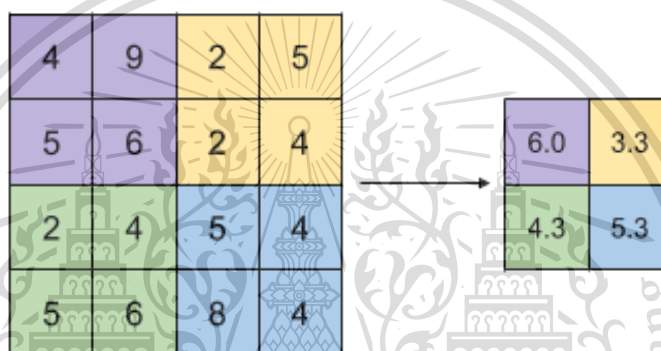
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1.2 ชั้นพูลลิงค่าเฉลี่ย

ชั้นพูลลิงค่าเฉลี่ยจะทำหน้าที่ลดขนาดของข้อมูลให้เล็กลง โดยยังมีรายละเอียดของอินพุตครบถ้วน เป็นชั้นที่เพิ่มเข้ามาหลังจากชั้นคอนโวลูชัน โดยเฉพาะหลังจากผ่านฟังก์ชัน ReLU เพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณ รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการทำพูลลิงค่าเฉลี่ย จากรูปมีอินพุตขนาด 4×4 และมีขนาดของตัวกรองเท่ากับ 2×2 จะได้ผลลัพธ์เป็นเอาต์พุต 2×2 วิธีทำคือ แบ่งอินพุตเป็นสี่ส่วนขนาด 2×2 จากนั้นนำค่าในแต่ละช่องมาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำค่าเฉลี่ยมาเป็นผลลัพธ์ใหม่ จากนั้นทำการเลื่อนตัวกรองไปตามสไตรด์ที่ได้กำหนดไว้ โดยในตัวอย่างจะใช้สไตรด์เป็น 2



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการทำพูลลิงค่าเฉลี่ย [13]

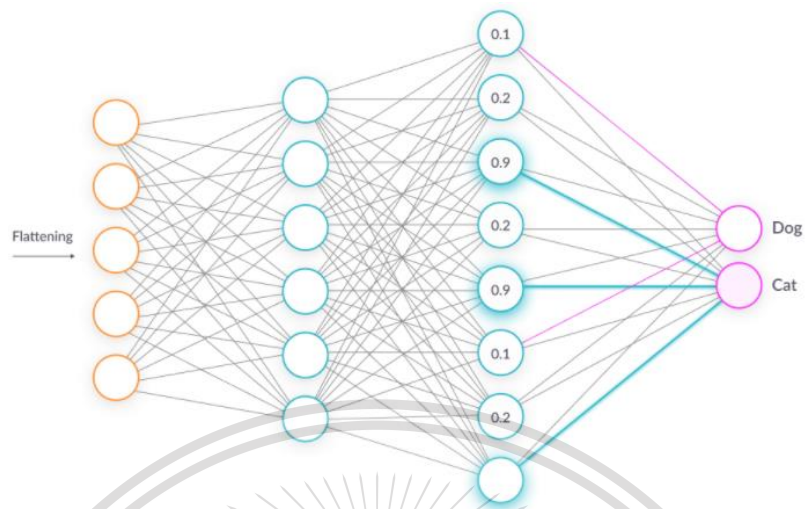
2.2.1.3 ชั้นเชื่อมโยงสมบูรณ์

วัตถุประสงค์ของชั้นเชื่อมโยงสมบูรณ์ คือ เรียนรู้ และจำแนกประเภทของวัตถุ อินพุตที่เข้ามาในชั้นนี้จะมีการจัดเรียงข้อมูลใหม่ให้เป็น 1 มิติ โดยแต่ละค่าจะแสดงถึงความน่าจะเป็นที่เป็นคุณลักษณะเด่นของคลาส (Class) นั้นๆ เช่น หากต้องการแบ่งคลาสเป็นแมว คุณลักษณะต่างๆ ที่แสดงถึงหมวดหรือชนควรมีค่าความน่าจะเป็นที่สูง จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าค่าอินพุตจะถูกทำให้เป็นค่าความน่าจะเป็น โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจำนวนของคลาสที่ต้องการจะจัดแบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

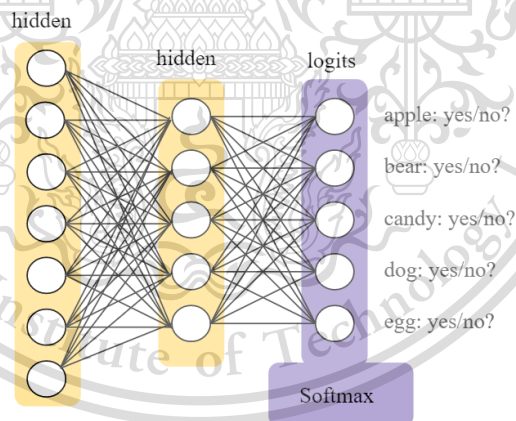
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการทำงานของชั้นเชื่อมโยงสมบูรณ์ [14]

2.2.1.4 ชั้นซอฟต์แวร์แม็กซ์

ชั้นซอฟต์แวร์แม็กซ์จะถูกนำมาใช้ก่อนชั้นเอาต์พุต ซึ่งจะทำหน้าที่ทำให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความน่าจะเป็น ซึ่งชั้นของซอฟต์แวร์แม็กซ์จะต้องมีจำนวนโหนดเท่ากับชั้นของเอาต์พุต โดยซอฟต์แวร์แม็กซ์มักจะถูกนำมาใช้ในงานด้านการจำแนกประเภทของวัตถุ (classification) แสดงในรูปแบบที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการทำงานของชั้นซอฟต์แวร์แม็กซ์ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

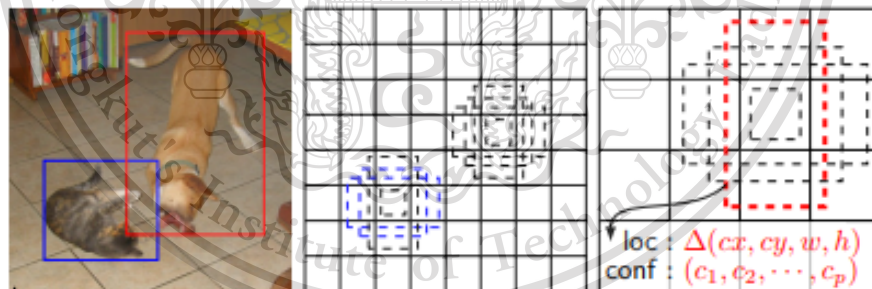
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2 SSD (Single Shot Detector)

SSD มีลักษณะที่แตกต่างจากอัลกอริทึมตรวจจับวัตถุอื่นๆ คือ จะทำการตรวจจับวัตถุหลายๆวัตถุเพียงครั้งเดียว ทำให้ SSD เป็นอัลกอริทึมที่มีความรวดเร็วและค่อนข้างเหมาะสมกับงานประเภทเรียลไทม์ (Realtime) โดย SSD มีพื้นฐานมาจากเครือข่าย Convolutional Feed-Forward ที่สร้างชุดของกรอบและคะแนนสำหรับใช้ในการทำนายวัตถุที่สนใจ ตามด้วยขั้นตอน Non-Maximum Suppression เพื่อลดจำนวนกรอบที่เกิดขึ้นลงสำหรับการตรวจจับวัตถุในขั้นตอนสุดท้าย สถาปัตยกรรมของ SSD ประกอบด้วย ชั้นของเครือข่ายฐานที่ทำหน้าที่ในการแยกฝังคุณลักษณะของภาพ หลังจากนั้นตามด้วยโครงสร้างเสริมที่ถูกเพิ่มให้กับเครือข่ายเพื่อการตรวจจับวัตถุที่สนใจ โดยใช้คุณสมบัติพิเศษดังต่อไปนี้

2.2.2.1 การตรวจจับวัตถุโดยใช้ฝังคุณลักษณะหลายขนาด

SSD จะทำการเพิ่มชั้นพิเศษขึ้นมาด้านหลังชั้นโครงข่ายฐาน โดยชั้นที่ถูกเพิ่มขึ้นมาเหล่านี้จะลดขนาดลงเรื่อยๆ และมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการทำนายวัตถุบนฝังคุณลักษณะหลายขนาด (Multiscale Feature Map) แสดงดังรูป 2.12 (ก) ภาพวัตถุที่สนใจถูกล้อมรอบด้วย Ground Truth Box (ข) ฝังคุณลักษณะขนาด 8×8 (ค) ฝังคุณลักษณะขนาด 4×4 โดยวัตถุที่มีขนาดเล็กจะใช้ฝังคุณลักษณะที่มีความละเอียด (Resolution) สูง ส่วนวัตถุขนาดใหญ่จะใช้ฝังคุณลักษณะที่มีความละเอียดต่ำ การใช้วิธีนี้ทำให้ SSD มองวัตถุได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม SSD มีข้อจำกัด คือ เป็นอัลกอริทึมที่ใช้งานได้ไม่ค่อยดีในวัตถุที่มีขนาดเล็ก



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.12 ฝังคุณลักษณะหลายๆขนาด [16]

(ก) ภาพวัตถุที่สนใจถูกล้อมรอบด้วย Ground Truth Box

(ข) ฝังคุณลักษณะขนาด 8×8 และกรอบที่ตั้งต้นที่เกิดขึ้น

(ค) ฝังคุณลักษณะขนาด 4×4 และกรอบที่ตั้งต้นที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

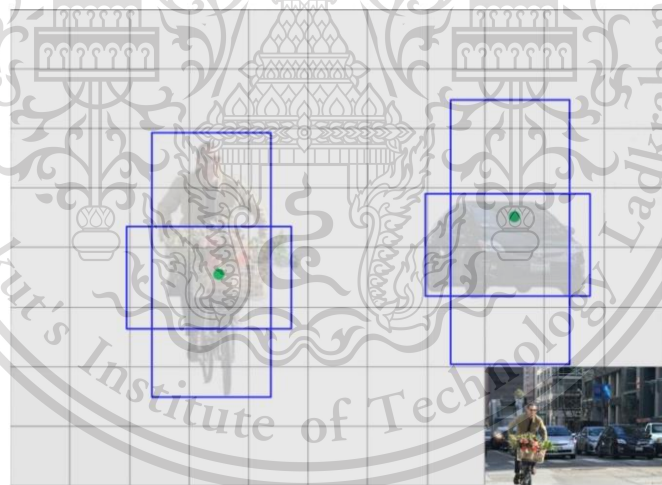
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2.2 การตรวจจับวัตถุโดยใช้การคอนโวลูชัน

แต่ละชั้นคุณลักษณะที่ถูกเพิ่มเข้ามาจะสร้างชุดการทำนายการตรวจจับวัตถุ โดยใช้ชุดตัวกรองคอนโวลูชันไปที่ผังคุณลักษณะ แต่ละพื้นที่ที่ถูกคอนโวลูชันจะเกิดกรอบและอัตราส่วนภาพที่แตกต่างกันขึ้นมา ซึ่งการเกิดกรอบและอัตราส่วนภาพที่แตกต่างกันนี้เป็นแนวคิดในการทำนายวัตถุของ SSD เช่น กรอบที่เกิดในแนวตั้งมีโอกาสเป็นมนุษย์ ส่วนกรอบที่เกิดในแนวนอนมีโอกาสเป็นรถ เป็นต้น

2.2.2.3 กรอบตั้งต้นและอัตราส่วนภาพ

กรอบตั้งต้นที่เกิดขึ้นจะแทนค่านายของผลลัพธ์วัตถุที่สนใจ โดย 1 กรอบเท่ากับ 1 คำทำนายและจำนวนกรอบจะแตกต่างกันตามแต่ละชั้นของผังคุณลักษณะ โดยในแต่ละชั้นจะเกิดจำนวนกรอบตั้งต้นที่แตกต่างกัน คือ 4 หรือ 6 กรอบภายในแต่ละช่อง (Cell) ของผังคุณลักษณะ กรอบตั้งต้นที่เกิดขึ้นจำนวนมากนี้จะมีขนาดและสัดส่วนที่แตกต่างกันเพื่อให้ SSD สามารถแยกแยะผลลัพธ์ออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากวัตถุชนิดเดียวกันจะมีสัดส่วนที่คล้ายกันและวัตถุต่างชนิดกันก็จะมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน เช่น กรอบที่เกิดในแนวตั้งมีโอกาสเป็นมนุษย์ ส่วนกรอบที่เกิดในแนวนอนมีโอกาสเป็นรถ เป็นต้น ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กรอบตั้งต้นที่เกิดขึ้นในวัตถุต่างชนิดกัน [17]

เนื่องจากภายในแต่ละช่องของผังคุณลักษณะสามารถมีกรอบตั้งต้นเกิดขึ้นได้มากถึง 4 หรือ 6 ช่องและแต่ละช่องก็มีขนาดและอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังนั้น SSD จึงมีวิธีการการเลือกขนาดและอัตราส่วนภาพของกรอบตั้งต้น โดยคำนวณอัตราส่วนขนาดของกรอบตั้งต้นจากสมการที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$S_k = S_{\min} + \frac{S_{\max} - S_{\min}}{m-1} (k-1), k = [1, m] \quad (2.7)$$

เมื่อ S_k คือ อัตราส่วนขนาดของกรอบตั้งต้น

S_{\min} คือ อัตราส่วนขนาดของฟังก์ชันลักษณะชั้นล่างสุดในที่นี้ คือ ชั้น 12 มีค่าเท่ากับ 0.2

S_{\max} คือ อัตราส่วนขนาดของฟังก์ชันลักษณะชั้นสูงสุดในที่นี้ คือ ชั้น SSD_5 มีค่าเท่ากับ 0.9

m คือ จำนวนฟังก์ชันลักษณะทั้งหมดที่ใช้ในการทำนาย

และสามารถนำอัตราส่วนขนาดของกรอบตั้งต้นไปคำนวณหาขนาดความกว้างและความสูงของกรอบตั้งต้นได้จากสมการที่ 2.8 และ 2.9

$$w_k = S_k \sqrt{a_r} \quad (2.8)$$

$$h_k = \frac{S_k}{\sqrt{a_r}} \quad (2.9)$$

เมื่อ w_k คือ ความกว้างของกรอบตั้งต้น

h_k คือ ความสูงของกรอบตั้งต้น

a_r คือ อัตราส่วนภาพ มีค่าเท่ากับ $a_r = [1, 2, 3, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}]$

ในส่วนของอัตราส่วนภาพเท่ากับ 1 โมเดลจะทำการเพิ่มอัตราส่วนขนาดกรอบตั้งต้น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$S'_k = \sqrt{S_k S_k + 1} \quad (2.10)$$

จากสมการการคำนวณอัตราส่วนขนาดและภาพของกรอบตั้งต้น จะเห็นว่ากรอบตั้งต้นที่เกิดขึ้นจะมีได้มากถึง 6 กรอบต่อ 1 ช่องของฟังก์ชันลักษณะ ทำให้ SSD สามารถนำกรอบที่เกิดขึ้นมาใช้ในการทำนายและตรวจจับวัตถุ

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่ามีการเพิ่มหรือค่าทำนายเกิดขึ้นมากมาย ดังนั้น SSD จึงต้องทำการเลือกกรอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเปรียบเทียบ Ground Truth Box ซึ่งเป็นกรอบที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อใช้สำหรับการเรียนรู้ของโมเดลกับกรอบตั้งต้น (Default Bounding Box) โดยการเลือกกรอบจะทำการหาค่า IOU (Intersect Over Union) แสดงดังรูปที่ 2.14 ที่เกิดขึ้นระหว่างกรอบ Ground Truth Box กับกรอบตั้งต้น กรอบไหนที่มีค่า IOU มากกว่า 0.5 จะถูกเก็บไว้ แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยกรอบ Ground Truth Box แสดงเป็นสีน้ำเงินและกรอบตั้งต้นแสดงเป็นสีเขียว (ก) กรอบทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ข) กรอบที่มี IOU มากกว่า 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

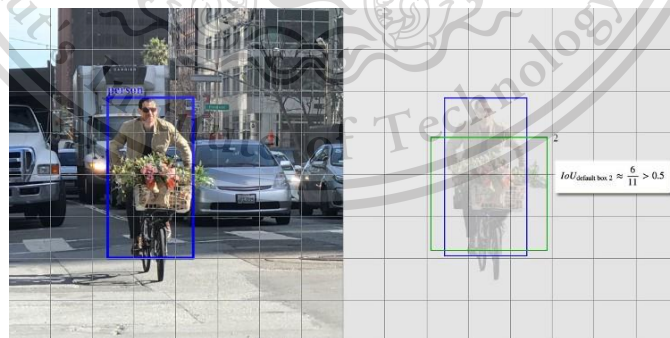
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\text{IoU} = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}}$$


รูปที่ 2.14 Intersection Over Union [18]



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 กรอบ Ground Truth Box และกรอบที่ตั้งโดยกรอบ Ground Truth Box แสดงเป็นสีน้ำเงินและกรอบที่ตั้งแสดงเป็นสีเขียว [17]

(ก) กรอบที่ตั้งทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ข) กรอบที่ตั้งที่มี IOU มากกว่า 0.5 จะถูกเก็บไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2.4 ฟังก์ชันการสูญเสีย (Loss Function)

SSD ใช้ฟังก์ชันการสูญเสียเพื่อพัฒนาโมเดลให้เรียนรู้และทำนายผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยฟังก์ชันการสูญเสียนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การสูญเสียเชิงตำแหน่ง (Localization Loss) และ การสูญเสียความมั่นใจ (Confidence Loss) โดยการสูญเสียเชิงตำแหน่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งระหว่างกรอบ Ground Truth Box กับกรอบที่ถูกทำนายโดยคำนวณจากตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปของจุดศูนย์กลาง (c_x) และ (c_y) ความกว้าง (w) และ ความสูง (h) ระหว่างกรอบตั้งต้นกับกรอบที่ถูกทำนาย ดังสมการที่ 2.11, 2.12, 2.13, 2.14 และ 2.15 ส่วนค่าการสูญเสียความมั่นใจเกิดจากการทำนายคลาสของวัตถุ การทำนายจะให้คะแนนความมั่นใจในแต่ละคลาสที่จับคู่กันถูกต้องระหว่างกรอบที่ถูกทำนายกับกรอบตั้งต้น ส่วนกรอบที่จับคู่กันไม่ถูกต้องจะถูกให้ค่าเท่ากับ 0 หรือไม่มีคลาสนั้นเอง แสดงดังสมการที่ 2.16 โดยเมื่อคำนวณทั้งการสูญเสียเชิงตำแหน่งและการสูญเสียความมั่นใจได้แล้วจะนำค่าทั้งสองตัวนี้มาคำนวณเป็นฟังก์ชันการสูญเสีย แสดงดังสมการที่ 2.17

$$L_{loc}(x, l, g) = \sum_{i \in Pos} \sum_{m \in \{cx, cy, w, h\}} x_{ij}^k \text{smooth}_{L1} \left(l_i^m - \hat{g}_j^m \right) \quad (2.11)$$

$$\hat{g}_j^{cx} = (g_j^{cx} - d_i^{cx}) / d_i^w \quad (2.12)$$

$$\hat{g}_j^{cy} = (g_j^{cy} - d_i^{cy}) / d_i^h \quad (2.13)$$

$$\hat{g}_j^w = \log \left(\frac{g_j^w}{d_i^w} \right) \quad (2.14)$$

$$\hat{g}_j^h = \log \left(\frac{g_j^h}{d_i^h} \right) \quad (2.15)$$

$$L_{conf}(x, c) = - \sum_{i \in Pos} x_{ij}^p \log \left(c_i^p \right) - \sum_{i \in Neg} \log \left(c_i^0 \right) \quad (2.16)$$

$$\text{เมื่อ } c_i^p = \frac{\exp(c_i^p)}{\sum_p \exp(c_i^p)}$$

$$L(x, c, l, g) = \frac{1}{N} (L_{conf}(x, c) + \alpha L_{loc}(x, l, g)) \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยที่	N	คือ จำนวนกรอบที่จับคู่กันระหว่างกรอบที่ถูกทำนายกับกรอบตั้งต้น
	α	คือ น้ำหนักของการสูญเสียเชิงตำแหน่ง
	l	คือ กรอบ
	g	คือ Ground Truth Box
	d	คือ กรอบตั้งต้น
	cx	คือ จุดศูนย์กลางตามแนวแกนนอนของกรอบ
	cy	คือ จุดศูนย์กลางตามแนวแกนตั้งของกรอบ
	w	คือ ความกว้างของกรอบ
	h	คือ ความสูงของกรอบ
	x	คือ Softmax Loss
	c	คือ ค่าความมั่นใจในแต่ละคลาส

ในการทำนายนั้น กรอบที่เกิดขึ้นอาจมีมากกว่ากรอบเดี่ยวก็ได้ ซึ่งหมายความว่าอาจจะมีกรอบที่มีค่า IOU มากกว่า 0.5 อยู่หลายกรอบ ดังนั้น Non Maximum Suppression ถูกนำมาใช้เพื่อลดจำนวนกรอบที่เกิดขึ้นลงให้เหลือเพียงกรอบเดี่ยวต่อหนึ่งวัตถุ โดยจะทำการเลือกค่าการทำนายมากที่สุดเท่านั้นจะถูกเก็บ แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Non Maximum Suppression [19]

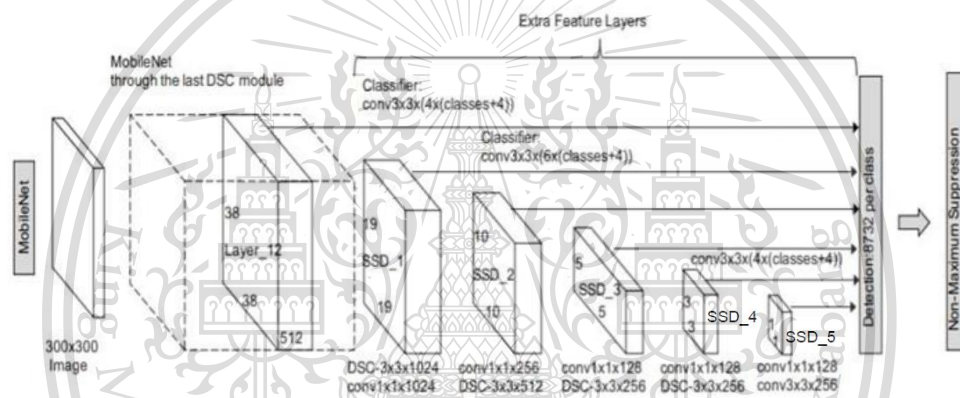
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3 สถาปัตยกรรม Mobilenet SSD

ในโครงข่ายสถาปัตยกรรมแบบ Mobilenet SSD แสดงดังรูปที่ 2.17 ถูกแบ่งเป็นสองส่วนหลักๆ คือ ขั้นตอนการแยกฝังคุณลักษณะและการตรวจจับวัตถุโดยใช้คอนโวลูชันฟิลเตอร์ ผู้จัดทำเลือกโครงข่ายฐานเป็น Mobilenet มาใช้ในการแยกฝังคุณลักษณะ เนื่องจาก Mobilenet เป็นโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันที่สามารถประมวลได้รวดเร็ว เหมาะสำหรับการทำงานแบบเรียลไทม์เมื่อเทียบกับ VGG-16 หรือ Resnet เป็นต้น โดย Mobilenet ใช้ Depthwise Separable Convolution ในการแยกฝังคุณลักษณะ การใช้ Depthwise Separable Convolution นี้เอง ทำให้สามารถลดพารามิเตอร์ในการประมวลผลที่เกิดขึ้นภายในโครงข่ายได้มากขึ้น ดังนั้น Mobilenet จึงเหมาะสมที่จะถูกนำมาใช้งานในอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรในการประมวลที่จำกัด หลังจากโครงข่ายฐานแล้วจะตามด้วย SSD ซึ่งทำหน้าที่ในการตรวจจับวัตถุ



รูปที่ 2.17 สถาปัตยกรรม Mobilenet SSD [20]

จากรูปที่ 2.17 ภาพตั้งต้นขนาด 300×300 พิกเซล ถูกผ่านเข้าไปยังสถาปัตยกรรมโครงข่าย Mobilenet เพื่อทำการคัดแยกฝังคุณลักษณะออกมาโดยใช้ตัวกรอง Depthwise Separable Convolution ชั้นแรกที่เริ่มผลิตค่าทำนายสำหรับการตรวจจับวัตถุ คือ ชั้น conv_12 เป็นชั้นแรกที่เริ่มมีการสร้างกรอบเพื่อผลิตค่าทำนายสำหรับการตรวจจับวัตถุโดยใช้คอนโวลูชันฟิลเตอร์คอนโวลูชันไปที่ฝังคุณลักษณะเพื่อสร้างกรอบและผลิตค่าทำนาย ในแต่ละช่องของฝังคุณลักษณะจะประกอบไปด้วยกรอบ (Bounding Box) ทั้งหมด 4 กรอบแทน 4 ค่าทำนายและช่องที่ไม่มีวัตถุที่สนใจจะถูกกำหนดเป็น 0 นอกจากนี้ โครงข่ายฐาน Mobilenet จะลดชั้นพูลลิ่งค่าเฉลี่ย ชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ และชั้นซอฟต์แวร์แมกซ์ลง เนื่องจากโมเดลยังไม่ได้ทำการจำแนกวัตถุในขั้นตอนนี้ แต่จะส่งต่อให้ SSD รับหน้าที่นี้ไป ดังนั้นหลังจากโครงข่ายฐาน Mobilenet จะตามด้วย SSD โดย SSD จะทำการเพิ่มชั้นฝังคุณลักษณะขึ้นมาอีก 5 ชั้น โดยมีขนาดความละเอียดของฝังคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ใช้ในการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดต่างกัน โดยวัตถุขนาดเล็ก เช่น ขอบหรือเส้น จะถูกตรวจจับโดยฝังคุณลักษณะที่มีความละเอียดสูง ส่วนวัตถุที่มีขนาดใหญ่จะถูกตรวจจับโดยฝังคุณลักษณะที่มีความละเอียดต่ำ ความละเอียดที่แตกต่างกันของฝังคุณลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น มิยณผู้ยู่เห็นเห็นไปใช้โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



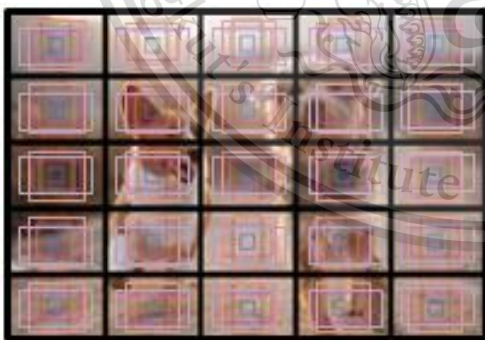
(ข)

รูปที่ 2.18 ขนาดความละเอียดของฟังก์ชันลักษณะในแต่ละชั้นที่ต่างกัน [21]

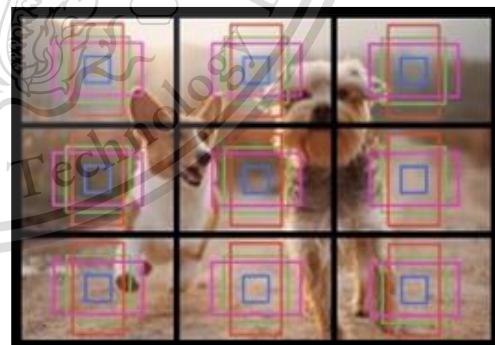
(ก) ฟังก์ชันลักษณะที่มีความละเอียด 5×5 ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก

(ข) ฟังก์ชันลักษณะที่มีความละเอียด 3×3 ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุขนาดใหญ่

SSD จะทำการใช้คอนโวลูชันฟิลเตอร์คอนโวลูชันไปที่ฟังก์ชันลักษณะเพื่อสร้างกรอบและผลิตคำทำนาย ในแต่ละช่องของฟังก์ชันลักษณะก็จะประกอบไปด้วยกรอบตั้งต้นที่ใช้แทนคำทำนาย จากรูปที่ 2.17 SSD_1, SSD_2, SSD_3 จะเกิดกรอบตั้งต้นทั้งหมด 6 กรอบในแต่ละช่องของฟังก์ชันลักษณะ ส่วนชั้นที่ SSD_4, SSD_5 จะเกิดกรอบทั้งหมด 4 กรอบในแต่ละช่องของฟังก์ชันลักษณะ กรอบตั้งต้นที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องของฟังก์ชันลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.19 กรอบตั้งต้นที่มีหลากหลายขนาดนี้ จะถูกใช้ในการตรวจจับวัตถุที่มีรูปร่างที่ต่างกัน โดยขนาดของตัวกรองและฟังก์ชันลักษณะในแต่ละชั้นจะถูกแจกแจงอย่างละเอียดแสดงในตารางที่ 2.2 จากชั้นที่เพิ่มขึ้นมานี้ทำให้ได้ผลลัพธ์กรอบการทำนายที่เพิ่มมากขึ้น จึงเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้าย คือ Non-Maximum Suppression เพื่อลดกรอบการทำนายลงให้เหลือเพียง 1 กรอบต่อ 1 วัตถุ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.19 ขนาดความละเอียดของฟังก์ชันลักษณะและจำนวนกรอบตั้งต้นในแต่ละชั้นที่ต่างกัน [21]

(ก) ฟังก์ชันลักษณะที่ความละเอียด 5×5 ในชั้น SSD_3 ประกอบด้วยกรอบตั้งต้น 6 กรอบต่อ 1 ช่อง

(ข) ฟังก์ชันลักษณะที่ความละเอียด 3×3 ในชั้น SSD_4 ประกอบด้วยกรอบตั้งต้น 4 กรอบต่อ 1 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 ขนาดของตัวกรองคอนโวลูชันและฟังก์ชันลักษณะ
ในสถาปัตยกรรม Mobilenet SSD [22]

Type/Stride	Filter Shape	Input Size	
Conv / s2	3 × 3 × 3 × 32	300 × 300 × 3	
Conv dw / s1	3 × 3 × 32	150 × 150 × 32	
Conv / s1	1 × 1 × 32 × 64	150 × 150 × 32	
Conv dw / s2	3 × 3 × 64	150 × 150 × 64	
Conv / s1	1 × 1 × 64 × 128	75 × 75 × 64	
Conv dw / s1	3 × 3 × 128	75 × 75 × 128	
Conv / s1	1 × 1 × 128 × 128	75 × 75 × 128	
Conv dw / s2	3 × 3 × 128	75 × 75 × 128	
Conv / s1	1 × 1 × 128 × 256	38 × 38 × 128	
Conv dw / s1	3 × 3 × 256	38 × 38 × 256	
Conv / s1	1 × 1 × 256 × 512	38 × 38 × 256	
Conv dw / s1	3 × 3 × 512	38 × 38 × 512	
Conv / s1	1 × 1 × 512 × 512	38 × 38 × 512	
5 ×	Conv dw / s1	3 × 3 × 512	38 × 38 × 512
	Conv / s1	1 × 1 × 512 × 512	38 × 38 × 512
Conv / s2	3 × 3 × 512 × 1024	38 × 38 × 512	
Conv / s1	1 × 1 × 1024 × 1024	19 × 19 × 1024	
Conv / s1	1 × 1 × 1024 × 256	19 × 19 × 1024	
Conv / s2	3 × 3 × 256 × 512	19 × 19 × 256	
Conv / s1	1 × 1 × 512 × 128	10 × 10 × 512	
Conv / s2	3 × 3 × 128 × 256	10 × 10 × 128	
Conv / s1	1 × 1 × 256 × 128	5 × 5 × 256	
Conv / s2	3 × 3 × 128 × 256	5 × 5 × 128	
Conv / s1	1 × 1 × 256 × 128	3 × 3 × 256	
Conv / s1	3 × 3 × 128 × 256	3 × 3 × 128	
Conv / s1	1 × 1 × 256 × 128	1 × 1 × 256	
Conv / s1	3 × 3 × 128 × 256	1 × 1 × 128	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.4 Caffe Model

Caffe Model แสดงดังรูปที่ 2.20 เป็นเฟรมเวิร์ค (Framework) การเรียนรู้เชิงลึกที่ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษา C++ และสามารถใช้งานร่วมกับภาษาไพธอน (Python) และแมทแล็บ (Matlab) ได้ โดย Caffe สนับสนุนสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกประเภทต่างๆมากมายที่มุ่งเน้นไปที่การจำแนกประเภทวัตถุและการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

Caffe

รูปที่ 2.20 เฟรมเวิร์ค Caffe Model [23]

2.3 อัลกอริทึมติดตามวัตถุ (Object Tracking Algorithm)

อัลกอริทึมติดตามวัตถุจะทำหน้าที่ในการติดตามตำแหน่งของวัตถุ รวมถึงเก็บค่าตำแหน่งของวัตถุ รวมถึงนำตำแหน่งที่ได้มาทำนายทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยอัลกอริทึมในการติดตามวัตถุมีหลายวิธีที่ใช้กันในปัจจุบัน แต่ในปฏิญานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วิธี Correlation Tracker ซึ่งข้อดี คือ สามารถติดตามวัตถุได้อย่างแม่นยำทั้งในกรณีการเคลื่อนที่ของวัตถุและการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุ นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานแบบเรียลไทม์ได้

2.3.1 Discriminative Correlation Filters

Discriminative Correlation Filters ถูกใช้สำหรับระบุตำแหน่งของเป้าหมายในเฟรมถัดไปโดยการประมาณการการเคลื่อนที่วัตถุ แสดงดังสมการที่ 2.18 ซึ่งจะใช้พื้นที่สี่เหลี่ยม (patch) ภาพระดับสีเทาที่มีจำนวนตั้งแต่ f_1, f_2, \dots, f_t ของวัตถุเป้าหมายในการเป็นตัวอย่งการเรียนรู้ (training sample) และตัวอย่างการเรียนรู้เหล่านี้จะถูกเลเบลด้วยค่าผลลัพธ์สหสัมพันธ์ (correlation) ตั้งแต่ g_1, g_2, \dots, g_t จากฟิลเตอร์

$$\varepsilon = \sum_{j=1}^t \|h_t * f_j - g_j\|^2 = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^t \|\bar{H}_t F_j - G_j\|^2 \quad (2.18)$$

โดยที่ h_t คือ Correlation Filter ที่เหมาะสมที่สุด
 t คือ ชั้นเวลาในการเลื่อน
 $*$ คือ Circular Correlation
 $h_t f_j$ และ g_j มีขนาดเท่ากับ $M \times N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สมการที่ 2.19 ได้มาจากอัตลักษณ์ของพาเซวอล (Parseval's identity) โดยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์ที่ผ่านการทำ Discrete Fourier Transforms บาร์ที่อยู่ข้างบนแสดงถึงการถูกทำคอนจูเกตเชิงซ้อน (Complex Conjugate) และสุดท้ายผลลัพธ์การคูณคือ Point-Wise ดังนั้นสมการที่ 2.18 จะถูกทำให้อยู่ในรูปร่างง่ายเป็นสมการที่ 2.19

$$H_t = \frac{\sum_{j=1}^t \bar{G}_j F_j}{\sum_{j=1}^t \bar{F}_j F_j} \quad (2.19)$$

ผลลัพธ์ค่าสหสัมพันธ์ที่ต้องการ g_j จะถูกทำให้อยู่ในรูปเกาส์เซียนฟังก์ชันที่มีจุดสูงสุดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของ f_j ในทางปฏิบัติตัวเลขและตัวเลขส่วนของ H_t ในสมการที่ 2.19 จะถูกอัปเดตแยกกันโดยใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก

$$y = \text{DFT}^{-1} \{ \bar{H}_t Z \} \quad (2.20)$$

กำหนดให้ z คือ พื้นที่สี่เหลี่ยมของภาพในเฟรมถัดไปที่มีขนาดเท่ากับ $M \times N$ และ y คือค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.20 และ DFT^{-1} คือ Inverse Discrete Fourier Transform ซึ่งตำแหน่งเป้าหมายถัดไปจะถูกประมาณค่าการโดยเลือกจากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด

2.3.2 Discriminative Correlation Filters for Multidimensional Features

Multidimensional Features ถูกพัฒนามาจาก Discriminative Correlation Filters เพื่อการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การติดตามวัตถุ การตรวจจับวัตถุ และจัดแนววัตถุ เป็นต้น การทำงานจากใช้การแยกคุณลักษณะโดยใช้วิธี HOG (Histogram of Oriented Gradients) ฟิเตอร์ 1 มิติ ใช้สำหรับประมาณค่าขนาดของวัตถุ ฟิเตอร์ 2 มิติ สำหรับการเลื่อนของวัตถุ และฟิเตอร์ 3 มิติสำหรับการระบุตำแหน่งเป้าหมาย โดยเมื่อเราทำการพิจารณาแผนผังคุณลักษณะของสัญญาณที่มีมิติตั้งแต่ $l = \{1 \text{ ถึง } d\}$ เพื่อทำการหา Correlation Filter ที่เหมาะสมที่สุดแสดงดังสมการที่ 2.21

$$\varepsilon = \left\| \sum_{l=1}^d h^l * f^l - g \right\|^2 + \lambda \sum_{l=1}^d \|h^l\|^2 \quad (2.21)$$

โดยที่ f คือ พื้นที่สี่เหลี่ยมของเป้าหมายที่ได้จากการแยกแผนผังคุณลักษณะ

h คือ Correlation Filter

g คือ ผลลัพธ์ค่าสหสัมพันธ์สัมพันธ์กับพื้นที่สี่เหลี่ยมเป้าหมาย f

λ คือ ค่าน้ำหนักโดยให้ $\lambda \geq 0$

และจะได้ผลลัพธ์ของสมการที่ 2.21 ตามสมการที่ 2.22 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$H^l = \frac{\bar{G}F^l}{\sum_{k=1}^d \bar{F}^k F^k + \lambda} \quad (2.22)$$

โดยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์ที่ผ่านการทำ Discrete Fourier Transforms เรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นทำการแยกตัวเศษและตัวส่วนของสมการที่ 2.22 ออกจากกัน โดยใช้ Learning Rate ที่มีค่าเท่ากับ η ตัวเศษแสดงดังสมการที่ 2.23 และตัวส่วนแสดงดังสมการที่ 2.24

$$A_t^l = (1 - \eta)A_{t-1}^l + \eta \bar{G}_t F_t^l \quad (2.23)$$

$$B_t = (1 - \eta)B_{t-1} + \eta \sum_{k=1}^d \bar{F}_t^k F_t^k \quad (2.24)$$

ในการหาตำแหน่งใหม่ของวัตถุเป้าหมายในเฟรมถัดไป จะทำการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแต่ละพื้นที่ที่เลื่อนในเฟรมถัดๆไปและทำการเลือกค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด ค่าสหสัมพันธ์ของพื้นที่ที่เลื่อนในเฟรมถัดไปจะถูกคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.25 ดังนั้นสถานะเป้าหมายใหม่จะถูกเลือกจากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด

$$y = \text{DFT}^{-1} \left\{ \frac{\sum_{l=1}^d \bar{A}^l Z^l}{B + \lambda} \right\} \quad (2.25)$$

กำหนดให้ y = ค่าสหสัมพันธ์ และ z = พื้นที่ที่เลื่อนในเฟรมถัดไป ในส่วนของ A คือตัวเศษที่ในสมการที่ 2.23 ที่แยกได้จากฟิลเตอร์ในสมการที่ 2.23 และ B คือ ตัวเศษที่ในสมการที่ 2.24 ที่แยกได้จากฟิลเตอร์ในสมการที่ 2.25

ดังนั้นแล้วเราใช้การแยกคุณลักษณะโดยใช้ HOG สำหรับการประมาณค่าการเลื่อนของวัตถุ และทำการเทรนฟิลเตอร์โดยแยกคุณลักษณะของฟังก์ชันคุณลักษณะในเฟรมปัจจุบัน ในที่นี้แทนด้วยฟังก์ชันคุณลักษณะ f และฟิลเตอร์ h ก็จะถูกอัปเดตใหม่โดยใช้สมการที่ 2.23 และ สมการที่ 2.24 หลังจากนั้นจะทำการประมาณค่าตำแหน่งใหม่ในเฟรมถัดไป โดยการแยกคุณลักษณะฟังก์ชันคุณลักษณะในเฟรมถัดไป หรือในที่นี้แทนด้วยฟังก์ชันคุณลักษณะ z โดยเลือกจากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุดซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.25

2.4 ระบบการประมวลผลแบบ Cloud Computing

ระบบการให้บริการระบบประมวลผลแบบ Cloud Computing คือ การที่ให้ผู้ให้บริการจัดตั้งระบบเซิร์ฟเวอร์ (Server) ขึ้นมาเพื่อให้ลูกค้าใช้บริการจัดเก็บและจัดการข้อมูล การให้บริการ Cloud Computing มีรูปแบบการให้บริการที่หลากหลาย โดยผู้จัดทำได้เลือกใช้บริการการจัดเก็บข้อมูลบน Cloud หรือที่เรียกว่า Database-as-a-Service (DBaaS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1 Database-as-a-Service (DBaaS)

เป็นรูปแบบการให้บริการอย่างหนึ่งของระบบการประมวลผลแบบ Cloud Computing โดยผู้ให้บริการสามารถเข้าถึงระบบฐานข้อมูลของผู้ให้บริการได้โดยไม่ต้องซื้อ ติดตั้ง จัดการ และทำการตั้งค่าอุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์หรือระบบฐานข้อมูล ผู้ให้บริการจะดูแลระบบ ฐานข้อมูลเองทั้งหมด ทำให้มั่นใจได้ว่าระบบฐานข้อมูลที่เราใช้งานจะพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา ข้อดีสำหรับการใช้บริการระบบฐานข้อมูลแบบ Cloud มีดังนี้

1. ประหยัดค่าใช้จ่าย ผู้ให้บริการสามารถเลือกให้บริการระบบฐานข้อมูลได้ตาม ต้องการและจ่ายค่าใช้จ่ายตามจำนวนทรัพยากรที่ใช้ไปจริง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อและ ติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการทำนุบำรุงระบบเซิร์ฟเวอร์อีกด้วย
2. ยืดหยุ่นสูง ผู้ให้บริการสามารถเพิ่มและลดจำนวนทรัพยากรได้ตามต้องการ
3. ใช้งานง่าย การสร้างระบบฐานข้อมูลส่วนตัวจำเป็นต้องมีการดูแลและจัดการ หลายอย่าง เช่น ต้องมีศูนย์ข้อมูล มีบุคลากรในการดูแล และจำเป็นต้องมีการดูแลทางกายภาพด้วย การใช้บริการระบบฐานข้อมูล Cloud ผู้ให้บริการจะทำการดูแลจัดการระบบฐานข้อมูลทั้งหมดให้
4. มีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยทั่วไปผู้ให้บริการจะมีนโยบายรักษา ความปลอดภัยของข้อมูลที่สูงและหลากหลาย ทำให้ผู้บริการมั่นใจได้ว่าข้อมูลที่เก็บไว้ใน ระบบฐานข้อมูลจะเป็นความลับ ผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้นโยบายรักษาความปลอดภัยตามที่ ตัวเองต้องการได้

2.4.2 Firebase

Firebase แสดงดังรูปที่ 2.21 เป็นบริการ Backend และ Platform ครบวงจรสำหรับ นักพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์บนเว็บแพลตฟอร์มที่มีเครื่องมือและโครงสร้าง พื้นฐานที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้างแอปพลิเคชันที่มีคุณภาพสูงได้

ซึ่งการออกแบบได้ถูกออกแบบมาให้เป็น API และ Cloud Storage สำหรับพัฒนา Realtime Application สามารถรองรับหลาย Platform เบื้องต้นก็มีให้ใช้พัฒนาด้วยกัน 3 Platform คือ IOS App, Android App, Web App



รูปที่ 2.21 Firebase [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2.1 Firebase Cloud Firestore

Firebase Cloud Firestore แสดงดังรูปที่ 2.22 ซึ่งเป็นบริการในการจัดเก็บข้อมูลของทางไฟร์เบส โดยเป็นฐานข้อมูลแบบ Nosql ที่มีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลง่ายและไม่ซับซ้อน สามารถกำหนดชนิดของข้อมูลได้ เช่น ตัวเลขหรือข้อความ รองรับการขยายข้อมูลได้ดี สามารถร้องขอ (Query) ข้อมูลและนำมาใช้การแสดงผลเป็น Dashboard ได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้งานร่วมกับบริการอื่นๆได้ เช่น Firebase Cloud Messaging, Firebase Web Hosting และ Firebase Authentication เป็นต้น



รูปที่ 2.22 Firebase Cloud Firestore [25]

2.5 หน้าจอผู้ใช้งาน (User Interface)

User Interface คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานกับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานโปรแกรมได้ง่ายและมีความสวยงาม เช่น หน้าจอ สี รูปภาพ ตัวอักษร แสง และเสียง

2.5.1 Django

Django แสดงดังรูปที่ 2.23 เป็นเฟรมเวิร์ค (Framework) ที่ใช้สำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ที่จัดอยู่ในฝั่งระบบจัดการเว็บไซต์ (Back-End) คือเป็นส่วนที่จัดการโครงสร้างของเว็บไซต์และเนื้อหาที่ใช้ภาษาไพธอน (Python) ในการเขียนและพัฒนา ซึ่งในตัวโปรแกรมจะมีตั้งแต่การเชื่อมต่อฐานข้อมูล (Database) รวมถึงการแสดงผลข้อมูลออกมาในฝั่งระบบติดต่อผู้ใช้ (Front-End) โดย Django ได้รับการออกแบบมาเพื่อนักพัฒนาให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว มีความปลอดภัย ช่วยให้นักพัฒนาสามารถหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดด้านความปลอดภัย นอกจากนี้เว็บไซต์ที่ถูกสร้างขึ้นมายังมีรวดเร็วและยืดหยุ่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.23 เฟรมเวิร์ค Django [26]

2.5.2 Bootstrap

Bootstrap แสดงดังรูปที่ 2.24 เป็น Framework ในฝั่ง Front-End ซึ่งรวมทั้ง CSS, HTML และ JavaScript ไว้ด้วยกัน สำหรับสร้าง Web Application ซึ่งสามารถใช้งานได้ง่ายจากการเรียกใช้งาน มีความทันสมัย สวยงามรวมทั้งสามารถใช้ได้กับเบราว์เซอร์ (Browser) เกือบทุกรูปแบบ



รูปที่ 2.24 เฟรมเวิร์ค Bootstrap [27]

2.5.3 jQuery

jQuery แสดงดังรูปที่ 2.25 เป็นไลบรารี (Library) ของ JavaScript ซึ่งช่วยให้การเขียน JavaScript ทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากได้ทำการรวบรวมฟังก์ชัน (Function) ต่างๆไว้ให้แล้ว



รูปที่ 2.25 ไลบรารี jQuery [28]

2.5.4 Chart JS

Chart JS แสดงดังรูปที่ 2.26 เป็นไลบรารี (Library) ของ JavaScript ที่ช่วยในการสร้างแผนภูมิในรูปแบบต่างๆ เช่น แผนภูมิแท่ง แผนภูมิเส้น แผนภูมิวงกลม เป็นต้น สามารถนำมาใช้งานร่วมกับ Bootstrap ได้ ทำให้การแสดงผลของข้อมูลมีความน่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

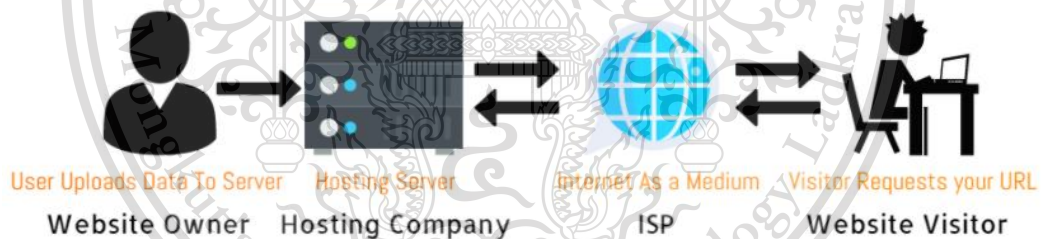


Chart.js

รูปที่ 2.26 ไลบรารี Chart JS [29]

2.6 เว็บโฮสติ้ง (Web Hosting)

เว็บโฮสติ้งแสดงดังรูปที่ 2.27 คือ รูปแบบการให้บริการทางอินเทอร์เน็ตที่ให้คุณคนทั่วไปหรือองค์กรสร้างการเข้าถึงเว็บไซต์ของตัวเองผ่านเว็ลด์ไวด์เว็บ (World Wide Web) ซึ่งทำให้ผู้คนจากทั่วทุกมุมโลกสามารถเข้าถึงเว็บไซต์ของคุณหรือองค์กรนั้นๆ ได้ โดยผู้ให้บริการหรือเรียกว่า เว็บโฮสต์ (Web Host) จะให้บริการเช่าพื้นที่เซิร์ฟเวอร์และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตให้แก่ผู้ใช้บริการ ในปัจจุบันมีผู้ให้บริการเว็บโฮสต์หลายบริษัท เช่น Blueshot, Netlify, Network Solutions, Firebase Hosting, Hostinger, Github Pages, Amazon Web Service, Now, Surge.Sh หรือ Heroku เป็นต้น



รูปที่ 2.27 การเชื่อมต่อระหว่างเว็บโฮสติ้ง อินเทอร์เน็ต และผู้ใช้บริการเว็บไซต์ [30]

2.6.1 ประเภทของเว็บโฮสติ้ง

เว็บโฮสติ้งโดยทั่วไปสามารถแบ่งตามการใช้งานออกเป็น 4 ประเภทหลักๆ ดังนี้

2.6.1.1 Shared Hosting

Shared Hosting คือ การให้บริการโฮสติ้งแบบใช้ทรัพยากร เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit), ความกว้างแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth), ฐานข้อมูล (Database) , ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) และ หน่วยความจำหลัก (Random Access Memory) เป็นต้น ร่วมกันและทรัพยากรจะถูกแบ่งอย่างเท่าๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยทั่วไปแล้วเซิร์ฟเวอร์ 1 ตัวจะรองรับเว็บไซต์ประมาณ 500 ถึง 1,000 เว็บไซต์ ซึ่งข้อดีของบริการรูปแบบนี้ คือ ประหยัดค่าใช้จ่าย ปราศจากการโจมตีแบบ DDOS ใช้งานง่ายไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีในการจัดการ ทำให้ Shared Hosting เหมาะสำหรับธุรกิจขนาดเล็กหรือผู้ที่เริ่มสร้างเว็บไซต์ แต่อย่างไรก็มีข้อเสียอยู่ คือ ไม่สามารถดูแลหรือควบคุมสั่งการเครื่องเซิร์ฟเวอร์ได้เองและเมื่อเว็บไซต์มีการใช้งานมากขึ้นหรือมีบัญชีผู้ใช้งานมากขึ้น จะประสบปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรและได้รับข้อผิดพลาด เช่น ความกว้างแถบคลื่นความถี่เกินขีดจำกัด แพ้มข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อเก็บโครงสร้างข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์เกินขีดจำกัด เป็นต้น โดยตัวอย่างผู้ให้บริการแบบ Shared Hosting เช่น Blueshot, Ipage เป็นต้น

2.6.1.2 Virtual Private Server

Virtual Private Server จะถูกแบ่งผู้ใช้งานออกเป็น 5-10 บัญชีหรืออาจจะมากกว่านั้นตามแต่การตั้งค่าของเซิร์ฟเวอร์ ทรัพยากรเซิร์ฟเวอร์จะไม่ถูกใช้งานร่วมกันทุกส่วน โดยทรัพยากรที่ใช้ร่วมกันจะมีเพียงแค่ความจำและหน่วยประมวลผลกลางเท่านั้น ดังนั้นข้อแตกต่างระหว่าง Virtual Private Server กับ Shared Hosting คือ Virtual Private Server จะมีผู้ให้บริการร่วมกันน้อยกว่า Shared Hosting เป็นผลให้ Virtual Private Server มีความยืดหยุ่นมากกว่า ทรัพยากรมีประสิทธิภาพมากกว่า รวมถึงมี Root Access ทำให้ผู้ใช้บริการมีสิทธิ์ในการใช้คำสั่งรวมถึงเข้าถึงเครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อที่ผู้ใช้บริการสามารถติดตั้งแอปพลิเคชันได้ตามต้องการ ซึ่งจะแลกมาด้วยราคาที่ค่อนข้างสูง ทำให้ Virtual Private Server เหมาะกับธุรกิจขนาดกลาง โดยมีตัวอย่างผู้ให้บริการเว็บโฮสต์แบบ Virtual Private Server คือ AWS Direct Connect, Amazon Lightsail, DigitalOcean, cPanel เป็นต้น

2.6.1.3 Dedicated Server

Dedicated Server จะมีเพียงแต่ผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวเป็นเจ้าของเซิร์ฟเวอร์นั้น ซึ่งผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงและควบคุมเซิร์ฟเวอร์ของตัวเองได้ทั้งหมดแต่จะต้องรับผิดชอบซ่อมแซมและดูแลเซิร์ฟเวอร์ของตัวเอง ข้อดีของ Dedicated Server คือ มีประสิทธิภาพที่ทนทาน เสถียรและมีทรัพยากรในการใช้งานที่มากเพียงพอ รวมถึงไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมดูแลตลอดเวลา เนื่องจากผู้ให้บริการจะคอยดูแลบำรุงรักษาเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้ แต่ข้อเสีย คือ ราคาที่สูงมาก ตัวอย่างผู้ให้บริการเว็บโฮสต์แบบ Dedicated Server เช่น Liquid Web, Bluehost, DreamHost เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.1.4 Cloud Server

Cloud Server เป็นรูปแบบบริการที่เกิดขึ้นใหม่และเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน โดยจะมีลักษณะคล้าย Virtual Private Server คือมีการแบ่งใช้ทรัพยากรร่วมกันแต่สามารถที่จะตั้งค่า ใช้คำสั่ง รวมถึงเข้าถึงทรัพยากรของตนเองได้โดยไม่ผูกติดกับผู้อื่น และเว็บไซต์ของเราไม่ได้ถูกเก็บและผูกติดอยู่ในเซิร์ฟเวอร์เครื่องเดียว แต่จะกระจายอยู่ตามเซิร์ฟเวอร์เครื่องต่างๆที่ทำงานร่วมกัน ดังนั้น เมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับเซิร์ฟเวอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งเว็บไซต์ของเราก็ยังสามารถเข้าถึงและทำงานได้ตามปกติจากการประมวลผลของเซิร์ฟเวอร์เครื่องอื่นๆแทน และมีจุดเด่นที่สำคัญ คือ การเสียค่าใช้จ่ายเท่าแค่นี้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องกังวลเรื่องค่าใช้จ่ายที่มากเกินไป เนื่องจาก ผู้ใช้บริการสามารถจัดสรรทรัพยากรได้ตามต้องการและในขณะเดียวกันทรัพยากรที่จัดสรรก็ไม่ได้ใช้งานร่วมกับผู้อื่น เสมือนเป็น Dedicated Server แต่ก็ไม่จำเป็นต้องกังวลเกี่ยวกับปัญหาความล้มเหลวของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เหมือน Dedicated Server ทำให้ Cloud Server มีข้อดีคือ ประหยัด รวดเร็ว และรวมถึงปลอดภัยด้วย ตัวอย่างผู้ให้บริการเว็บโฮสติ้งแบบ Cloud Server เช่น Firebase Hosting, Amazon Web Service และ Heroku เป็นต้น

2.6.2 Heroku

Heroku แสดงดังรูปที่ 2.28 เป็นผู้ให้บริการด้าน Cloud และแพลตฟอร์มการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ซึ่งอำนวยความสะดวกให้สามารถฝากเว็บไซต์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องกังวลเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐาน เพราะ Heroku จะจัดการให้เองโดยอัตโนมัติ ทำให้ Heroku เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน นอกจากนี้ยังมีส่วนเสริมการให้บริการต่างๆ เช่น การแจ้งเตือนการบริการรักษาความปลอดภัยเว็บไซต์ เครื่องมือวิเคราะห์การตรวจสอบแคชและการส่งอีเมล เป็นต้น และส่วนเสริมด้านเครือข่าย



รูปที่ 2.28 Heroku [31]

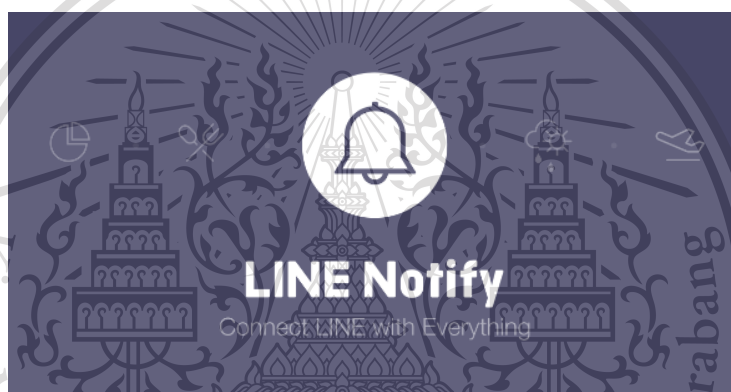
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน

ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีที่ใช้ในการส่งข้อมูลแจ้งเตือน เช่น การแจ้งเตือนผ่านจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน และ การแจ้งเตือนผ่าน push notification เป็นต้น ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาหาวิธีการแจ้งเตือนในรูปแบบต่างๆ และพบว่าการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานกับระบบตรวจนับจำนวนคน โดยการใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วยปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจาก เป็นแอปพลิเคชันที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายและเข้าถึงผู้คนได้ทุกช่วงวัย รวมถึงเป็นแอปพลิเคชันที่มีความนิยมใช้งานสูงในปัจจุบัน ผู้จัดทำจึงเลือกการแจ้งเตือนผ่านบริการ Line Notify แสดงดังรูปที่ 2.29 มาเป็นส่วนหนึ่งในการแจ้งเตือนของระบบตรวจนับจำนวนคนเมื่อมีผู้คนเกินข้อกำหนดการควบคุมภายในอาคาร



รูปที่ 2.29 บริการ Line Notify ของแอปพลิเคชัน Line [32]

Line Notify เป็นบริการเสริมจากแอปพลิเคชัน Line เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับข้อความและรูปภาพแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line ได้ โดยผู้ใช้งานจำเป็นต้องยืนยันตัวตนโดยใช้บัญชีผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน Line เพื่อขอรับ token สำหรับใช้ในการแจ้งเตือนผ่านบัญชีผู้ใช้ที่ได้ทำการยืนยันตัวตนไว้ การแจ้งเตือนจะใช้โปรโตคอล HTTP และใช้คำสั่ง POST ในการส่งแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งาน กับคำสั่ง GET ในการตรวจสอบสถานะเชื่อมต่อของผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8 ข้อกำหนดการควบคุมการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา

จุดประสงค์หลักของการทำระบบตรวจนับจำนวนคนโดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วยปัญญาประดิษฐ์ คือ การควบคุมการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา ดังนั้นจึงมีการจัดทำการแจ้งเตือนจำนวนคนภายในอาคารขึ้นมาเพื่อลดการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสดังกล่าว ผู้จัดทำจึงทำการศึกษาข้อกำหนดการกำหนดจำนวนคนภายในอาคารสถานที่ที่ออกโดยรัฐบาล พบว่าข้อกำหนดออกตามความในมาตรา 9 แห่งพระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉิน พ.ศ.2548 (ฉบับที่ 18) [33] ออกเมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ.2564 ระบุว่า “การใช้อาคารหรือสถานที่ของโรงเรียนและสถาบันการศึกษา ให้โรงเรียนและสถาบันการศึกษาทุกประเภท ยกเว้นที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ควบคุมสูงสุดและเข้มงวด สามารถใช้อาคารหรือสถานที่เพื่อการจัดการเรียนการสอน การสอบ การฝึกอบรม หรือการทำกิจกรรมใดๆได้ตามความเหมาะสมและความพร้อม โดยรูปแบบของการดำเนินการให้เป็นไปตามแนวทางการจัดระเบียบและระบบต่างๆ คำแนะนำของทางราชการ และมาตรการป้องกันโรคที่ทางราชการกำหนดภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงศึกษาธิการ กระทรวงการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ร่วมกับกระทรวงสาธารณสุข” หลังจากนั้นผู้จัดทำจึงค้นหามาตรการอื่นๆที่เกี่ยวข้องพบว่าศูนย์บริหารสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (ศบค.) กำหนดให้ควบคุมจำนวนผู้เข้าร่วมกิจกรรมมิให้แออัด (กรณีห้องปรับอากาศให้คิดจำนวนผู้เข้าร่วมกิจกรรม ตามขนาดพื้นที่ห้อง เกณฑ์ไม่น้อยกว่า 4 ตารางเมตรต่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม 1 คน) ดังนั้น ผู้จัดทำจึงกำหนดให้พื้นที่ 4 ตารางเมตร จะมีผู้คนได้ 1 คน [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

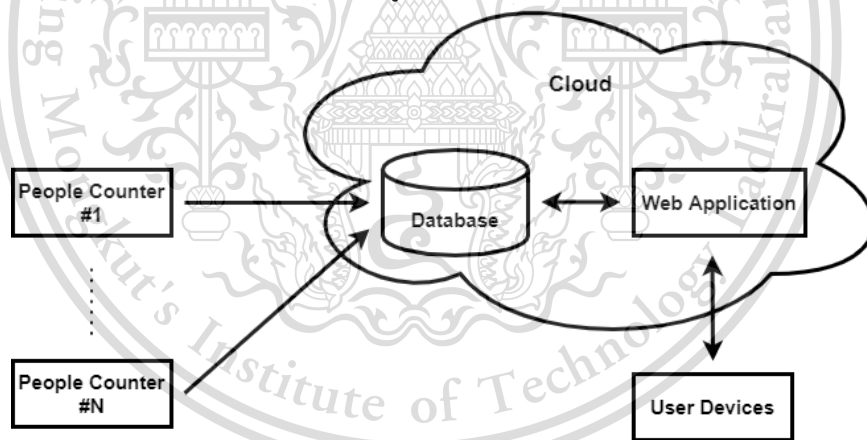
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

ระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจจับจำนวนคนที่ใช้กล้องเว็บแคมต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลเป็นจำนวนคนที่ผ่านเข้าออก อุปกรณ์นี้อาจจะมีหลายชุดติดตั้งตามจุดเข้าออกต่างๆ แต่ละตัวจะเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อส่งข้อมูลจำนวนคนขึ้นไปเก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ (Cloud Server) เพื่อให้สามารถดึงข้อมูลไปแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ในส่วนการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับจำนวนคนจะนำภาพจากกล้องวิดีโอมาประมวลผลเพื่อนับจำนวนคนเข้าออก สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) และการติดตามวัตถุ (Object Tracking) ทุกครั้งที่ข้อมูลจำนวนคนเข้าออกมีการเปลี่ยนแปลง อุปกรณ์นี้จะส่งข้อมูลขึ้นไปอัปเดตบน Cloud Server เพื่อให้สามารถดึงข้อมูลไปแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ถ้ามีจำนวนคนภายในอาคารเกินที่กำหนด ระบบจะทำการแจ้งเตือนไปยังบัญชีผู้ใช้



รูปที่ 3.1 Block Diagram ของระบบ

การทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลตรวจจับจำนวนคนเข้า-ออก
2. การส่งข้อมูลขึ้น Cloud Server
3. การนำข้อมูลจาก Cloud Server ไปแสดงผลเป็นกราฟที่หน้าจอผู้ใช้
4. สร้างการแจ้งเตือนโดยใช้บริการ Line Notify

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยในการออกแบบการทำงานของแต่ละส่วนสามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้ ซึ่งด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

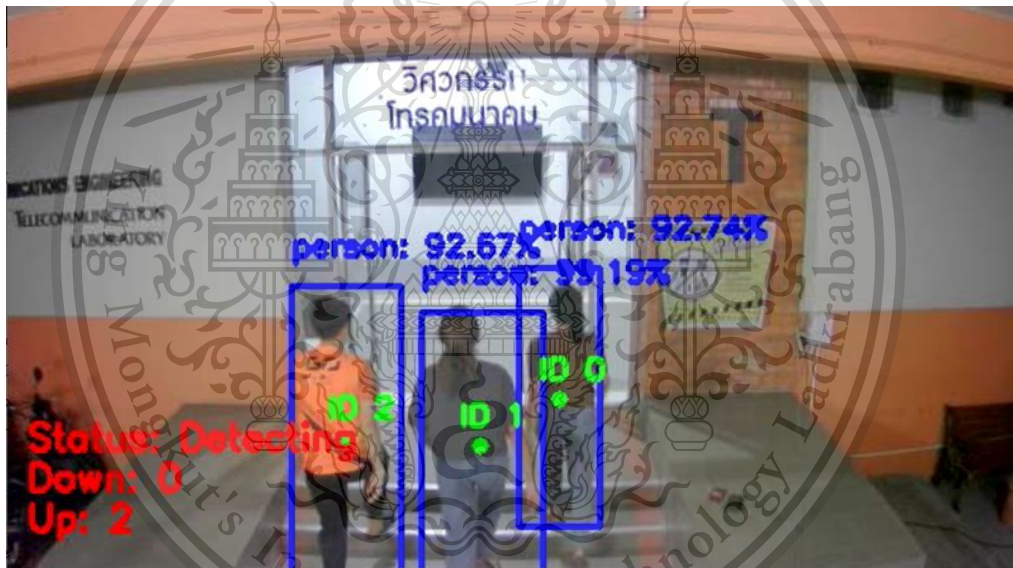
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.1 การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลตรวจนับจำนวนคน

ระบบตรวจนับจำนวนคนด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์จะถูกแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนหลักๆ

3.1.1.1 การตรวจจับวัตถุ

การตรวจจับวัตถุจะใช้อัลกอริทึม Mobilenet SSD ในการตรวจจับวัตถุ โดยทำการดาวน์โหลดตัวอย่างโมเดล จาก Caffe Model ซึ่งวัตถุที่สนใจมีคลาสเป็นคน และอินพุตเป็นวิดีโอภาพแบบเรียลไทม์ที่รับมาจากกล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดขนาด 1920 x 1080 พิกเซล หลังจากนั้นนำภาพมาลดขนาดตามอัตราส่วน (Scale) และตัดภาพจนมีขนาดตั้งต้นเท่ากับ 300 x 300 พิกเซล ในขั้นตอนนี้จะทำหน้าที่ในการตรวจจับว่ามีวัตถุที่สนใจเข้ามาในเฟรมหรือไม่ และทำการตรวจจับวัตถุเดิมที่หายไปในช่วงขั้นตอนการติดตามวัตถุ ในขั้นตอนนี้จะได้ผลลัพธ์การตรวจจับเป็นกรอบวัตถุล้อมรอบวัตถุที่เราสนใจ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การตรวจจับวัตถุที่สนใจ

ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุนี้จะทำให้ระบบตรวจนับจำนวนคนมีผลลัพธ์ที่แม่นยำมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ใช้ทรัพยากรการประมวลผลที่มากเช่นกัน ดังนั้น ผู้จัดทำจึงเลือกตั้งการใช้ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ 1 ครั้งต่อ 55 เฟรม เท่านั้น และมีความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที เพื่อประหยัดทรัพยากรการประมวลผล แต่ยังคงให้ค่าความแม่นยำในระดับที่ดี ซึ่งค่าเฟรมการตรวจจับที่เลือกใช้นั้นได้มาจากการทำการทดลองเลือกค่าเฟรมหลายๆค่า แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน โดยจะเลือกค่าเฟรมที่ให้ความผิดพลาดในการตรวจนับจำนวนคนน้อยที่สุด ผลลัพธ์ระหว่างค่าเฟรมการตรวจจับที่เลือกใช้กับความผิดพลาดแสดงดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 ค่าความผิดพลาดและจำนวนเฟรมต่อวินาทีของจำนวนเฟรม
การตรวจจับวัตถุต่อ 1 เฟรม

ลำดับวิดีโอ	จำนวนเฟรมการ ตรวจจับวัตถุต่อ 1 ครั้ง	ค่าความผิดพลาด		เฟรมต่อวินาที
		จำนวนคน เข้า	จำนวนคน ออก	
1	30	6.67%	6.67%	29.93
	35	6.67%	6.67%	30.23
	40	13.33%	6.67%	31.22
	45	13.33%	6.67%	31.54
	50	13.33%	6.67%	32.16
	55	6.67%	0%	32.34
	60	6.67%	0%	32.98
	65	6.67%	13.33%	35
	70	13.33%	0%	35.41
2	30	13.33%	0%	29.89
	35	6.67%	6.67%	30.16
	40	26.67%	6.67%	30.22
	45	13.33%	0%	31.49
	50	20%	0%	31.70
	55	6.67%	0%	32.74
	60	6.67%	6.67%	33.04
	65	26.67%	0%	33.82
	70	13.33%	0%	34.74
3	30	32%	4%	26.91
	35	32%	4%	27.17
	40	20%	0%	26.64
	45	16%	4%	29.05
	50	0%	4%	29.91
	55	8%	0%	30.30
	60	16%	20%	31.99
	65	8%	32%	32.46
	70	8%	4%	32.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 70 คนเพื่อการศึกษา 8% เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ 4% 32.16 ใช้นอกเหนือจากนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

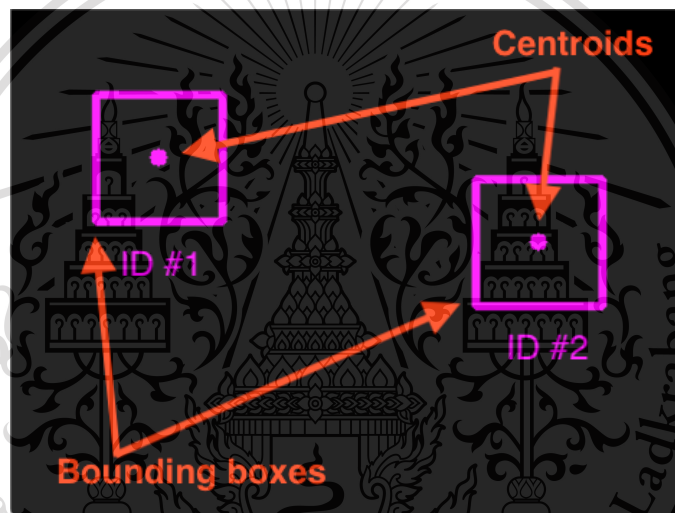
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.1.2 การติดตามวัตถุ

เมื่อได้ผลลัพธ์การตรวจจับวัตถุที่สนใจเป็นที่เรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจะทำการติดตามวัตถุที่สนใจเพื่อหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางและกำหนดหมายเลขประจำตัวในแต่ละวัตถุ ในส่วนขั้นตอนนี้ทำการติดตามวัตถุทั้งหมด 55 เฟรม หลังจากนั้นจะเปลี่ยนไปใช้ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ 1 ครั้ง วนอย่างนี้ไปเรื่อยๆ โดยขั้นตอนในการติดตามวัตถุจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน อธิบายได้ด้วยตัวอย่างดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นด้วยการใช้เฟรมแรกเป็นเฟรมอ้างอิง ในรูปที่ 3.3 สมมุติว่ามีการตรวจจับได้ 2 วัตถุ แต่ละกรอบของวัตถุจะถูกคำนวณหาจุดกึ่งกลางของวัตถุแสดงด้วยจุดสีม่วง และกำหนดเลขประจำตัวเป็น #1 และ #2 ตามลำดับ



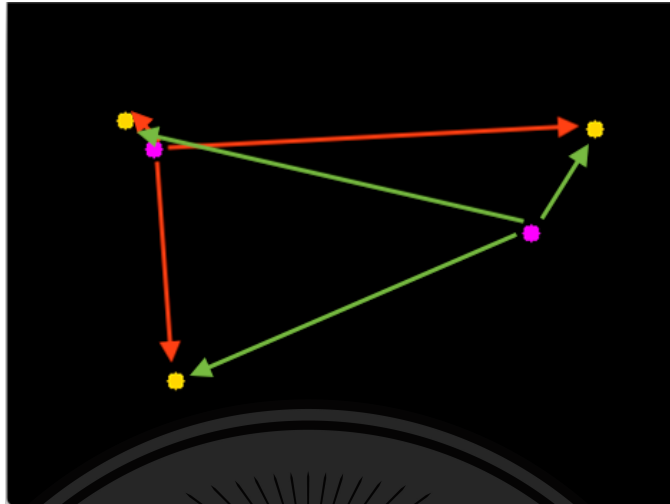
รูปที่ 3.3 วัตถุที่สนใจได้รับการกำหนดเลขประจำตัวและคำนวณกึ่งกลางวัตถุ [35]

2. ในเฟรมถัดมาซึ่งเป็นเฟรมปัจจุบัน สมมุติว่าตรวจจับได้ 3 วัตถุ แสดงตำแหน่งด้วยจุดสีเหลืองในรูปที่ 3.4 ในขั้นตอนนี้ต้องการติดตามว่าจุดสีม่วงในเฟรมอ้างอิงได้ย้ายไปอยู่ตำแหน่งใหม่อย่างไรในเฟรมปัจจุบัน โดยคำนวณหาระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean Distance) ระหว่างวัตถุในเฟรมอ้างอิง (จุดสีม่วง) กับทุกวัตถุที่พบในเฟรมปัจจุบัน (จุดสีเหลือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

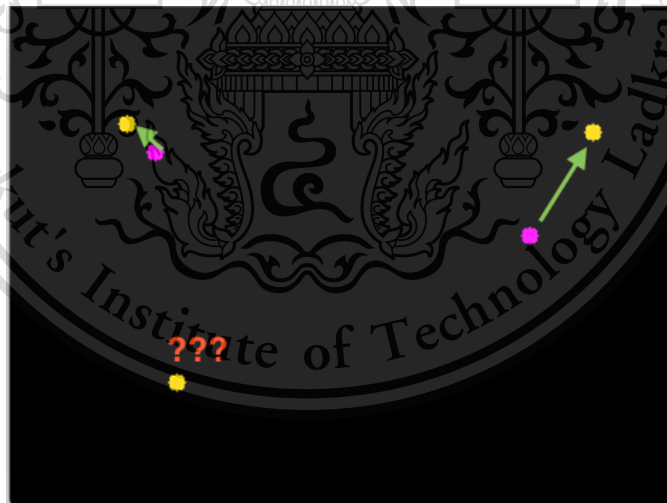
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 การหา Euclidean Distance ระหว่างจุดกึ่งกลางวัตถุเดิม (สีม่วง) และวัตถุใหม่ที่ปรากฏขึ้น (สีเหลือง) ลูกศรแทน Euclidean Distance ระหว่างตำแหน่งวัตถุเดิมกับตำแหน่งวัตถุใหม่ [35]

3. หลังจากนั้นจะต้องกำหนดเลขประจำตัวให้กับทั้ง 3 วัตถุ (จุดสีเหลือง) โดยวัตถุที่อยู่ใกล้กับวัตถุเดิมมากที่สุด (ระยะทางยูคลิเดียนต่ำที่สุด) จะถูกกำหนดให้เป็นวัตถุเดียวกัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การจับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดกึ่งกลางวัตถุเดิมกับตำแหน่งวัตถุใหม่ [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. ขั้นตอนสุดท้าย วัตถุที่ติดตามได้จะถูกกำหนดเป็นเลขประจำตัวเดิม คือ #1 และ #2 ในตัวอย่างนี้มีการตรวจจับได้วัตถุใหม่ที่ไม่พบในเฟรมอ้างอิง จึงกำหนดให้เป็นเลขประจำตัวใหม่ คือ #3 และจะใช้เฟรมนี้เป็นเฟรมอ้างอิงในการทำงานรอบถัดไป จึงเปลี่ยนจากจุดสีเหลืองเป็นจุดสีม่วงแสดงในรูปที่ 3.6



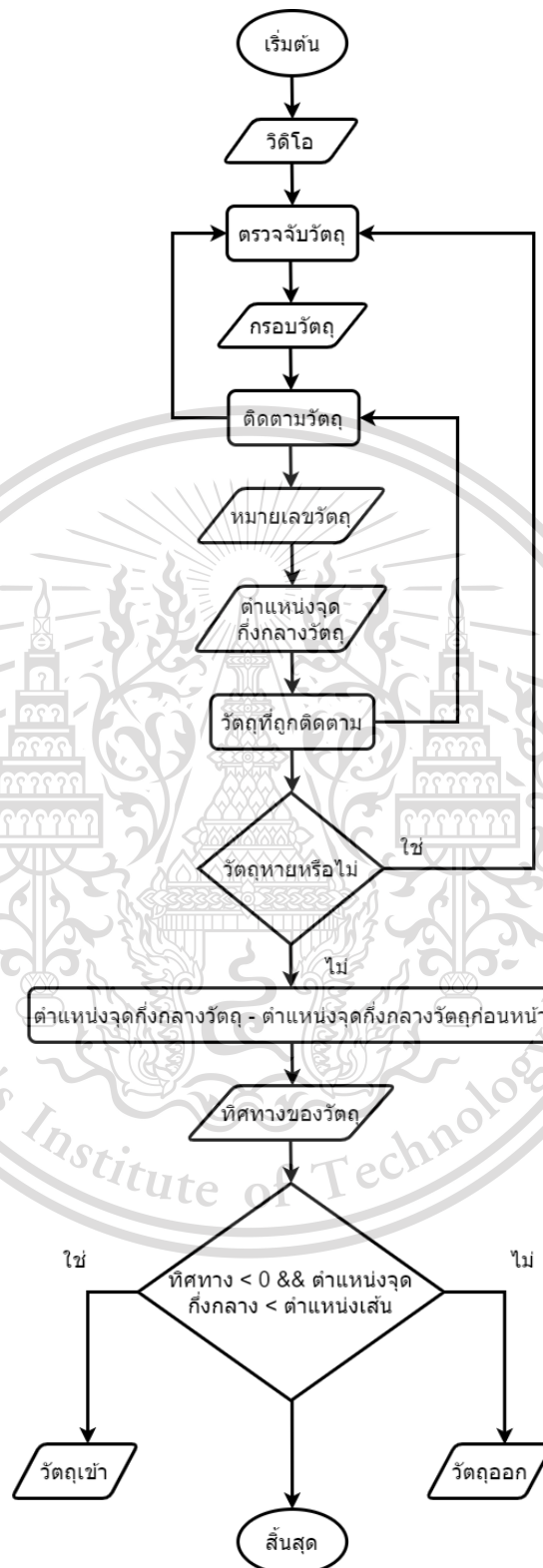
รูปที่ 3.6 การกำหนดหมายเลขประจำตัวให้กับวัตถุใหม่ และทำการเก็บตำแหน่งจุดกึ่งกลางของวัตถุใหม่ [35]

โดยขั้นตอนการติดตามวัตถุ จะใช้เครื่องมือ คือ `dlib.correlation_tracker` จาก `opencv` ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

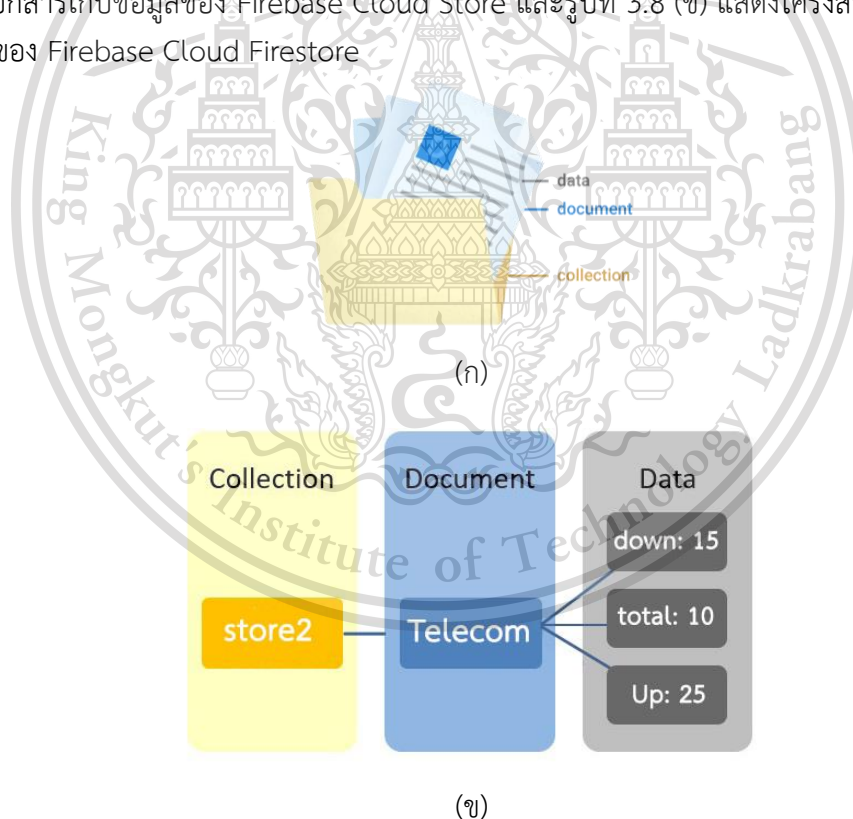
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 การส่งข้อมูลขึ้น Cloud Server

การจัดเก็บข้อมูลจะนำข้อมูลจัดเก็บบน Cloud Server โดยจะมีขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลดังนี้

1. เข้า Login เพื่อเข้าใช้งานเว็บไซต์ Firebase
2. ทำการสร้าง Firebase Project
3. เปิดใช้บริการ Cloud Firestore
4. ดาวน์โหลด (Download) ไฟล์ KeyServiceAccount.json
5. ทำการส่งข้อมูลขึ้นฐานข้อมูล โดยอ้างอิง KeyServiceAccount เพื่อให้ส่ง

ข้อมูลไปยัง Cloud Firestore Project ที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาก่อนหน้า ข้อมูลที่ถูกส่งขึ้นฐานข้อมูลจะมีทั้งหมดสามชุด คือ ข้อมูลจำนวนคนเข้า-ออกแบบเรียลไทม์ ข้อมูลจำนวนเข้า-ออกทุก ๆ 5 นาที และข้อมูลเวลา ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บอยู่ในรูปแบบแฟ้มเอกสาร โดยในแต่ละ Collection จะประกอบไปด้วย Document และภายใน Document จะจัดเก็บข้อมูลเอาไว้ รูปที่ 3.8 (ก) แสดงแฟ้มเอกสารเก็บข้อมูลของ Firebase Cloud Store และรูปที่ 3.8 (ข) แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลของ Firebase Cloud Firestore



รูปที่ 3.8 การจัดเก็บข้อมูลของ Firebase Cloud Firestore

(ก) แฟ้มเอกสารเก็บข้อมูลของ Firebase Cloud Store [36]

(ข) โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลของ Firebase Cloud Firestore

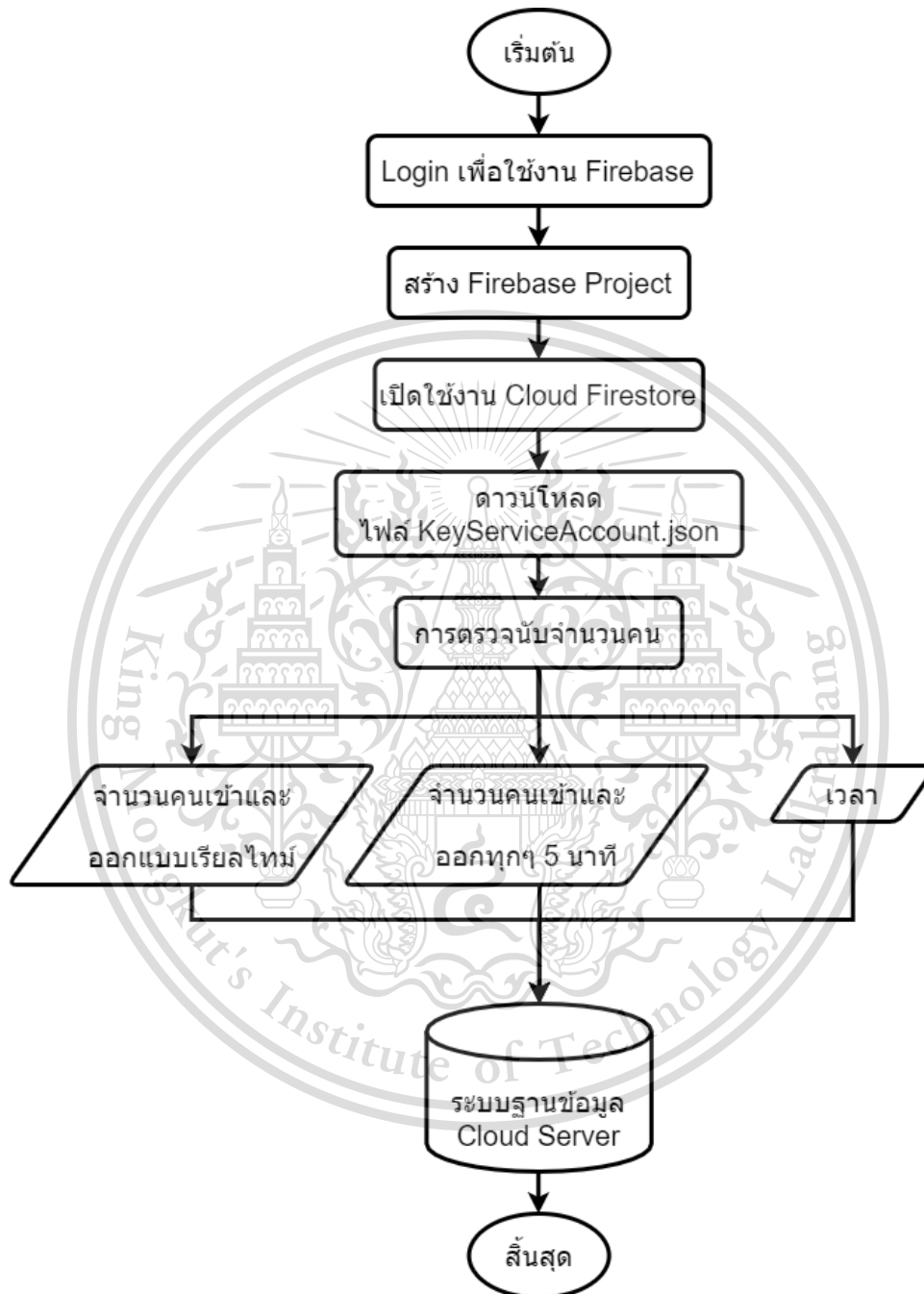
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังการออกแบบฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนผังการออกแบบฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

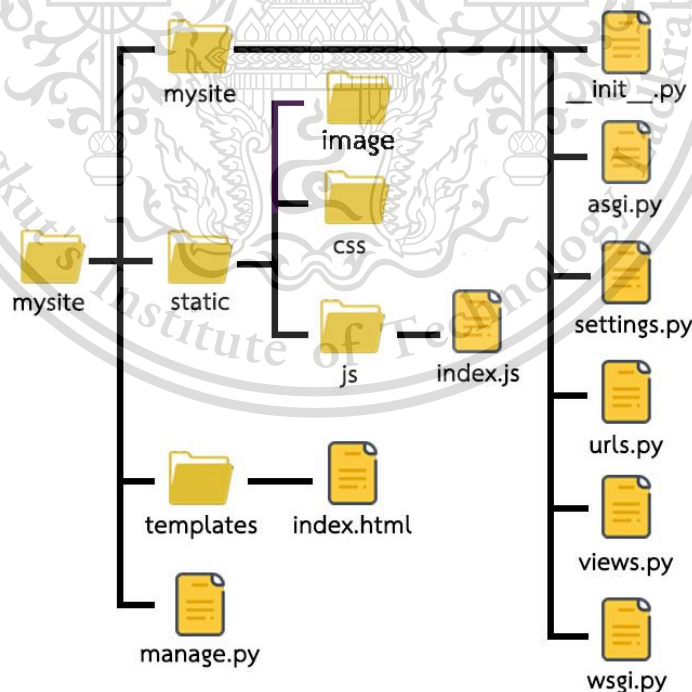
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.3 การนำข้อมูลจาก Cloud Server ไปแสดงผลเป็นกราฟที่หน้าจอบริษัท

หน้าจอบริษัทแสดงกราฟทั้งหมดสองกราฟ คือ กราฟแสดงความหนาแน่นของจำนวนผู้คนที่ในแต่ละช่วงเวลาโดยแสดงทุก ๆ 5 นาที และกราฟแสดงความหนาแน่นของจำนวนผู้คนที่ภายในอาคารแบบ Realtime โดยมีขั้นตอนการสร้างหน้าจอบริษัทดังนี้

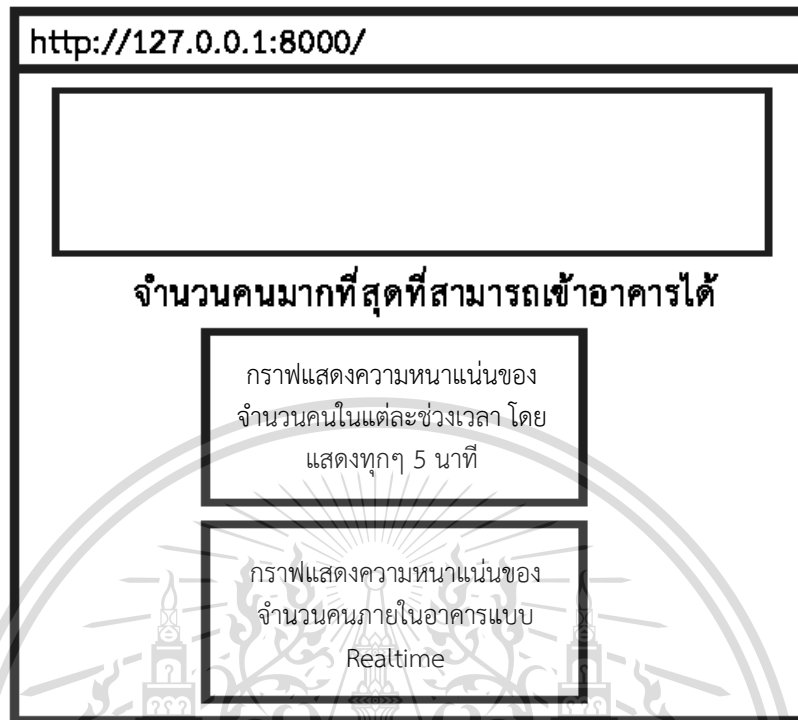
1. ติดตั้ง Django ด้วยคำสั่ง `pip install django`
2. สร้าง Django Project โดยไปยังโฟลเดอร์ (Folder) ที่ต้องการจะเก็บ Project จากนั้นสร้าง Project ชื่อ “mysite” ด้วยคำสั่ง `django-admin startproject mysite`
3. สร้างไฟล์ `views.py` ในโฟลเดอร์ `mysite` ที่อยู่ใน Project ที่ได้สร้างไว้
4. สร้างโฟลเดอร์ `templates` และโฟลเดอร์ `static` ซึ่งภายในจะมีโฟลเดอร์ `css`, `image` และ `js` อยู่ด้วย โดยโครงสร้างโฟลเดอร์ของ Django Project จะแสดงดังรูปที่ 3.10
5. เขียนไฟล์ `index.html` ในโฟลเดอร์ `templates` และ `index.js` ในโฟลเดอร์ `js`
6. ทดสอบการทำงานของหน้าเว็บโดยใช้คำสั่ง `python manage.py runserver`
7. ไปที่ `http://127.0.0.1:8000/` จะได้หน้าจอบริษัท โดยแสดงภาพจำลองหน้าแสดงผลผู้ใช้ไว้ดังรูปที่ 3.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.10 โครงสร้างโฟลเดอร์ของ Django Project นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

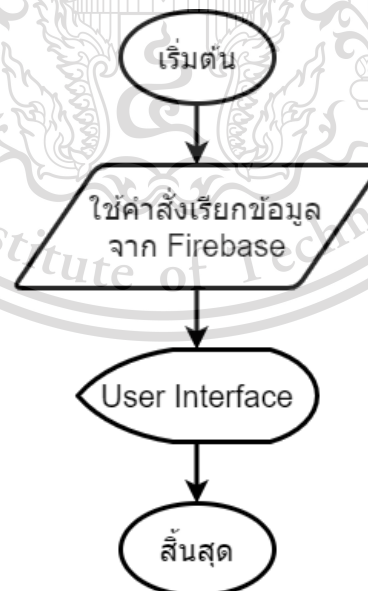
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 ภาพจำลองหน้าจอแสดงผลผู้ใช้

โดยขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานของหน้าจอผู้ใช้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของหน้าจอผู้ใช้

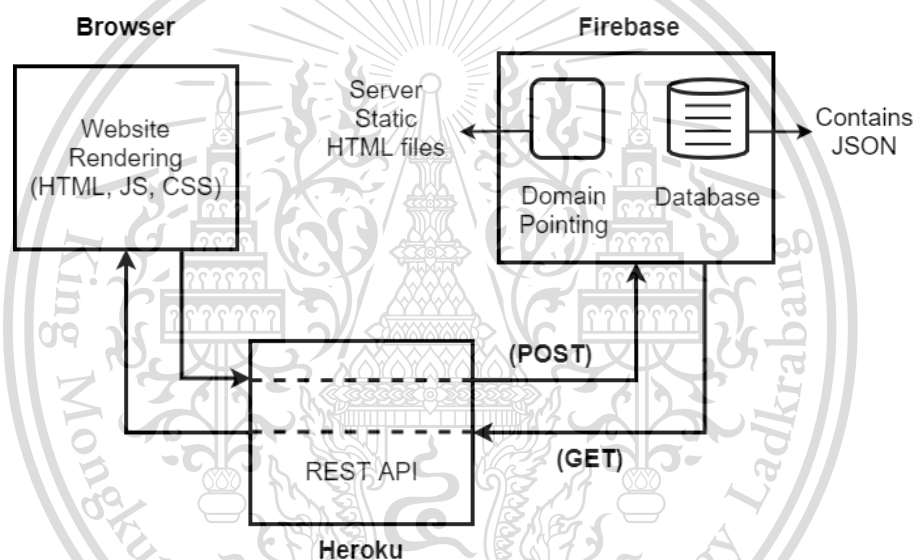
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4 การออกแบบและจัดทำ Web Hosting

ผู้จัดทำเลือกใช้บริการจาก Heroku ซึ่งเป็นเว็บโฮสติ้งแบบ Cloud Server โดยมีเหตุผล คือ เป็นเว็บโฮสติ้งที่ใช้งานง่ายและเหมาะกับงานขนาดเล็ก สามารถใช้งานร่วมกับภาษาไพธอนและเฟรมเวิร์ค Django ได้ และที่สำคัญคือเป็นเว็บโฮสติ้งที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย ผู้จัดทำเชื่อมต่อเว็บโฮสติ้งกับฐานข้อมูล Cloud Server ของ Firebase ที่เก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ JSON โดยเว็บโฮสติ้งและฐานข้อมูลมีการรับส่งข้อมูลในรูปแบบของโปรโตคอล HTTP เพื่อให้เว็บไซต์สามารถแสดงจำนวนผู้คนที่เข้าออกในสถานที่ที่กำหนดได้และบุคคลภายนอกสามารถดูข้อมูลเหล่านี้จากเว็บไซต์ผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งการสื่อสารทั้งหมดจะเกิดขึ้นผ่าน REST API โดยมีโครงสร้างการรับส่งข้อมูลระหว่างเว็บโฮสติ้ง ฐานข้อมูล และผู้ใช้งานเว็บไซต์แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 โครงสร้างการรับส่งข้อมูลระหว่างเว็บโฮสติ้ง ฐานข้อมูล และผู้ใช้งานเว็บไซต์ [37]

เมื่อออกแบบเว็บไซต์และโครงสร้างของเว็บโฮสติ้งเสร็จสิ้นแล้ว จึงทำการอัปโหลดเว็บไซต์ไปที่เว็บโฮสติ้ง เพื่อทำการฝากเว็บไซต์ของเราไว้ในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการ โดยในปัจจุบันมีเว็บโฮสติ้งหลากหลายรูปแบบให้เลือกใช้บริการ หลังจากที่ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเว็บโฮสติ้ง จึงเลือกใช้บริการคลาวด์เว็บโฮสติ้ง เนื่องจาก เป็นบริการที่สามารถจัดสรรทรัพยากรการใช้งานเองได้และรวมถึงสามารถควบคุมการใช้จ่ายให้อยู่ในงบประมาณได้ และผู้จัดทำได้เลือกใช้ Heroku เป็นผู้ให้บริการเว็บโฮสติ้ง เนื่องจาก มีระบบการจัดการและวิธีการใช้งานที่ง่ายและสะดวก สามารถเลือกใช้บริการแบบฟรีได้ในทรัพยากรที่จำกัด และรองรับการใช้งานหลายภาษา ดังนี้ Node.js, Ruby, PHP, Python, Java, Go, Scala และ Clojure ซึ่งผู้จัดทำใช้ภาษา Python และเลือกใช้งาน Django Framework โดยมีขั้นตอนในการทำเว็บโฮสติ้ง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. เปิดหน้า Command Prompt ขึ้นมาและทำการสร้าง Virtual Environment สำหรับการทำงานและติดตั้งไลบรารีสำหรับการทำเว็บโฮสติ้ง

2. ในหน้า Command Prompt ทำการติดตั้งไลบรารีที่ใช้ในการทำเว็บโฮสติ้งสำหรับ Django Framework โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ `pip install gunicorn`, `pip install dj-database-url` และ `pip install psycopg2`

3. ทำการสร้างหน้าสำหรับ Procfile หรือ Configuration file ของ Heroku ขึ้นมา ใน Django Framework และระบุคำสั่งเข้าไปภายใน Procfile ดังนี้ `web: gunicorn congrats.wsgi --log-file-` โดยในที่นี้ คำสั่งภายในหน้า Procfile จะระบุว่าเป็นบริการแบบเว็บไซต์

4. กลับเข้าสู่หน้า Command Prompt ใช้คำสั่ง `pip freeze > requirements.txt` เพื่อบันทึกไลบรารีที่ถูกติดตั้งทั้งหมดในงานเป็นไฟล์ `.txt` โดยใช้สำหรับการอัปเดตไลบรารีเข้าสู่ Heroku เพื่อใช้ในการทำเว็บโฮสติ้ง

5. ในหน้า Command Prompt ใช้คำสั่ง `git init` หลังจากนั้นใช้คำสั่ง `heroku login` เพื่อเข้าสู่ระบบ Heroku และทำการสร้างโปรเจกต์ใหม่ขึ้นมา โดยใช้คำสั่ง `heroku create`

6. หลังจากนั้น Heroku จะให้พิมพ์ชื่อ URL (Universal Resource Locator) สำหรับเว็บไซต์ที่ต้องการสร้างหรือสามารถเลือกให้ Heroku สุ่มชื่อ URL มาให้ โดยชื่อ URL สำหรับเว็บไซต์ของผู้จัดทำ คือ `https:// people-counter-1818.herokuapp.com`

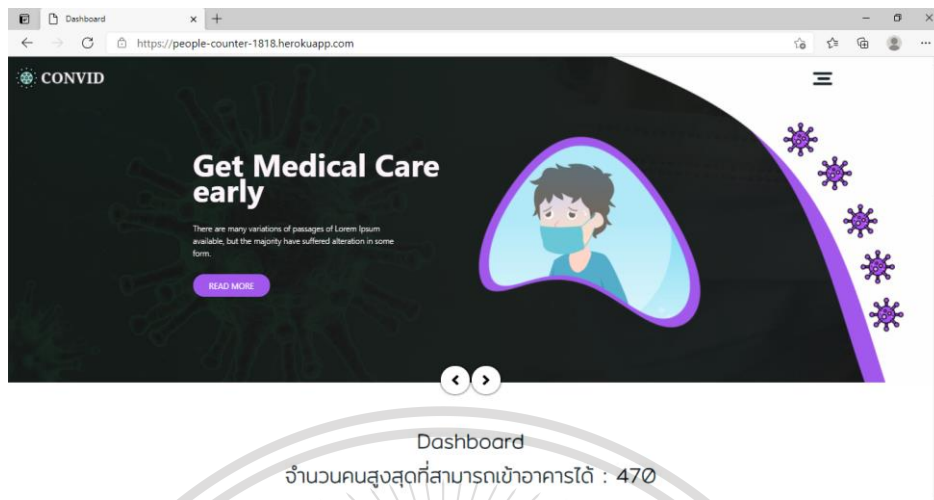
7. กลับเข้าสู่ Django Framework เพื่อทำการตั้งค่าหน้า setting ใหม่ โดยนำชื่อ URL ที่ตั้งไปใส่ไว้ใน `setting.py` ดังนี้ `ALLOWED_HOSTS = ['https:// people-counter-1818.herokuapp.com']` และเปลี่ยนค่า `DEBUG = False` เพื่อสร้างความปลอดภัยให้เว็บไซต์

8. หลังจากนั้นกลับเข้าสู่หน้า command prompt ใช้คำสั่ง `git add .` ต่อจากนั้น คำสั่ง `git commit -m "Deploy project to Heroku app"` และสุดท้ายคำสั่ง `git push heroku master` เพื่อทำการอัปเดตเว็บไซต์ขึ้น เมื่อทำการสร้างเว็บโฮสติ้งเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.14 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรืออัปเดตหน้าเว็บไซต์แล้วต้องการทำการอัปเดตหน้าเว็บไซต์ใหม่ให้ทำขั้นตอนนี้ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างหน้าเว็บไซต์ที่ทำการอัปเดตเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.1.5 สร้างการแจ้งเตือนโดยใช้บริการ Line Notify

วัตถุประสงค์หลักในของปริณิพนธ์ชิ้นนี้ คือ การลดการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ดังนั้นเมื่อมีผู้คนภายในอาคารจำนวนมากเกินข้อกำหนดของการควบคุมจำนวนผู้คนภายในอาคารและอาจทำให้เป็นสาเหตุของการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส ผู้จัดทำจึงใช้วิธีการแจ้งเตือนเพื่อบอกให้ผู้ดูแลอาคารรับทราบว่าขณะนี้ภายในอาคารมีจำนวนคนเกินข้อกำหนด รวมถึงสามารถให้บุคคลภายนอกรับรู้ถึงจำนวนคนที่มากที่สุดที่อาคารรองรับได้และจำนวนผู้คนในอาคาร ณ ปัจจุบัน ซึ่งวิธีการแจ้งเตือนที่ผู้จัดเลือกใช้ คือ การทำการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line

Line เป็นแอปพลิเคชันที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน มีการใช้งานที่ง่ายและเข้าถึงผู้คนได้ทุกช่วงวัย ผู้จัดทำจึงเลือกใช้แอปพลิเคชันนี้มาใช้สำหรับแจ้งเตือนเมื่อมีจำนวนคนภายในตึกเกินที่กำหนด โดยขั้นตอนในการสร้างการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ มีดังนี้

1. เข้าสู่เว็บไซต์ <https://notify-bot.line.me/en/>
2. เลือกบัญชีผู้ใช้ที่ต้องการรับการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line หลังจากนั้นเข้าสู่ระบบและยืนยันตัวตนโดยใช้บัญชีผู้ใช้แอปพลิเคชัน Line
3. ทำการร้องขอ Access Token จากแอปพลิเคชัน Line เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลเลือกหัวข้อ โดยเลือกไปที่หัวข้อ และเลือก ออก Token แสดงดังรูปที่ 3.15
4. เลือกกลุ่มที่ต้องการได้รับการแจ้งเตือนหรือสามารถเลือกเป็นบุคคลได้ โดยการแจ้งเตือนจะส่งไปยังบัญชีผู้ใช้ที่ทำการเข้าสู่ระบบ แสดงดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. นำ token ที่ได้รับ แสดงดังรูปที่ 3.17 ไปวางไว้ในโปรแกรมและทำการเขียนโปรแกรมเพื่อส่งการแจ้งเตือน โดย token จะถูกใช้สำหรับบ่งบอกว่าต้องการส่งการแจ้งเตือนไปที่กลุ่มหรือบัญชีผู้ใช้ใด

6. เมื่อสร้างการแจ้งเตือนเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะปรากฏหน้ารายละเอียดการแจ้งเตือนที่ได้ทำการสร้างไว้ แสดงดังรูปที่ 3.18

การแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน Line จะใช้โปรโตคอล HTTP ในการรับส่งข้อมูลและใช้คำสั่ง POST ในการส่งการแจ้งเตือนไปยังบัญชีผู้ใช้ ส่วนคำสั่ง GET จะใช้ในการตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของบัญชีผู้ใช้ โดย Token ใช้สำหรับยืนยันตัวตนและบ่งบอกว่าต้องการส่งการแจ้งเตือนไปที่กลุ่มหรือบัญชีผู้ใช้ใด โดยการส่งการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line แสดงดังรูปที่ 3.19

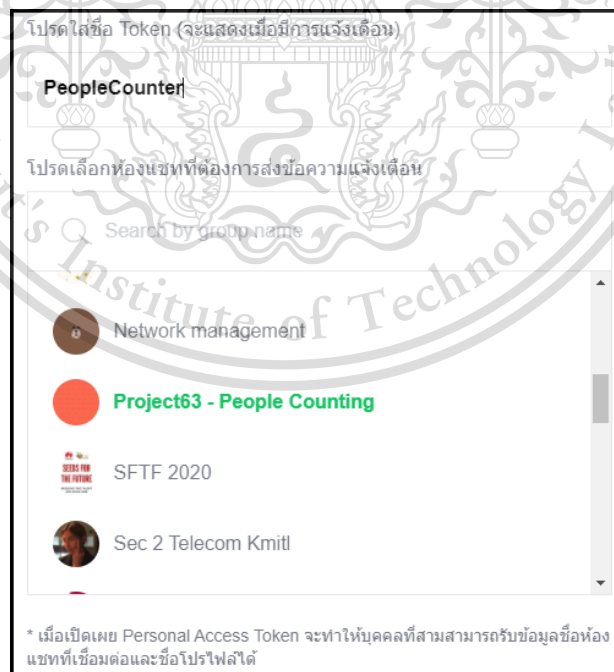
ออก Access Token (สำหรับผู้พัฒนา)

เมื่อใช้ Access Token แบบบุคคล จะสามารถตั้งค่าการแจ้งเตือนได้โดยไม่ต้องลงทะเบียนกับเว็บเซิร์ฟเวอร์



LINE Notify API Document

รูปที่ 3.15 การออก Access Token



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Token ที่ออก

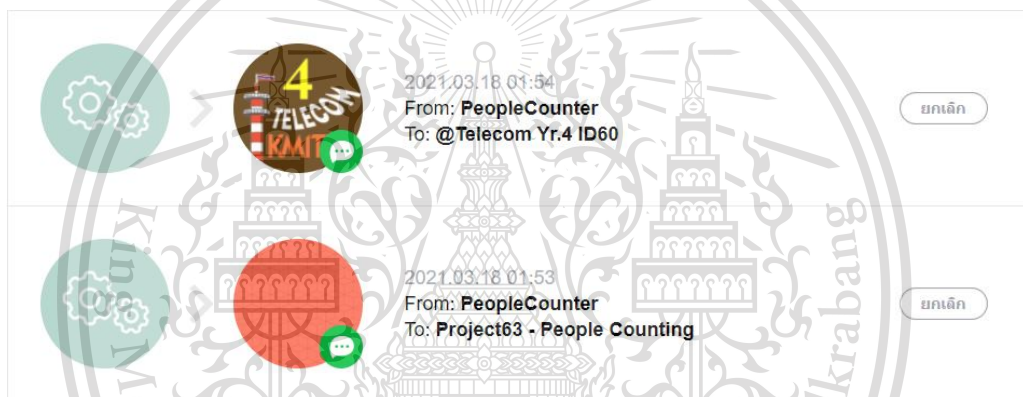
0PpU8LXQliowsDdtysaLJh5FXdodkLURvgGvxa

ถ้าออกจากหน้านี้ ระบบจะไม่แสดง Token ที่ออกใหม่อีกต่อไป โปรดคัดลอก Token ก่อนออกจากหน้านี้

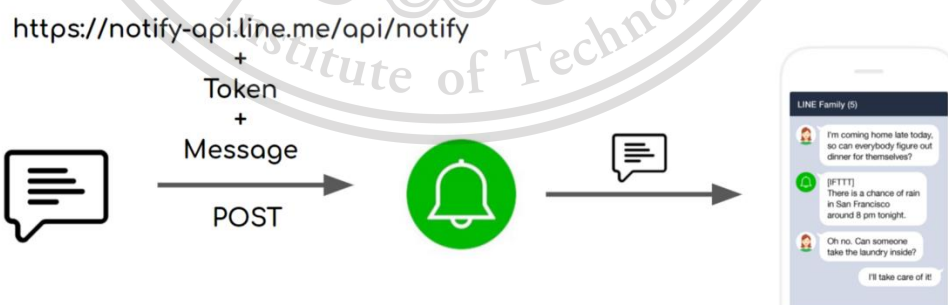
คัดลอก

ปิด

รูปที่ 3.17 Token ที่ได้รับจากแอปพลิเคชัน Line เพื่อใช้ในการแจ้งเตือน



รูปที่ 3.18 การแจ้งเตือนที่สร้างไว้ในแอปพลิเคชัน Line



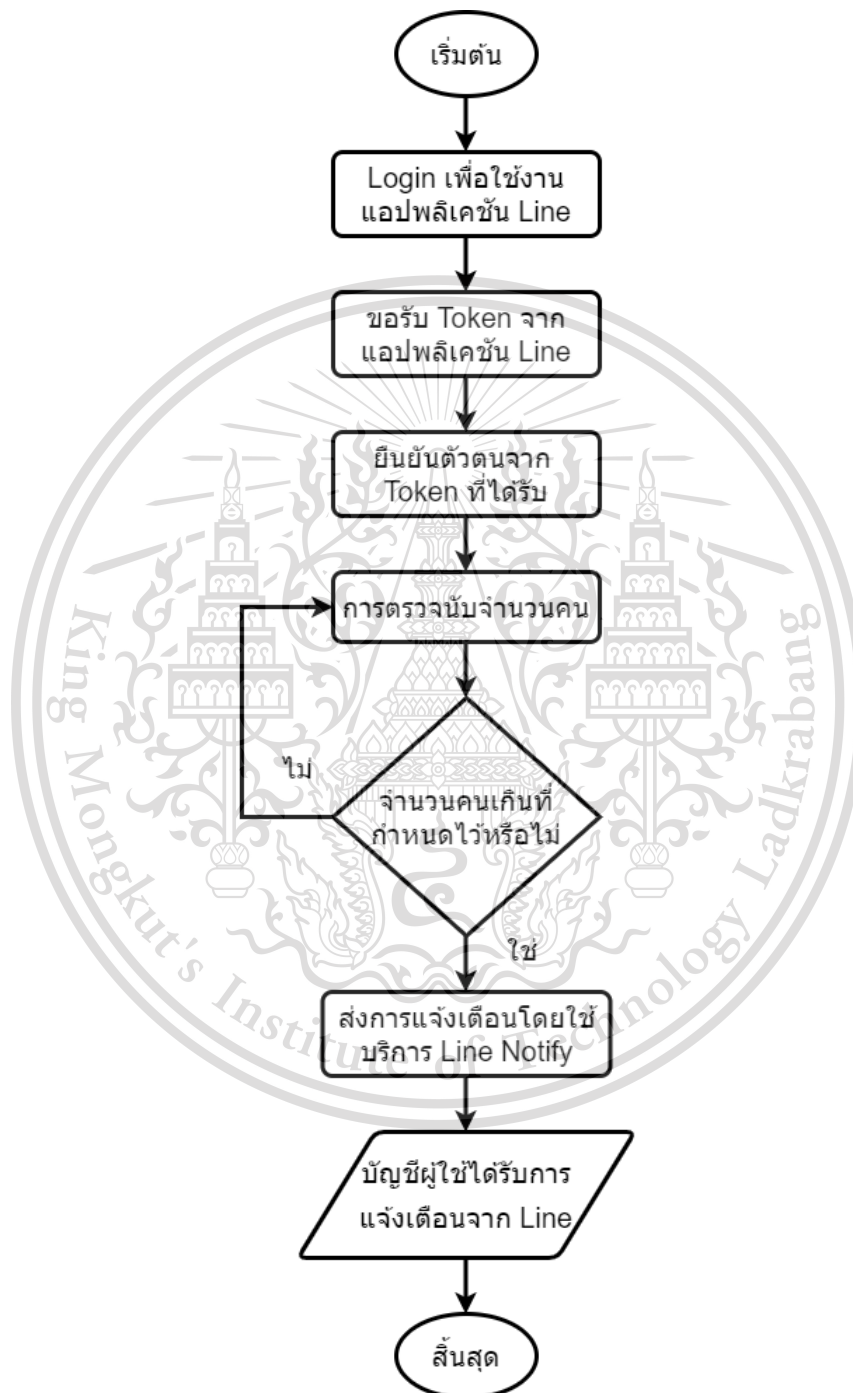
รูปที่ 3.19 การส่งการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line [38]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังการสร้างการแจ้งเตือนโดยใช้ Line Notify แสดงในรูปที่ 3.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.20 แผนผังการสร้างการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 คอมพิวเตอร์พกพา (Laptop)

คอมพิวเตอร์พกพาใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมเพื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ทดสอบโดยใช้บอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit มีลักษณะดังรูปที่ 3.21 และแสดงคุณสมบัติได้ในตารางที่ 3.2

Laptop Acer SF314-51-58F9



รูปที่ 3.21 Laptop Acer SF314-51-58F9 [39]

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Laptop Acer SF314-51-58F9 [39]

CPU	Intel Core i5-6200U 2.30 GHz
RAM	8GB DDR4
HDD	256GB SSD
Display	14.0 inch
Graphics	Integrated
OS	Linux

3.2.2 NVIDIA Jetson Nano Developer Kit

บอร์ด (Board) NVIDIA Jetson Nano Developer Kit เป็นบอร์ดไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) ใช้สำหรับงานที่ประมวลผลเกี่ยวกับ machine learning, image processing, AI และอื่น ๆ อีกมากมาย สามารถเริ่มต้นใช้งานได้ทันทีเมื่อเสียบการ์ด microSD ที่มี System Image สำหรับการพัฒนา Software นั้น สามารถใช้ NVIDIA JetPack SDK ซึ่งเป็น SDK กลางสำหรับใช้งานร่วมกับผลิตภัณฑ์ในตระกูล NVIDIA Jetson ได้ทั้งหมด รองรับทั้งการทำ Training และ Inference สำหรับ AI และสนับสนุน Framework หลากหลายทั้ง TensorFlow, PyTorch, Caffe และ MXNet รวมถึงยังมี Linux Desktop และความสามารถในการแสดงผลระดับสูง มีลักษณะดังรูปที่ 3.22 และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.22 บอร์ด Jetson Nano Developer Kit [40]

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของบอร์ด Jetson Nano Developer Kit [40]

GPU	128-core Maxwell
CPU	Quad-core ARM A57 @ 1.43 GHz
Memory	4 GB 64-bit LPDDR4 25.6 GB/s
Video Encode	4K @ 30 4x 1080p @ 30 9x 720p @ 30 (H.264/H.265)
Video Decode	4K @ 60 2x 4K @ 30 8x 1080p @ 30 18x 720p @ 30 (H.264/H.265)
Camera	2x MIPI CSI-2 DPHY lanes
Connectivity	Gigabit Ethernet, M.2 Key E
Display	HDMI and display port
USB	4x USB 3.0, USB 2.0 Micro-B
Others	GPIO, I ² C, I ² S, SPI, UART
Mechanical	69 mm x 45 mm, 260-pin edge connector

3.2.3 Xiaomi Xiaovv 1080P USB Webcam

กล้องจะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลภาพเพื่อนำมาประมวลผล ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.23 และคุณสมบัติดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.23 Xiaomi Xiaovv 1080P USB Webcam [41]

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของ Xiaomi Xiaovv 1080P USB Webcam [41]

Power Input	5V
Pixel	200W
Working Temperature	-10°C - 50°C
Viewing Angle	150°
Video Format	H.264 / H.265 / MJPG / NV12 / YUY2
Support	Windows7/8/10, Linux2.4.6 and above
Camera Weight	About 105g
Size	100 x 25 x 50 mm

3.2.4 จอ LED Samsung LS20D300NH/XT

หน้าจอจะทำหน้าที่ในการแสดงผลการทำงานของระบบตรวจนับจำนวนคน โดยเชื่อมต่อกับบอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit มีลักษณะดังรูปที่ 3.24 และคุณสมบัติแสดงในตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.24 จอ LED Samsung LS20D300NH/XT [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของจอ LED Samsung LS20D300NH/XT [42]

Screen Size	19.5 inch
Maximum Resolution	1366 x 768
Brightness	200 cd/m ²
Response Time	5 ms
Aspect Ratio	16:9
Dimensions (without Stand)	476.2 x 299.8 x 53 mm

3.2.5 Wireless USB Adapter TP-LINK (TL-WN821N)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi มีลักษณะดังรูปที่ 3.25 และคุณสมบัติแสดงในตารางที่ 3.6

รูปที่ 3.25 Wireless USB Adapter TP-LINK (TL-WN821N) [43]

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของ Wireless USB Adapter TP-LINK (TL-WN821N) [43]

Standards and Protocol	IEEE 802.11n IEEE 802.11g IEEE 802.11b
Antenna	On-Board
Frequency Range	2.400-2.4835GHz
Wireless Transmit Power	<20dBm(EIRP)
Interface	USB 2.0
Data Rates	11n: Up to 300Mbps(dynamic) 11g: Up to 54Mbps(dynamic) 11b: Up to 11Mbps(dynamic)
Wireless Security	Support 64/128 bit WEP, WPA-PSK/WPA2-PSK
Certifications	CE, FCC, RoHS
Work Mode	Ad-Hoc / Infrastructure mode
Wall/Ceiling Mount	DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเซปอะเอชนี้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

การจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ระบบฐานข้อมูล Cloud จะทำการส่งข้อมูลจำนวนคนภายในอาคารที่ได้จากการตรวจนับจำนวนคน โดยการส่งข้อมูลจะแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ ดังนี้

1. การส่งข้อมูลจำนวนคนภายในสถานที่แบบเรียลไทม์เมื่อมีจำนวนคนเข้า-ออก ข้อมูลก็จะถูกปรับให้เป็นปัจจุบันโดยทันที เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบข้อมูลจำนวนคนภายในอาคารแบบปัจจุบัน

2. การส่งข้อมูลจำนวนคนภายในสถานที่ทุกๆ ห้านาที เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลและหาจำนวนความหนาแน่นของผู้คนภายในอาคารในช่วงเวลาต่างๆได้

หลังจากนั้นจะทำการดึงข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลแบบ Cloud เพื่อนำไปใช้แสดงผลเป็นกราฟในหน้าจอผู้ใช้งาน การแสดงข้อมูลในส่วนนี้เพื่อต้องการให้บุคคลภายนอกรับรู้ถึงจำนวนคนที่มากที่สุดที่อาคารรองรับได้ และจำนวนผู้คนในอาคาร ณ ปัจจุบัน เพื่อเลี่ยงไม่ให้เกิดปัญหาจำนวนคนในอาคารหนาแน่นเกินกว่าพื้นที่จะรองรับได้ และเมื่อจำนวนคนภายในอาคารเกินกว่าจำนวนที่มีการกำหนดไว้ แอปพลิเคชัน Line จะส่งการแจ้งเตือนเพื่อแจ้งให้ผู้ดูแลอาคารรับทราบว่าขณะนี้ภายในอาคารมีจำนวนคนเกินข้อกำหนด ทำให้สามารถจัดการปัญหานี้ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

หลังจากได้ทำการออกแบบระบบเรียบร้อยแล้ว ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบระบบทั้งส่วนของการตรวจนับจำนวนคน การจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล และการแสดงผลหน้าจอผู้ใช้งาน โดยการทดสอบมีการใช้ทั้งคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กและบอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit ในการประมวลผล

4.1 ทดลองใช้งานอัลกอริทึมตรวจจับและติดตามคนเข้าออกสถานที่

หลังจากการทดสอบระบบพบว่าการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กให้ผลลัพธ์การตรวจนับจำนวนคนที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากกว่าการประมวลผลโดยใช้บอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit เนื่องจาก คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กมีทรัพยากรในการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม บอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit มีความสะดวกและง่ายต่อการติดตั้งมากกว่าคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เนื่องจาก ตัวบอร์ดมีขนาดเล็กกะทัดรัดในการทดลองผู้จัดทำได้แบ่งการทดสอบระบบออกเป็นสองรูปแบบ คือ การทดสอบระบบให้ทำงานแบบเรียลไทม์กับการทดสอบระบบโดยการสร้างสถานการณ์ที่คาดว่าจะป็นข้อจำกัดหรือทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของระบบขึ้น

4.1.1 การทดสอบโดยการสร้างสถานการณ์ที่คาดว่าจะป็นข้อจำกัดของระบบ

ผู้จัดทำได้สร้างสถานการณ์ที่คาดว่าจะป็นข้อจำกัดหรือทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของระบบขึ้น เพื่อทำการทดสอบโปรแกรมตรวจนับจำนวนคนและหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยการทดสอบจะประมวลผลจากวิดีโอที่ได้ทำการบันทึกไว้ก่อนล่วงหน้า แต่ละสถานการณ์ที่สร้างขึ้นจะทำการทดสอบอย่างละ 10 ครั้ง โดยตารางที่ 4.1 แสดงค่าความผิดพลาดของการตรวจนับจำนวนคนโดยการประมวลผลวิดีโอผ่านโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ และตารางที่ 4.2 แสดงค่าความผิดพลาดของการตรวจนับจำนวนคนโดยการประมวลผลวิดีโอผ่านบอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 ค่าความผิดพลาดของการตรวจนับจำนวนคนโดยการประมวลผลวิดีโอผ่านโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์

สถานการณ์	จำนวนคนเข้าจริง	จำนวนคนออกจริง	จำนวนคนเข้าที่โปรแกรมตรวจจับได้	จำนวนคนออกที่โปรแกรมตรวจจับได้	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของจำนวนคนเข้า	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของจำนวนคนออก
เดินขึ้นและลง 1 คน	10	10	11	9	10%	10%
วิ่งขึ้นและลง 1 คน	10	10	10	9	0%	10%
เดินสวนกัน	10	10	8	12	20%	20%
วิ่งสวนกัน	10	10	8	11	20%	10%
เดินขึ้นและลงต่อกัน 2 คน	20	20	14	16	30%	20%
เดินขึ้นและลงต่อกัน 3 คน	15	15	6	11	60%	26.67%
เดินเรียงหน้ากระดานขึ้นและลง 3 คน	15	15	14	16	6.67%	6.67%
เดินขึ้นและลง 5 คน	25	25	18	23	28%	8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดของการตรวจนับจำนวนคนโดยการประมวลผลวิดีโอผ่านบอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit

สถานการณ์	จำนวนคนเข้าจริง	จำนวนคนออกจริง	จำนวนคนเข้าที่โปรแกรมตรวจจับได้	จำนวนคนออกที่โปรแกรมตรวจจับได้	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของจำนวนคนเข้า	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของจำนวนคนออก
เดินขึ้นและลง 1 คน	10	10	9	10	10%	0%
วิ่งขึ้นและลง 1 คน	10	10	10	8	0%	20%
เดินสวนกัน	10	10	9	11	10%	10%
วิ่งสวนกัน	10	10	11	10	10%	0%
เดินขึ้นและลงต่อกัน 2 คน	20	20	13	17	35%	15%
เดินขึ้นและลงต่อกัน 3 คน	15	15	7	11	46.67%	26.67%
เดินเรียงหน้ากระดานขึ้นและลง 3 คน	15	15	14	16	6.67%	6.67%
เดินขึ้นและลง 5 คน	25	25	19	22	24%	12%

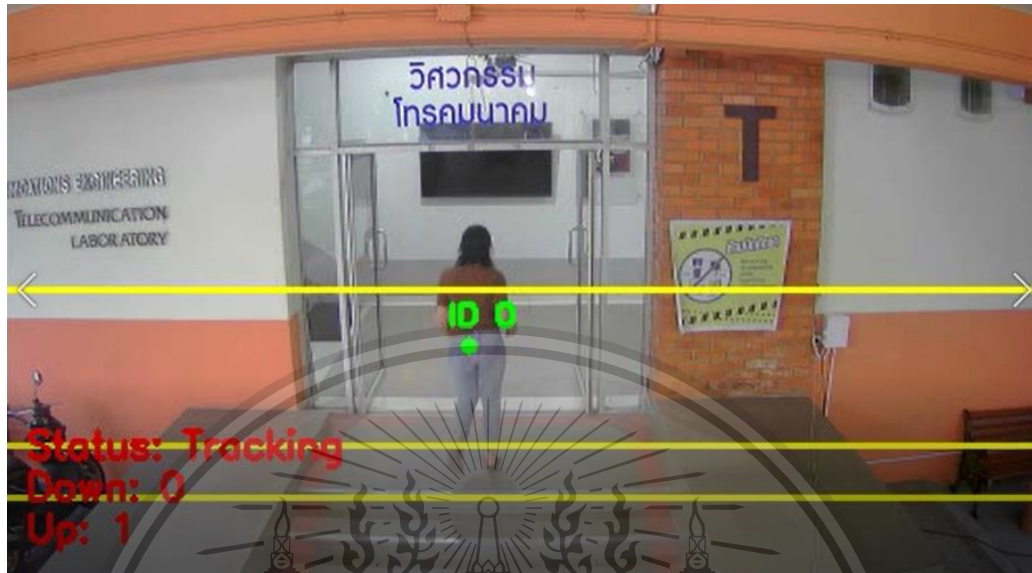
โดยในแต่ละสถานการณ์ที่ได้จำลองขึ้นมาประกอบไปด้วย เดินขึ้นและลง 1 คนแสดงดังรูปที่ 4.1 (ก) การเดินขึ้น 1 คน (ข) การเดินลง 1 คน, วิ่งขึ้นและลง 1 คนแสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) การวิ่งขึ้น 1 คน (ข) การวิ่งลง 1 คน, เดินสวนกันแสดงดังรูปที่ 4.3, วิ่งสวนกันแสดงดังรูปที่ 4.4, เดินขึ้นและลงต่อกัน 2 คนแสดงดังรูปที่ 4.5 (ก) การเดินขึ้น 2 คน (ข) การเดินลง 2 คน, เดินขึ้นและลงต่อกัน 3 คนแสดงดังรูปที่ 4.6 (ก) การเดินขึ้น 3 คน (ข) การเดินลง 3 คน, เดินเรียงหน้ากระดานขึ้นและลง 3 คนแสดงดังรูปที่ 4.7 (ก) การเดินขึ้น 3 คน (ข) การเดินลง 3 คน, เดินขึ้นและลง 5 คนแสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) การเดินขึ้น 5 คน (ข) การเดินลง 5 คน ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

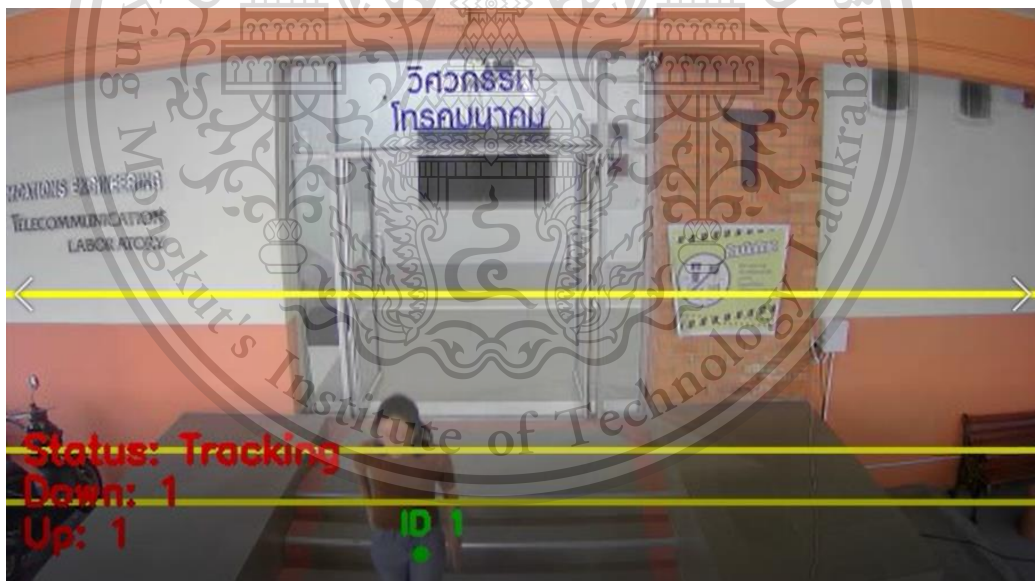
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. เดินขึ้นและลง 1 คน



(ก)



(ข)

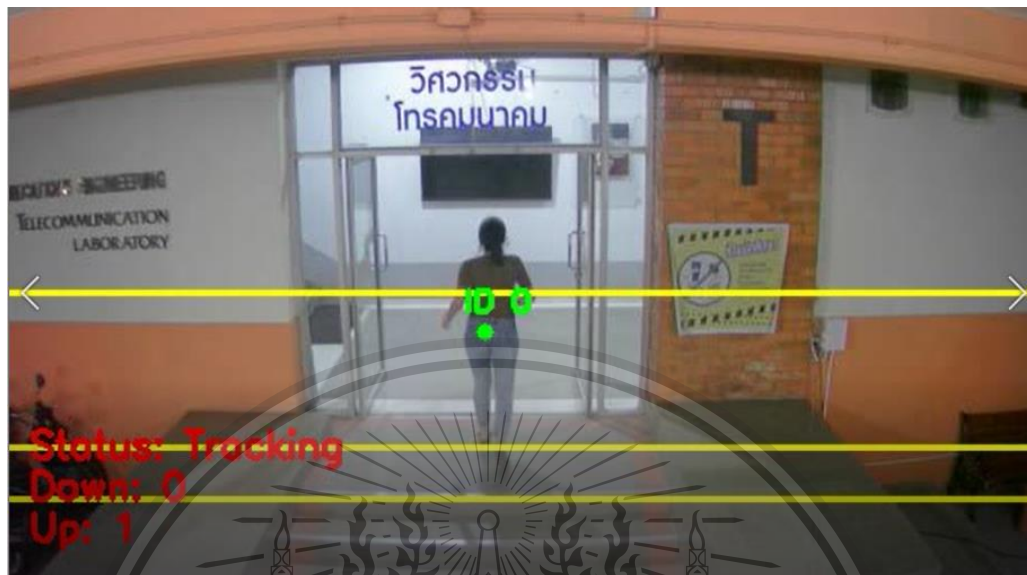
รูปที่ 4.1 สถานการณ์จำลองการเดินขึ้นและลง 1 คน (ก) การเดินขึ้น 1 คน (ข) การเดินลง 1 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. วิ่งขึ้นและลง 1 คน



(ข)

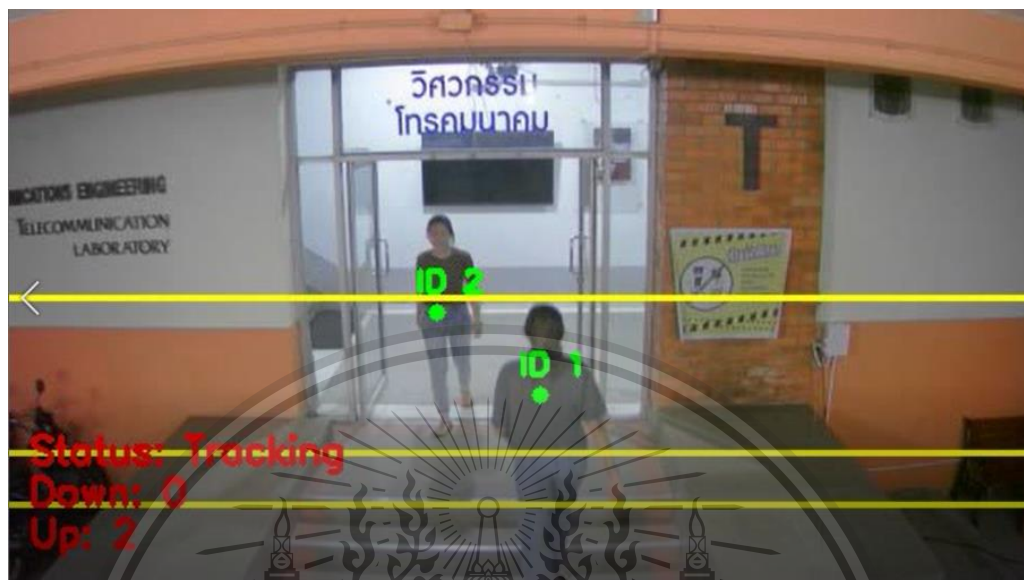
รูปที่ 4.2 สถานการณ์จำลองการวิ่งขึ้นและลง 1 คน (ก) การวิ่งขึ้น 1 คน (ข) การวิ่งลง 1 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

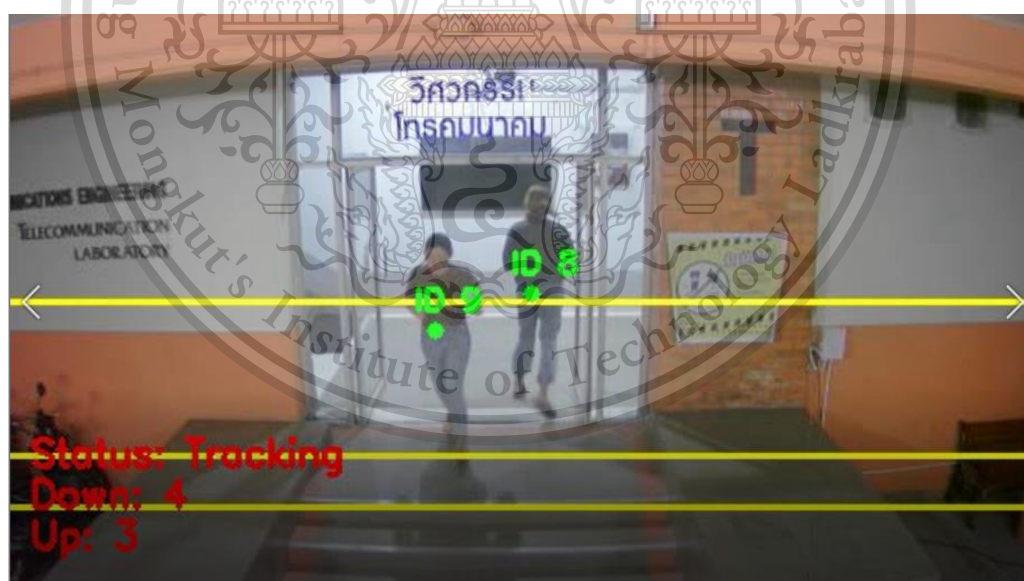
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. เดินสวนกัน



รูปที่ 4.3 สถานการณ์จำลองการเดินสวนกัน

4. วิ่งสวนกัน



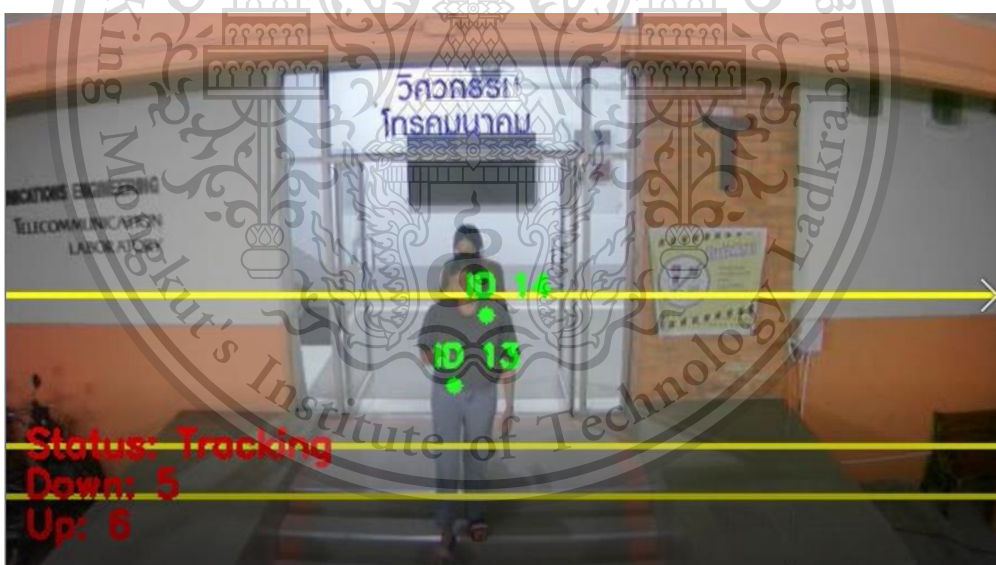
รูปที่ 4.4 สถานการณ์จำลองการวิ่งสวนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. เดินขึ้นและลงต่อกัน 2 คน



(ข)

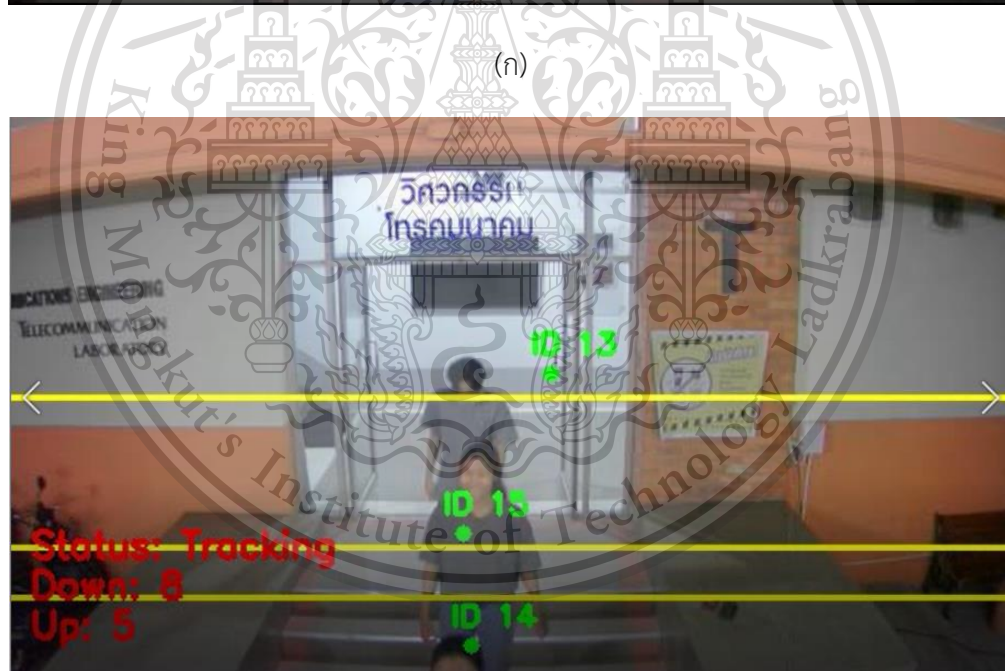
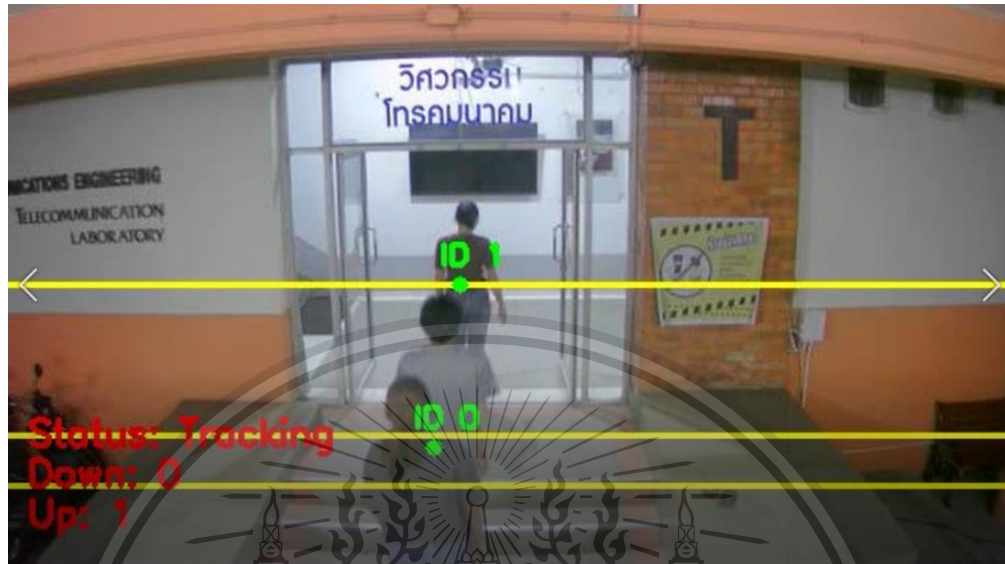
รูปที่ 4.5 สถานการณ์จำลองการเดินต่อกัน 2 คน (ก) การเดินขึ้น 2 คน (ข) การเดินลง 2 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. เดินขึ้นและลงต่อกัน 3 คน



(ข)

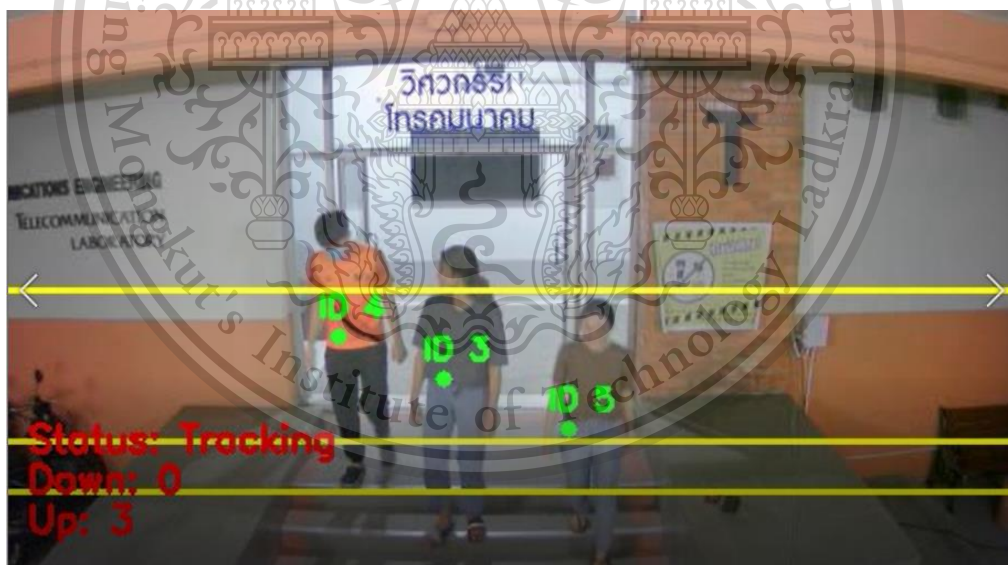
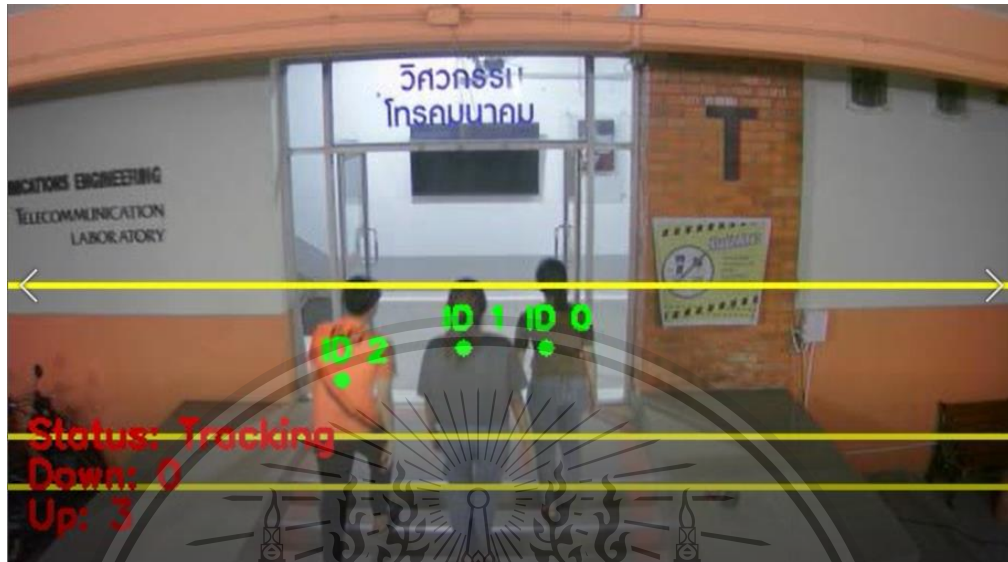
รูปที่ 4.6 สถานการณ์จำลองการเดินต่อกัน 3 คน (ก) การเดินขึ้น 3 คน (ข) การเดินลง 3 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7. เดินเรียงหน้ากระดานขึ้นและลง 3 คน



(ข)

รูปที่ 4.7 สถานการณ์จำลองการเดินเรียงหน้ากระดาน 3 คน

(ก) การเดินขึ้น 3 คน (ข) การเดินลง 3 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

8. ขึ้นและลง 5 คน



(ก)



(ข)

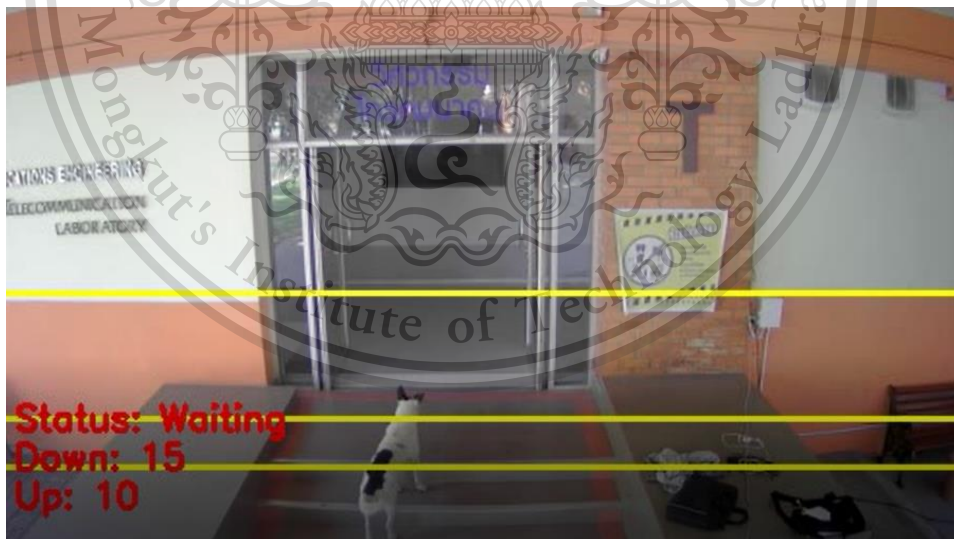
รูปที่ 4.8 สถานการณ์จำลองการเดินขึ้นและลง 5 คน (ก) การเดินขึ้น 5 คน (ข) การเดินลง 5 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความผิดพลาดส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการเดินซ้อนกัน ทำให้การมองเห็นซ้อนทับกันหรือวัตถุที่สนใจใกล้กันมาก ระบบจึงมองเห็นเป็นวัตถุเดียวกันและกำหนดเลขประจำตัวให้วัตถุที่ต่างกันเป็นเลขเดียวกัน และอีกความผิดพลาดหนึ่งเกิดจากการที่ทรัพยากรการประมวลผลไม่เพียงพอจึงทำให้เลขประจำตัวที่ติดตามวัตถุที่สนใจเกิดการค้างและตามวัตถุที่เคลื่อนที่ไม่ทัน ในส่วนของวัตถุที่ไม่สนใจ ระบบก็จะไม่ทำการตรวจจับและกำหนดหมายเลขประจำตัวให้วัตถุที่ไม่สนใจซึ่งผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 (ก) แสดงสถานการณ์เมื่อมีการปกปิดใบหน้าของวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจ รูปที่ 4.10 (ข) แสดงสถานการณ์เมื่อมีการปกปิดส่วนหัวของวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจ จะเห็นได้ว่าระบบมีการตรวจจับเป็นปกติ แสดงว่าระบบตรวจนับจำนวนคนนี้สามารถทำงานในข้อจำกัดนี้ได้ รูปที่ 4.11 และ 4.12 เป็นการทดสอบกับวิดีโอตัวอย่าง โดยรูปที่ 4.11 แสดงสถานการณ์เมื่อวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจและไม่สนใจอยู่ในลักษณะเดียวกัน โดยรูปที่ 4.11 (ก) แสดงสถานการณ์เมื่อวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจและไม่สนใจอยู่ในลักษณะคล้ายกัน และรูปที่ 4.11 (ข) แสดงสถานการณ์เมื่อวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจและไม่สนใจอยู่ในลักษณะยื่นเหมือนกัน ซึ่งระบบมีการตรวจจับเฉพาะวัตถุที่สนใจ ดังนั้นอัลกอริทึมก็สามารถทำงานที่ข้อจำกัดนี้ได้เช่นกัน รูปที่ 4.12 แสดงสถานการณ์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถแยกวัตถุที่สนใจกับวัตถุที่มีความคล้ายคลึงกันได้ รูปที่ 4.12 (ก) แสดงสถานการณ์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถแยกมนุษย์กับหุ่นยนต์ได้ โดยระบบจะตัดสินใจให้หุ่นยนต์ผู้หญิงอยู่ในคลาสบุคคล รูปที่ 4.12 (ข) แสดงสถานการณ์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถแยกมนุษย์กับโครงกระดูกได้ ซึ่งระบบทำการตัดสินใจให้โครงกระดูกอยู่ในคลาสบุคคลเช่นกัน



รูปที่ 4.9 สถานการณ์เมื่อมีวัตถุที่ไม่สนใจเข้ามาในเฟรมภาพ

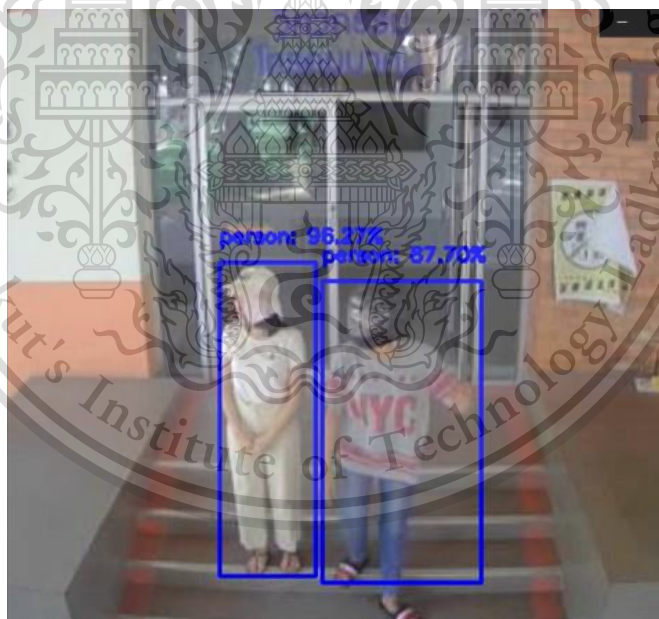
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 สถานการณ์เมื่อมีการปกปิดใบหน้าหรือส่วนหัวของวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจ

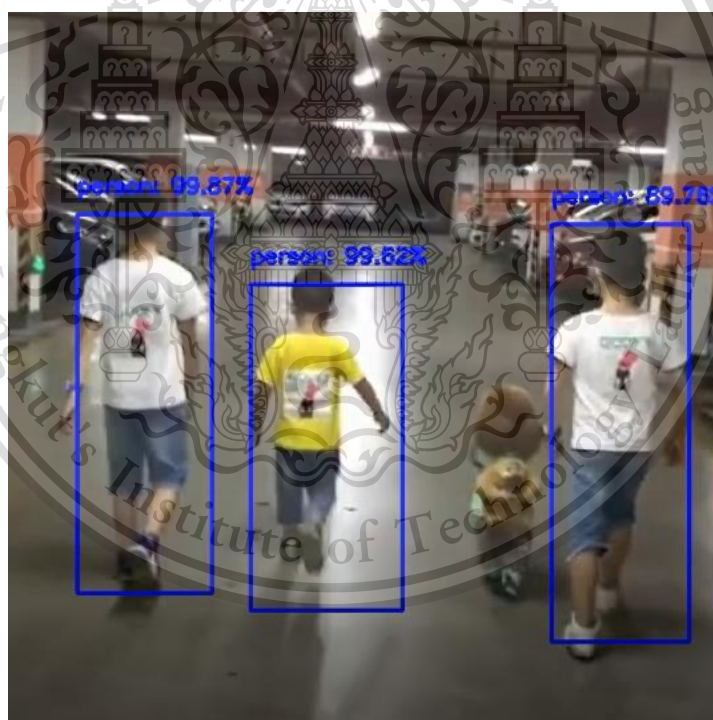
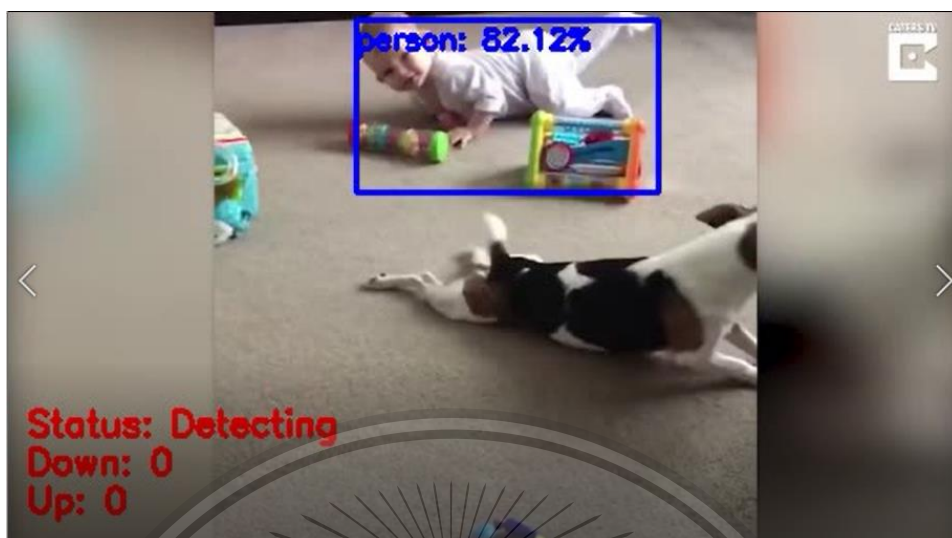
(ก) สถานการณ์เมื่อมีการปกปิดใบหน้าของวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจ

(ข) สถานการณ์เมื่อมีการปกปิดส่วนหัวของวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ข)

รูปที่ 4.11 สถานการณ์เมื่อวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจและไม่สนใจอยู่ในลักษณะเดียวกัน

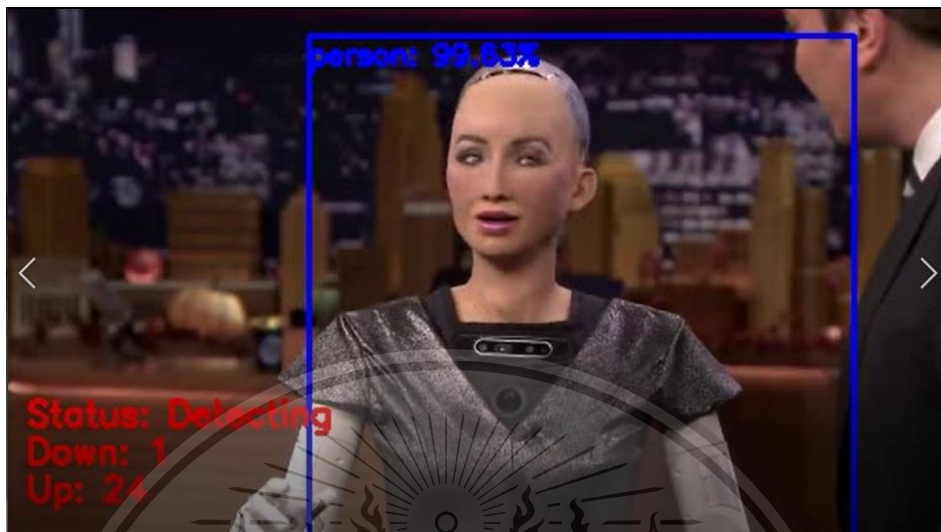
(ก) สถานการณ์เมื่อวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจและไม่สนใจอยู่ในลักษณะคล้ายกัน

(ข) สถานการณ์เมื่อวัตถุที่อัลกอริทึมสนใจและไม่สนใจอยู่ในลักษณะอื่นเหมือนกัน

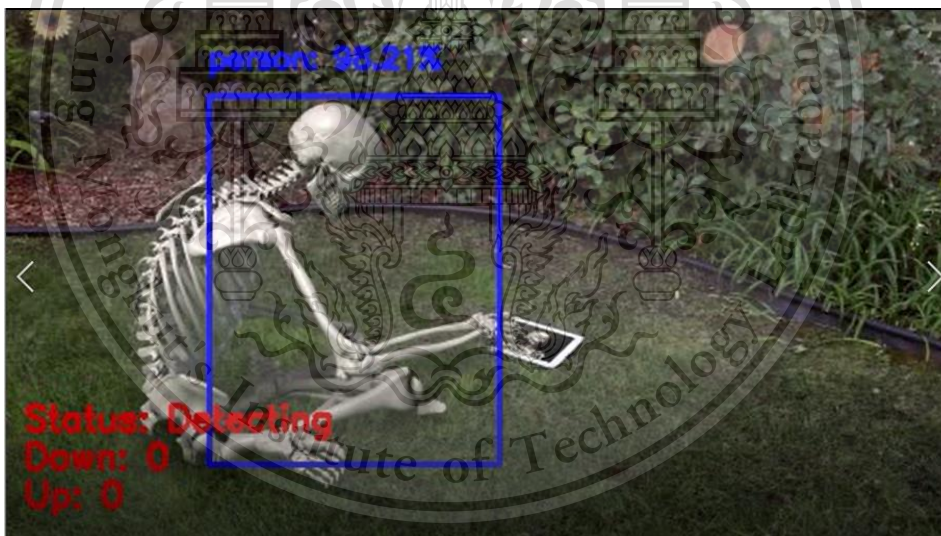
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้เผยแพร่เนื้อหาไปใช้เชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 สถานการณ์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถแยกวัตถุที่สนใจกับวัตถุที่มีความคล้ายคลึงกันได้

(ก) สถานการณ์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถแยกมนุษย์กับหุ่นยนต์ได้

(ข) สถานการณ์ที่อัลกอริทึมไม่สามารถแยกมนุษย์กับโครงกระดูกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 การทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคน

นอกจากนี้ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคนเข้าออกอาคาร โดยทำการทดสอบระบบเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแบบเรียลไทม์ ในตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์การทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแบบเรียลไทม์โดยประมวลผลระบบด้วยโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ และตารางที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์การทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแบบเรียลไทม์โดยประมวลผลด้วยบอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit โดยการต่ออุปกรณ์ต่างๆของระบบจะแสดงในรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.3 การทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแบบเรียลไทม์ โดยประมวลผลระบบด้วยโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์

	จำนวนคนเข้า	จำนวนคนออก
จำนวนคนที่ตรวจนับได้	18	16
จำนวนคนที่เข้าและออกจริง	18	17
ค่าความผิดพลาด	0%	5.88%

ตารางที่ 4.4 การทดสอบระบบตรวจนับจำนวนคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแบบเรียลไทม์ โดยประมวลผลระบบด้วยบอร์ด NVIDIA Jetson Nano Developer Kit

	จำนวนคนเข้า	จำนวนคนออก
จำนวนคนที่ตรวจนับได้	16	27
จำนวนคนที่เข้าและออกจริง	18	23
ค่าความผิดพลาด	11.11%	17.39%



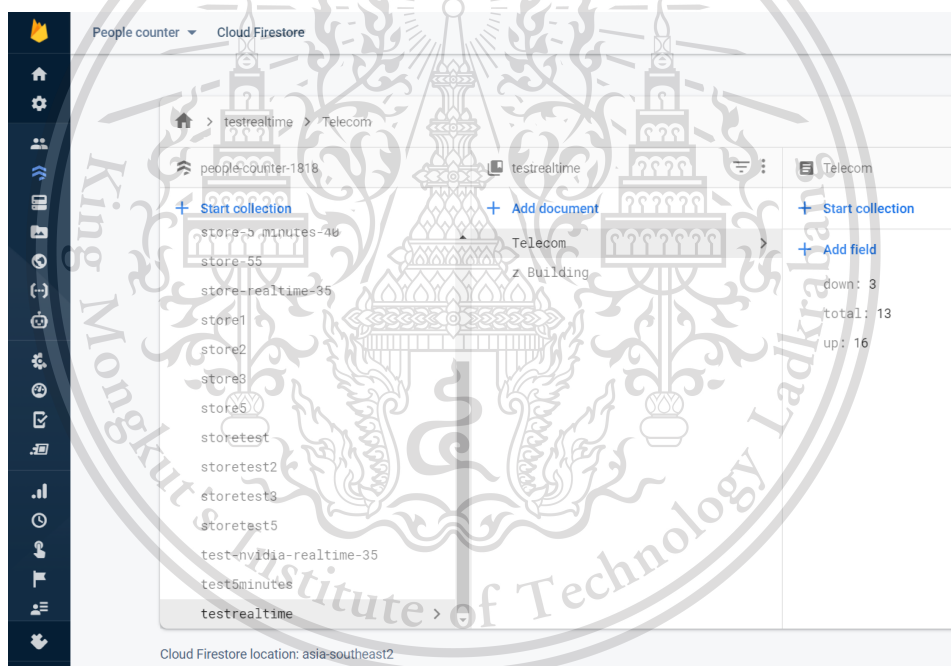
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.13 การต่ออุปกรณ์ต่างๆของระบบ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลขึ้นฐานข้อมูล

ผู้จัดทำทำการเชื่อมต่อข้อมูลกับฐานข้อมูล โดยเลือกฐานข้อมูลแบบ NoSQL เลือกใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud Server) ของไฟร์เบส (Firebase) และเปลี่ยนไปใช้บริการแบบ Cloud Firestore แทนบริการแบบ Realtime Database เนื่องจากสามารถดึงข้อมูลไปสร้างกราฟได้ง่ายกว่า ผู้จัดทำทำการอัปเดตผลลัพธ์ของจำนวนคนออกเป็นสอง collection โดย collection ที่ 1 ชื่อ testrealtime ภายในจะมี document ที่ชื่อ Telecom ซึ่งจะอัปเดตข้อมูลจำนวนคนเข้า จำนวนคนออก และคำนวณจำนวนคนที่เหลือภายในตึกขึ้นบนคลาวด์แบบเรียลไทม์ โดยแสดงผลตามรูปที่ 4.14 และ collection ที่ 2 ชื่อ test5minutes ภายในจะมี document ที่แสดงวันที่และเวลาโดยมีความถี่ในการส่งข้อมูลทุก ๆ 5 นาที และภายในแต่ละ document ของเวลา และวันที่จะแสดงจำนวนคนที่เหลือภายในตึก โดยแสดงผลตามรูปที่ 4.15

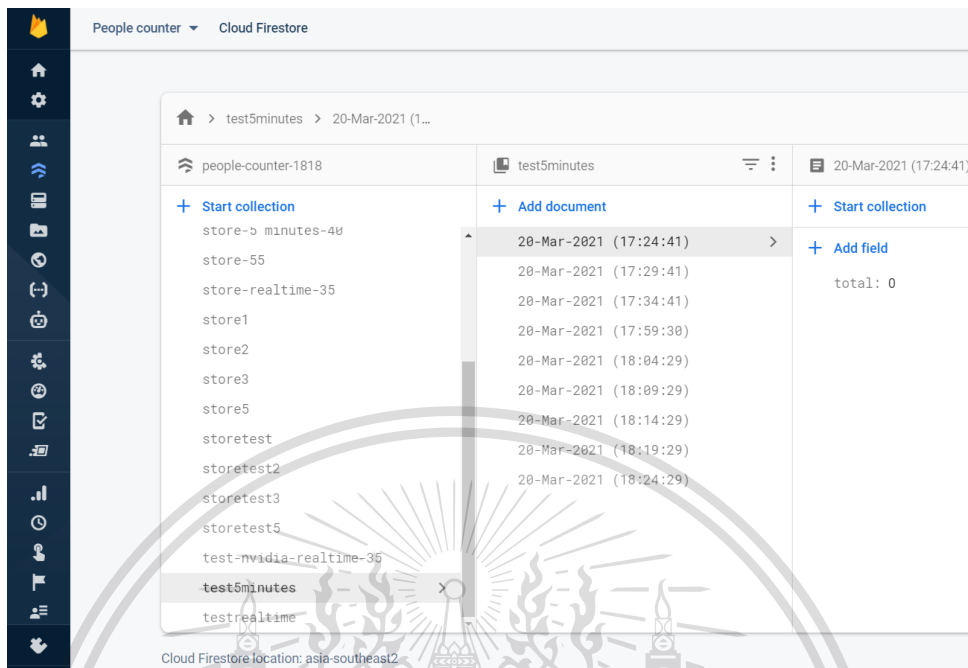


รูปที่ 4.14 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ Firebase Cloud Firestore แบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ Firebase Cloud Firestore แบบส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์ ทุกๆ 5 นาที

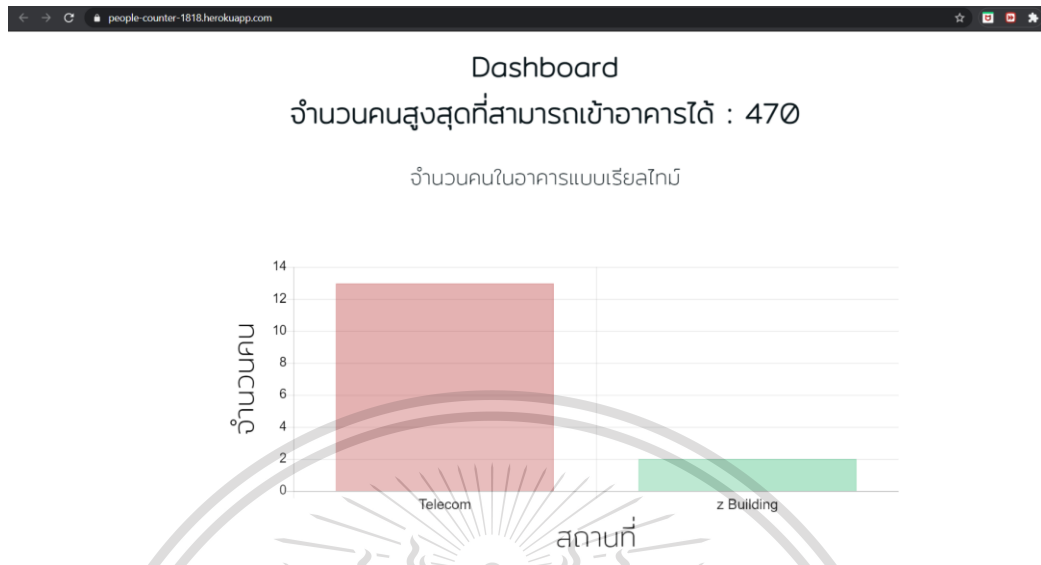
4.3 ผลการทดสอบการแสดงผลหน้าจอผู้ใช้งาน

หลังจากนั้นผู้จัดทำได้นำข้อมูลที่ทำกรอัปโหลดขึ้นคลาวด์ไปพล็อตเป็นกราฟแสดงบนหน้า Dashboard โดยเลือกใช้เฟรมเวิร์คของ Django ซึ่งผู้จัดทำได้แสดงผลไว้ 2 กราฟ กราฟที่ 1 คือ กราฟที่แสดงจำนวนคนทั้งหมดในตึกภาควิชาโทรคมนาคมแบบเรียลไทม์ โดยจะแสดงผลเป็นกราฟแท่งตามรูปที่ 4.16 และกราฟที่ 2 แสดงจำนวนคนในทุกๆ 5 นาที เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของจำนวนคนในแต่ละช่วงเวลา โดยจะแสดงผลเป็นกราฟเส้นตามรูปที่ 4.17

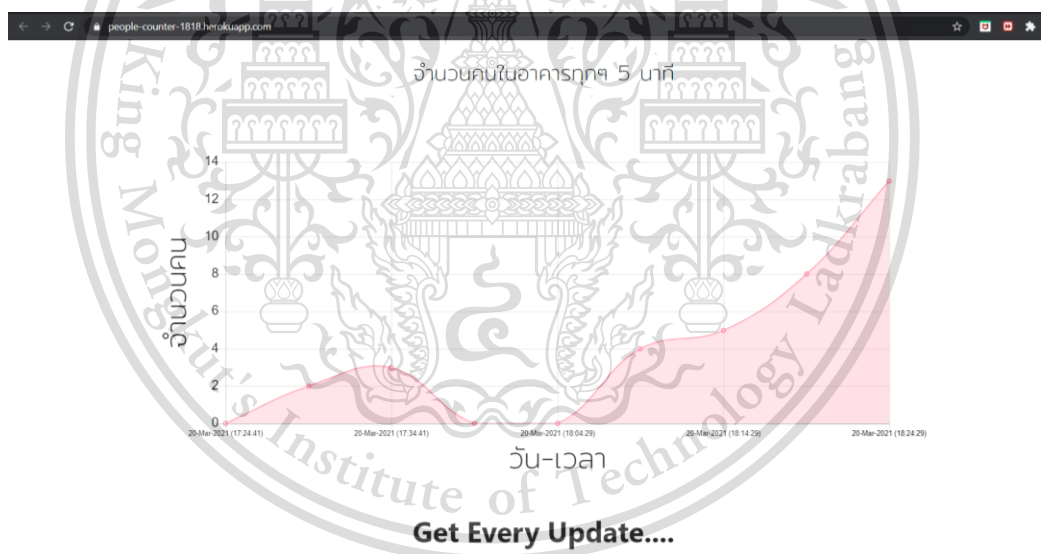
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 กราฟความหนาแน่นของจำนวนผู้คนภายในอาคารแบบเรียลไทม์



รูปที่ 4.17 กราฟความหนาแน่นของจำนวนผู้คนในแต่ละช่วงเวลาโดยแสดงทุกๆ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

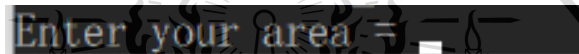
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ผลการทดสอบการแจ้งเตือน

4.4.1 การรับค่าจำนวนพื้นที่ต่อตารางเมตรของอาคาร

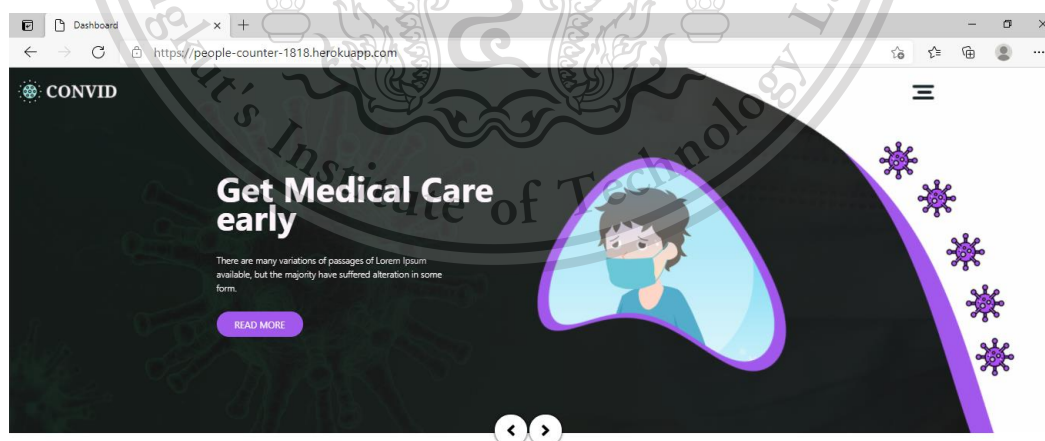
ผู้จัดทำสร้างฟังก์ชันรับค่าจำนวนพื้นที่ต่อตารางเมตรภายในอาคารเพื่อใช้ในการคำนวณจำนวนคนตามข้อกำหนดการควบคุมจำนวนคนที่ออกโดยรัฐบาล โดยฟังก์ชันมีการรับค่าพื้นที่ต่อตารางเมตรแสดงดังรูปที่ 4.18 เมื่อทำการใส่ค่าตัวเลขไป ระบบจะทำการคำนวณจำนวนคนที่รับได้ภายในอาคารและแสดงผลออกมาดังรูปที่ 4.19 และนอกจากนี้ระบบยังแสดงจำนวนที่รับได้ภายในอาคารบนหน้าเว็บไซต์อีกด้วย โดยผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.20 โดยการคำนวณยึดหลักตามแนวปฏิบัติตามข้อกำหนดออกตามความในมาตรา 9 แห่งพระราชกำหนดสถานการณ์ฉุกเฉิน 2548 (ฉบับที่ 4) ออกเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ.2563 กำหนดให้ควบคุมจำนวนผู้คน ตามขนาดพื้นที่ห้อง เกณฑ์ไม่น้อยกว่า 4 ตารางเมตรต่อคน 1 คน



รูปที่ 4.18 ฟังก์ชันการรับค่าพื้นที่ต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.19 ฟังก์ชันคำนวณและแสดงจำนวนคนที่รับได้ภายในอาคาร



Dashboard

จำนวนคนสูงสุดที่สามารถเข้าอาคารได้ : 470

รูปที่ 4.20 หน้าเว็บไซต์แสดงจำนวนคนที่รับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 การแจ้งเตือนเมื่อมีจำนวนคนเกินข้อกำหนดการควบคุมคนภายในอาคาร

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาหาวิธีการแจ้งเตือนในรูปแบบต่างๆ และพบว่าการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน Line มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานกับระบบตรวจนับจำนวนคนโดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วยปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นแอปพลิเคชันที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายและเข้าถึงผู้คนได้มาก ผู้จัดทำจึงเลือกการแจ้งเตือนผ่านบริการ Line Notify มาเป็นส่วนหนึ่งในการแจ้งเตือนของระบบตรวจนับจำนวนคนเมื่อมีผู้คนเกินข้อกำหนดการควบคุมภายในอาคาร

เมื่อมีผู้ใช้งานภายในอาคารเกินจำนวนที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่านบัญชี Line ของกลุ่มหรือผู้ดูแลอาคารที่ทำการผูกบัญชีแอปพลิเคชัน Line ไว้ โดยรูปแบบการแจ้งเตือนแสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 บริการ Line Notify ของแอปพลิเคชัน Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการใช้งานระบบตรวจนับจำนวนคนด้วยปัญญาประดิษฐ์ การตรวจนับจำนวนคนให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจโดยเฉพาะอย่างการประมวลผลในคอมพิวเตอร์ไนต์บุ๊ก พบว่าระบบตรวจนับจำนวนคนด้วยความแม่นยำที่สูงและมีประสิทธิภาพ ในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลได้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ โดยระบบการจัดเก็บข้อมูลที่ใช้สามารถส่งข้อมูลและร้องขอข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ทำให้ระบบตรวจนับจำนวนคนด้วยปัญญาประดิษฐ์สามารถแสดงผลจำนวนคนได้อย่างเป็นปัจจุบัน ไม่มีความล่าช้า รวมถึงข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้ยังสามารถนำมาวิเคราะห์ผล เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่น ภาครัฐกิจและอุตสาหกรรม การจัดการบุคลากรและทรัพยากรในพื้นที่ เป็นต้น และในส่วนของแสดงผลข้อมูล ในส่วนนี้สามารถแสดงผลได้ตามที่ต้องการ คือ การแสดงผลจำนวนคนที่สามารถรับได้ภายในอาคารเพื่อให้ผู้ที่ใช้บริการภายในอาคารประกอบการตัดสินใจในการเข้าใช้งานอาคาร การแสดงผลจำนวนคนแบบเรียลไทม์ในสถานที่ต่างๆ และแสดงผลความหนาแน่นของจำนวนผู้คนในช่วงเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลข้อมูลผ่านการประมวลผลและนำเสนอในรูปแบบที่น่าสนใจมากยิ่งขึ้น คือ แบบแผนภูมิแท่งและแผนภูมิเส้น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลได้ง่ายขึ้น สะดวกต่อการรับรู้และเข้าใจ และทำให้ผู้คนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายเนื่องจากระบบมีการแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ ทำให้บุคคลภายนอกสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อีกด้วย และส่วนสุดท้าย คือ ส่วนการแจ้งเตือน ระบบสามารถส่งการแจ้งเตือนเมื่อมีจำนวนคนเกินที่กำหนดไปยังผู้ดูแลอาคารได้ ทำให้การควบคุมจำนวนคนภายในอาคารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและทำให้ระบบบรรลุวัตถุประสงค์ในการจัดทำปฏิญานพันธกิจขึ้นขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการใช้งานระบบตรวจนับจำนวนคนด้วยปัญญาประดิษฐ์แล้ว เพื่อให้ระบบตรวจนับจำนวนคนด้วยปัญญาประดิษฐ์นำไปใช้จริงได้และก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรให้ระบบมีความสามารถในการรับ แยกแยะ และวิเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นได้มากกว่าเดิม เช่น เพศ ช่วงอายุ เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลสำหรับการนำไปใช้งานในภาครัฐกิจและอุตสาหกรรม นอกจากนี้การตกแต่งการแสดงผลข้อมูลสำหรับหน้าจอผู้ใช้งานให้มีความสวยงามและง่ายต่อการอ่านข้อมูล รวมถึงมีรูปแบบการนำเสนอที่หลากหลายมากขึ้นก็จะทำให้ระบบตรวจนับจำนวนคนด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีความน่าสนใจและนำมาใช้งานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] ชนิษฐา คงรักเกียรติยศ. “ผลกระทบที่สำคัญของโควิด-19 ต่อเศรษฐกิจไทย ความเปราะบางของครัวเรือน และผู้ประกอบการ.”
<https://www.worldbank.org/th/news/press-release/2020/06/30/major-impact-from-covid-19-to-thailands-economy-vulnerable-households-firms-report>
- [2] Q. Chen, M. Gao, J. Ma, D. Zhang, L. M. Ni, and Y. Liu. “Moving Object Counting using Ultrasonic Sensor Networks.” *International Journal of Sensor Networks*, vol. 3, 2008.
- [3] K. Hashimoto, K. Morinaka, N. Yoshiike, C. Kawagushi, and S. Matsueda. “People Count System using Multi-Sensing Application.” In *Proceedings of International Conference on Solid State Sensors and Actuators, TRANSDUCERS*, vol. 2, 1997.
- [4] P. Zappi, E. Farella, and L. Benini. “Enhancing the Spatial Resolution of Presence Detection in a PIR based Wireless Surveillance Network.” In *Proceedings of IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, AVSS*, pp. 295-300, 2007.
- [5] S. Meyn, A. Surana, Yiqing Lin, S.M. Oggianu, S. Narayanan, and T.A. Frewan. “Sensor-Utility-Network Method for Estimation of Occupancy in Buildings.” In *Proceedings of IEEE Conference on Decision and Control, held jointly with the Chinese Control Conference, CDC/CCC*, pp. 1494-1500, 2009.
- [6] S. Velipasalar, Y. Tian, and A. Hampapur. “Automatic Counting of Interacting People by using a Single Uncalibrated Camera.” In *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2006.
- [7] Brendan McGinty. “Deep Learning at Scale.”
<https://verneglobal.com/news/blog/deep-learning-at-scale>
- [8] Diego Aghi, Vittorio Mazza, and Marcello Chiaberge. “Local Motion Planner for Autonomous Navigation in Vineyards with a RGB-D Camera-Based Algorithm and Deep Learning Synergy.” *Machines* 2020, 2020.
- [9] Sik Ho Tsang. “Mobilenet V1.”
<https://towardsdatascience.com/review-mobilenetv1-depthwise-separable-convolution-light-weight-model-a382df364b69>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [10] Johann Huber. “Batch normalization in 3 levels of understanding.”
<https://towardsdatascience.com/batch-normalization-in-3-levels-of-understanding-14c2da90a338>
- [11] Brendan Fortuner. “Activation Functions.”
https://ml-cheatsheet.readthedocs.io/en/latest/activation_functions.html.
- [12] “ReLU6.” <https://paperswithcode.com/method/relu6>
- [13] Akshay Choulwar. “The Art of Convolutional Neural Network.”
<https://medium.com/@achoulwar901/the-art-of-convolutional-neural-network-abda56dba55c>
- [14] “Fully Connected Layers in Convolutional Neural Networks.”
<https://missinglink.ai/guides/convolutional-neural-networks/fully-connected-layers-convolutional-neural-networks-complete-guide/>
- [15] “Multi-Class Neural Networks: Softmax.”
<https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/multi-class-neural-networks/softmax>
- [16] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. E. Reed, C. Fu, and A. C. Berg. “SSD: single shot multibox detector.” CoRR, vol. abs/1512.02325, 2015.
- [17] Jonathan Hui. “single Shot Multibox Detection.”
https://medium.com/@jonathan_hui/ssd-object-detection-single-shot-multiboxdetector-for-real-time-processing-9bd8deac0e06
- [18] Eddie Forson. “Non Maximum Suppression.”
<https://towardsdatascience.com/understanding-ssd-multibox-real-time-objectdetection-in-deep-learning-495ef744fab>
- [19] Adrian Rosebrock. “Open CV People Counter.”
<https://www.pyimagesearch.com/2018/08/13/opencv-people-counter/>
- [20] Tejas Narayan. “Mobilenet-SSD Architecture.”
<https://laptrinhx.com/object-detection-a-comparison-of-performance-of-deep-learning-models-on-edge-using-intel-1353474425/>
- [21] Somet Lee. “Implementing Single Shot Detector (SSD) in Keras: Part I — Network Structure.”
<https://towardsdatascience.com/implementing-ssd-in-keras-part-i-network-structure-da3323f11cff>
- [22] Saeed Arabi. Arya Ketabchi Haghghat. “A deep learning based solution for construction equipment detection: from development to deployment.”, 2019.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่เอามาตีพิมพ์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [23] “Deep Learning Framework.”
<https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/tools/frameworks.html>
- [24] “Firebase.” <https://firebase.google.com/>
- [25] “Firebase Cloud Firestore.” <https://firebase.google.com/docs/firestore>
- [26] “Django Framework.” <https://www.djangoproject.com/community/logos/>
- [27] “Bootstrap.” <https://v4-alpha.getbootstrap.com/about/brand/>
- [28] “j Query.” <https://medium.com/@lumrachele/is-jquery-for-you-eef3c7d9538b>
- [29] “Chart JS.” <https://www.chartjs.org/>
- [30] “Web Hosting.” <http://www.hostinggarage.in/what-is-web-hosting/>
- [31] “Heroku.” <https://brand.heroku.com/>
- [32] “Line Notify.” <https://notify-bot.line.me/th>
- [33] สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา. ข้อกำหนดออกตามความในมาตรา 9 แห่งพระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉิน พ.ศ.2548 (ฉบับที่ 18). กรุงเทพมหานคร :สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา, 2564.
- [34] “มาตรการสถานศึกษารับมือโควิด-19.” <https://www.eef.or.th/infographic11272/>
- [35] Adrian Rosebrock. “Open CV People Counter.”
<https://www.pyimagesearch.com/2018/08/13/opencv-people-counter/>
- [36] “Firebase Cloud Firestore.”
<https://firebase.google.com/docs/firestore/images/structure-data.png>
- [37] “Deploy and host web using Heroku and Firebase.”
<https://medium.com/@bhushangoel/how-to-use-firebase-and-herokus-free-plans-to-host-your-website-36fc4bc9c365>
- [38] Oraphanthong T. “Line Notify API.”
<https://medium.com/blog-blog/%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89-node-red-%E0%B8%AA%E0%B9%88%E0%B8%87-line-notify-%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99-1553e559b67a>
- [39] “Notebook Acer SWIFT 3 SF314-51-58F9, 53LH.”
<https://notebookspec.com/notebook/7422-acer-swift-3-sf314-51-58f9-53lh.html>
- [40] “Jetson Nano Developer Kit.”
<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>
- [41] “Xiaomi Xiaovv 1080P USB Webcam.”
<https://www.joom.com/en/products/5f5a0182e1422d010676767e>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [42] “จอ LED Samsung LS20D300NH/XT.”
<https://www.lazada.co.th/products/led-195-samsung-ls20d300nhxt-i175024578-s219225724.html>
- [43] “Wireless USB Adapter TP-Link (TL-WN821N) N300.”
<https://www.advice.co.th/product/wireless-network/wireless-usb-adapter/wireless-usb-adapter-tp-link-tl-wn821n-n300>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.