



การสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรมจากการตรวจจับรูปแบบกิจกรรมของ  
ผู้ใช้งานบนพื้นที่สาธารณะโดยระบบการรู้จำวัตถุ ทัศนศึกษา:  
การสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกสำหรับ  
ป้ายรถโดยสารประจำทาง

โดย

นายสิทธิรัช สุรบถโสภณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรมจากการตรวจจ็บบรูปแบบกิจกรรมของ  
ผู้ใช้งานบนพื้นที่สาธารณะโดยระบบการรู้จำวัตถุ กรณีศึกษา:  
การสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกสำหรับ  
ป้ายรถโดยสารประจำทาง

โดย

นายสิทธิรัช สุรบถโสภณ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

GENERATING AN ARCHITECTURAL MODEL USING OBJECT  
RECOGNITION TO OBSERVE HUMAN MOVEMENT IN  
PUBLIC SPACE CASE STUDY: 3-DIMENSIONAL  
PARAMETRIC MODEL OF BUS STATION  
PLATFORMS

BY

MR. SITTHITOUCH SURABOTSOPON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE  
ARCHITECTURE  
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING  
THAMMASAT UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2017  
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ


นายสิทธิวิช สุรบถโสภณ

เรื่อง

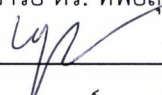
การสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรมจากการตรวจจับรูปแบบกิจกรรมของผู้ใช้งานบนพื้นที่  
สาธารณะโดยระบบการรู้จำวัตถุ กรณีศึกษา: การสร้างแบบจำลองสามมิติ  
เชิงพารามетริกสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทาง  
ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2561

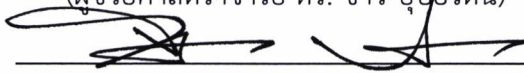
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
\_\_\_\_\_  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุดา จันทรแจ่มหล้า)

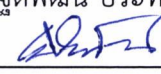
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

  
\_\_\_\_\_  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาวี บุขยรัตน์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
\_\_\_\_\_  
(ศาสตราจารย์ รุติพัฒน์ ประทานทรัพย์)

คณบดี

  
\_\_\_\_\_  
(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสต์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรมจากการตรวจจับรูปแบบกิจกรรมของผู้ใช้งานบนพื้นที่สาธารณะโดยระบบการรู้จำวัตถุ กรณีศึกษา: การสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริกสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทาง
ชื่อผู้เขียน	นายสิทธิรัช สุรบถโสภณ
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาวี บุขยรัตน์
ปีการศึกษา	2560

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการนำเอาระบบการรู้จำวัตถุเข้ามาใช้ช่วยเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถช่วยให้ข้อมูลมีความแม่นยำและสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำระบบการรู้จำวัตถุมาใช้ร่วมกับการออกแบบงานสถาปัตยกรรมเชิงพารามетริก สามารถช่วยให้การออกแบบปรับปรุงงานสถาปัตยกรรม มีความเฉพาะเหมาะสมกับรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นได้ง่ายและละเอียดมากขึ้น ด้วยการใช้ระบบรู้จำวัตถุซึ่งถูกเขียนขึ้นบนแพลตฟอร์มสมาร์ทโฟน (iOS) โดยการนำข้อมูลของ 1) กรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ 2) ตำแหน่งของวัตถุ 3) ชนิดของวัตถุ ข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถระบุชนิดของวัตถุและจำแนกกิจกรรมที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ได้ โดยอาศัยการซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเชิงพารามетริกช่วยในการจำแนกข้อมูล และทดลองเก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่รอบป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปใช้ปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อสร้างรูปแบบป้ายสถานีขึ้นใหม่โดยอัตโนมัติด้วยกระบวนการเชิงพารามетริก ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบของกิจกรรมและลักษณะความสัมพันธ์ของวัตถุแต่ละชนิดตามที่กำหนด เพื่อศึกษาแนวทางใหม่ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม ที่ใช้ระบบการรู้จำวัตถุช่วยในการวิเคราะห์บริบทและกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ตั้ง

**คำสำคัญ:** ระบบการรู้จำวัตถุ, แบบจำลองเชิงพารามетริก

Thesis Title	GENERATING THE ARCHITECTURAL MODEL USING OBJECT RECOGNITION TO OBSERVE HUMAN MOVEMENT IN PUBLIC SPACE CASE STUDY: 3-DIMENSIONAL PARAMETRIC MODEL OF BUS STATION PLATFORMS
Author	Mr. Sitthitouch Surabotsopon
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Asst. Prof. Chawee Busayarat, Ph.D.
Academic Years	2017

## ABSTRACT

Nowadays, object recognition has a potential to help gather data more accurate and more intuitive than collecting data manually. This research is conducted to study the possibility of using object recognition as an input in parametric architecture, with these data we can generate an architectural design which suitable for its current activities and surrounding contexts. The object recognition system is developed on the smartphone platform (iOS) to gather three types of data 1) Object's bounding box 2) Object's location 3) Object's label. By using these data, we can create a relationship between objects and their surrounding contexts to understand how humans occupy the space. We conduct a data sampling around bus stops in the Thammasat University Rangsit campus. As a result, we use these data as an input in the parametric modeling application to explore the new possibility to generate a 3-dimensional model automatically based on human activities within their surrounding contexts using the object recognition system.

**Keywords:** Object recognition, Parametric architecture

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยการให้ความช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาวี บุษยรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งช่วยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ รวมทั้ง ช่วยสนับสนุนการทดลองกายงานวิจัยจากศูนย์สร้างสรรค์เพื่อองค์ความรู้เชิงนวัตกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในด้านการพิมพ์สามมิติ

ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์ ที่ได้ช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ระหว่างการพัฒนาซอฟต์แวร์ และถ่ายทอดประสบการณ์ในการทำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้งาน ร่วมกับงานสถาปัตยกรรมทำให้การค้นคว้าหาข้อมูลเป็นไปได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุดา จันทร์แจ่มหล้า สำหรับข้อเสนอแนะ และ ช่วยแก้ไขกระบวนการวิจัยที่ผิดพลาดที่เกิดขึ้น ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายสิทธิชัย สุรบถโสภณ

(4)

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย	4
1.5 นิยามศัพท์	4
1.6 กระบวนการวิจัย	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 กระบวนการออกแบบในงานสถาปัตยกรรม	7
2.2 การศึกษารูปแบบพฤติกรรมบนพื้นที่สาธารณะ	8
2.3 ระบบการรู้จำวัตถุ (Object Recognition)	10



	(5)
2.4 กระบวนการสอนระบบการรู้จำวัตถุ	11
2.4.1 การถ่ายรูวัตถุเพื่อนำไปใช้ในการสอนระบบหรือสร้างชุดข้อมูล	11
2.4.2 การกำหนดป้ายกำกับให้กับวัตถุบนภาพถ่าย (Image Annotations)	12
2.4.3 การสร้างชุดข้อมูลบนโครงข่ายประสาทเทียมดาร์คเน็ต	14
2.5 การออกแบบเชิงพารามетริก	15
2.5.1 การนำซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริกมาใช้ในการงาน ออกแบบสถาปัตยกรรม	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับและจำลองการเคลื่อนไหวของวัตถุ	18
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองเชิงพารามетริก	24
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	29
3.1 รูปแบบของงานวิจัย	29
3.2 พื้นที่ศึกษาในงานวิจัย	29
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	30
3.4 การเตรียมรูปแบบการทดลอง	31
3.4.1 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการรู้จำวัตถุ	31
3.4.2 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก	33
3.5 การประเมินภาพรวมการทำงานของระบบ	34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	37
4.1 แนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชันและการนำไปใช้	37
4.2 การพัฒนาความสามารถให้แก่แอปพลิเคชัน Forge	38
4.2.1 ส่วนแสดงผลไฟล์ที่ถูกบันทึก	38
4.2.2 ส่วนทำการตรวจจับและบันทึก	39
4.2.3 ส่วนแสดงผลไฟล์ที่กำลังอ่าน	41
4.2.4 ส่วนส่งออกไฟล์ที่ถูกบันทึก	42
4.3 การประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเบื้องต้น	42

	(6)
4.4 กระบวนการจัดเตรียมรูปแบบการทดลอง	43
4.5 กระบวนการตรวจจับวัตถุโดยระบบการรู้จำวัตถุ	51
4.6 รายละเอียดเกี่ยวกับการนำระบบการรู้จำวัตถุไปใช้งานและกรณีศึกษา	53
4.7 กระบวนการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกจากข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ	54
4.7.1 ทดลองเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติโดยใช้ฐานข้อมูลเดียวกัน	56
4.7.1.1 การใช้ข้อมูลในการช่วยปรับรูปทรงจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้มีส่วนร่วม	57
4.7.1.2 การใช้ข้อมูลในการช่วยปรับรูปทรงแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้ไม่มีส่วนร่วม	58
4.7.2 ทดลองเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติโดยใช้ฐานข้อมูลต่างกัน	60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปภาพรวมของงานวิจัย	68
5.2 สรุปผลจากการทำงานของโปรแกรมร่วมกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก	71
5.2.1 การประเมินประโยชน์ที่ได้ของการใช้ตัวแปรแต่ละชนิดในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกบนพื้นที่กรณีศึกษา	71
5.2.2 ประเมินการทำงานร่วมกันของระบบเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีแนวทางการวิจัยใกล้เคียงกัน	73
5.3 ข้อจำกัดของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นภายในงานวิจัย	75
5.3.1 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับแอปพลิเคชันระบบการรู้จำวัตถุ	75
5.3.2 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก	76
5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	77
รายการอ้างอิง	78

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก อัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มเติมแก่แอปพลิเคชัน Forge	81
ภาคผนวก ข อัลกอริทึมในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก	107

ประวัติผู้เขียน	112
-----------------	-----



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงแนวทางในการตรวจจับและวิเคราะห์พื้นที่ในปัจจุบัน	9
2.2	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างงานวิจัยกับงานจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับและจำลองการเคลื่อนไหวของวัตถุ	23
2.3	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างงานวิจัยกับงานจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก	28
3.1	ตารางแสดงสิ่งที่ตรวจจับได้บนชุดข้อมูล PASCAL-VOC	32
3.2	ตารางแสดงชนิดของวัตถุที่ต้องเพิ่มเติมบนชุดข้อมูลใหม่	33
3.3	ตารางประเมินอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรม	33
3.4	ตารางประเมินการทำงานของระบบจากการทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก	35
3.5	ตารางประเมินเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
4.1	ตารางประเมินภาพรวมของระบบในส่วนการบันทึก อ่าน และส่งออกของระบบการรู้จำวัตถุ	42
4.2	ตารางแสดงรายละเอียดระหว่างการสอนชุดข้อมูล	47
4.3	ตารางแสดงการประเมินการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้ข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุ	55
4.4	ตารางแสดงเงื่อนไขและแนวทางในการจัดการข้อมูลที่ถูกรวบรวมได้	56
5.1	ตารางแสดงรายละเอียดระหว่างการสอนชุดข้อมูล	69
5.2	ตารางประเมินตัวแปรแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก	72
5.3	ตารางเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	73

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ภาพแสดงตำแหน่งของป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ที่ใช้ทดลองภายในงานวิจัย	3
2.1	ภาพแสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ SPACE SYNTAX	8
2.2	ภาพแสดงผลลัพธ์ในการระบุชนิดและตำแหน่งของวัตถุ โดยระบบการรู้จำวัตถุ	10
2.3	ภาพแสดงวิธีการทำงานของระบบการเรียนรู้ของเครื่องในการคาดเดาผลลัพธ์	11
2.4	ภาพแสดงการกำหนดป้ายกำกับให้วัตถุแต่ละหมวดหมู่บนภาพถ่ายด้วย LABELIMG	13
2.5	ภาพแสดงการตรวจจับวัตถุบนภาพถ่ายตามหมวดหมู่ที่กำหนดไว้	14
2.6	ภาพแสดงการสอนระบบผ่านดาร์คเน็ต	14
2.7	ภาพแสดงรายละเอียดของระบบที่ถูกแสดงระหว่างการสอนด้วยดาร์คเน็ต	15
2.8	ภาพแสดงการกำหนดเงื่อนไขในการสร้างวัตถุภายในโปรแกรมกราฟออปเปอเรเตอร์ 3 มิติ	15
2.9	วอลต์ดิสนีย์คอนเสิร์ตฮอลล์ ออกแบบโดยแฟรงค์ เกห์รี (FRANK GEHRY)	16
2.10	ภาพแสดงแบบจำลอง 3 มิติที่ได้จากการสร้างแบบจำลองเชิงพารามเมตริก	17
2.11	ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ AGENT SIMULATION ของ SPACE SYNTAX ก่อนใช้การวิเคราะห์ร่วมกับ FIBONACCI ANALYSIS	18
2.12	เปรียบเทียบตำแหน่งโต๊ะที่สร้างรายได้ให้แก่ร้านสูงสุด (ซ้าย) เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสมการ FIBONACCI ร่วมกับการใช้ VGA แสดงให้เห็นการคำนวณบนพื้นที่สี่เทา (ขวา)	19
2.13	ภาพแสดงสถานที่ ๆ ผู้วิจัยเลือกทำการสำรวจในช่วงแรกของการวิจัย.	19
2.14	ภาพแสดงแบบจำลองการเรียนรู้ของ LEWINIAN	20
2.15	ภาพแสดงขั้นตอนการทดลองนำสิ่งกีดขวางวางในตำแหน่งและลักษณะที่แตกต่างกัน	20
2.16	ภาพแสดงเส้นทางการสัญจรบนพื้นที่ ๆ ได้จากการบันทึกโดยระบบที่ถูกสร้างขึ้นในงานวิจัย	21
2.17	ภาพแสดงขั้นตอนการระบุชนิดกิจกรรมโดยระบบ (ซ้าย) แสดงขั้นตอนการระบุตัวตนของวัตถุที่ตรวจจับได้ (ขวา)	21

2.18	ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์แต่ละรุ่นบนพื้นที่ทดลองภายใน ห้างสรรพสินค้า	22
2.19	ได้จากกล้องที่ติดตั้ง (ซ้าย) ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้องบนสถานที่ศึกษา (ขวา)	24
2.20	แผนภาพแสดงพื้นที่ ๆ ถูกใช้งาน และการแปลงข้อมูลดังกล่าวเป็นแผนภาพ ไวโรนอย	24
2.21	แผนภาพแสดงเส้นทางสัญจรภายในพื้นที่ (A) และตำแหน่งติดตั้งจุดพักรอใหม่ (B)	25
2.22	แบบจำลอง 3 มิติ ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล	25
2.23	ภาพแสดงการติดตั้งงานออกแบบ โดยใช้โดรน (DRONE)	26
2.24	แผนภาพแสดงเส้นทางการสัญจรที่บันทึกได้จากระบบ (บน) ภาพแสดงการแนว เส้นทางติดตั้งเส้นเอ็นที่ถูกออกแบบจากเส้นทางการสัญจรที่บันทึกได้ (ล่าง)	27
2.25	ภาพแสดงการปรับแต่งเส้นเอ็นเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้โดรนในการติดตั้ง	27
3.1	ภาพแสดงตำแหน่งของจุดพักรอรถโดยสาร ที่ใช้ทดลองภายในงานวิจัย	29
3.2	แผนผังแสดงรูปแบบการทำงานทั้งหมดของระบบ	31
3.3	รูปตัวอย่างแอปพลิเคชัน FORGE ที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัย	32
4.1	แผนผังแสดงรูปแบบการทำงานของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเพื่อรองรับการทำงาน ของระบบการรู้จำวัตถุ	38
4.2	ภาพแสดงส่วนแสดงผลไฟล์ที่ถูกบันทึก	39
4.3	ภาพแสดงภาพของแอปพลิเคชันเดิม (ซ้าย) ที่ถูกพัฒนาเพิ่มเติม (ขวา)	39
4.4	ภาพแสดงการแสดงสถานะของปุ่มบันทึก ภาพแสดงสถานะ ว่าง (ซ้าย) สถานะ กำลังบันทึก (ขวา)	40
4.5	ภาพแสดงภาพส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับของแอปพลิเคชันกล้องบน IOS (ซ้าย) แผนผังแสดงส่วนต่อประสานกราฟฟิกของแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้น (ขวา)	40
4.6	ภาพแสดงการแสดงสถานะของปุ่มบันทึก	41
4.7	ภาพแสดงการแสดงผลทดสอบ บันทึก อ่านและส่งออกไฟล์	42
4.8	ภาพแสดงการทำงานของระบบ	43
4.9	ภาพแสดงตัวอย่างรูปที่ใช้ในการจัดทำชุดข้อมูล (ซ้าย) ภาพแสดงขณะทำการ เก็บข้อมูลสถานที่ (ขวา)	43
4.10	ภาพแสดงการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลในการนำไปใช้สร้างชุดข้อมูลใหม่	44

4.11	ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ถูกนำไปใช้ในการสอนระบบเพื่อสร้างชุดข้อมูล	45
4.12	ภาพแสดงการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลในการนำไปใช้สร้างชุดข้อมูลใหม่	46
4.13	กราฟแสดงค่าแสดงความผันผวนระหว่างการสอนของการสอนโดยใช้ภาพ 40 ภาพ (บน) และ 20 ภาพ (ล่าง) ต่อวัตถุ	48
4.14	ภาพแสดงชุดคำสั่งสำหรับการทดสอบระบบ	49
4.15	ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 10,000	50
4.16	ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 15,000	50
4.17	ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 18,000	51
4.18	ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 25,000	51
4.19	ภาพแสดงรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นรอบบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณท่าจอดรถตู้	52
4.20	ภาพแสดงรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นรอบบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารสำนักงานบริหารทรัพย์สินและกีฬา	52
4.21	ภาพแสดงรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นรอบบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารเรียนรวมสังคมศาสตร์	53
4.22	ตัวอย่างงานสถาปัตยกรรมที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งานได้	54
4.23	ภาพแสดงกระบวนการนำเข้าข้อมูลสู่ระบบสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติ	55
4.24	ภาพแสดงกระบวนการในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำ ตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้มีส่วนร่วม	57
4.25	ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้มีส่วน ร่วม	57
4.26	ภาพแสดงกระบวนการในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัว แปรมาใช้แบบผู้ใช้ไม่มีส่วนร่วม	58
4.27	ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้ไม่มี ส่วนร่วม แบบจำลองสามมิติต้นแบบที่ 1 (บน) และแบบจำลองสามมิติต้นแบบที่ 2 (ล่าง)	59
4.28	ภาพแสดงกระบวนการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้ฐานข้อมูลที่ต่างกัน โดย อาศัยข้อมูลจากพื้นที่ทดลองจริง	60
4.29	ภาพแสดงการสร้างผังตำแหน่งจากระบบการรู้จำวัตถุด้วยวิธีการเชิงพาราเมตริก	60
4.30	ภาพแสดงตำแหน่งการยืน (บน) และภาพแสดงตำแหน่งการนั่ง (ล่าง) ที่ถูก จำแนกด้วยขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ	61

4.31	ภาพแสดงขอบเขตและตำแหน่งคนยืนและนั่งบนพื้นที่ขอบเขตป้ายรถโดยสารใหม่	62
4.32	ภาพแสดงขอบเขตใหม่ของป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีที่ได้จากจำแนกตำแหน่งคนยืนในพื้นที่ทดลอง	63
4.33	ภาพแสดงด้านข้างของแบบจำลองสามมิติ แสดงให้เห็นถึงระดับขององค์ประกอบต่าง ๆ ของป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีที่ถูกสร้างขึ้นใหม่	63
4.34	ภาพแสดงลักษณะของระดับที่นั่งที่เกิดจากการใช้ค่าตัวแปร คน ในการปรับแต่ง	64
4.35	ภาพแสดงให้เห็นลักษณะโดยรวมของหลังคา (บน) ภาพแสดงลักษณะของหลังคาจากมุมมองด้านบน (ล่าง)	65
4.36	ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการใช้งานระบบทั้งหมดร่วมกัน	66
4.37	ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว	66
4.38	ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติที่เสร็จสมบูรณ์จากการใช้ข้อมูลจากพื้นที่กรณีศึกษา ที่แตกต่างกัน	67
5.1	ภาพแสดงผลลัพธ์ระหว่างใช้ตรวจจับป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี	70



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

บริบทของสภาพแวดล้อมเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญ ที่ถูกใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม เพื่อให้สามารถมั่นใจว่างานสถาปัตยกรรมที่จะถูกออกแบบนั้น มีความเหมาะสมกับผู้ใช้งานและสภาพแวดล้อมบนบริเวณพื้นที่ ๆ จะถูกใช้ในการออกแบบ โดยทั่วไปการสำรวจบริบทของปัจจัยแวดล้อม สามารถกระทำได้โดยสองวิธีการ คือ 1) ทำการสังเกตการณ์และจดบันทึก โดยกระบวนการอาศัยการจัดทำโดยมือ ซึ่งใช้ทรัพยากรมนุษย์และเวลาจำนวนมากในการจัดทำ นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงที่ข้อมูลที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง 2) การสร้างสถานการณ์จำลองโดยคอมพิวเตอร์ กระบวนการนี้อาศัยคอมพิวเตอร์ในการสร้างสถานการณ์ตามที่ต้องการ และทดสอบโดยอาศัยกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยตัวแปรจากสถิติที่ผู้ใช้งานใส่เข้าไประบบ ซึ่งเหมาะกับการใช้ในกรณีที่ตัวแปรมีความผันผวนน้อย เช่น แสงแดด ลม เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของทั้งสองวิธีการ ด้วยการศึกษาปัจจัยแวดล้อมโดยเฉพาะกับพฤติกรรมของมนุษย์ซึ่งมีความเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้หากทำการสังเกตการณ์ตามวิธีการแรก ต้องใช้ทรัพยากรมนุษย์และเวลามากในการวิเคราะห์ข้อมูล และจำแนกรูปแบบกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ ในขณะที่การใช้การจำลองสถานการณ์โดยคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวนั้นยังขาดชั้นข้อมูลที่ได้จากสถานที่และเวลาจริงที่จำเพาะบางอย่าง ซึ่งในบางครั้งสถาปนิกต้องการใช้ในการออกแบบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของทั้งสองวิธีการ คือ ใช้คอมพิวเตอร์ในสังเกตการณ์และวิเคราะห์ข้อมูล โดยการนำผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวไปใช้เป็นตัวแปรในการออกแบบโดยตรง เพื่อลดการใช้งานทรัพยากรมนุษย์และเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลลง และลดความเคลื่อนของการออกแบบงานสถาปัตยกรรมเพื่อให้งานที่ได้สามารถสะท้อนรูปแบบพฤติกรรมการใช้งานจริงบนพื้นที่

ระบบการรู้จำวัตถุเป็นระบบที่อาศัยคอมพิวเตอร์ ในการระบุวัตถุที่ปรากฏอยู่บนวิดีโอหรือภาพนิ่ง ซึ่งสามารถระบุวัตถุโดยไม่ต้องอาศัยมนุษย์ช่วยในการวิเคราะห์โดยอาศัยชุดข้อมูลที่ถูกสอนให้ระบบสามารถคาดเดาวัตถุตามที่ต้องการ โดยการนำเข้าภาพถ่ายจำนวนมากเข้าสู่ระบบพร้อมทั้งข้อมูลอภิพันธ์ (Metadata) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่งและชนิดของวัตถุที่ปรากฏขึ้นภายในภาพก่อนนำข้อมูลทั้งหมดไปทำการสอนผ่านระบบโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยการนำความสามารถดังกล่าวมาใช้ร่วมกับระบบการสร้างแบบจำลองเชิงพาราเมตริก ซึ่งสามารถนำค่าผลลัพธ์ที่ได้จาก

ระบบการรู้จำวัตถุมาเป็นตัวแปรของระบบการสร้างแบบจำลองเชิงพาราเมตริก ทำให้สามารถแสดงผลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุได้ในรูปแบบของแบบจำลองของงานออกแบบงานสถาปัตยกรรมได้แบบเวลาจริง (Real-time) ซึ่งจะช่วยลดการแทรกแซงของมนุษย์ทำให้งานออกแบบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง เพราะแบบจำลองที่ได้นั้นเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการนำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบรู้จำวัตถุมาเป็นตัวแปรในการออกแบบโดยตรง

เพื่อทดลองความเป็นไปได้ในการนำทั้งสองระบบมาใช้ร่วมกัน และเพื่อศึกษาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจึงนำระบบทั้งสองไปทดลองใช้ในบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี (NGV) เนื่องจากพื้นที่มีลักษณะสำคัญคือ 1) เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้ระบบรู้จำวัตถุสามารถจดจำและวิเคราะห์ได้ เนื่องจากในแต่ละที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน 2) เป็นพื้นที่ ๆ มีความเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการใช้งานของแต่ละจุดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับบริเวณที่ป้ายนั้นตั้งอยู่ ทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของผลลัพธ์ได้ง่าย เช่น ตำแหน่งการนั่ง ตำแหน่งการยืน เป็นต้น

โดยงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดลองแนวทางใหม่ ในการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์อย่างระบบการรู้จำวัตถุมาใช้ร่วมกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก เพื่อช่วยในการออกแบบที่จำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ มีความจำเป็นในการพึ่งพาทรัพยากรมนุษย์และเวลาน้อยลง รวมทั้งเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการนำผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ไปสู่การออกแบบงานสถาปัตยกรรม ก่อนนำผลลัพธ์ที่ได้ไปดัดแปลงให้เหมาะสมกับความต้องการของตนเอง เพื่อช่วยให้งานออกแบบนั้นมีความเหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 พัฒนาระบบการรู้จำวัตถุและชุดข้อมูลใหม่ให้สามารถบันทึกและส่งออกข้อมูลของวัตถุที่ตรวจจับที่ต้องการได้ เพื่อนำไปข้อมูลดังกล่าวไปใช้เป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก

1.2.2 พัฒนาและกำหนดอัลกอริทึมสำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก เพื่อนำตัวแปรที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุมาปรับแต่งค่าเชิงพาราเมตริก เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับงานสถาปัตยกรรม

1.2.3 ทดลองและประเมินในการทำงานร่วมกันระหว่างระบบการรู้จำวัตถุและการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย



ภาพที่ 1.1 ภาพแสดงตำแหน่งของป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ที่ใช้ทดลองภายในงานวิจัย.  
โดย ผู้วิจัย.

1.3.1 การพัฒนาระบบการรู้จำวัตถุ พัฒนาระบบพื้นฐานของซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส (Open source) ชื่อ Forge โดยในการพัฒนานั้นมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการบันทึกและส่งข้อมูลออกมาถึงภายนอกระบบได้

1.3.2 ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ ถูกพัฒนาโดยมีจุดประสงค์เพื่อตรวจจับวัตถุ 4 ชนิด ประกอบด้วย 1) คน 2) ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี 3) รถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี 4) สิ่งกีดขวางบริเวณรอบป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี

1.3.3 ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามेटริกที่ถูกใช้ภายในงานวิจัยคือ Rhino 3D ร่วมกับโปรแกรมเสริม Grasshopper 3D ซึ่งเป็นโปรแกรมเสริมสำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามेटริก

1.3.4 แบบจำลองที่ได้จากผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองใช้งานร่วมกันระหว่างระบบการรู้จำวัตถุ และซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามेटริกในงานวิจัยชิ้นนี้ มีไว้เพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำทั้งสองระบบมาใช้งานร่วมกัน

1.3.5 พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาคือบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ประกอบด้วยตำแหน่งภายในมหาวิทยาลัย (ภาพที่ 1.1) ดังต่อไปนี้ 1) ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณท่าจอดรถตู้ 2) ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารสำนักงานบริหารทรัพย์สินและกีฬา 3) ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารเรียนรวมสังคมศาสตร์

## 1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.4.1 เพื่อเป็นเครื่องมือใหม่ในการนำไปใช้วิเคราะห์พื้นที่ตั้ง ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม สำหรับสถาปนิกและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงพื้นที่ ให้สามารถนำระบบการรู้จำวัตถุ ไปใช้ประโยชน์ในงานออกแบบของตนได้ง่ายขึ้น

1.4.2 เพื่อแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุ มาใช้ร่วมกับการออกแบบงานสถาปัตยกรรมเชิงพารามетริก เพื่อให้รูปแบบงานสถาปัตยกรรมสามารถตอบสนองต่อรูปแบบการใช้งานบนพื้นที่ตั้งได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

## 1.5 นิยามศัพท์

1.5.1 ระบบการรู้จำวัตถุ (Object Recognition) หมายถึง ระบบที่ใช้ในการระบุวัตถุที่ถูกแสดงผลอยู่บนหน้าจอสมาร์ตโฟน โดยการใช้กล้องของสมาร์ตโฟนนั้น ๆ ในการรับภาพจากบริเวณใกล้เคียง โดยสามารถระบุ ชนิดของวัตถุ และตำแหน่งของวัตถุนั้น ๆ ได้

1.5.2 ชุดข้อมูล (Dataset) หมายถึง ชุดข้อมูลที่ถูกสอนไว้ล่วงหน้า เพื่อให้ระบบการรู้จำวัตถุสามารถคาดเดาชนิดของวัตถุที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลได้

1.5.3 การสอนชุดข้อมูล หมายถึง การสร้างชุดข้อมูลให้สามารถจดจำและระบุชนิดวัตถุได้ตามที่ต้องการ

1.5.4 การสอนซ้ำ หมายถึง จำนวนครั้งในการทำงานซ้ำ (Iterations) ที่ระบบแสดงระหว่างทำการสอนระบบเพื่อสร้างชุดข้อมูล

1.5.5 แบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก หมายถึง แบบจำลองสามมิติที่ถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยอัลกอริทึมคอมพิวเตอร์ในการสร้าง เพื่อให้สามารถนำตัวแปรที่ผู้พัฒนานำเข้าสู่ระบบแปลเปลี่ยนเป็นรูปทรงสามมิติภายในเงื่อนไขที่ผู้พัฒนากำหนดไว้

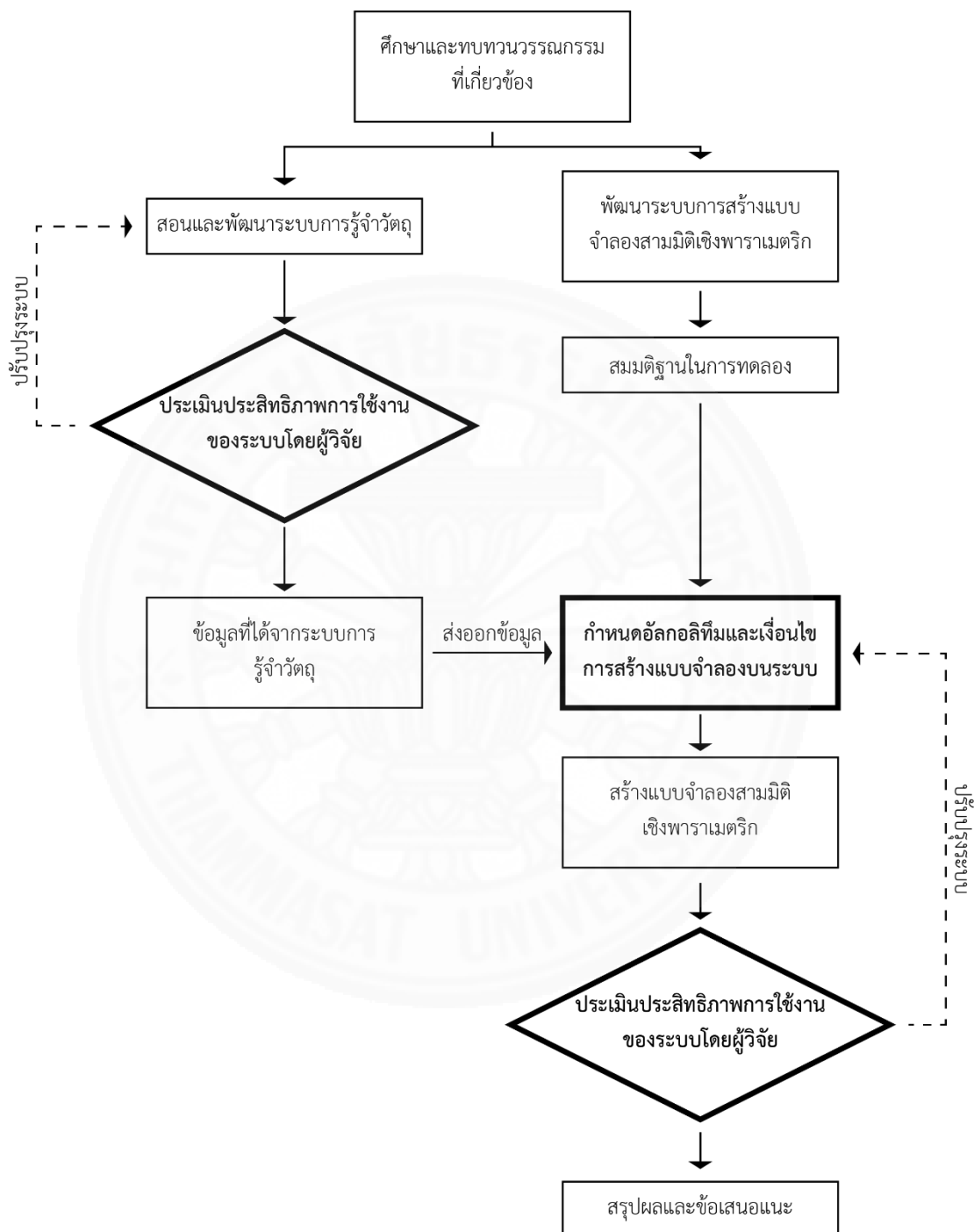
1.5.6 ภาพถ่ายเชิงธรรมชาติ (Natural Image) หมายถึง ภาพถ่ายของวัตถุใด ๆ ที่ไม่ได้ถูกกำหนดเงื่อนไขในการถ่าย เช่น ตำแหน่ง แสง มุมกล้อง เป็นต้น

1.5.7 ภาพถ่ายเชิงสังเคราะห์ (Synthetic Image) หมายถึง ภาพถ่ายของวัตถุใด ๆ ที่ถูกกำหนดให้ถ่ายภายใต้เงื่อนไขหรือข้อกำหนดบางประการ เช่น ตำแหน่งในการถ่าย ลักษณะของแสง เป็นต้น

1.5.8 ชุดคำสั่งการให้น้ำหนักเชิงสังวัตนาการ (Convolutional Weight) หมายถึง ไฟล์ที่ใช้ร่วมในการช่วยสอนชุดข้อมูลบนระบบโครงข่ายประสาทเทียม



## 1.6 กระบวนการวิจัย



## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระบวนการออกแบบในงานสถาปัตยกรรม

ในปี 2014 Parsaee ได้กล่าวไว้ว่า โดยทั่วไปกระบวนการออกแบบต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากผสมผสานกับแนวความคิดของผู้ออกแบบซึ่งนำไปสู่การกำหนดวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ที่ผู้ออกแบบต้องการแก้ไขหรือต้องการซึ่งจำเป็นต้องใช้ความรู้จากหลากหลายสาขา เช่น ศิลปะ วิศวกรรม การบริหารจัดการ ฯลฯ (น. 328) เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวนั้นอาศัยทั้งองค์ความรู้ และความคิดสร้างสรรค์เข้าด้วยกัน ทำให้แนวทางในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมของสถาปนิกแต่ละคนนั้นแตกต่างกันไป และยากที่จะหาข้อสรุปว่ากระบวนการออกแบบที่ดีคืออะไร

ในปี 1969 Broadbent & Ward ได้สรุปกระบวนการออกแบบออกเป็นสามขั้นตอน คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการสังเคราะห์ และขั้นตอนการประเมิน กระบวนการดังกล่าวแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง ปัญหา และคำตอบ ซึ่งสะท้อนซึ่งกันและกัน ในปี 1999 DeBono (as cited in Wells, 2012) กล่าวว่ากระบวนการออกแบบเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เรียกว่าการคิดเชิงออกแบบ โดยกระบวนการออกแบบส่วนใหญ่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน คือ เริ่มต้นด้วยกระบวนการบางอย่าง ซึ่งกระบวนการบางอย่างนั้นมีเพื่อตอบโจทย์บางอย่าง เช่น การหาวิธีแก้ปัญหาการใช้งาน การหาวิธีลดความต้องการ ๆ ใช้งาน การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นต้น (น. 328) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกแบบนั้น จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการบางอย่างที่จำเป็นต้องใช้ตรรกะบางประการ เพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ของการออกแบบ ซึ่งเป็นหน้าที่ของสถาปนิกที่จะต้องนำข้อมูลทุกอย่างมาทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์และวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของแต่ละตัวแปรที่ส่งผลต่อการออกแบบ เพื่อให้ผลลัพธ์นั้นสามารถแก้ปัญหาที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากแนวคิดดังกล่าวจะเห็นว่าข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความสำคัญต่อผลลัพธ์ของการออกแบบ ดังนั้นการให้ข้อมูลที่เพียงพอเพื่อช่วยในการตัดสินใจของสถาปนิกจึงมีความจำเป็น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับในขั้นตอนการวิเคราะห์

การนำข้อมูลรูปแบบกิจกรรมของคนมาใช้วิเคราะห์ความสำเร็จในการออกแบบนั้นไม่ใช่เรื่องใหม่แต่อย่างใด โดยในปี 1980 Whyte ได้ทำการศึกษาลักษณะของพื้นที่ว่างที่ประสบความสำเร็จนั้น มีลักษณะที่สำคัญอย่างไร โดยพยายามหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับลักษณะของพื้นที่ที่กิจกรรมเหล่านั้นเกิดขึ้น โดยทำการติดตั้งกล้องและถ่ายรูป รวมทั้งทำการจดบันทึก ก่อนทำการวิเคราะห์รูปถ่ายทั้งหมดนั้นด้วยมือ

ดังนั้นเพื่อช่วยให้ขั้นตอนการวิเคราะห์ การนำระบบการรู้จำวัตถุมาใช้ร่วมกับการสร้างแบบจำลองสามมิติจะทำให้สถาปนิก สามารถเห็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจาก ตัวแปร ที่ต้องการกำหนดได้ อย่างชัดเจนมากขึ้นและนำไปสู่คำตอบที่ต้องการได้ และเพื่อช่วยให้สถาปนิกมีเครื่องมือที่สามารถช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลมากขึ้น

## 2.2 การศึกษารูปแบบพฤติกรรมบนพื้นที่สาธารณะ



ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ Space Syntax.

จาก <http://www.spacesyntax.com/wp-content/uploads/2014/01/Existing-Chengdu-City-spatial-accessibility-452x255.jpg>, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560.

การวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมของคนที่เกิดขึ้นถูกนำมาใช้ในการอธิบายสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมากมายในงานสถาปัตยกรรม เช่น การศึกษารูปแบบการใช้งานในพื้นที่สาธารณะที่มหานครนิวยอร์กของ Whyte อาศัยการถ่ายภาพในพื้นที่ลานกว้างในมหานครนิวยอร์กจำนวนมาก ก่อนนำภาพถ่ายที่ได้ของพื้นที่ ๆ ที่มีคนใช้งานจำนวนมากและประสบความสำเร็จ กับพื้นที่ ๆ ไม่มีคนใช้งานเพื่อหาปัจจัยซึ่งทำให้พื้นที่ทั้งสองนั้นให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์ด้วยมือ ซึ่งต้องใช้ทรัพยากรมนุษย์และเวลามากในการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำการสร้างสถานการณ์จำลองด้วยคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ เช่น สเปนซินแท็กซ์ (Space Syntax) (ภาพที่ 2.1)

สเปนซินแท็กซ์ถูกนำมาใช้ครั้งแรกโดย Hillier & Hanson (1984) ซอฟต์แวร์จะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นทางการสัญจรแต่ละเส้นทาง โดยการวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณการสัญจรที่อาจจะเกิดขึ้นบนเส้นทางสัญจรเส้นนั้น ๆ ผ่านสี เพื่อประเมินศักยภาพของเส้นทางสัญจรบนระบบ ทำให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบรองรับปริมาณการสัญจรที่อาจจะเกิดขึ้นบนเส้นทางนั้น



ๆ ได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลที่ได้นั้นขาดปัจจัยแวดล้อมที่ไม่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ร่วม เช่น ร้านค้าที่อยู่บนถนนนั้น ๆ สถานที่สำคัญต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลให้การประเมินมีการคลาดเคลื่อนได้

เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์เริ่มมีส่วนเข้ามาช่วยในการติดตามและวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมของคนที่เกิดขึ้นแทนการจดบันทึกด้วยมือ เพื่อลดการใช้ทรัพยากรมนุษย์และเวลาดัง เช่น การนำกล้องวิดีโอ หรือเซนเซอร์ต่าง ๆ มาเข้าช่วยในการทำการบันทึกรูปแบบที่เกิดขึ้นแทน Yan & Forsyth (2005) ได้นำเสนอการนำภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ มาทำการวิเคราะห์ที่ละเอียดพร้อมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการเปรียบเทียบเฟรมที่มีวัตถุเคลื่อนไหว กับเฟรมที่ไม่มีวัตถุเคลื่อนไหว เพื่อแยกพื้นหลังออกจากวัตถุ ก่อนนำข้อมูลที่ได้ไปจำแนกประเภทของกิจกรรมที่เกิดขึ้น ข้อเสียของวิธีดังกล่าวคือ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นมีไม่มาก เพียงสามารถระบุกิจกรรมง่าย ๆ ได้เช่นการเดิน นั่ง และ ยืน จากการจำแนกวิธีการเคลื่อนไหวของวัตถุ

นอกจากกล้องวิดีโอแล้ว Brscic, Kanda, Ikeda & Miyashita (2013) ได้ทดลองนำเซนเซอร์วัดระยะวัตถุเชิง 3 มิติ มาใช้ซึ่งสามารถให้ข้อมูลได้มากกว่าการใช้ภาพจากกล้องวิดีโอ เพราะเซนเซอร์ทำให้สามารถทราบความสูง และตำแหน่งของวัตถุอย่างแม่นยำ ข้อมูลที่ได้เพิ่มเติมจากเซนเซอร์มากกว่าภาพวิดีโอ คือข้อมูลเชิงสามมิติ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สถาปนิกสามารถนำไปใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ในการออกแบบได้ แต่ด้วยตัวระบบทั้งสองนั้นไม่สามารถจำแนกชนิดของวัตถุออกจากกัน นอกจากมุ่งเน้นในการวิเคราะห์วัตถุใดวัตถุหนึ่งโดยเฉพาะ คน ที่มักถูกเลือกใช้ซึ่งในการวิเคราะห์พื้นที่นั้น มีปัจจัยมากกว่านั้นอย่างบริบทของพื้นที่ในขณะทำการสำรวจ เช่น อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่แล้วเดิม

ซึ่งอาจส่งผลต่อรูปแบบพฤติกรรมของคนให้มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจากการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาใช้ภายในงานสถาปัตยกรรมจากอดีตถึงปัจจุบัน เราสามารถสรุปแนวทางที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ได้ ดังนี้ (ตารางที่ 2.1)

## ตารางที่ 2.1

### ตารางแสดงแนวทางในการตรวจจับและวิเคราะห์พื้นที่ในปัจจุบัน

รูปแบบในการวิเคราะห์พื้นที่	เครื่องมือ (ตัวอย่าง)	ข้อมูลที่ได้
อาศัยมือ	การบันทึก	ขึ้นอยู่กับผู้เก็บข้อมูล
อาศัยอุปกรณ์ตรวจจับ	กล้องวิดีโอ,	ภาพเคลื่อนไหว
อาศัยอุปกรณ์ตรวจจับ	เซนเซอร์วัดระยะหรือตรวจจับวัตถุ	ระยะจากวัตถุ และทิศทางการเคลื่อนที่

## ตารางที่ 2.1

ตารางแสดงแนวทางในการตรวจจับและวิเคราะห์พื้นที่ในปัจจุบัน (ต่อ)

รูปแบบในการวิเคราะห์พื้นที่	เครื่องมือ (ตัวอย่าง)	ข้อมูลที่ได้
วิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์	Space Syntax	แผนผังวิเคราะห์

หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย.

## 2.3 ระบบการรู้จำวัตถุ (Object Recognition)

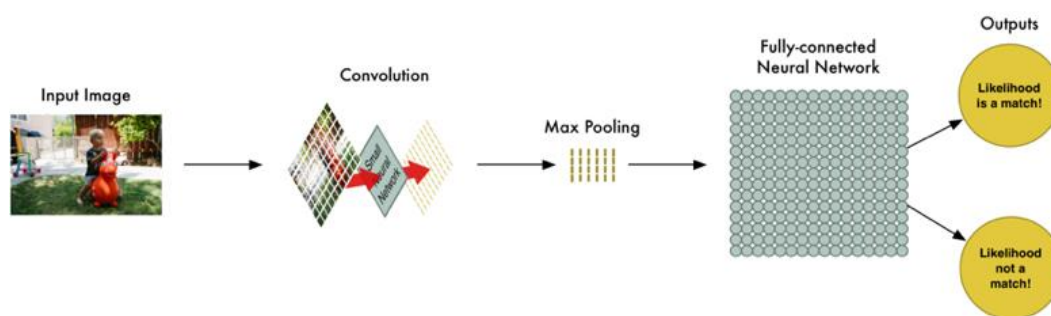


ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงผลลัพธ์ในการระบุชนิดและตำแหน่งของวัตถุ โดยระบบการรู้จำวัตถุ.

จาก <http://bryanrussell.org/projects/recognitionBySceneAlignment/banner.jpg>,

สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560.

ระบบการรู้จำวัตถุ หมายถึงกระบวนการในการระบุและตรวจจับวัตถุภายในภาพวิดีโอหรือภาพนิ่ง ความสามารถดังกล่าวทำให้ถูกนำไปใช้ประยุกต์ในงานหลากหลายประเภท เช่น การใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของใบหน้า ตรวจจับตราสัญลักษณ์ หรือตัวอักษร ตัวอย่างของการใช้ระบบการรู้จำวัตถุที่อยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น การนำภาพวัตถุมาค้นหาภาพที่ใกล้เคียงกันในระบบสืบค้นของ Google เป็นต้น โดยมีความพยายามในการนำระบบการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งคำดังกล่าวถูกพูดถึงครั้งแรกโดย Samuel (1959) มาใช้ร่วมในการสอนระบบการรู้จำวัตถุ วิธีการดังกล่าวทำให้ระบบรู้จำวัตถุสามารถคาดเดาได้ว่าวัตถุที่อยู่ในภาพดังกล่าวคืออะไรโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 2.3 ภาพแสดงวิธีการทำงานของระบบการเรียนรู้ของเครื่องในการคาดเดาผลลัพธ์.

จาก <https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is-fun-part-3-deep-learning-and-convolutional-neural-networks-f40359318721>, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560.

โดยอาศัยการสอนระบบโดยโครงข่ายประสาทเทียม ในการวิเคราะห์ภาพในแต่ละเฟรม นำไปใช้เปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่ระบุวัตถุชนิดเดียวกันและคนละชนิดไว้จำนวนมาก โดยวัตถุทั้งสองชนิดจะถูกนำมาใช้เพื่อให้ระบบสามารถทำการคาดเดาชนิดของวัตถุที่ปรากฏอยู่บนภาพได้

## 2.4 กระบวนการสอนระบบการรู้จำวัตถุ

ในงานวิจัยอาศัยระบบการรู้จำวัตถุ YOLO ซึ่งถูกพัฒนาโดย Redmon, Divvala, Girshick & Farhadi (2015) ในการทดลอง ดังนั้นกระบวนการสอนจึงมีพื้นฐานมาจากโดยอ้างอิงจากผู้จัดทำพื้นฐานของระบบ เพราะภายในงานวิจัยจำเป็นต้องทำการสอนชุดข้อมูลใหม่เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุเพิ่มเติมจากชุดข้อมูลเดิมที่ถูกใช้งานบนระบบพื้นฐาน โดยกระบวนการสอนประกอบด้วยขั้นตอนที่จำเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย

### 2.4.1 การถ่ายรูวัตถุเพื่อนำไปใช้ในการสอนระบบหรือสร้างชุดข้อมูล

ภาพถ่ายที่ใช้ในการสอนระบบถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1) ภาพถ่ายเชิงธรรมชาติ หมายถึง ภาพถ่ายของวัตถุชนิดใดก็ตามที่จะใช้ในการสอนระบบ ที่ไม่ถูกกำหนดเงื่อนไขในการถ่ายล่วงหน้า หรือภาพทั่ว ๆ ไปที่หาได้บนอินเทอร์เน็ต ก็นับรวมเป็นภาพถ่ายเชิงธรรมชาติ

2) ภาพถ่ายเชิงสังเคราะห์ หมายถึง ภาพถ่ายของวัตถุชนิดใดก็ตามที่จะใช้ในการสอนระบบ โดยภาพดังกล่าวถูกกำหนดเงื่อนไข และถูกควบคุมโดยผู้ดำเนินการสอนระบบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ควบคุมไว้ ซึ่งอาจหมายถึงการคุมตำแหน่งกล้อง ขนาดวัตถุ หรือสภาพแสง เป็นต้น

การเลือกใช้วิธีการถ่ายรูปแบบไหนขึ้นอยู่กับความสามารถและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการรู้จำวัตถุที่ผู้ดำเนินการสอนต้องการ หรืออาจเลือกใช้เนื่องจากข้อจำกัดที่มีและเพื่อแก้ปัญหาบนระบบบางอย่าง เป็นต้น แล้วแต่แนวทางที่เลือกใช้ในการสอน ตัวอย่างเช่นชุดข้อมูล Caltech 101 ซึ่งเป็นที่นิยม มีประเภทของวัตถุจำนวนมากถึง 101 ประเภท โดยในการสร้างชุดข้อมูลนั้น แต่ละหมวดหมู่จะประกอบด้วยภาพจำนวน 40 – 800 ภาพต่อหนึ่งหมวดหมู่ โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยภาพจำนวนไม่มากหรือประมาณ 50 ภาพ ในขณะที่บางหมวดหมู่มีภาพต่อหนึ่งหมวดหมู่มากถึง 800 ร้อยภาพ ซึ่งประสิทธิภาพในการระบุหมวดหมู่ที่ใช้รูปภาพมากกว่าในการสร้างชุดข้อมูลนั้น มีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อเทียบกับวัตถุชนิดอื่นที่อยู่ภายในชุดข้อมูลเดียวกัน (Fei-Fei, Fergus & Perona, 2004)

โดยภาพที่ถูกนำมาใช้ในชุดข้อมูล Caltech 101 เป็นการถ่ายภาพถ่ายเชิงสังเคราะห์ทั้งหมด กล่าวคือ ภาพที่ใช้ในแต่ละหมวดหมู่ ได้ถูกกำหนดขนาดมุมกล้อง สภาพแสง ฯลฯ ไว้ล่วงหน้า ซึ่งใช้ภาพน้อยกว่าระบบอื่นมาก เช่น ชุดข้อมูล PASCAL VOC ซึ่งมีเพียง 20 หมวดหมู่แต่ประกอบด้วยภาพกว่า 27,450 ภาพในการสร้างชุดข้อมูลดังกล่าว ซึ่งหมายถึงแต่ละหมวดหมู่ประกอบด้วยภาพไม่ต่ำกว่า 1,000 ภาพ (Everingham, Van Gool, Williams, Winn & Zisserman, 2010)

Pinto, Cox & DiCarlo (2008) กล่าวถึงการสร้างชุดข้อมูลโดยใช้ภาพถ่ายเชิงธรรมชาติแทนที่การสอนโดยภาพถ่ายเชิงสังเคราะห์ เพราะบางครั้งการนำภาพถ่ายเชิงสังเคราะห์มาใช้ในการสร้างชุดข้อมูลแม้จะใช้จำนวนภาพน้อยลงมาก แต่ก็แลกกับประสิทธิภาพในการใช้งานจริงที่อาจจะไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากในสถานการณ์จริงภาพที่ถูกแสดงบนจอแสดงผลผ่านกล้องนั้น แม้จะแสดงภาพของวัตถุเดียวแต่ด้วยตำแหน่งการยืน สภาพแสง หรือแม้กระทั่งความสูงของผู้ใช้งานระบบก็ส่งผลให้ภาพที่ได้นั้นมีเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีที่สิ้นสุด

ดังนั้นการเลือกใช้รูปถ่ายประเภทใดจึงขึ้นอยู่กับข้อจำกัดและรูปแบบการนำไปใช้ ซึ่งผู้ดำเนินการสอนระบบจะต้องทำการวางแผนล่วงหน้าเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบนั้นอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ

#### 2.4.2 การกำหนดป้ายกำกับให้กับวัตถุนภาพถ่าย (Image Annotations)

ในการสอนระบบการกำหนดป้ายกำกับนั้นคือติดป้ายบอกระบบว่าวัตถุที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้คือวัตถุอะไร เพื่อให้ระบบค้นหาแบบแผนบางอย่างในขอบเขตนั้น ๆ และเป็นการเพิ่มข้อมูลอภิปันธุ์ (Metadata) ให้แก่ภาพนั้น ๆ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่จำเป็นต่อการใช้สอนระบบจำนวน 2 ชนิด คือ 1) ชื่อของหมวดหมู่ของวัตถุ 2) พิกัดตำแหน่งของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ (Bounding box) (ภาพที่ 2.4) โดยในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องทำด้วยมือ ในการกำหนด

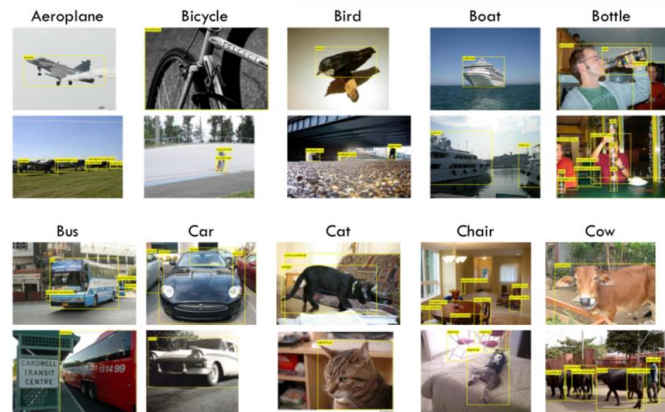
ขอบเขตและระบุมุมของภาพทีละภาพ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้ทรัพยากรมนุษย์และเวลามากที่สุดใน การสร้างชุดข้อมูล



ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงการกำหนดป้ายกำกับให้วัตถุแต่ละหมวดหมู่บนภาพถ่ายด้วย LabelImg. จาก <https://github.com/tzutalin/labelImg>, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2560.

ขั้นตอนนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการระบุและตรวจจับวัตถุโดยตรง (ภาพที่ 2.5) และต้องจัดทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากคอมพิวเตอร์ต้องค้นหาแบบแผนบางอย่างภายในขอบเขตที่ถูกกำหนดขึ้น ดังนั้นการกำหนดขอบเขตต้องทำอย่างแม่นยำและคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการตรวจจับหรือนำไปสู่ความล้มเหลวในการสอนระบบ เช่น กำหนดกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ ไม่เกินขอบเขตของวัตถุที่ต้องการ และไม่กินเข้าไปในส่วนของวัตถุมากเกินไป หรือภาพที่ถ่ายมานั้นเป็นภาพไม่เต็มของวัตถุ หากต้องการจะใช้ภาพดังกล่าวในการสอนระบบ ควรจะมีภาพประเภทเดียวกันจำนวนมากใช้ในการสอนระบบด้วยเช่นกัน โดยเครื่องมือกำหนดป้ายกำกับมีหลากหลายให้เลือกใช้ตามความถนัด เช่น LabelMe, LabelImg, RectLabel เป็นต้น

การเลือกใช้งานเครื่องมือที่ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสามารถคาดหวังค่าตัวแปรที่สามารถนำออกมาจากระบบได้ 2 ค่าจากข้อมูลอภิพันธ์เมื่อนำระบบไปใช้งานจริง เพื่อนำค่าตัวแปรดังกล่าวไปใช้เป็นตัวแปรปรับเปลี่ยนค่าภายในซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามเมตริก



ภาพที่ 2.5 ภาพแสดงการตรวจจับวัตถุบนภาพถ่ายตามหมวดหมู่ที่กำหนดไว้.

จาก [http://cvgl.stanford.edu/teaching/cs231a\\_winter1314/lectures/datasets.pdf](http://cvgl.stanford.edu/teaching/cs231a_winter1314/lectures/datasets.pdf), สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2560.

### 2.4.3 การสร้างชุดข้อมูลบนโครงข่ายประสาทเทียมดาร์คเน็ต

YOLO ถูกพัฒนาขึ้นบนแพลตฟอร์มดาร์คเน็ตซึ่งเป็นเฟรมเวิร์คสำหรับใช้สอนระบบปัญญาประดิษฐ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นในการสร้างชุดข้อมูลขึ้นมาใหม่สำหรับใช้งานบน YOLO จึงจำเป็นต้องทำการสอนผ่านดาร์คเน็ต (ภาพที่ 2.6) ก่อนที่จะแปลงไฟล์สกุลดังกล่าวไปเป็นไฟล์สกุลอื่นที่ต้องการ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ต้องการนำชุดข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นไปใช้บนแพลตฟอร์มสมาร์ตโฟน (iOS) ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงสกุลไฟล์จากดาร์คเน็ตไปเป็น CoreML ก่อน

```

C:\Users\ibcn\Documents\darknet\windows\darknet\bin\id\darknet\vx64> ./darknet.exe detector train cfg/obj.data cfg/obj-obj.cfg darknet19_448.conv.23
[YOLO-obj]
  Filters  size  input  output
  0 conv  32  3 x 3 / 1  416 x 416 x 32  -> 416 x 416 x 32
  1 max   64  3 x 3 / 1  208 x 208 x 32  -> 208 x 208 x 64
  2 conv  64  3 x 3 / 1  208 x 208 x 64  -> 104 x 104 x 64
  3 conv 128  3 x 3 / 1  104 x 104 x 64  -> 104 x 104 x 128
  4 conv  64  1 x 1 / 1  104 x 104 x 128 -> 104 x 104 x 64
  5 conv 128  3 x 3 / 1  104 x 104 x 64  -> 104 x 104 x 128
  6 conv 128  3 x 3 / 1  104 x 104 x 128 -> 52 x 52 x 128
  7 max   256  3 x 3 / 1  52 x 52 x 128  -> 52 x 52 x 256
  8 conv 128  1 x 1 / 1  52 x 52 x 256  -> 52 x 52 x 128
  9 conv 256  3 x 3 / 1  52 x 52 x 128  -> 52 x 52 x 256
 10 conv 256  3 x 3 / 1  52 x 52 x 256  -> 26 x 26 x 256
 11 max   512  2 x 2 / 2  26 x 26 x 256 -> 26 x 26 x 256
 12 conv 512  1 x 1 / 1  26 x 26 x 256  -> 26 x 26 x 256
 13 conv 512  1 x 1 / 1  26 x 26 x 256  -> 26 x 26 x 256
 14 conv 256  1 x 1 / 1  26 x 26 x 256  -> 26 x 26 x 256
 15 conv 512  3 x 3 / 1  26 x 26 x 256  -> 26 x 26 x 512
 16 conv 512  3 x 3 / 1  26 x 26 x 256  -> 26 x 26 x 512
 17 max   1024 3 x 3 / 1  13 x 13 x 512  -> 13 x 13 x 1024
 18 conv 512  1 x 1 / 1  13 x 13 x 1024 -> 13 x 13 x 512
 19 conv 1024 3 x 3 / 1  13 x 13 x 512  -> 13 x 13 x 1024
 20 conv 1024 3 x 3 / 1  13 x 13 x 1024 -> 13 x 13 x 1024
 21 conv 512  1 x 1 / 1  13 x 13 x 1024 -> 13 x 13 x 512
 22 conv 1024 3 x 3 / 1  13 x 13 x 512  -> 13 x 13 x 1024
 23 conv 1024 3 x 3 / 1  13 x 13 x 1024 -> 13 x 13 x 1024
 24 conv 1024 3 x 3 / 1  13 x 13 x 1024 -> 13 x 13 x 1024
 25 route 16
 26 conv  64  1 x 1 / 1  26 x 26 x 512  -> 26 x 26 x 64
 27 reorg 27 24
 28 conv 1024 3 x 3 / 1  13 x 13 x 1280 -> 13 x 13 x 1024
 29 conv  30  1 x 1 / 1  13 x 13 x 1024 -> 13 x 13 x 30
 31 detection
Loading weights from darknet19_448.conv.23...Done!
Learning rate: 0.001, Momentum: 0.9, Decay: 0.0005
Resizing
Loaded: 0.000000 seconds
Region Avg IOU: 0.242261, Class: 1.000000, Obj: 0.492693, No Obj: 0.486198, Avg Recall: 0.111111, count: 18
Region Avg IOU: 0.243076, Class: 1.000000, Obj: 0.504338, No Obj: 0.486266, Avg Recall: 0.047619, count: 21
Region Avg IOU: 0.135906, Class: 1.000000, Obj: 0.513450, No Obj: 0.485805, Avg Recall: 0.157789, count: 19
Region Avg IOU: 0.278830, Class: 1.000000, Obj: 0.506446, No Obj: 0.486910, Avg Recall: 0.111111, count: 18
1: 17.108604, 17.108604 avg, 0.001000 rate, 2.823000 seconds, 64 images
Loaded: 0.000000 seconds
Region Avg IOU: 0.247192, Class: 1.000000, Obj: 0.073060, No Obj: 0.078055, Avg Recall: 0.157895, count: 19
Region Avg IOU: 0.269793, Class: 1.000000, Obj: 0.044096, No Obj: 0.080800, Avg Recall: 0.076074, count: 27
Region Avg IOU: 0.343057, Class: 1.000000, Obj: 0.044127, No Obj: 0.075404, Avg Recall: 0.272727, count: 22
Region Avg IOU: 0.424638, Class: 1.000000, Obj: 0.048766, No Obj: 0.077142, Avg Recall: 0.263158, count: 19
2: 2.749435, 15.078888 avg, 0.001000 rate, 2.799000 seconds, 125 images
Loaded: 0.000000 seconds
Region Avg IOU: 0.288321, Class: 1.000000, Obj: 0.010010, No Obj: 0.007427, Avg Recall: 0.318182, count: 22
Region Avg IOU: 0.288321, Class: 1.000000, Obj: 0.005620, No Obj: 0.007315, Avg Recall: 0.168667, count: 18
Region Avg IOU: 0.211404, Class: 1.000000, Obj: 0.003922, No Obj: 0.007223, Avg Recall: 0.200800, count: 15
Region Avg IOU: 0.297358, Class: 1.000000, Obj: 0.004159, No Obj: 0.007017, Avg Recall: 0.222222, count: 18
3: 1.772242, 14.282043 avg, 0.001000 rate, 2.799000 seconds, 192 images
Loaded: 0.000000 seconds
Region Avg IOU: 0.370476, Class: 1.000000, Obj: 0.000793, No Obj: 0.000986, Avg Recall: 0.375000, count: 16
Region Avg IOU: 0.289487, Class: 1.000000, Obj: 0.000236, No Obj: 0.000985, Avg Recall: 0.260707, count: 23
Region Avg IOU: 0.289484, Class: 1.000000, Obj: 0.001393, No Obj: 0.001015, Avg Recall: 0.190476, count: 21
Region Avg IOU: 0.269627, Class: 1.000000, Obj: 0.001259, No Obj: 0.001070, Avg Recall: 0.117647, count: 17
4: 1.551824, 13.009562 avg, 0.001000 rate, 2.798000 seconds, 256 images

```

ภาพที่ 2.6 ภาพแสดงการสอนระบบผ่านดาร์คเน็ต. จาก <https://timebutt.github.io/static/how-to-train-yolov2-to-detect-custom-objects>, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2560.

โดยระหว่างการสอนระบบประกอบด้วยค่าสำคัญที่ต้องสังเกตอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการระบุและตรวจจับวัตถุ (Average Loss) และจำนวนครั้งในการสอนซ้ำ (Iterations) จากตัวอย่าง (ภาพที่ 2.7) ค่าที่ถูกแสดงอยู่ใน ตัวหนา มีแสดงอยู่ทั้งหมด 2 ค่าด้วยกันคือ 9002 ซึ่งเป็นค่าแสดงจำนวนครั้งที่ระบบถูกสอนซ้ำ และ 0.060730 avg คือค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการระบุและตรวจจับวัตถุในขณะนั้น โดยค่าแสดงค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการระบุและตรวจจับวัตถุนั้นควรจะมีค่าลดลงตามจำนวนครั้งการสอนซ้ำที่เพิ่มขึ้น ถ้าหากทำการสอนอย่างถูกต้อง และทำการหยุดการสอนเมื่อค่าแสดงค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการระบุและตรวจจับวัตถุเริ่มมีไม่มีความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญ

Region Avg IOU: 0.798363, Class: 0.893232, Obj: 0.700808, No Obj: 0.004567, Avg Recall: 1.000000, count: 8 Region Avg IOU: 0.800677, Class: 0.892181, Obj: 0.701590, No Obj: 0.004574, Avg Recall: 1.000000, count: 8

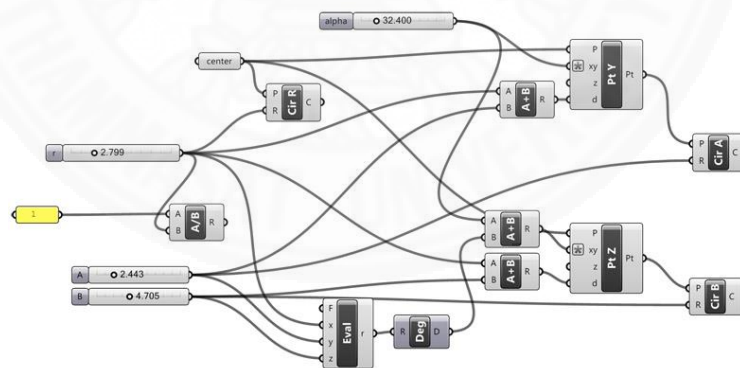
9002: 0.211667, 0.060730 avg, 0.001000 rate, 3.868000 seconds, 576128 images Loaded: 0.000000 seconds

ภาพที่ 2.7 ภาพแสดงรายละเอียดของระบบที่ถูกแสดงระหว่างการสอนด้วยคาร์คเน็ต.

จาก <https://timebutt.github.io/static/how-to-train-yolov2-to-detect-custom-objects>,

สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2560.

## 2.5 การออกแบบเชิงพาราเมตริก



ภาพที่ 2.8 ภาพแสดงการกำหนดเงื่อนไขในการสร้างวัตถุภายในโปรแกรมกราสฮอปเปอร์ 3 มิติ. จาก

[http://www.designcoding.net/decoder/wp-content/uploads/2012/10/2012\\_10\\_03-](http://www.designcoding.net/decoder/wp-content/uploads/2012/10/2012_10_03-packit1-def.jpg)

[packit1-def.jpg](http://www.designcoding.net/decoder/wp-content/uploads/2012/10/2012_10_03-packit1-def.jpg), สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560.

การจะนำข้อมูลเชิงสถิติมาใช้เป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองสามมิตินั้น จำเป็นต้องอาศัยอัลกอริทึมคอมพิวเตอร์เข้าช่วย เพื่อแปลค่าตัวแปรดังกล่าวให้มาอยู่ในรูปแบบของแบบจำลองสามมิติที่สามารถเข้าใจได้ง่าย โดยอาศัยกระบวนการเชิงเจเนอเรทีฟ (Generative) และพาราเมตริก

ซึ่งคือกลวิธีในการกับคุณลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิตินั้น ๆ (ภาพที่ 2.8) โดยใช้ตัวแปรในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในอัลกอริทึม (Jabi, 2013)

Rynne & Gaughran (2007) กล่าวการออกแบบเชิงพาราเมตริก เพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับและความสามารถในการแสดงผลลัพธ์ที่เปลี่ยนแปลงได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพบนชิ้นส่วนที่ต้องการได้ โดยที่ไม่ทำการเปลี่ยนแปลงแนวคิดในการออกแบบที่ตั้งใจไปด้วย

Stavric & Marina (2011) ได้ยกตัวอย่างของการนำการออกแบบ แบบพาราเมตริกไปใช้ เช่นในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม การจะทดสอบรูปทรงแผงกันแดดต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานภายในอาคาร ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันไปของแต่ละอาคาร เช่น ความสูงของอาคาร โดยไม่จำเป็นต้องสร้างแผงกันแดดแก่อาคารขึ้นมาใหม่บนซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองสามมิติ เป็นต้น

ความสามารถดังกล่าวทำให้การแปลงค่าที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุมาเป็นแบบจำลองสามมิตินั้นสามารถกระทำได้โดยไม่ต้องไปปรับเปลี่ยนในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอาศัยค่าที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ ซึ่งประกอบด้วยค่าชนิดและตำแหน่งของวัตถุที่ถูกตรวจจับได้ มาใช้เป็นตัวแปร ในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บนกระบวนการเชิงพาราเมตริก

### 2.5.1 การนำซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกมาใช้ในงานออกแบบสถาปัตยกรรม



ภาพที่ 2.9 วอลต์ดิสนีย์คอนเสิร์ตฮอลล์ ออกแบบโดยแฟรงค์ เกห์รี (Frank Gehry).

จาก [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Image-](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Image-Disney_Concert_Hall_by_Carol_Highsmith_edit.jpg)

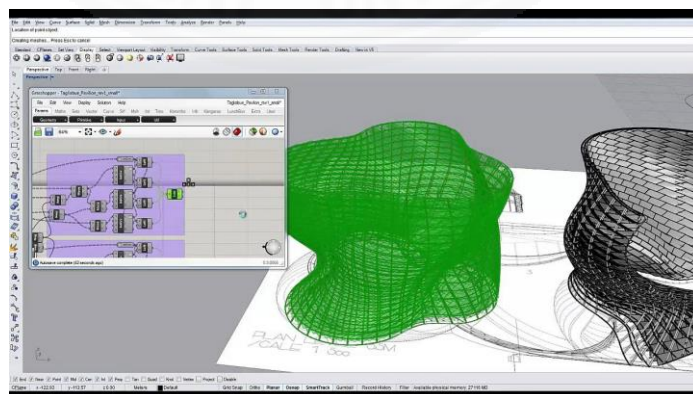
[Disney\\_Concert\\_Hall\\_by\\_Carol\\_Highsmith\\_edit.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Image-Disney_Concert_Hall_by_Carol_Highsmith_edit.jpg), สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560.



ในกระบวนการออกแบบนั้นจำเป็นต้องมีแนวทางเลือก เพื่อใช้ยืนยันว่าต้นแบบที่เลือกมาใช้ในการออกแบบในขั้นตอนสุดท้ายนั้นเป็นแบบที่เหมาะสม โดยแนวทางเลือกนั้นอาจมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจและเงื่อนไขที่ผู้ออกแบบถูกกำหนดไม่ว่าจะจากผู้ว่าจ้าง ภูมิสถาปนิก หรือตัวผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดเอง กระบวนการเชิงพารามเมตริกถูกนำมาใช้เพื่อลดการใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองต้นแบบเหล่านั้นลง โดยการอนุญาตให้ผู้ออกแบบสามารถปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองตั้งต้นด้วยการกำหนดค่าตัวแปร ที่ส่งผลกระทบต่อแบบจำลองนั้น ๆ ด้วยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถถูกปรับเปลี่ยนได้ทั้งจากคอมพิวเตอร์เป็นผู้นับจำนวน หรือผู้ออกแบบปรับเปลี่ยนด้วยมือเอง เช่น วอลต์ดิสนีย์คอนเสิร์ตฮอลล์ที่ผู้ออกแบบ โดยแฟรงค์ เกห์รี ซึ่งถูกพัฒนาด้วยวิธีการเชิงพารามเมตริกด้วยซอฟต์แวร์คาเทีย (Catia) (ภาพที่ 2.9)

โดยในตลาดปัจจุบันมีซอฟต์แวร์พารามเมตริกให้เลือกใช้มากมาย แล้วแต่ความถนัดของผู้ใช้งาน โดยมีที่นิยมอยู่ในตลาดอยู่ 3 ตัวคือ 1) คาเทีย 2) ออโต้เดสก์ไดนาโม (Autodesk Dynamo) ที่ทำงานคู่กับออโต้เดสก์รีวิท (Autodesk Revit) 3) กราสฮอปเปอร์ (Grasshopper) ที่ทำงานคู่กับไรโนเซอร์ส (Rhino 3D) โดยทั้งสามชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้กราสฮอปเปอร์ ในการทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามิตรี ด้วยสาเหตุ คือ

- (1) ราคาของกราสฮอปเปอร์นั้นมีราคาถูกที่สุดจากตัวเลือกทั้ง 3 และเป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการสถาปัตยกรรม
- (2) ซอฟต์แวร์สามารถจัดการกับแบบจำลองได้สะดวกที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 ตัว เพราะแบบจำลองสามมิติที่ถูกใช้ไม่ได้ถูกนำไปคำนวณผลอย่างอื่น เนื่องจากทั้งคาเทียและออโต้เดสก์ไดนาโมนั้น แบบจำลองมีการบรรจุข้อมูลเอาไว้อยู่เบื้องหลังด้วย เพื่อให้คำนวณค่าอย่างอื่นที่ซับซ้อน เช่น การคำนวณเชิงฟิสิกส์ ราคา ปริมาณวัสดุ ฯลฯ



ภาพที่ 2.10 ภาพแสดงแบบจำลอง 3 มิติที่ได้จากการสร้างแบบจำลองเชิงพารามเมตริก.

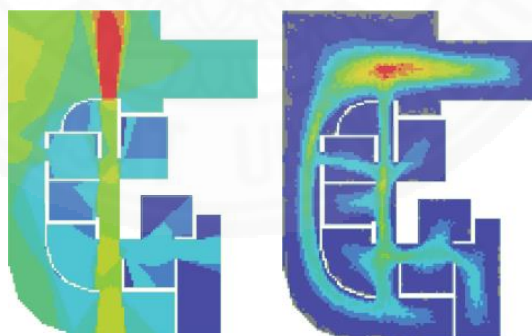
จาก [i.ytimg.com/vi/oCfpy8gdATo/maxresdefault.jpg](http://i.ytimg.com/vi/oCfpy8gdATo/maxresdefault.jpg), สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560.

แบบจำลองสามมิติที่ได้จากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวแปร นั้นจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดรอดตายที่ผู้ใช้งานยังไม่ทำการยืนยันผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้น โดยภายในกราฟฮอปเปอร์ แบบจำลองที่ยังไม่ถูกทำการยืนยันจะถูกแสดงผลเป็นสีเขียว และแบบจำลองที่ทำการยืนยันผลเสร็จแล้ว จะเปลี่ยนเป็นสีมาตรฐานภายในซอฟต์แวร์ตามที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ (สีเทา) (ภาพที่ 2.10) ความสามารถดังกล่าวทำให้เราสามารถนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุมาทดลองใช้เป็นตัวแปร ในการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติ ให้สอดคล้องกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยระบบการรู้จำวัตถุ

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับและจำลองการเคลื่อนไหวของวัตถุ

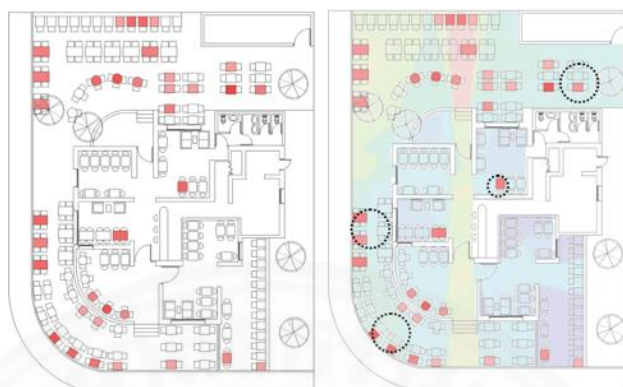
ในปี 2017 Aknar & Atun นำเสนอแนวทางในการจัดการพื้นที่ ๆ Space Syntax บนพื้นที่ที่ไม่ถูกวิเคราะห์ ที่ถูกพิจารณาเป็นพื้นที่ ๆ ไม่มีศักยภาพหรือศักยภาพต่ำ เพื่อสามารถใช้ศักยภาพของพื้นที่ได้สูงสุด และสร้างกิจกรรมให้เหมาะสมกับศักยภาพของพื้นที่ ที่ถูกซ่อนอยู่ โดยการอาศัย Fibonacci number ร่วมในการวิเคราะห์พื้นที่ดังกล่าว เพื่อคาดการณ์ตำแหน่งที่มีศักยภาพที่ถูกซ่อนอยู่บนพื้นที่ที่ไม่ถูกวิเคราะห์เดิมโดย Space Syntax (ภาพที่ 2.11)



ภาพที่ 2.11 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ Agent Simulation ของ Space Syntax ก่อนใช้การวิเคราะห์ร่วมกับ Fibonacci Analysis. ร่วมกับ Fibonacci Analysis. จาก *Predicting movement in architectural space*, โดย Aknar et al., 2017.

โดยทดลองนำวิธีการดังกล่าวไปทดลองวิเคราะห์พื้นที่ ภายในร้านอาหาร และเปรียบเทียบผลลัพธ์เปรียบเทียบ ตำแหน่งโต๊ะที่สร้างรายได้ให้แก่ร้านมากที่สุด เทียบกับตำแหน่งที่ระบบคาดการณ์ว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ (ภาพที่ 2.12) โดยตำแหน่งที่ถูกคาดการณ์โดยระบบ

ถูกแสดงเป็นพื้นที่ ๆ อยู่ภายในวงกลมเส้นประ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลก่อนหน้าที่ได้มาจากร้านอาหาร



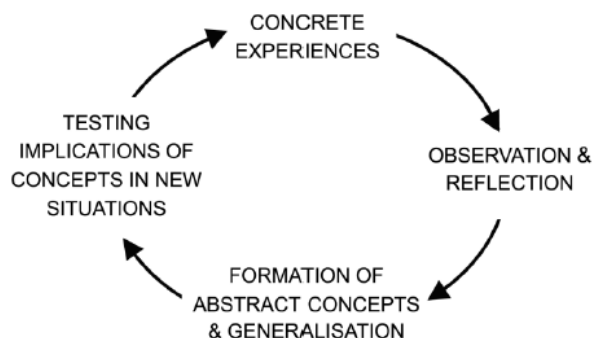
ภาพที่ 2.12 เปรียบเทียบตำแหน่งโต๊ะที่สร้างรายได้ให้แก่ร้านสูงสุด (ซ้าย) เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสมการ Fibonacci ร่วมกับการใช้ VGA แสดงให้เห็นการคำนวณบนพื้นที่สี่เทา (ขวา). จาก *Predicting movement in architectural space*, โดย Aknar et al., 2017.



ภาพที่ 2.13 ภาพแสดงสถานที่ ๆ ผู้วิจัยเลือกทำการสำรวจในช่วงแรกของการวิจัย.

จาก *Human movement in Public spaces: The use and development of motion-oriented design strategies*, โดย Vroman et al., 2017.

ต่อมาในปี 2017 Vroman & Lagrange ทำการศึกษาสิ่งที่ส่งผลต่อสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนไหวของมนุษย์ภายในพื้นที่ว่าง (ภาพที่ 2.13) เพื่อนำไปสู่การวางแผนการออกแบบที่สามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของมนุษย์ได้ตามที่ต้องการ โดยใช้การทดลองวางสิ่งกีดขวาง บนทางสัญจรและทำการจดบันทึกผลที่ได้โดยใช้กล้องวิดีโอช่วยในการบันทึกผลลัพธ์ที่ได้

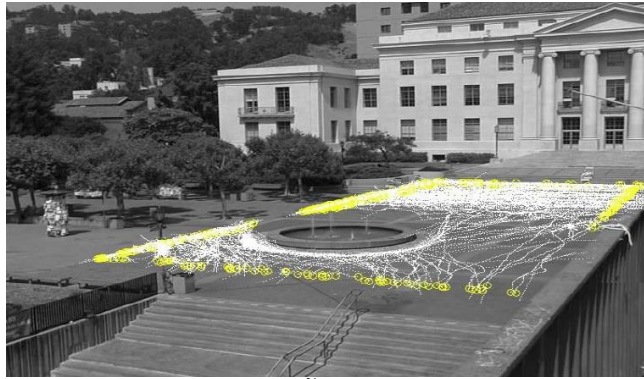


ภาพที่ 2.14 ภาพแสดงแบบจำลองการเรียนรู้ของ Lewinian. จาก *Human movement in Public spaces: The use and development of motion-oriented design strategies*. โดย Vroman et al., 2017.

โดยการนำแบบจำลองการเรียนรู้ของ Lewinian (ภาพที่ 2.14) มาใช้ในการสร้างสถานการณ์จำลองในการสร้างสภาพแวดล้อมที่สามารถกำหนดวิธีการสัญจร ภายในพื้นที่ที่กำหนดได้ โดยการทดลองนำกล่องสีขาวมาขวางเส้นทาง บนพื้นที่สัญจรระหว่างจุด ก ไป จุด ข และสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและรูปแบบการวางของกล่องที่ถูกวางไว้ และวิธีการสัญจรของกลุ่มประชากรที่เปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 2.15)

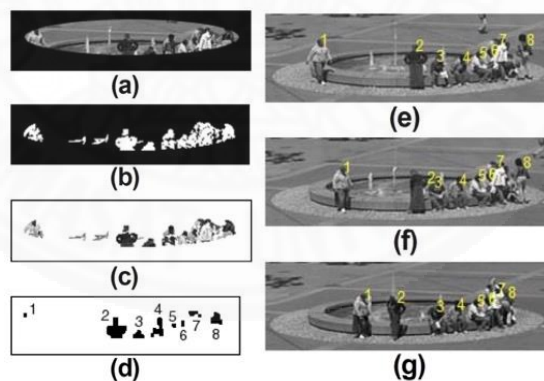


ภาพที่ 2.15 ภาพแสดงขั้นตอนการทดลองนำสิ่งกีดขวางวางในตำแหน่งและลักษณะที่แตกต่างกัน. จาก *Human movement in Public spaces: The use and development of motion-oriented design strategies*. โดย Vroman et al., 2017.



ภาพที่ 2.16 ภาพแสดงเส้นทางการสัญจรบนพื้นที่ ๆ ได้จากการบันทึกโดยระบบที่ถูกสร้างขึ้นในงานวิจัย. จาก *Learning the behavior of users in public space through video tracking. In application of computer vision*, โดย Yan et al., 2005.

ก่อนหน้านั้นในปี 2005 Yan et al. ได้นำเสนอวิธีการบันทึกและติดตามกิจกรรมที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ว่าง โดยอาศัยการติดตั้งกล้องวิดีโอในการติดตามกิจกรรมของกลุ่มประชากรที่เกิดขึ้นในพื้นที่โดยอัตโนมัติ อาศัยการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง และวิเคราะห์ลักษณะของกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากวัตถุ โดยลักษณะของกิจกรรมที่เกิดขึ้นจะถูกแสดงเป็นรูปแบบของเส้นทางการเดินเข้าออกจากพื้นที่และแสดงตำแหน่งที่มนุษย์หยุดอยู่กับที่ (ภาพที่ 2.16)

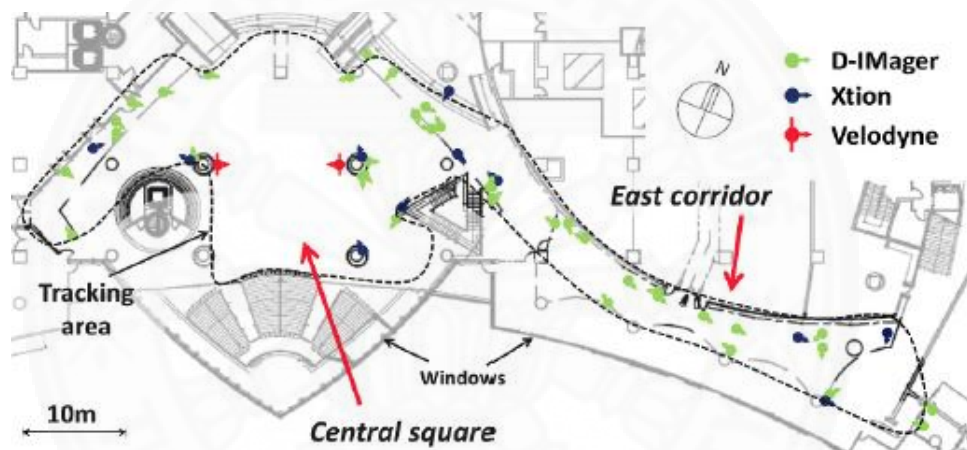


ภาพที่ 2.17 ภาพแสดงขั้นตอนการระบุชนิดกิจกรรมโดยระบบ (ซ้าย) แสดงขั้นตอนการระบุตัวตนของวัตถุที่ตรวจจับได้ (ขวา). จาก *Learning the behavior of users in public space through video tracking. In application of computer vision*, โดย Yan et al., 2005.

ลักษณะความสูงและรูปแบบโครงร่างของมนุษย์ ทำให้สามารถรับทราบได้ว่ากิจกรรมที่อยู่ ณ ตำแหน่งดังกล่าวคือกิจกรรมชนิดไหน เช่น หากภาพของโครงร่างของมนุษย์ที่ได้ถูกตัดออกเหลือเพียงส่วนบน ซึ่งเกิดจากน้ำพุในตำแหน่งใกล้เคียงบังทับโครงร่างเอาไว้ ทำให้ผู้วิจัย

สามารถระบุได้ว่ากิจกรรมที่เกิดขึ้นเบื้องต้นคือ ลักษณะของการนั่ง (ภาพที่ 2.17) ข้อจำกัดของวิธีดังกล่าวคือ ไม่สามารถจำแนกลักษณะของกิจกรรมที่ซับซ้อนได้ เช่น ไม่สามารถจำแนกการนั่งเล่นหมากรุก ออกจากการนั่งปกติได้ เป็นต้น

ในปี 2013 Brscic et al. ได้นำเสนอวิธีการติดตามวัตถุโดยอาศัยเซนเซอร์วัดระยะแบบ 3 มิติ เพื่อเสนอวิธีการติดตามวัตถุทางเลือก ที่สามารถให้ข้อมูลได้มากกว่าระบบติดตามวัตถุทั่วไป เช่น ตำแหน่ง ความสูงของวัตถุ ลักษณะท่าทางของวัตถุ ที่ตรวจจับได้อย่างเที่ยงตรงมากกว่าเดิม โดยการติดตั้งเซนเซอร์ดังกล่าวเหนือระดับหัวศีรษะ (ภาพที่ 2.18) ซึ่งสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้มีมากกว่าหรือเทียบเท่าระบบการติดตั้งด้วยเลเซอร์ที่มีราคาสูงกว่า



ภาพที่ 2.18 ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์แต่ละรุ่นบนพื้นที่ทดลองภายในห้างสรรพสินค้า. จาก *Person tracking in large public spaces using 3-D range sensors*, โดย Brscic et al., 2013.

## ตารางที่ 2.2

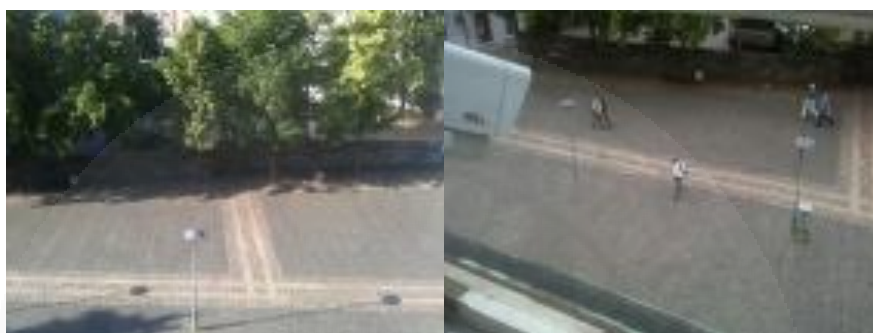
ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างงานวิจัยกับงานจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับและจำลองการเคลื่อนไหวของวัตถุ

รูปแบบการประเมิน	งานวิจัย	งานวิจัย “Predicting movement,”	งานวิจัย “Human movement in,”	งานวิจัย “Learning the behavior,”	งานวิจัย “Person tracking in,”
อุปกรณ์ในการใช้ตรวจจับ	กล้องบนโทรศัพท์มือถือ	ไม่มี	กล้องวิดีโอ	กล้องวิดีโอ	เซนเซอร์วัดระยะแบบ 3 มิติ
ความสามารถในการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์	ไม่ได้	ได้ <sup>๕</sup>	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
ความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์	ได้	ไม่ได้	ได้ <sup>๖</sup>	ได้	ได้
ความสามารถในการติดตามวัตถุเดิม	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	ภาพวิดีโอจากสถานที่จริง	แผนผังของพื้นที่ ๆ ต้องการในการทำการวิเคราะห์	ภาพวิดีโอจากสถานที่จริง	ภาพวิดีโอจากสถานที่จริง	ตรวจจับวัตถุบนสถานที่จริง
ความสามารถในการจำแนกประเภทของวัตถุ	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
ประเภทของข้อมูลที่ได้	ตำแหน่ง, ประเภท, ขนาดวัตถุ	แผนผังคาดการณ์ศักยภาพของพื้นที่ ๆ ถูกวิเคราะห์	ภาพบันทึกวิดีโอ	ตำแหน่ง, ชนิดของกิจกรรมเบื้องต้น	แผนผังแสดงตำแหน่ง และความหนาแน่นบนพื้นที่

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

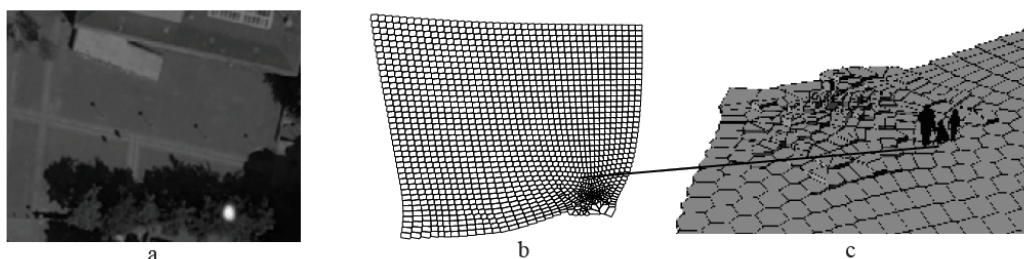
## 2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองเชิงพารามตริก

ในปี 2012 Poulsen, Andersen, Gade, Jensen, & Moeslund นำเสนอแนวทางในการนำเอาความหนาแน่นของการใช้งานบนพื้นที่ที่เกิดจากการใช้งานของกลุ่มประชากรในพื้นที่ มาใช้เป็นข้อมูลในการนำเข้าไปสร้างแบบจำลองแบบพารามตริก โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลภาพที่ได้จากภาพถ่ายความร้อน และแผนภาพแสดงความหนาแน่น เพื่อนำมาปรับใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบสำหรับนักออกแบบผังเมือง



ภาพที่ 2.19 ภาพที่ได้จากกล้องที่ติดตั้ง (ซ้าย) ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้องบนสถานที่ศึกษา (ขวา). จาก *Using Human Motion Intensity As Input For Urban Design*, โดย Poulsen et al., 2012.

อาศัยการทำแผนภาพของกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ทำให้สามารถสร้างแผนภาพสะท้อนรูปแบบการใช้งานและพื้นที่ ๆ ไม่ถูกใช้งานได้ เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจในการวางตำแหน่งเฟอร์นิเจอร์ ตำแหน่งการวางเสาไฟ และเส้นทางการนำทาง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากกล้องตรวจจับความร้อน (Thermal Camera) (ภาพที่ 2.19) ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลโดยคอมพิวเตอร์



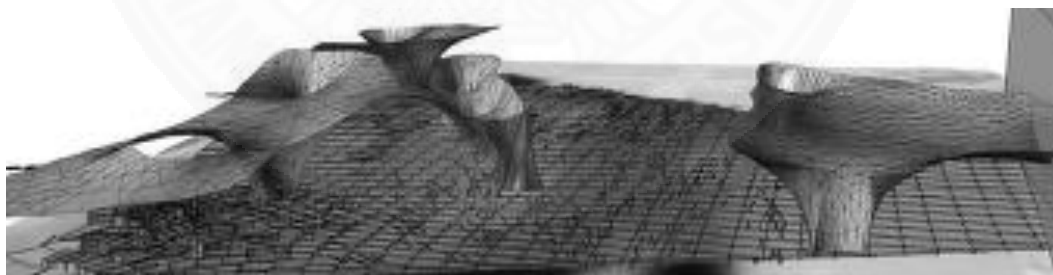
ภาพที่ 2.20 แผนภาพแสดงพื้นที่ ๆ ถูกใช้งาน และการแปลงข้อมูลดังกล่าวเป็นแผนภาพไวโรนอย จาก *Using Human Motion Intensity As Input For Urban Design*, โดย Poulsen et al., 2012.





ภาพที่ 2.21 แผนภาพแสดงเส้นทางสัญจรภายในพื้นที่ (a) และตำแหน่งติดตั้งจุดพักรอใหม่ (b).  
จาก *Using Human Motion Intensity As Input For Urban Design*, โดย Poulsen et al.,  
2012.

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาเข้าร่วมในการตัดสินใจ ออกแบบลักษณะของงานสถาปัตยกรรมต่าง ๆ เพื่อรองรับลักษณะการใช้งานที่เกิดขึ้น พื้นที่ ๆ ถูกใช้งานมากเช่น บริเวณมุมของพื้นที่จะถูกนำมาใช้สร้างพื้นที่ว่างเพื่อรองรับกิจกรรมที่เกิดขึ้น เช่น สนามหญ้า ที่นั่งพัก ฯลฯ (ภาพที่ 2.21) ในขณะที่พื้นที่ ๆ ไม่ถูกใช้งานสามารถถูกใช้เป็นพื้นที่ร้านค้า พื้นที่หลบแดดและฝน (ภาพที่ 2.22) เพื่อสร้างกิจกรรมใหม่ ๆ บนพื้นที่ดังกล่าว โดยพื้นที่สัญจรหลักต้องถูกออกแบบให้มีความคล่องตัวของการเดินเท้าและสร้างความรู้สึกปลอดภัยมากขึ้น เช่น การติดตั้งพื้นผิวทางเท้าแบบกันลื่น เป็นต้น

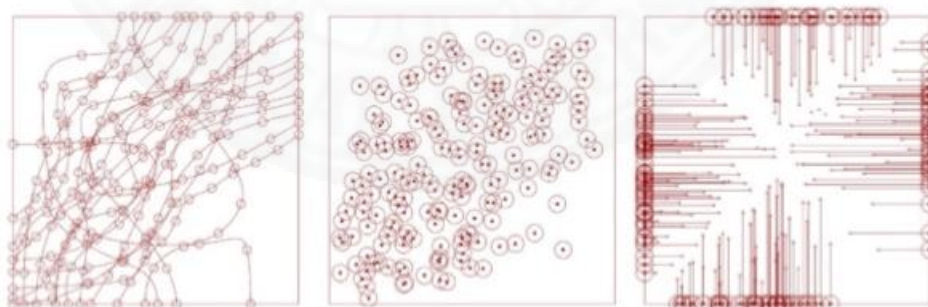


ภาพที่ 2.22 แบบจำลอง 3 มิติ ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล. จาก *Using Human Motion Intensity As Input For Urban Design*, โดย Poulsen et al., 2012.

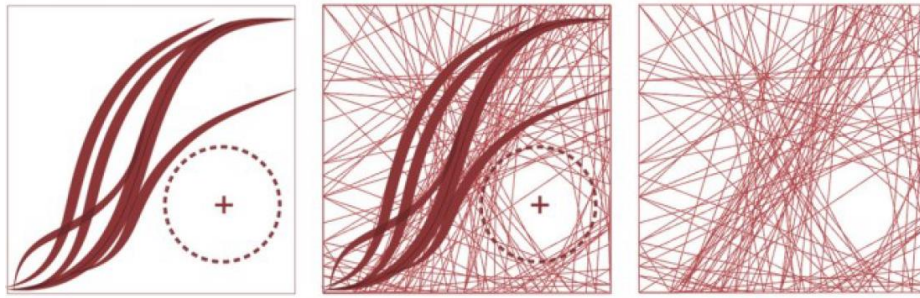


ภาพที่ 2.23 ภาพแสดงการติดตั้งงานออกแบบ โดยใช้โดรน (Drone). จาก *Human-Based Design and digital fabrication behavioral mapping parametric knitter (BMPK)*, โดย Kalantari et al., 2016.

ในปี 2016 Kalantari, Poustinchi, & Ahmadi นำเสนอวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมของกลุ่มประชากรโดยอัตโนมัติ ร่วมกับการสร้างแบบจำลองพฤติกรรม โดยการเอา ศูนย์ไรต์คนขับ มาใช้ร่วมกับกับการใช้เทคนิคการจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยใช้กล้องวิดีโอติดตั้งเอาไว้เหนือพื้นที่ เพื่อหารูปแบบการเคลื่อนที่ของคนบนพื้นที่ ก่อนจะนำรูปแบบดังกล่าวไปสร้างแบบจำลองในโปรแกรมสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อสร้างรูปแบบของเส้นเอ็นที่จะนำไปใช้ติดตั้ง เพื่อสะท้อนถึงพฤติกรรมของกลุ่มประชากรที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ (ภาพที่ 2.23)

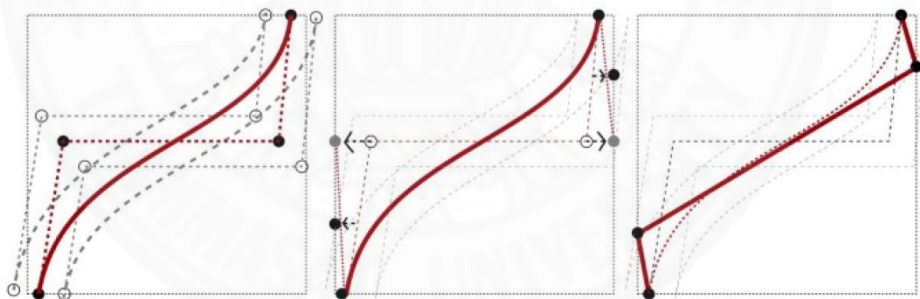


ภาพที่ 2.24 แผนภาพแสดงเส้นทางการสัญจรที่บันทึกได้จากระบบ (บน) ภาพแสดงการแนวเส้นทางติดตั้งเส้นเอ็นที่ถูกออกแบบจากเส้นทางการสัญจรที่บันทึกได้ (ล่าง). จาก *Human-Based Design and digital fabrication behavioral mapping parametric knitter (BMPK)*, โดย Kalantari et al., 2016.



ภาพที่ 2.24 แผนภาพแสดงเส้นทางการสัญจรที่บันทึกได้จากระบบ (บน) ภาพแสดงการแนวเส้นทาง ติดตั้งเส้นเอ็นที่ถูกออกแบบจากเส้นทางการสัญจรที่บันทึกได้ (ล่าง). จาก *Human-Based Design and digital fabrication behavioral mapping parametric knitter (BMPK)*, โดย Kalantari et al., 2016. (ต่อ)

รูปแบบของกิจกรรมที่ได้จะถูกนำมาแปลงเป็นรูปแบบแสดงผลต่าง ๆ ซึ่งแสดงเส้นทางเข้าออกพื้นที่ของกลุ่มประชากรที่ใช้ในการสัญจร ก่อนจะกำหนดพื้นที่ว่างสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ภายในพื้นที่วงกลม (ภาพที่ 2.24) และเชื่อมเส้นจุดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยรูปแบบเส้นที่ถูกนำไปใช้จะถูกปรับให้เหมาะสมกับการติดตั้งวัตถุดังกล่าวด้วยโดรน (ภาพที่ 2.25)



ภาพที่ 2.25 ภาพแสดงการปรับแต่งเส้นเอ็นเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้โดรนในการติดตั้ง. จาก *Human-Based Design and digital fabrication behavioral mapping parametric knitter (BMPK)*, โดย Kalantari et al., 2016.

## ตารางที่ 2.3

ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างงานวิจัยกับงานจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง  
สามมิติเชิงพารามตริก

รูปแบบการ ประเมิน	งานวิจัย “Human-Based Design and,”	งานวิจัย “Using Human Motion,”	งานวิจัยนี้
อุปกรณ์ในการใช้ ตรวจจับ	กล้องวิดีโอ	กล้องตรวจจับความร้อน	กล้องบนโทรศัพท์มือถือ
ประเภทข้อมูลที่ได้	ตำแหน่งที่ใช้งาน ของกลุ่มประชากร	ตำแหน่งที่ใช้งานของกลุ่ม ประชากร	ตำแหน่งที่ใช้งานของกลุ่ม ประชากร, ชนิดและขนาด ของวัตถุ
ข้อมูลนำไปใช้ในการ สร้าง แบบจำลอง	เส้นทางการสัญจร และตำแหน่งการใช้ งาน	เส้นทางการสัญจร และ ตำแหน่งการใช้งาน	เส้นทางการสัญจร ตำแหน่ง ของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นที่ และตำแหน่งการใช้งาน
ผลลัพธ์ที่ได้	แบบจำลอง 3 มิติ สำหรับใช้ โคจรติดตั้ง	แบบจำลอง 3 มิติ	แบบจำลอง 3 มิติ

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

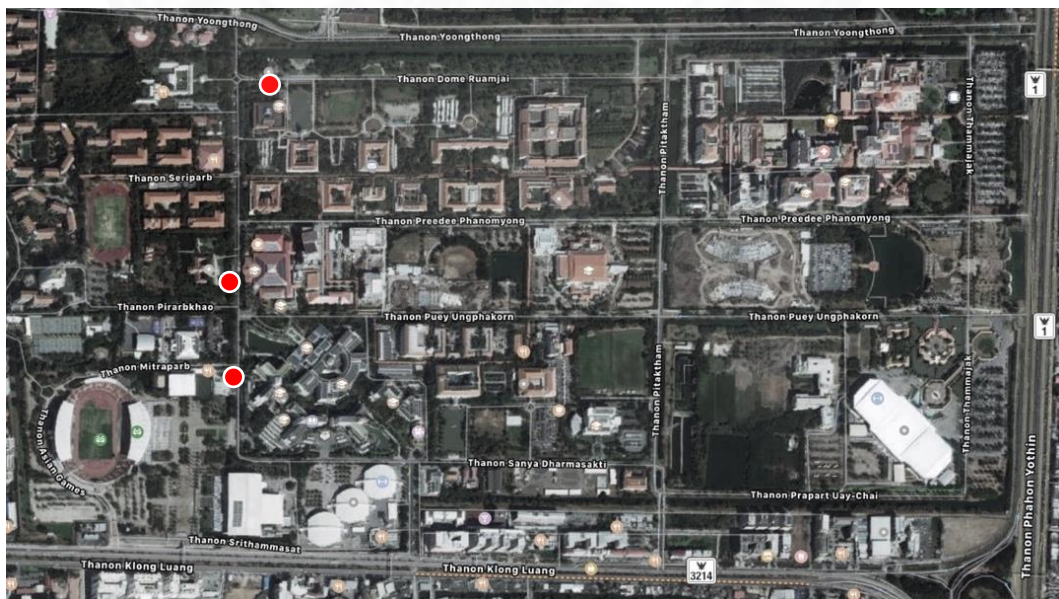
## บทที่ 3 วิธีการวิจัย

### 3.1 รูปแบบของงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองนำระบบการรู้จำวัตถุ มาใช้ช่วยในกระบวนการออกแบบงานสถาปัตยกรรม โดยทดลองนำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบดังกล่าวมาใช้ทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก ด้วยโปรแกรมเสริมของโปรแกรมไรโนซอร์สกราสฮอปเปอร์ (Grasshopper) เพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการสร้างแบบจำลองสามมิติจากผลลัพธ์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ

เพื่อหาแนวทางในการนำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุไปปรับใช้ในกระบวนการออกแบบงานสถาปัตยกรรม อย่างตรงไปตรงมาโดยสามารถนำค่าผลลัพธ์ที่ได้โดยตรงไปใช้ได้เลย เพื่อให้ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องไปทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบหรือการออกแบบพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับระบบการรู้จำวัตถุในภายหลัง

### 3.2 พื้นที่ศึกษาในงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 ภาพแสดงตำแหน่งของจุดพักจอดรถโดยสาร ที่ใช้ทดลองภายในงานวิจัย. โดย ผู้วิจัย.

ขอบเขตพื้นที่ศึกษาภายในงานวิจัยคือบริเวณรอบป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยตำแหน่งสถานที่นั้นมีทั้งหมด 3 บริเวณ ดังนี้ (ภาพที่ 3.1)

- 1) บริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณท่าจอดรถตู้
- 2) บริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารสำนักงานบริหารทรัพย์สินและกีฬา
- 3) บริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารเรียนรวมสังคมศาสตร์

เนื่องจากลักษณะทางกายภาพจากตำแหน่งที่ตั้ง และบริบทโดยรอบของป้ายมีความแตกต่างกัน ทำให้กิจกรรมที่เกิดขึ้นรวมถึงลักษณะการใช้งานมีความหลากหลาย โดยตำแหน่งที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนั้น เลือกจากบริเวณที่มีสถานที่ตั้งที่มีบริบทและสถานที่ตั้งห่างจากกัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้บนพื้นที่ ๆ มีบริบทที่แตกต่างกันได้

### 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษากระบวนการออกแบบในงานสถาปัตยกรรม ระบบการรู้จำวัตถุ และการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามตริก

3.3.2 ออกแบบและพัฒนาระบบที่จำเป็นในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการรู้จำวัตถุ เพื่อให้สามารถนำผลลัพธ์ไปใช้สร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามตริกต่อไปได้

3.3.3 ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการสร้างชุดข้อมูลสำหรับระบบการรู้จำวัตถุ ก่อนนำไปใช้สร้างชุดข้อมูลสำหรับชนิดวัตถุที่ต้องการ

3.3.4 นำชุดข้อมูลที่สร้างเสร็จแล้วไปติดตั้งลงบนแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้น ก่อนลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลด้วยระบบการรู้จำวัตถุที่พัฒนาเสร็จแล้ว

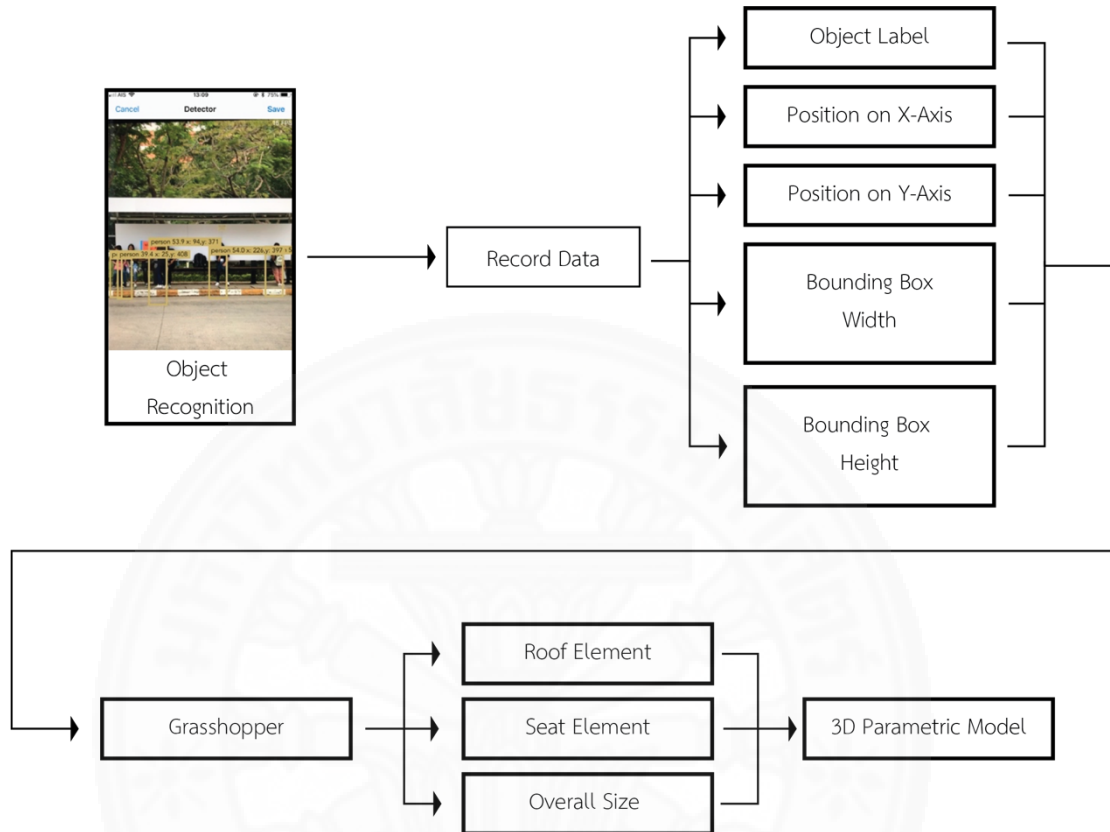
3.3.5 นำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุที่ทำการเก็บข้อมูลบนสถานที่จริงแล้ว นำเข้าสู่โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามตริก

3.3.6 ทำการกำหนดเงื่อนไขในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามตริก โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ ในการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อกำหนดลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติ

3.3.7 ทำการประเมินระบบโดยรวมเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3.8 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการนำไปใช้งานต่อในอนาคต

### 3.4 การเตรียมรูปแบบการทดลอง



ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงรูปแบบการทำงานทั้งหมดของระบบ. โดย ผู้วิจัย.

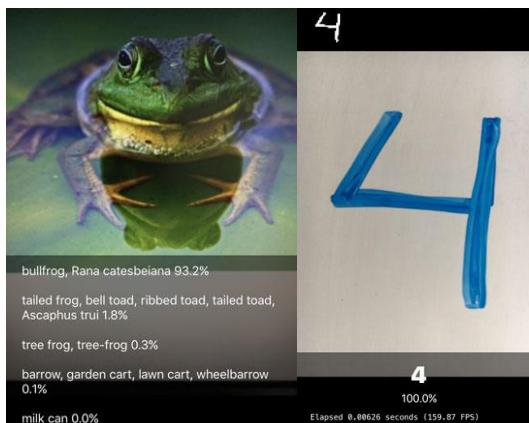
โครงสร้างของงานวิจัยจะถูกแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

- 1) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการรู้จำวัตถุ
- 2) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามตริก

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการรู้จำวัตถุ

ระบบการรู้จำวัตถุที่ถูกใช้ในงานวิจัยนั้น มีพื้นฐานมาจากโอเพนซอร์ส ชื่อว่า Forge (Hollemans, 2017) ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานร่วมกับชุดข้อมูลสำหรับระบบการรู้จำวัตถุ ชนิดต่าง ๆ บนระบบปฏิบัติการ iOS โดยภายในงานวิจัยเลือกร่วมใช้งานกับชุดข้อมูลสำหรับระบบการรู้จำวัตถุ YOLO (ย่อหน้าที่ 4) เนื่องจากระบบดังกล่าวมีความรวดเร็วในการประมวลผลและแสดงผลแบบเรียลไทม์ รวมทั้งสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้ในเวลาเดียวกัน



ภาพที่ 3.3 รูปตัวอย่างแอปพลิเคชัน Forge ที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัย.

จาก <https://github.com/hollance/Forge>, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2560.

Forge นั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นตัวช่วยในการสร้างแอปพลิเคชันสำหรับรองรับการใช้ระบบประสาทเทียม เช่น การนำระบบการรู้จำวัตถุอย่าง YOLO มาใช้ แต่เดิม Forge ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแสดงผลการตรวจจับวัตถุได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น (ภาพที่ 3.3) และไม่สามารถส่งข้อมูลออกมาจากระบบได้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบมาใช้งานต่อตามวัตถุประสงค์ได้ นั้น จึงมีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มเติมความสามารถแก่ระบบเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลออกมาได้ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้งานต่อในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามเมตริก ชุดข้อมูลเดิมบนระบบที่ถูกใช้บนระบบการรู้จำวัตถุ YOLO เป็นชุดข้อมูลมาตรฐาน คือ ชุดข้อมูล Pascal-Voc ซึ่งสามารถใช้ในการระบุวัตถุได้ทั้งหมด 20 ชนิด โดยแบ่งออกเป็น 4 หมวด (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1

ตารางแสดงสิ่งที่ตรวจจับได้บนชุดข้อมูล Pascal-Voc

หมวดหมู่	ชนิดของวัตถุที่สามารถตรวจจับได้
คน	คน
สัตว์	แกะ นก ม้า แมว วัว และสุนัข
ยานพาหนะ	เครื่องบิน จักรยาน จักรยานยนต์ รถไฟ รถยนต์ รถบัส และเรือ
เครื่องใช้ภายในบ้าน	กระถางต้นไม้ เก้าอี้ ขวด โซฟา โต๊ะ และ จอโทรทัศน์

หมายเหตุ. โดย Everingham et al. (2010).



โดยจากตารางแสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลเดิมสามารถตรวจจับสิ่งที่ต้องการระบุภายในงานวิจัยนี้ได้แล้วทั้งหมด 2 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย คน และรถบัส แต่ภายในงานวิจัยมีความต้องการที่จะระบุองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ปรากฏอยู่บนพื้นที่เพิ่มเติมคือ ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี และถังขยะ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดทำชุดข้อมูลใหม่เพื่อให้สามารถระบุชนิดของวัตถุได้ตามวัตถุประสงค์ (ตารางที่ 3.2) ดังนี้

ตารางที่ 3.2

ตารางแสดงชนิดของวัตถุที่ต้องเพิ่มเติมบนชุดข้อมูลใหม่

หมวดหมู่	ชนิดของวัตถุที่สามารถตรวจจับได้	หมายเหตุ
องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม	ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี	
สิ่งกีดขวาง	ถังขยะ	เนื่องจากมีอยู่ทั่วไปในบริเวณใกล้เคียง

หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย

### 3.4.2 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก

รูปแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริกจำเป็นต้องมีคุณสมบัติแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ความสามารถในการนำเข้าข้อมูล 2) ความสามารถในการแปลงข้อมูล (ตารางที่ 3.3) เพื่อให้สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุมาใช้ทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริกได้

โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

- ได้ หมายถึง สามารถกระทำตามรายละเอียดที่ระบุ
- ไม่ได้ หมายถึง ไม่สามารถกระทำตามรายละเอียดที่ระบุ

ตารางที่ 3.3

ตารางประเมินอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรม

รูปแบบการประเมิน	ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน	รายละเอียด
ความสามารถในการนำเข้าข้อมูล	1.1 สามารถนำเข้าข้อมูลไฟล์สกุลที่ต้องการได้	ไฟล์สกุล .csv

### ตารางที่ 3.3

ตารางประเมินอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรม (ต่อ)

รูปแบบการประเมิน	ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน	รายละเอียด
ความสามารถในการนำเข้าข้อมูล	1.2 สามารถจำแนกประเภทข้อมูลภายในไฟล์ สำหรับรอนำไปใช้งานต่อได้	
ความสามารถในการแปลงข้อมูล	2.1 แปลงข้อมูลตำแหน่ง และชนิดของวัตถุ ลงบนแผนผัง 3 มิติ	
	2.2 สามารถประมาณขนาดวัตถุ ตามชนิดของวัตถุจากไฟล์เป็นขอบเขตบนพื้นที่ 3 มิติ	
ความสามารถในการแปลงข้อมูล	2.3 สามารถสร้างรูปทรง ตามบริเวณต่าง ๆ ภายใต้งี้อเนกประสงค์ที่ต้องการได้	

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

### 3.5 การประเมินภาพรวมการทำงานของระบบ

การประเมินจะทำการเปรียบเทียบแนวทางการทำงานของระบบเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้า เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นไปใช้งานต่อในกระบวนการออกแบบงานสถาปัตยกรรม หรืองานที่เกี่ยวข้องที่สามารถดัดแปลงผลลัพธ์ที่ได้จากแนวทางการใช้งานระบบการรู้จำวัตถุภายในงานวิจัยไปใช้งานต่อได้ในอนาคต

โดยสามารถแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1) การประเมินการทำงานของระบบจากการทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก 2) ประเมินเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาใช้งานร่วมกับการออกแบบเชิงพาราเมตริก

ส่วนของการประเมินการทำงานของระบบในการนำมาใช้ทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกสามารถแบ่งระดับการประเมินออกเป็น 3 ระดับ (ตารางที่ 3.4) ได้ดังนี้

น้อย หมายถึง ไม่สามารถทำงานตามเงื่อนไขได้เลย

ปานกลาง หมายถึง สามารถทำงานได้ตามที่ระบุ แต่มีผลลัพธ์ไม่แน่นอน

มาก หมายถึง สามารถทำงานร่วมกันได้ตามวัตถุประสงค์ โดยมีข้อผิดพลาดไม่

เกินร้อยละ 50

## ตารางที่ 3.4

ตารางประเมินการทำงานของระบบจากการทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก

ประเภทของตัวแปร	ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน	รายละเอียด
ชนิดของวัตถุ	1.1 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการนำไปสร้างแบบจำลอง	
	1.2 ประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่อ	
	1.3 ประโยชน์ในการทำงานร่วมกัน	
ตำแหน่งของวัตถุ	2.1 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการนำไปสร้างแบบจำลอง	
	2.2 ประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่อ	
	2.3 ประโยชน์ในการทำงานร่วมกัน	
กรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ	2.1 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการนำไปสร้างแบบจำลอง	
	2.2 ประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่อ	
	2.3 ประโยชน์ในการทำงานร่วมกัน	

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

ในส่วนของการประเมินเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาใช้งานร่วมกับการออกแบบเชิงพาราเมตริกนั้น ใช้การเปรียบเทียบความสามารถของระบบโดยระบุเป็นรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูล และการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาใช้งานเชิงพาราเมตริกของงานวิจัยแต่ละชิ้น

โดยการประเมินจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- 1) การประเมินอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- 2) การประเมินความสามารถในส่วนการตรวจจับวัตถุ
- 3) การทดลองนำไปใช้งานเชิงพาราเมตริก

โดยมีรายละเอียดการประเมิน (ตารางที่ 3.5) ดังต่อไปนี้

## ตารางที่ 3.5

ตารางประเมินเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบการประเมิน	ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน	รายละเอียด
อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	1.1 ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับ	ไฟล์สกุล .csv
ความสามารถในส่วนการตรวจจับวัตถุ	2.1 ความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุ	
	2.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับ	
	2.3 ลักษณะการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งานต่อ	
	2.4 การนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งานต่อ	
	2.5 การแก้ไขข้อมูล	
การทดลองนำไปใช้เชิงพารามетริก	3.1 วิธีการนำเข้าสู่ระบบ	
	3.2 ประเภทของข้อมูลที่นำไปใช้	
	3.3 รูปแบบการแปลงผลข้อมูล	
	3.4 ชนิดของแบบจำลอง	

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

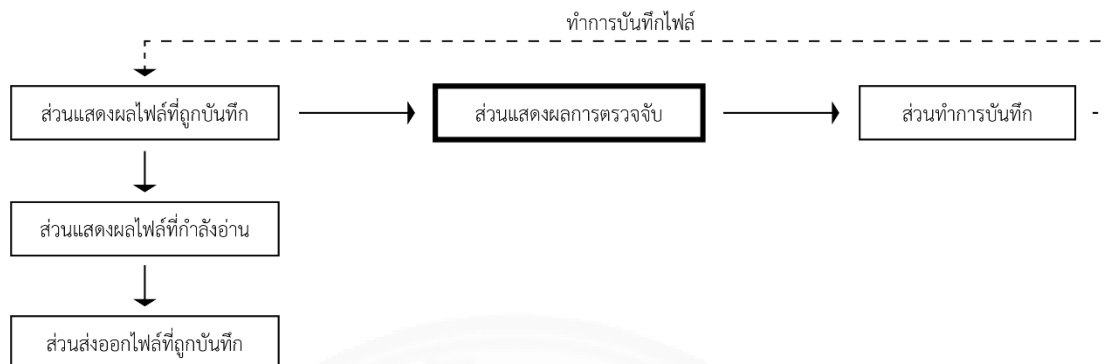
#### 4.1 แนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชันและการนำไปใช้

เพื่อพิสูจน์ว่าการนำข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุโดยตรง สามารถนำมาใช้เพื่อช่วยในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมได้นั้น จึงได้กำหนดพื้นที่การทดลองรอบพื้นที่ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจิวี ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต เพราะลักษณะของพื้นที่นั้นมีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีความคล้ายคลึงกัน คือ 1) ป้ายรถโดยสารประจำทาง 2) องค์ประกอบโดยรอบ เช่น ถังขยะ เป็นต้น ลักษณะดังกล่าวทำให้เราสามารถทดลองสอนระบบการรู้จำวัตถุให้สามารถระบุองค์ประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ ประกอบรวมกับความสามารถในการระบุคนของระบบที่สามารถทำได้อยู่เดิม ทำให้เราสามารถทดลองใช้ค่าที่ได้จากการตรวจจับคนที่เข้ามาใช้งานพื้นที่ และค่าที่ได้กับการตรวจจับองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ด้วยลักษณะการใช้งานของพื้นที่นั้นมีลักษณะเดียวกันคือไว้ใช้เป็นจุดพักรอ ทำให้เราสามารถควบคุมตัวแปรและกำหนดเงื่อนไขของค่าพารามิเตอร์ในกราสฮอปเปอร์เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามตริก ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันได้แม้จะเก็บข้อมูลจากสถานที่ ๆ มีตำแหน่งแตกต่างกัน

โดยแต่เดิมแอปพลิเคชัน Forge ที่ถูกใช้ภายในงานวิจัยถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการแสดงผลชุดข้อมูลที่ถูกใช้บนระบบเท่านั้น โดยชุดข้อมูลของระบบการรู้จำวัตถุที่ถูกใช้บนแอปพลิเคชัน Forge ในงานวิจัย YOLO นั้น เมื่อแสดงผลลัพธ์นั้นจะคืนค่าให้แก่ระบบเป็นตัวแปรทั้งหมด 3 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย 1) ชื่อชนิดของวัตถุ 2) ค่าตำแหน่งบนแกน X และแกน Y 3) ขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำค่าที่ได้จากระบบดังกล่าวมาใช้งานต่อได้ จึงต้องพัฒนาแอปพลิเคชันให้สามารถส่งค่าดังกล่าวออกมานอกระบบ โดยบันทึกค่าตัวแปรทั้งหมดในระหว่างที่ระบบทำการตรวจจับวัตถุลงบนไฟล์เก็บข้อมูลแบบตาราง โดยใช้เครื่องหมายจุลภาคในการแบ่งชนิดของตัวแปรที่ถูกบันทึกหรือไฟล์สกุล .csv การบันทึกในลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถนำค่าที่ถูกบันทึกไปปรับใช้งานได้หลากหลายขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานต่อ

ดังนั้นงานภายในงานวิจัยนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนของการพัฒนาแอปพลิเคชัน Forge ให้สามารถบันทึกค่าตัวแปรได้ 2) เนื่องจากกรณีศึกษาภายในงานวิจัยนี้ได้กำหนดพื้นที่รอบพื้นที่ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจิวีดังนั้นส่วนนี้จึงเป็นการนำค่าที่ได้จากข้อแรกไปใช้ในการทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้ตัวแปรที่ได้ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังต่อไปนี้

## 4.2 การพัฒนาความสามารถให้แก่แอปพลิเคชัน Forge



ภาพที่ 4.1 แผนผังแสดงรูปแบบการทำงานของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเพื่อรองรับการทำงานของระบบการรู้จำวัตถุ. โดย ผู้วิจัย.

จากแผนผังแสดงแนวทางการพัฒนาความสามารถให้แก่แอปพลิเคชัน (ภาพที่ 4.1) นั้น แสดงองค์ประกอบใหม่บนแอปพลิเคชันจำนวน 4 ส่วนที่จะถูกพัฒนาเพิ่มเติมบนแอปพลิเคชันเดิม (ส่วนแสดงผลการตรวจจับ) ซึ่งประกอบไปด้วย

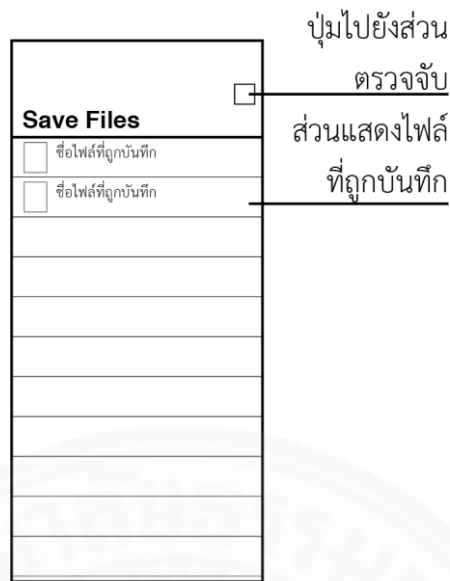
- 1) ส่วนแสดงผลไฟล์ที่ถูกบันทึก
- 2) ส่วนทำการตรวจจับและบันทึก
- 3) ส่วนแสดงผลไฟล์ที่กำลังอ่าน
- 4) ส่วนส่งออกไฟล์ที่ถูกบันทึก

โดยแต่ละส่วนที่ถูกพัฒนาเพิ่มเติมบนแอปพลิเคชันเดิมมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

### 4.2.1 ส่วนแสดงผลไฟล์ที่ถูกบันทึก

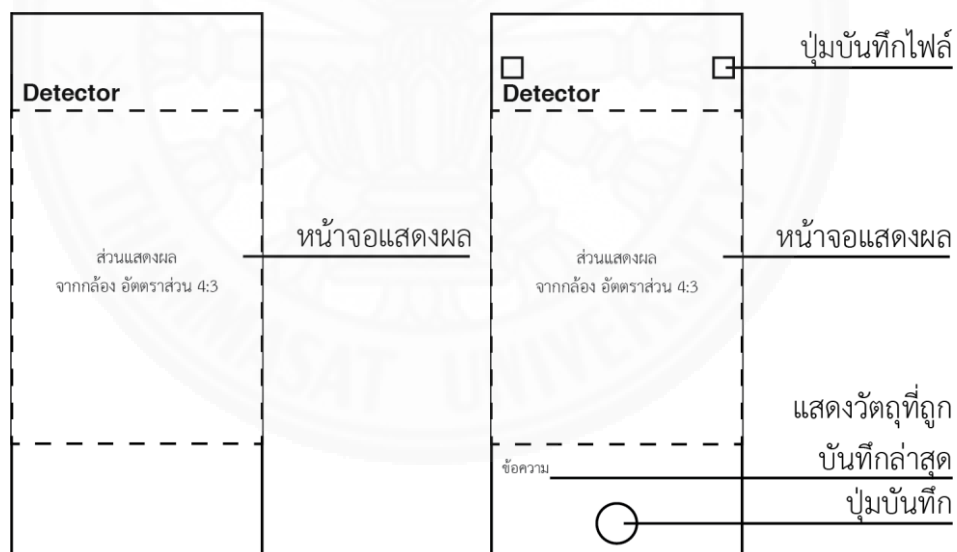
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่แสดงผลไฟล์ที่ถูกบันทึกไว้บนแอปพลิเคชัน (ภาพที่ 4.2) หลังจากผู้ใช้งานเสร็จสิ้นการบันทึกข้อมูลจากส่วนแสดงผลการตรวจจับและส่วนทำการบันทึก โดยไฟล์แต่ละไฟล์จะถูกแสดงเรียงลำดับ ก่อน-หลัง ตามเวลาที่ถูกบันทึก แลวละหนึ่งไฟล์ โดยระบบจะทำการค้นหาไฟล์ที่ถูกบันทึกไว้บนระบบโดยอัตโนมัติ พร้อมแสดงชื่อไฟล์และคำอธิบายประกอบ (ถ้ามี) ที่ผู้ใช้งานกำหนด

โดยบริเวณด้านบนถูกกำหนดให้เป็นส่วนนำทางภายในแอปพลิเคชัน โดยใช้แสดงชื่อของหน้าที่ผู้ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยที่บริเวณมุมขวาบนจะเป็นส่วนที่นำไปสู่ ส่วนแสดงผลการตรวจจับและส่วนทำการบันทึก ซึ่งใช้ในการตรวจจับวัตถุและบันทึกวัตถุที่ตรวจจับได้ลงในระบบตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยจะกล่าวรายละเอียดส่วนที่ถูกพัฒนาเพิ่มเติมในข้อถัดไป



ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงส่วนแสดงผลไฟล์ที่ถูกบันทึก. โดย ผู้วิจัย.

#### 4.2.2 ส่วนทำการตรวจจับและบันทึก



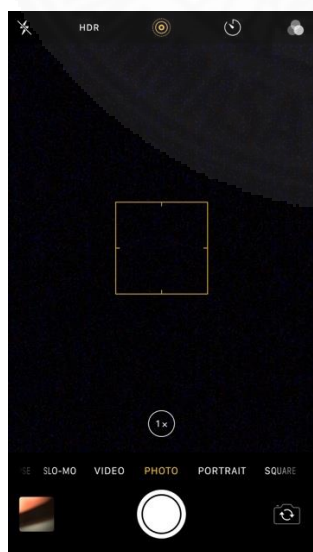
ภาพที่ 4.3 ภาพแสดงภาพของแอปพลิเคชันเดิม (ซ้าย) ที่ถูกพัฒนาเพิ่มเติม (ขวา). โดย ผู้วิจัย.

โดยแต่เดิมส่วนนี้ถูกออกแบบให้สามารถแสดงผลได้เพียงอย่างเดียว ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถบันทึกค่า ที่ได้จากการตรวจจับลงระบบ โดยส่วนประกอบที่เพิ่มเติมเข้าไปประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) ปุ่มบันทึกไฟล์ 2) ส่วนแสดงวัตถุที่ถูกบันทึกล่าสุด 3) ปุ่มบันทึก (ภาพที่ 4.3)

- 1) ปุ่มบันทึกไฟล์ มีหน้าที่ทำการบันทึกไฟล์ กำหนดชื่อ และคำอธิบาย หลังจากผู้ใช้งานเสร็จสิ้นการตรวจจับวัตถุและแน่ใจว่าได้ทำการบันทึกข้อมูลที่จำเป็นต่อการใช้งานเสร็จเรียบร้อยแล้ว
- 2) ส่วนแสดงวัตถุที่ถูกบันทึกล่าสุด มีหน้าที่แสดงชื่อของวัตถุที่ถูกบันทึกล่าสุดลงระบบ เพื่อยืนยันว่าวัตถุที่ถูกตรวจจับได้ประสบความสำเร็จในการบันทึกลงระบบ และบอกผู้ใช้งานว่ามีวัตถุชนิดใดบ้างที่ถูกบันทึกลงระบบไปแล้ว
- 3) ปุ่มบันทึก มีหน้าที่บันทึกวัตถุที่ตรวจจับได้บนจอแสดงผลลงระบบ โดยวัตถุที่ถูกทำการบันทึกหลังจากกดปุ่มนี้ จะถูกแสดงใน ส่วนแสดงวัตถุที่ถูกบันทึกล่าสุด โดยปุ่มนี้เมื่ออยู่ในสถานะ ว่าง ปุ่มจะแสดงผลเป็นปุ่ม วงกลม ส่วนเมื่ออยู่ในสถานะ กำลังบันทึก (ภาพที่ 4.4) นั้น ปุ่มจะแสดงผลเป็น วงกลมที่มีสี่เหลี่ยมขนาดเล็กอยู่ภายใน โดยเมื่อแน่ใจว่าทำการบันทึกเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่มกลับมาอยู่ในสถานะ ว่าง เหมือนเดิม



ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงการแสดงผลสถานะของปุ่มบันทึก ภาพแสดงสถานะ ว่าง (ซ้าย) สถานะ กำลังบันทึก (ขวา). โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.5 ภาพแสดงภาพส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับของแอปพลิเคชันกล้องบน iOS (ซ้าย) แผนผังแสดงส่วนต่อประสานกราฟฟิกของแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้น (ขวา). โดย ผู้วิจัย.



การออกแบบในส่วนนี้ต้องการให้ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ มีลักษณะและตำแหน่งขององค์ประกอบต่าง ๆ สำหรับใช้งานใกล้เคียงกับการใช้แอปพลิเคชันกล้องมาตรฐานที่ติดตั้งมาบน iOS เนื่องจากแอปพลิเคชันถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการใช้งานบนแพลตฟอร์มสมาร์ตโฟน (iOS) โดยกำหนดให้ตำแหน่งปุ่มบันทึกและส่วนแสดงผลจะอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับแอปพลิเคชันมาตรฐาน เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานมากที่สุด (ภาพที่ 4.5)

#### 4.2.3 ส่วนแสดงผลไฟล์ที่กำลังอ่าน

ในส่วนนี้ที่เมื่อเลือกไฟล์ที่แสดงผลจากส่วนอ่านไฟล์ที่ถูกบันทึก ส่วนนี้จะทำการอ่านไฟล์ดังกล่าวซึ่งถูกบันทึกอยู่ในสกุล .csv โดยแสดงออกมาในรูปแบบตาราง เพื่อใช้แสดงผลค่าตัวแปรจำนวน 3 ชนิดที่ได้จากการบันทึกผลจากระบบการรู้จำวัตถุ ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ชื่อชนิดของวัตถุ (Object Label)
- 2) ตำแหน่งของวัตถุบนแกน X และ Y (Position on XY-Axis)
- 3) ความกว้าง ความสูงของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ (Bounding box)

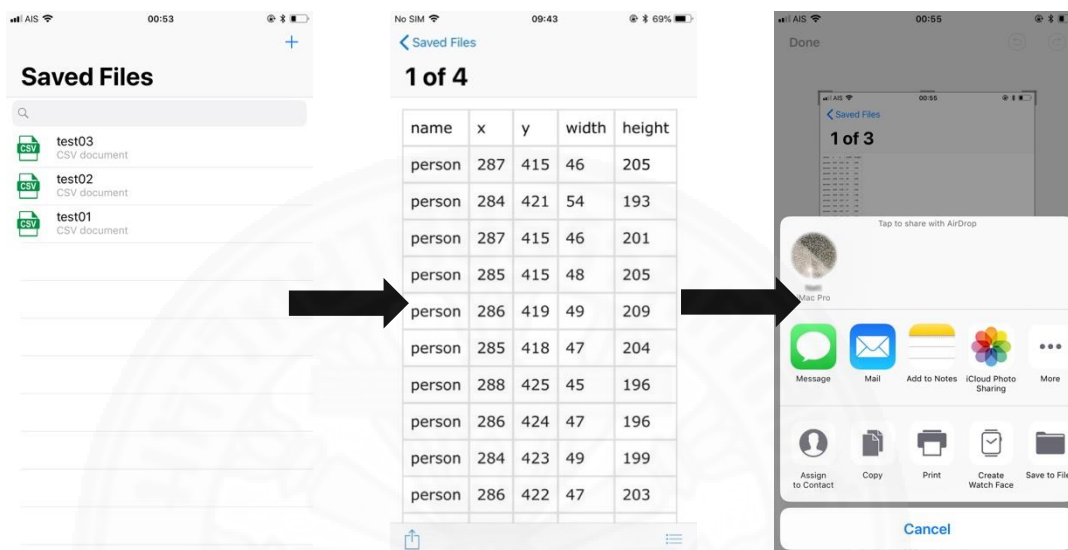
โดยในส่วนนี้ถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานเฟรมเวิร์ค QuickLook ของแอปเปิล (Apple Inc.) ดังนั้นข้อจำกัดในการแสดงผลต่าง ๆ เช่น การขยาย ขนาดตัวอักษร ฯลฯ จึงเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของเฟรมเวิร์คดังกล่าว ในบริเวณด้านบนประกอบด้วยส่วนนำทางของแอปพลิเคชันเพื่อนำกลับไปสู่หน้าก่อนหน้าหรือส่วนแสดงผลไฟล์ที่ถูกบันทึก และส่วนแสดงจำนวนไฟล์ที่ถูกบันทึกไว้บนระบบทั้งหมดและเลขที่ของไฟล์ที่กำลังถูกแสดงผลอยู่ในขณะนั้น เช่น ไฟล์ที่ถูกใช้อ่านเป็นไฟล์ที่ถูกบันทึกเป็นอันดับที่ 3 จากไฟล์ที่ถูกบันทึกบนระบบทั้งหมด 5 ไฟล์ ระบบจะแสดงผล “3 of 5” ในบริเวณดังกล่าว (ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงการแสดงผลสถานะของปุ่มบันทึก. โดย ผู้วิจัย.

#### 4.2.4 ส่วนส่งออกไฟล์ที่ถูกบันทึก

ส่วนส่งออกไฟล์ที่ถูกบันทึก (ภาพที่ 4.7) อาศัยเฟรมเวิร์คพื้นฐานของแอปเปิล ในการส่งออกไฟล์โดยผู้ใช้งานสามารถส่งออกไฟล์ได้โดยกดปุ่มแชร์ ที่อยู่บริเวณมุมล่างซ้ายของ หน้าจอใน ส่วนแสดงผลไฟล์ที่กำลังอ่าน



ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงการแสดงผลทดสอบ บันทึก อ่านและส่งออกไฟล์. โดย ผู้วิจัย.

#### 4.3 การประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้เพื่อให้มั่นใจว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ จึงจำเป็นต้องทำการประเมินเบื้องต้น โดยทดสอบระบบการตรวจจับกับภาพนิ่ง บันทึกไฟล์ และทดลองอ่านไฟล์ ทั้งหมด 3 ครั้งหากระบบสามารถ ทำการ บันทึก อ่าน และส่งออกไฟล์ได้ถือว่าผ่าน (ตารางที่ 4.1)

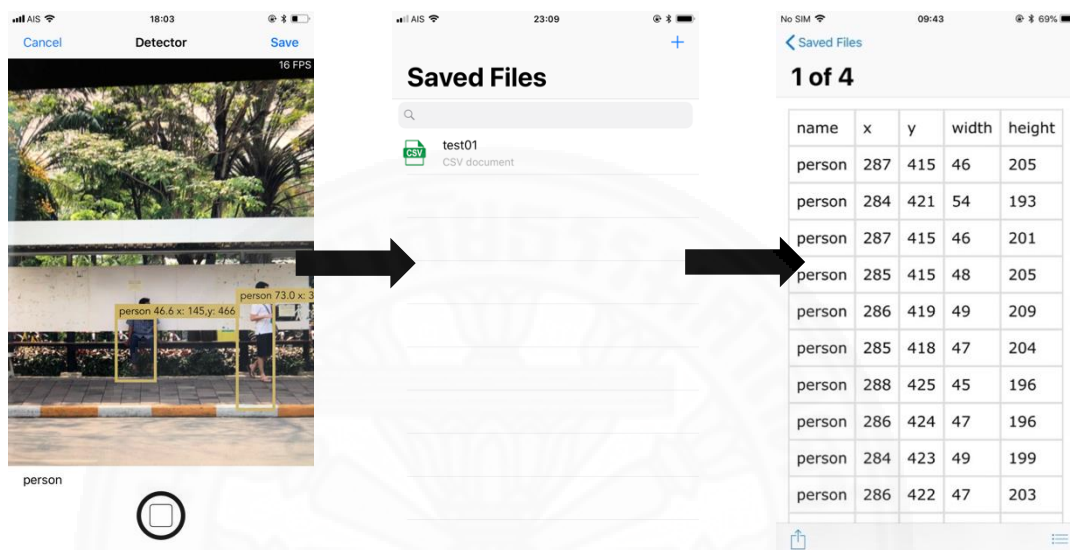
ตารางที่ 4.1

ตารางประเมินภาพรวมของระบบในส่วนการบันทึก อ่าน และส่งออกของระบบการรู้จำวัตถุ

ครั้งที่ทดสอบ	บันทึก	อ่าน	ส่งออก (AirDrop)	หมายเหตุ
1	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไฟล์ test01
2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไฟล์ test02
3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไฟล์ test03

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

จากการประเมินพบว่าการทำงานของระบบโดยรวม สามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ได้ ครบถ้วนสมบูรณ์ แอปพลิเคชันสามารถส่งข้อมูลที่ถูกบันทึกออกนอกระบบได้ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ พร้อมสำหรับใช้ทดลองการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามetriกรในขั้นตอนต่อไปได้ (ภาพที่ 4.8)



ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงการทำงานของระบบ. โดย ผู้วิจัย.

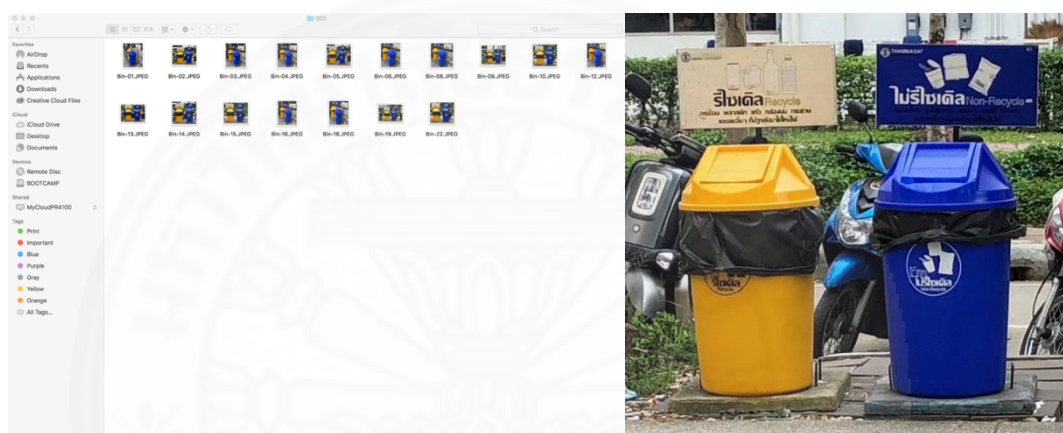
#### 4.4 กระบวนการจัดเตรียมรูปแบบการทดลอง



ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงตัวอย่างรูปที่ใช้ในการจัดทำชุดข้อมูล (ซ้าย) ภาพแสดงขณะทำการเก็บข้อมูลสถานที่ (ขวา). โดย ผู้วิจัย.

ผู้วิจัยได้ทำการถ่ายรูปวัตถุทั้งสองชนิด จากบริเวณรอบจุดพักรถโดยสารด้วยกล้องที่ใช้เลนส์ขนาด 28 มม. เพื่อให้ใกล้เคียงกับภาพที่จะถูกแสดงผลบนสมาร์ตโฟนมากที่สุด เนื่องจากระบบถูกพัฒนาขึ้นสำหรับระบบปฏิบัติการเพื่อใช้งานบนสมาร์ตโฟน (iPhone) ดังนั้นการเลือก

ภาพถ่ายจึงจำเป็นต้องใช้ภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกับภาพที่ได้จากกล้องบนสมาร์ตโฟนไปด้วย เพื่อลดตัวแปรที่อาจนำไปสู่ความผิดพลาดในการสอนและการตรวจจับลงให้มากที่สุดเพราะปริมาณภาพที่ใช้สอนระบบเพื่อสร้างชุดข้อมูลภายในงานวิจัยนี้นั้น ใช้ภาพจำนวนไม่มากนักในการสอน ภาพทั้งหมดจะถูกถ่ายเป็นภาพหน้าตรงจากจุดถ่ายที่เปลี่ยนแปลงในแนวระนาบเล็กน้อย แบบเต็มตัว โดยไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งของวัตถุขาดหายไป โดยใช้การถ่ายภาพจากขาตั้งกล้องในการควบคุมความสูงของตำแหน่งกล้อง (ภาพที่ 4.9) ก่อนทำการถ่ายภาพในลักษณะเดียวกัน จากบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจิวิรบบริเวณมหาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต



ภาพที่ 4.10 ภาพแสดงการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลในการนำไปใช้สร้างชุดข้อมูลใหม่. โดย ผู้วิจัย.

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นเนื่องจากจำนวนภาพที่ใช้ในการสร้างชุดข้อมูลใหม่นั้นมีจำนวนไม่มาก ดังนั้นจึงเลือกใช้แนวทางการสร้างชุดข้อมูลแบบเดียวกับ Caltech 101 (รายละเอียดดูบทที่ 2 หน้าที่ 11) โดยในชุดข้อมูล Caltech 101 นั้นข้อมูลวัตถุแต่ละชนิดถูกสอนโดยอาศัยภาพจำนวน 40 ถึง 800 ต่อชนิด โดยส่วนใหญ่มี 50 ภาพเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการสร้างชุดข้อมูลใหม่จึงทดลองใช้ภาพจำนวน 40 ภาพในการทดลองสร้างชุดข้อมูล นอกจากนี้ยังทดลองสร้างชุดข้อมูลที่สร้างด้วยภาพจำนวนที่น้อยลงครึ่งหนึ่งเหลือ 20 ภาพ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพที่ได้ว่า หากลดจำนวนภาพลงครึ่งหนึ่งประสิทธิภาพที่ได้จะยังสามารถนำไปใช้งานโดยมีผลลัพธ์ที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้หรือไม่ เพื่อลดปริมาณงานที่ต้องใช้ในการกำหนดป้ายกำกับและการสอนระบบ เพื่อให้สามารถนำผลลัพธ์ไปใช้งานได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งภายในงานวิจัยนี้จะใช้วัตถุเพียง 2 ชนิดในการสร้างชุดข้อมูลใหม่ แตกต่างจาก Caltech 101 ที่ประกอบด้วยข้อมูลชนิดวัตถุ 101 ชนิด โดยการใช้รูปถ่ายเชิงสังเคราะห์ในการสอนชุดข้อมูล โดยคาดหวังให้ประสิทธิภาพที่ได้สามารถใช้งานตามเงื่อนไขที่กำหนดคือ สามารถรู้จำวัตถุจากตำแหน่ง และระยะของภาพตามที่กำหนดก่อนนำภาพทั้งหมดไปสอนบนระบบโครงข่ายประสาท

เทียมดาร์คเน็ต (รายละเอียดดูบทที่ 2 หน้า 14) เพื่อสร้างชุดข้อมูลสำหรับใช้งานบนแอปพลิเคชันที่ ถูกพัฒนาเพิ่มเติมขึ้นใหม่



ภาพที่ 4.11 ภาพแสดงตัวอย่างภาพที่ถูกนำไปใช้ในการสอนระบบเพื่อสร้างชุดข้อมูล. โดย ผู้วิจัย.

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสอนชุดข้อมูลมีคุณสมบัติดังนี้ ซีพียู (CPU) Intel Core i7 จีพียู (GPU): Nvidia 960M หน่วยความจำ (RAM): 8 GB โดยใช้เวลาในการสอนระบบโดยเฉลี่ยทั้งหมด ประมาณ 20 ชม. ในการสอนนั้นทำได้โดยนำภาพถ่ายไปใช้ในการสอนระบบ รูปทั้งหมดจะถูกตัดให้ เหลือแต่บริเวณใกล้เคียงกับวัตถุที่ต้องการใช้สอน โดยให้สัดส่วนระหว่างขนาดของวัตถุที่ต้องการใช้ สอนระบบเป็นสัดส่วนใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดโดยรวมของภาพ (ภาพที่ 4.12) เนื่องจาก ข้อจำกัดของระบบการรู้จำวัตถุ YOLO ในการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็ก และจำนวนภาพที่ถูกใช้สอน ที่มีจำนวนไม่มาก รวมทั้งขนาดของตัวป้ายรถโดยสารและถังขยะนั้นมีขนาดที่แตกต่างกันมาก ทำให้ จำเป็นต้องตัดขอบภาพออก โดยเฉพาะภาพของถังขยะเพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับได้ง่ายขึ้นข้อเสีย ของวิธีการดังกล่าวคือ ในการใช้งานจริงเมื่ออยู่ในระยะเดียวกันกับที่ใช้ในการตรวจจับป้ายรถโดยสาร นั้นอาจไม่สามารถตรวจจับถังขยะได้ไปพร้อม ๆ กันเนื่องจากถังขยะมีขนาดเล็กเกินไปโดยเฉพาะ เมื่อสอนชุดข้อมูลโดยอาศัยภาพจำนวนไม่มาก

ก่อนการทำการตัดภาพนั้น ค่าเริ่มต้นที่แสดงความผิดพลาดในการตรวจจับมีค่าความ ผิดพลาดโดยเฉลี่ยระหว่างการสอน เริ่มต้นสูงกว่าชุดข้อมูลที่ถูกสอนโดยภาพที่ถูกทำการตัดขอบภาพ ออกเรียบร้อยแล้วมาก โดยในการสอนพบว่าการสอนโดยชุดข้อมูลที่ไม่มีการตัดขอบภาพออก ค่า เริ่มต้นจะอยู่ในช่วงประมาณ 400 – 300 โดยเฉลี่ย โดยสาเหตุเกิดจากในขั้นตอนการกำหนดป้าย

กำกับแก้ววัตถุทั้ง 2 ชนิดนั้น แต่เดิมภาพของวัตถุทั้งสองชนิดใช้ภาพลักษณะเดียวกัน คือ ภาพที่เห็นทั้งป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีและถังขยะพร้อมกัน หลังจากนั้นจึงกำหนดป้ายกำกับแก้ววัตถุทั้งสองแยกออกจากกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งทำให้ขนาดของถังขยะที่ปรากฏในภาพที่นำไปใช้สอนนั้นมีขนาดเล็กเกินไป



ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลในการนำไปใช้สร้างชุดข้อมูลใหม่. โดย ผู้วิจัย.

นอกจากนี้เมื่อสอนย้ายไปเรื่อย ๆ ค่าดังกล่าวมีความผันผวนแตกต่างจากชุดข้อมูลอีกชุดอย่างมาก ในขณะที่เมื่อตัดขอบภาพออกและแยกถังขยะออกจากภาพป้ายรถโดยสารเอ็นจีวี ทำให้ขนาดของถังขยะต่อสัดส่วนภาพมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าแสดงความผิดพลาดระหว่างการสอนลดลง โดยเฉลี่ยมีค่าเริ่มต้นเพียง 20 - 15 โดยประมาณ และลดลงไปถึงระดับเข้าใกล้ 0 อย่างรวดเร็ว (ตารางที่ 4.2) โดยเริ่มต้นการสอนระบบจากการอาศัยภาพวัตถุชนิดละ 40 ภาพและ 20 ภาพตามลำดับ ในการสร้างชุดข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้นภายในงานวิจัยนี้ สอนโดยใช้ชุดคำสั่งการให้น้ำหนักเชิงสังวัตนาการ (Convolutional Weight) Tiny YOLO (Tiny-yolo.wieght) และทำการสอนย้าย (Iterations) ทั้งหมดเป็นจำนวน 25,000 ครั้ง โดยในการสอนย้ายในแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 5 - 20 วินาที ก่อนทำการหยุดสอน เนื่องจากค่าแสดงความผิดพลาดระหว่างการสอนโดยเฉลี่ย (Average loss value) มีค่าเข้าใกล้ 0 มากและความผันผวนเริ่มน้อยลงจนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำการหยุดสอน

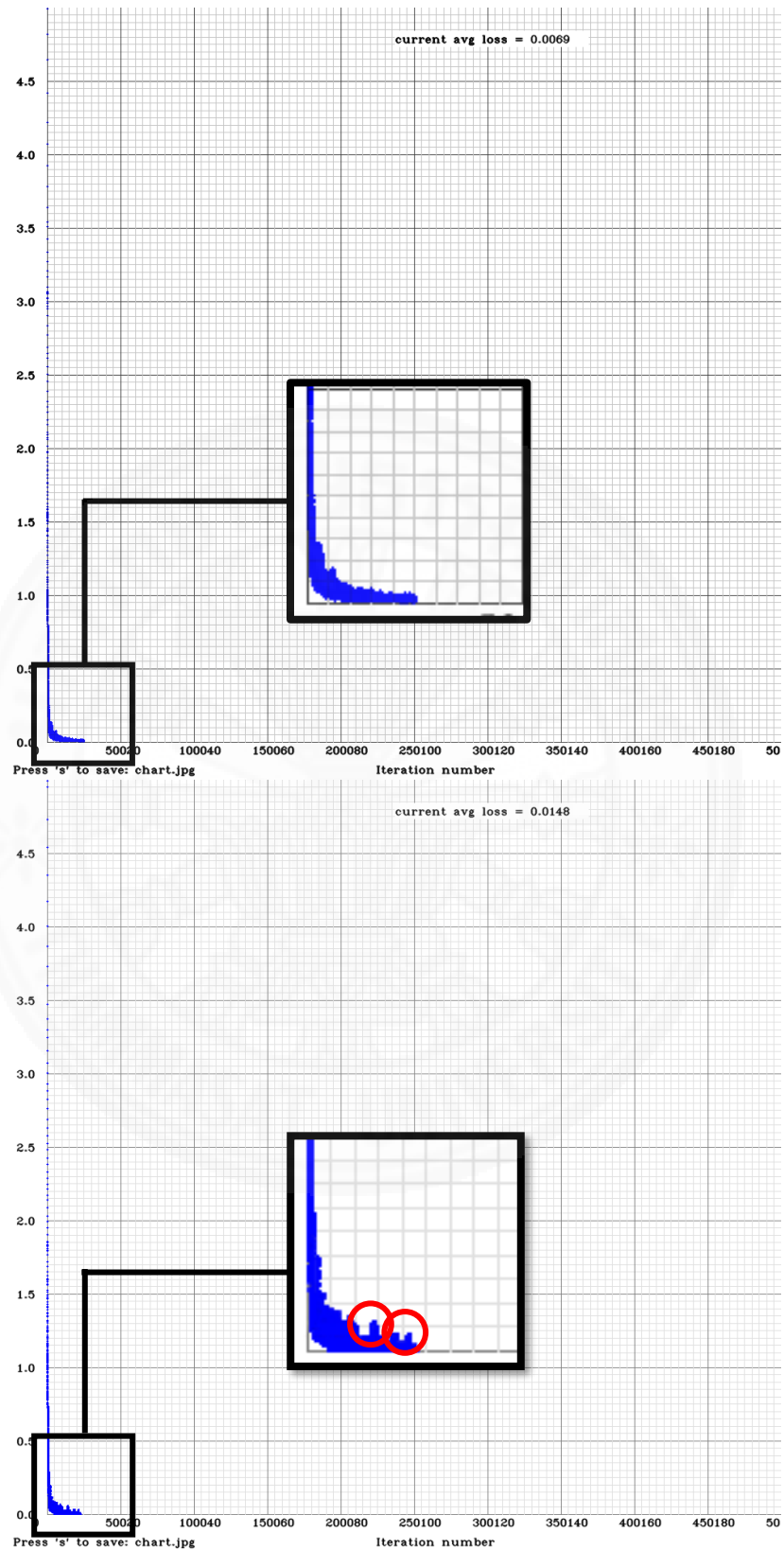
จากการเปรียบเทียบการสอนชุดข้อมูล โดยอาศัยจำนวนภาพตามแนวทางของ Caltech 101 จำนวน 40 ภาพ และชุดข้อมูลที่ลดจำนวนภาพเหลือ 20 ภาพ (ตารางที่ 4.2) พบว่าการสอนระบบแบบแรกนั้น ค่าเฉลี่ยของค่าแสดงความผิดพลาดระหว่างการสอนโดยเฉลี่ย มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ และมีความผันผวนค่อนข้างต่ำ ในขณะที่การสอนโดยใช้ภาพเพียง 20 ภาพนั้น ค่ามีความผันผวนของค่าแสดงความผิดพลาดระหว่างการสอนโดยเฉลี่ยเป็นระยะ ๆ โดยค่าเริ่มลดความผันผวนลงในระหว่างการสอนย้ายครั้งที่ 10,000 ถึง 20,000 ครั้ง (ภาพที่ 4.13)

## ตารางที่ 4.2

ตารางแสดงรายละเอียดระหว่างการสอนชุดข้อมูล

สอนโดยใช้ 40 ภาพต่อวัตถุหนึ่ง หมวดหมู่		สอนโดยใช้ 20 ภาพต่อวัตถุหนึ่ง หมวดหมู่		หมายเหตุ
จำนวนครั้งที่ทำ การสอนซ้ำ (Iterations) <sup>a</sup>	Average Loss Value	จำนวนครั้งที่ทำการ สอนซ้ำ (Iterations)	Average Loss Value	
1	17.7681	1	21.538	
<b>1000</b>	<b>0.1967</b>	1000	0.5370	
2,000	0.0248	2,000	0.2740	
4,000	0.0194	4,000	0.0593	
6,000	0.0189	6,000	0.0185	
<b>8,000</b>	<b>0.0297</b>	8,000	0.0358	
10000	0.0112	<b>10000</b>	<b>0.0162</b>	
15,000	0.0120	15,000	0.0110	
20,000	0.0156	<b>20,000</b>	<b>0.0180</b>	
25,000	0.0058	25,000	0.0061	

หมายเหตุ. <sup>a</sup>จำนวนครั้งที่ทำการสอนซ้ำ หมายถึง จำนวนครั้งที่ระบบแสดงว่ากระบวนการสอนในระบบสำเร็จจูล่วงแล้ว n ครั้งบนดาร์คเน็ต เช่น ระบบแสดงค่าเป็น 100: 0.002, 0.002 avg แปลว่าระบบได้ทำการสอนซ้ำไปแล้ว 100 ครั้ง เป็นต้น, โดยผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงค่าแสดงความผันผวนระหว่างการสอนของการสอนโดยใช้ภาพ 40 ภาพ (บน) และ 20 ภาพ (ล่าง) ต่อวัตถุ. โดย ผู้วิจัย.



ดังนั้นจึงเลือกชุดข้อมูลในช่วงหลังการสอนย้ำครั้งที่ 8,000 ครั้งของการสอนชุดข้อมูลจากการใช้ภาพจำนวน 40 ภาพ เนื่องจากค่าหลังจากครั้งที่ 8,000 มีค่าผันผวนลดลงเรื่อย ๆ และเริ่มเข้าใกล้ 0 โดยไม่มีแนวโน้มที่จะมีความผันผวนเพิ่มขึ้น และเลือกชุดข้อมูลที่อยู่ในระหว่างการสอนย้ำครั้งที่ 10,000 ถึง 20,000 ครั้ง ในสอนชุดข้อมูลจากการใช้ภาพจำนวน 20 ภาพไปใช้ทำการทดสอบและหยุดทำการสอนย้ำ เช่น ค่าความผิดพลาดระหว่างการสอนโดยเฉลี่ย เริ่มมีความผันผวนน้อยลงในช่วงการสอนย้ำครั้งที่ 10,000 แต่เริ่มกลับมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 20,000 ก็ให้เลือกใช้ชุดข้อมูลที่อยู่ในระหว่างช่วงค่าดังกล่าว ก่อนหน้า 20,000 ไปใช้ในการทดสอบ หลังจากนั้นจึงเลือกชุดข้อมูลที่มีผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่อยู่ช่วงการสอนย้ำช่วงนั้น ๆ จากการทดสอบไปใช้ โดยใช้คำสั่งด้านล่าง (ภาพที่ 4.14) ในการทดสอบชุดข้อมูล

```
darknet.exe detector test cfg/obj.data cfg/yolo-obj.cfg yolo-obj1000.weights
data/testimage.jpg
```

ภาพที่ 4.14 ภาพแสดงชุดคำสั่งสำหรับการทดสอบระบบ. ที่มา [timebuttt.github.io/static/how-to-train-yolov2-to-detect-custom-objects](https://timebuttt.github.io/static/how-to-train-yolov2-to-detect-custom-objects), สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2561.

โดยภายในงานวิจัยนั้นได้เลือกใช้ชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 10,000 15,000 18,000 และ 25,000 ได้ทำการทดสอบ โดยการเลือกไฟล์ไหนมาใช้ขึ้นขึ้นใช้การสุ่มจากช่วงระยะของความผันผวนลดลงตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อทำการหาไฟล์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน จาก การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการสอนโดยใช้จำนวนภาพที่ต่างกันทั้งสองวิธี พบว่าจากการสอนย้ำ 25,000 ครั้ง ครั้งที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้นไม่ใช่ครั้งที่ 25,000 ตามข้อสังเกตที่เมื่อระบบเริ่มกลับมา มีค่าผันผวนผลลัพธ์ที่ได้ อาจจะมีประสิทธิภาพที่ลดลง โดยเป็นการสอนย้ำในครั้งที่ 18,000 ที่แสดงประสิทธิภาพได้ดีที่สุด (ภาพที่ 4.17) ทั้งในการทดสอบจากชุดข้อมูลที่สร้างจากจำนวนภาพ 40 ภาพ และ 20 ภาพตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพของการสอนโดยอาศัยจำนวนภาพ 40 ภาพตามแนวทางของ Caltech 101 มีประสิทธิภาพดีกว่าในการประเมินขอบเขตของวัตถุ โดยเฉพาะในการทดสอบบนภาพป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ที่ใช้ภาพที่ไม่ได้ใช้ในการสอนระบบ ในขณะที่ในการทดสอบบนภาพถึงขยะพบว่าประสิทธิภาพมีความใกล้เคียงกัน และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

ดังนั้นไฟล์ที่จะถูกนำไปใช้บนแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้น จะใช้ชุดข้อมูลครั้งที่ 18,000 จากการสอนโดยอาศัยภาพจำนวน 20 ภาพ เพราะจากการทดสอบนั้นให้ผลลัพธ์ได้ดีใกล้เคียงกับการอาศัยจำนวนภาพ 40 ภาพ ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้ภายในงานวิจัย แต่ใช้เวลาในการเตรียมไฟล์ลดลงครึ่งหนึ่งเพื่อลดระยะเวลาในการทำงานลง เทคนิคการเลือกใช้ชุดข้อมูลก่อนครั้งชุดข้อมูลที่ถูกสอนครั้งสุดท้ายถูกเรียกว่า การเลือกใช้ชุดข้อมูลชุดก่อนหน้า (Early Stopping Point) (Redmon,

J. 2013) ซึ่งจำนวนการสอนย้ำและการเลือกใช้ชุดข้อมูลในแต่ละครั้ง ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ผู้ใช้งานกำลังทำการสอน และผลในการทดสอบเพื่อเลือกหาชุดข้อมูลในครั้งนี้นั้น สามารถใช้อ้างอิงได้สำหรับข้อมูลที่ใช้สอนภายใต้ขอบเขตภายในงานวิจัยนี้เท่านั้น โดยหากมีเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์อาจไม่เหมือนเดิม



ภาพที่ 4.15 ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 10,000. โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.16 ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 15,000. โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.17 ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 18,000. โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.18 ภาพแสดงการทดสอบชุดข้อมูลจากการสอนย้ำครั้งที่ 25,000. โดย ผู้วิจัย.

#### 4.5 กระบวนการตรวจจับวัตถุโดยระบบการรู้จำวัตถุ

โดยทดลองเก็บข้อมูลรอบป้ายรถโดยสารสาธารณะเอ็นจีวีในบริเวณที่ระบุ (รายละเอียดดูบทที่ 3, หน้าที่ 31) โดยตั้งกล้องอยู่บนขาตั้งกล้องให้มีความสูงให้มีความสูงใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยคนทั่วไป คือ 165 – 170 ซม. และเก็บข้อมูลแต่ละที่เป็นเวลา 10 นาที ในช่วงระยะเวลาหลังเลิกเรียน

(16:30น. – 17:30น.) (ภาพที่ 4.19 ภาพที่ 4.20 และภาพที่ 4.21) โดยบันทึกข้อมูลทั้งหมดเป็นไฟล์วิดีโอ เพื่อนำไปใช้ทดลองด้วยระบบการรู้จำวัตถุในภายหลังได้ จัดให้ระยะห่างระหว่างกล้องกับจุดพักรอ อยู่ในระยะไม่เกิน 10 เมตรหรือระยะที่ใกล้เคียงกับระยะของภาพถ่ายที่ใช้ในการสอนระบบ เนื่องจากข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุของระบบ ที่ไม่สามารถตรวจจับวัตถุได้หากวัตถุตั้งกล่าวที่ปรากฏอยู่บนจอแสดงผลมีขนาดเล็กเกินไป และเพื่อลดความผิดพลาดในการระบุชนิดของวัตถุที่อาจเกิดขึ้น โดยเฉพาะกับการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดแตกต่างกันมากในครั้งเดียวกัน



ภาพที่ 4.19 ภาพแสดงรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นรอบบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณท่าจอดรถตู้. โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.20 ภาพแสดงรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นรอบบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี บริเวณฝั่งตรงข้ามอาคารสำนักงานบริหารทรัพย์สินและกีฬา. โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.21 ภาพแสดงรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นรอบบริเวณป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจี บริเวณ  
ฝั่งตรงข้ามอาคารเรียนรวมสังคมศาสตร์. โดย ผู้วิจัย.

โดยตัวแปรที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุถูกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามที่เคยได้กล่าวไว้ใน  
บทข้างต้น ดังนี้

- 1) ชื่อชนิดของวัตถุ (Object Label)
- 2) ตำแหน่งของวัตถุบนแกน X และ Y (Position on XY-Axis)
- 3) ขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ (Bounding box)

โดยข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะถูกนำไปใช้ในเป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามेटริก โดย  
จะกล่าวรายละเอียดในการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานอย่างไรในขั้นตอนต่อไป

#### 4.6 รายละเอียดเกี่ยวกับการนำระบบการรู้จำวัตถุไปใช้งานและกรณีศึกษา

จากการพัฒนาแอปพลิเคชันเดิมให้สามารถส่งออกผลลัพธ์ออกมาเป็นไฟล์สกุล .csv ทำให้เราสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลโดยใช้ระบบการรู้จำวัตถุ นำมาใช้ทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามेटริกได้โดยการนำเข้าไฟล์ดังกล่าวเข้าสู่ระบบ โดยไม่ต้องมีการพัฒนาระบบอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องเพียงปรับปรุงรูปแบบเงื่อนไขของการใช้งานเชิงพารามेटริกให้สามารถนำเอาค่าตัวแปรที่เพิ่มขึ้นมาใช้ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบของแบบจำลองสามมิติ การนำเอาผลลัพธ์ออกมาจากระบบโดยตรงในรูปแบบนี้ ทำให้เราสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบที่มีอยู่แล้วได้โดยไม่ต้องลงทุนกับระบบอื่นเพิ่มเติม

โดยการเลือกกรณีศึกษาเป็นการทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก โดยใช้ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี เป็นพื้นที่ศึกษานั้นเพื่อทดลองความเป็นไปได้ในการนำผลลัพธ์จากระบบการรู้จำวัตถุซึ่งหมายถึงตัวแปรทั้ง 3 ชนิดมาใช้โดยตรง กล่าวคือระบบไม่ได้อาศัยระบบปัญญาประดิษฐ์ในการช่วยสร้างแบบจำลองสามมิติขึ้นมาเอง แต่นำเอาผลลัพธ์ที่ได้ระหว่างทางของการใช้งานระบบมาใช้โดยกับวิธีการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกซึ่งเป็นที่ใช้งานทั่วไปในวงการออกแบบงานสถาปัตยกรรมว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้มากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 4.22 ตัวอย่างงานสถาปัตยกรรมที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งานได้.

จาก <https://www.pinterest.com/pin/31243791136975888/> และ

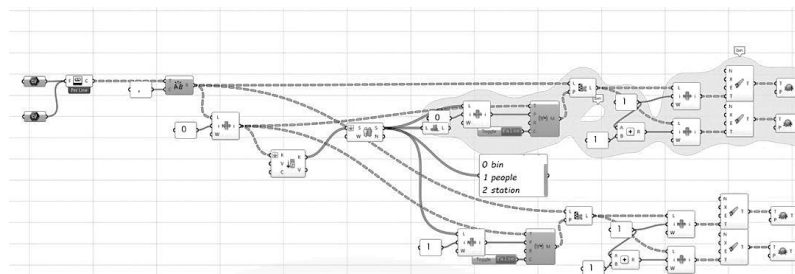
<http://fotokonkurs.afisha.ru/en/summer/events/508>, สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2561.

ประโยชน์อย่างอื่นของการนำข้อมูลออกมาใช้โดยตรง เช่น การนำไปใช้ในงานสถาปัตยกรรมแบบชั่วคราวที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งานได้ สถาปัตยกรรมที่สามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้ (ภาพที่ 4.22) หรือการนำไปใช้ในระบบการตรวจจับการเข้าออกพื้นที่ของคน เป็นต้น

#### 4.7 กระบวนการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกจากข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ

ผู้วิจัยเริ่มโดยทดลองนำเข้าข้อมูลที่ได้จากระบบรู้จำวัตถุ ซึ่งเบื้องต้นใช้เวลาการตรวจจับไม่เกิน 5 นาที เพื่อทดสอบวิธีการนำเข้าข้อมูลเพื่อนำไปใช้งาน และเพื่อทดลองหาแนวทางในการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานในรูปแบบที่เหมาะสม โดยแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ 1) เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติ โดยใช้ฐานข้อมูลจากการเก็บข้อมูลบนพื้นที่เดียวกัน 2) ทดลองเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติโดยใช้ฐานข้อมูลจากการเก็บข้อมูลบนพื้นที่ที่ต่างกัน เนื่องจากในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมความต้องการของผู้ออกแบบนั้น

มีความต้องการต่างกัน ดังนั้นจึงทำการทดลองนำข้อมูลที่ได้นำมาทดลองใช้ในแนวทางต่าง ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำระบบไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับงานออกแบบของตนเอง



ภาพที่ 4.23 ภาพแสดงกระบวนการนำเข้าสู่ข้อมูลสู่ระบบสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติ. โดย ผู้วิจัย.

โดยแนวคิดคือทุกแนวทางที่ใช้ กระบวนการนำเข้าสู่ข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุมาใช้ นั้นจะเหมือนกัน โดยแบ่งชนิดของวัตถุที่นำเข้าออกจากกันก่อน และนำข้อมูลดังกล่าวมาปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในส่วนต่าง ๆ ที่ส่งผลให้การสร้างแบบจำลองใช้ค่าของวัตถุที่ชนิดต่างกันในการปรับขึ้นส่วนขึ้นเดียวกัน ทั้งนี้จุดประสงค์เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการนำไปปรับใช้งานต่อ โดยผู้ใช้งานสามารถนำส่วนการนำเข้าสู่ข้อมูลไปใช้ ในขณะที่กำหนดรูปแบบการนำ ตัวแปร ที่ได้จากระบบไปใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมตามที่ต้องการได้ การประเมินระบบการนำเข้าสู่ข้อมูลเพื่อนำไปใช้เป็น ตัวแปร ในระบบการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก (ภาพที่ 4.23) ถูกแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ข้อ คือ 1) ระบบสามารถนำเข้าไฟล์สกุล .csv เข้าสู่ระบบได้ 2) ระบบสามารถจำแนกประเภทข้อมูลวัตถุชนิดต่างกันออกจากกันได้ โดยทดลองนำเข้าไฟล์ทั้งหมด 3 ไฟล์ซึ่งคือไฟล์ที่ได้จากการตรวจจับวัตถุบนพื้นที่ ที่ใช้ในการทดลองภายในงานวิจัย โดยหากสามารถทำได้ตามที่ระบุได้ถือว่าระบบผ่านการประเมิน (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3

ตารางแสดงการประเมินการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้ข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุ

ไฟล์ที่ถูกทดลอง	ระบบสามารถนำเข้าไฟล์สกุล .csv ได้	ระบบสามารถจำแนกประเภทวัตถุออกจากกันได้	หมายเหตุ
1	ได้	ได้	
2	ได้	ได้	
3	ได้	ได้	

หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย

โดยตัวแปร ตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 4.3 มีรายละเอียดการใช้งานดังนี้ โดยทั้ง 3 ชนิดจะถูกนำมาใช้ในการทดลองปรับเปลี่ยนรูปทรงของแบบจำลองสามมิติตามเงื่อนไขที่แตกต่างกันไป (ตารางที่ 4.5)

- 1) ชื่อชนิดของวัตถุ ถูกนำมาใช้เพื่อแยกประเภทวัตถุออกจากกันหลังจากนำข้อมูลเข้าสู่กราฟฮอปเปอร์ การแยกประเภทข้อมูลตามประเภทของวัตถุทำให้เราสามารถจัดการข้อมูลได้ง่ายขึ้น และสามารถนำวัตถุที่ต่างชนิดกันมาปรับใช้ร่วมกันได้ง่ายขึ้น
- 2) ตำแหน่งของวัตถุบนแกน X และ Y ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของวัตถุบนระบบเพื่อใช้กำหนดลักษณะทางกายภาพของส่วนต่าง ๆ บนแบบจำลองสามมิติ
- 3) ขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ (Bounding box) ใช้ทดลองจำแนกประเภทของรูปแบบกิจกรรมแบบง่าย ๆ ที่เกิดขึ้นเช่น การยืน การนั่ง ฯลฯ ออกจากกันโดยรายละเอียดจะกล่าวถึงในข้อถัดไป

ตารางที่ 4.4

ตารางแสดงเงื่อนไขและแนวทางในการจัดการข้อมูลที่ถูกตรวจจับได้

ชนิดวัตถุ	วิธีการจัดการข้อมูล	หมายเหตุ
คนยืน	กำหนดขนาดกว้าง และยาวโดยรวมของจุดพักรอ	
คนนั่ง	กำหนดขนาดความกว้างของที่นั่งรอ	
จุดพักรอเดิม	กำหนดขนาดตั้งต้นของแบบจำลอง 3 มิติ	
สิ่งกีดขวาง	กำหนดตำแหน่ง และรูปร่างของพนักยืนพิงสำหรับผู้ใช้งาน	ถังขยะ

หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย

#### 4.7.1 ทดลองเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติโดยใช้

##### ฐานข้อมูลเดียวกัน

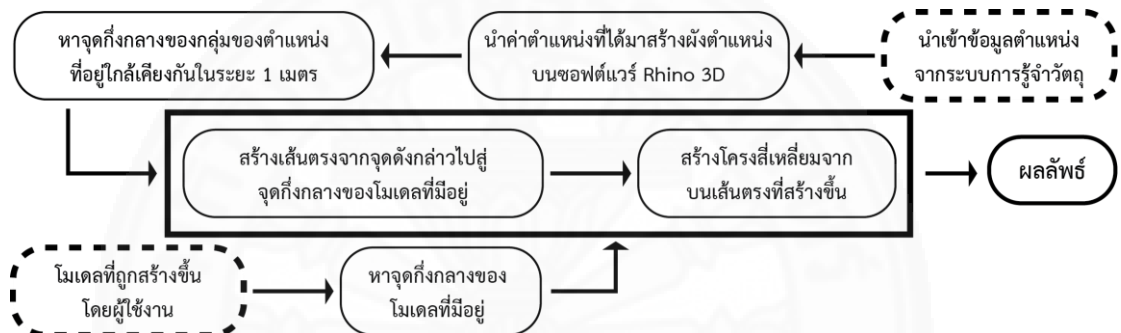
ก่อนทำการทดลองนำข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติจริง ๆ นั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการนำเข้าข้อมูล และทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติจากข้อมูลนั้น ๆ ขึ้นมาก่อน โดยใช้ข้อมูลจำนวนไม่มากจากระบบการรู้จำวัตถุมาทดสอบ เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อระบบนำเข้าข้อมูลที่มีจำนวนมากกว่านั้นมาก จะสามารถทำงานได้และมีความผิดพลาดน้อยที่สุด



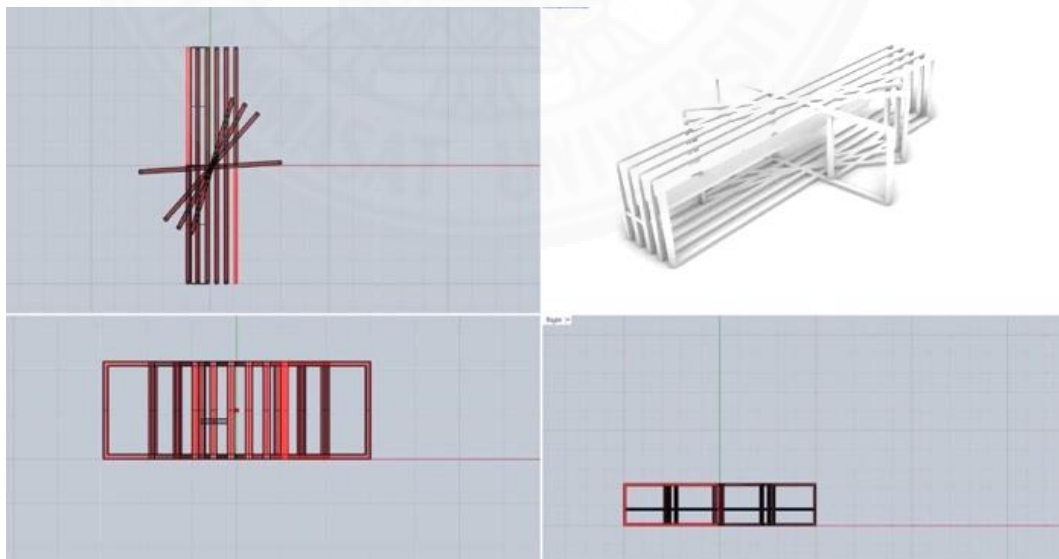
โดยแบ่งออกเป็น 2 แนวทางคือ การใช้ข้อมูลในการช่วยปรับรูปทรงจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้มีส่วนร่วม และการใช้ข้อมูลในการช่วยปรับรูปทรงแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ที่ไม่มีส่วนร่วม

#### 4.7.1.1 การใช้ข้อมูลในการช่วยปรับรูปทรงจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้มีส่วนร่วม

โดยผู้วิจัยทดลองนำข้อมูลมาปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสามมิติเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งจากกระบวนการนำเข้า (ภาพที่ 4.24) แทนที่จะนำเข้าและใช้ข้อมูลทั้งหมด 3 ชนิดตามที่กำหนดไว้เป็นตัวแปร ก็นำเข้าเพียงข้อมูลที่ต้องการใช้



ภาพที่ 4.24 ภาพแสดงกระบวนการในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้มีส่วนร่วม. โดย ผู้วิจัย.



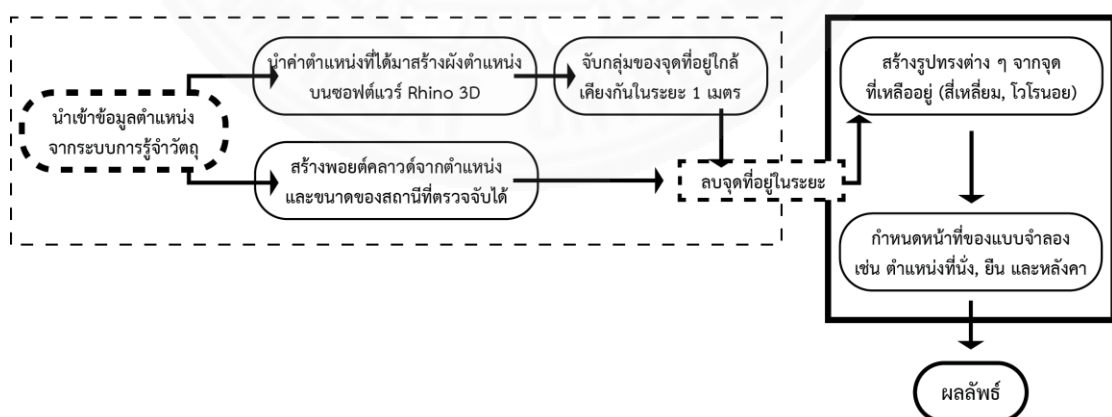
ภาพที่ 4.25 ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้มีส่วนร่วม. โดย ผู้วิจัย.

จากตัวอย่าง ตัวป้ายโดยรวมนั้นถูกสร้างขึ้นด้วยมือก่อนและกำหนดให้ส่วนดังกล่าวจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากข้อมูลที่ถูกนำเข้ามาใช้เป็นตัวแปร โดยกำหนดให้จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงคือบริเวณแผงกันแดดที่ยื่นออกมานอกตัวจุดพักรอ โดยใช้ค่าดังกล่าวในปรับเปลี่ยนทิศทางและความยาวของแผงบังแดดซึ่งเปลี่ยนแปลงตามขอบเขตการใช้งานของคนที่ใช้งานพื้นที่ในขณะนั้น (ภาพที่ 4.25)

การทดสอบครั้งนี้ทำให้เรารู้ว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุนั้นสามารถนำมาใช้ในการปรับเปลี่ยนทิศทางและขนาดของแบบจำลองสามมิติได้จริง การทดสอบครั้งนี้ใช้ คน เป็นตัวแปรเพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้แบ่งรูปแบบกิจกรรม เช่น การยืน และนั่งออกจากกัน แต่จากการที่ระบบทำงานอย่างที่กำหนดให้ทำได้สำเร็จ ทำให้เราเชื่อมั่นใจว่าหากนำข้อมูลที่ซับซ้อนมากขึ้นนำเข้าสู่ระบบ ระบบก็น่าจะทำงานได้สำเร็จเช่นกัน

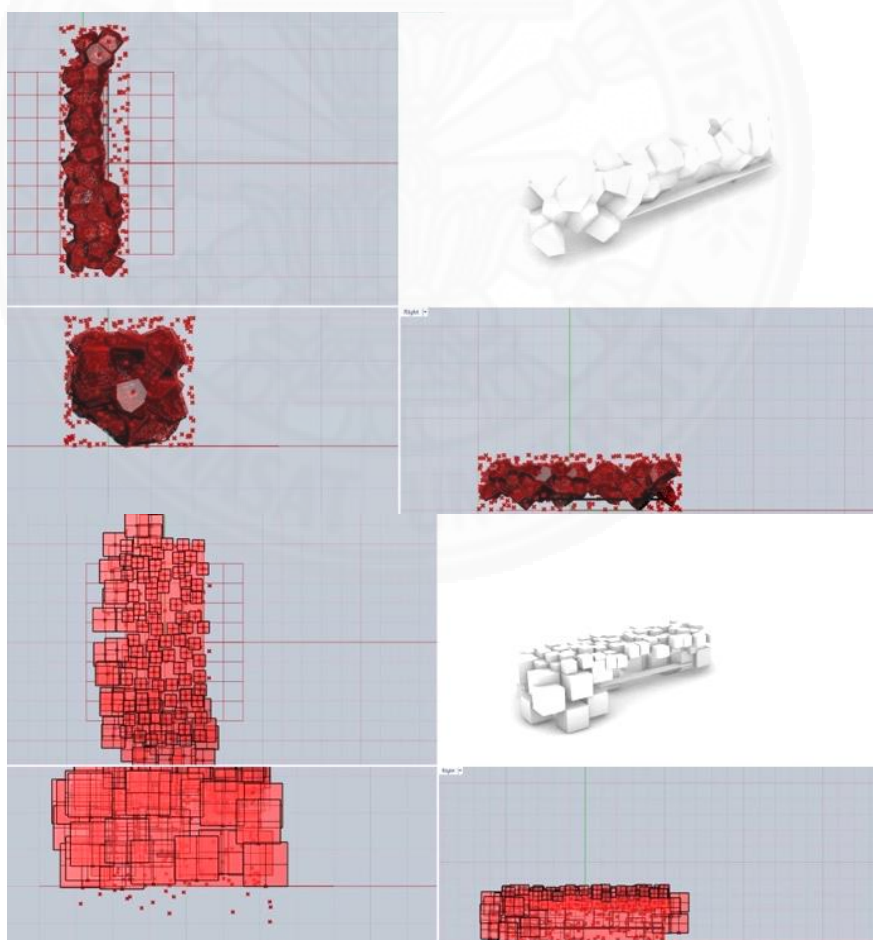
#### 4.7.1.2 การใช้ข้อมูลในการช่วยปรับรูปทรงแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้ไม่มีส่วนร่วม

จากการทดสอบข้างต้นเราพบว่าระบบสามารถปรับลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติได้ตามที่ต้องการ ในขั้นต่อไปคือการทดลองเพิ่มความซับซ้อนในการจัดการตัวแปรมากขึ้น เพื่อให้ใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่จะนำไปใช้งานจริง (ภาพที่ 4.26) โดยทดลองนำข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ มาใช้เป็นตัวแปร โดยที่ไม่มีแบบจำลองที่ถูกสร้างไว้ล่วงหน้า ดังนั้นผู้ใช้งานจะไม่มีสิทธิ์แก้ไขแบบจำลองโดยตรง เพื่อให้ระบบทำงานได้โดยอัตโนมัติ โดยใช้ในการควบคุมโดยตัวแปรที่ได้รับจากระบบการรู้จำวัตถุเท่านั้น



ภาพที่ 4.26 ภาพแสดงกระบวนการในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ใช้ไม่มีส่วนร่วม. โดย ผู้วิจัย.

เบื้องต้นกำหนดให้ตัวแปร ทำงานเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่เพื่อนฐาน เช่น ตำแหน่งคนอยู่บริเวณไหน ก็ให้สร้างพื้นที่ว่างล้อมบริเวณนั้นเพื่อทดลองสร้างพื้นที่ใช้งาน (ภาพ 4.28) โดยให้ขนาดของตัวสถานีที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ เป็นขนาดอ้างอิงให้ขนาดของตัวสถานีเดิมมีค่ามาตรฐานเท่ากับขนาดของป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีเดิม โดยที่ตำแหน่งของวัตถุจะยังไม่ส่งผลให้ขนาดของป้ายนั้นมีขนาดเปลี่ยนแปลงไป และใช้ตำแหน่งของคนในการกำหนดตำแหน่งในการสร้างหลังคา (ภาพที่ 4.27 (บน)) เป็นต้น นอกจากนี้เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการนำค่าดังกล่าวไปทดลองใช้สร้างรูปแบบ แบบจำลองสามมิติที่มีลักษณะต่างกัน ดังนั้นทดลองเปลี่ยนแปลงอัลกอริทึมในการควบคุมลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติ (ภาพที่ 4.27 (ล่าง)) ให้มีลักษณะต่างกันไปด้วย โดยกำหนดให้คงค่าวิธีการนำเข้าสู่ข้อมูลให้เหมือนกัน เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวแปร จะยังสามารถควบคุมลักษณะทางกายภาพได้เหมือนเดิมแม้ว่าเงื่อนไขในการสร้างแบบจำลองจะเปลี่ยนแปลงไป

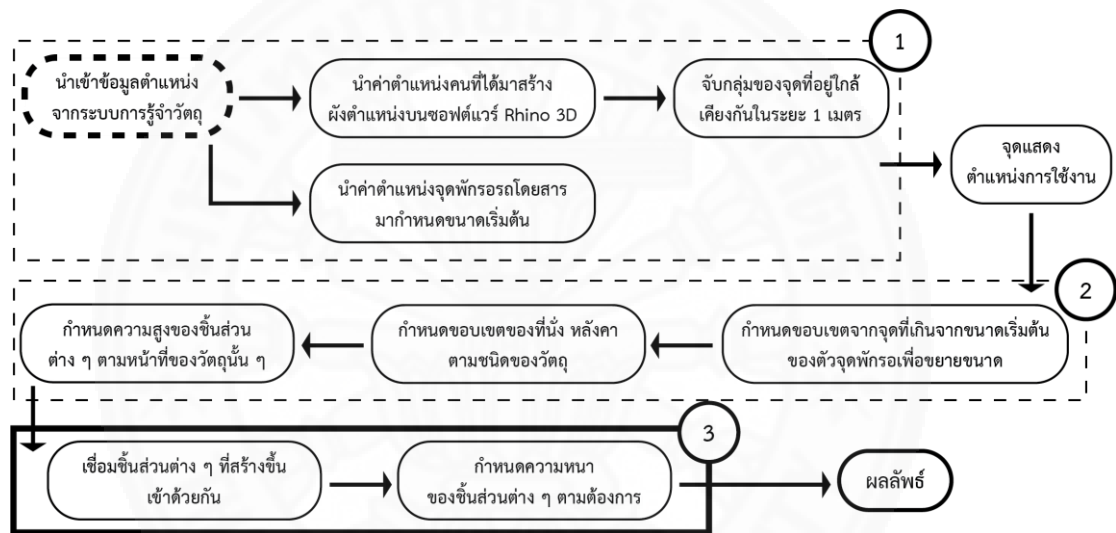


ภาพที่ 4.27 ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติเชิงพารามเมตริกแบบนำตัวแปรมาใช้แบบผู้ไม่มีส่วนร่วมแบบจำลองสามมิติต้นแบบที่ 1 (บน) และแบบจำลองสามมิติต้นแบบที่ 2 (ล่าง). โดย ผู้วิจัย.

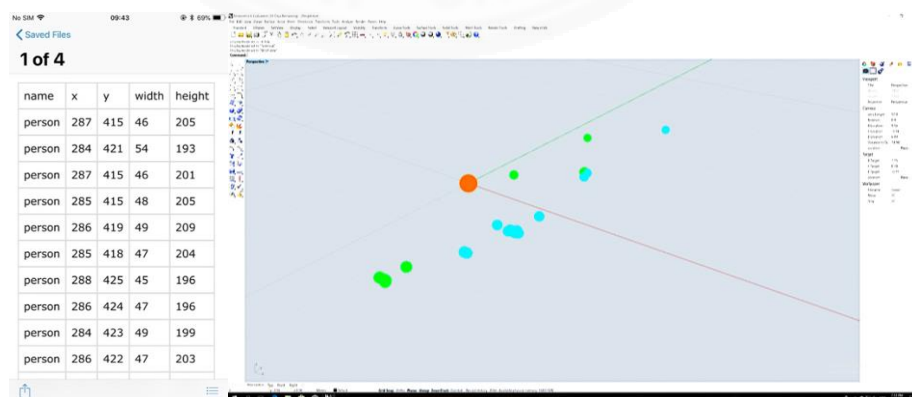
#### 4.7.2 ทดลองเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองสามมิติโดยใช้

##### ฐานข้อมูลต่างกัน

จากการทดสอบเบื้องต้นที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ทำให้สามารถนำมาสู่การทดลองนำข้อมูลที่ได้จากการใช้งานระบบการรู้จำวัตถุบนสถานที่จริงมาทดลองใช้ โดยการนำแนวทางที่ได้จากการทดสอบแบบผู้ใช้ไม่มีส่วนร่วม กล่าวคือผู้ใช้งานระบบสามารถใช้ไฟล์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุนั้นในการสร้างแบบจำลองได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีแบบจำลองที่สร้างไว้แล้วล่วงหน้า โดยผู้ใช้งานมีหน้าที่ในการกำหนดแนวคิดและเงื่อนไขในการออกแบบเท่านั้น (ภาพที่ 4.28) โดยมีรายละเอียดดังนี้

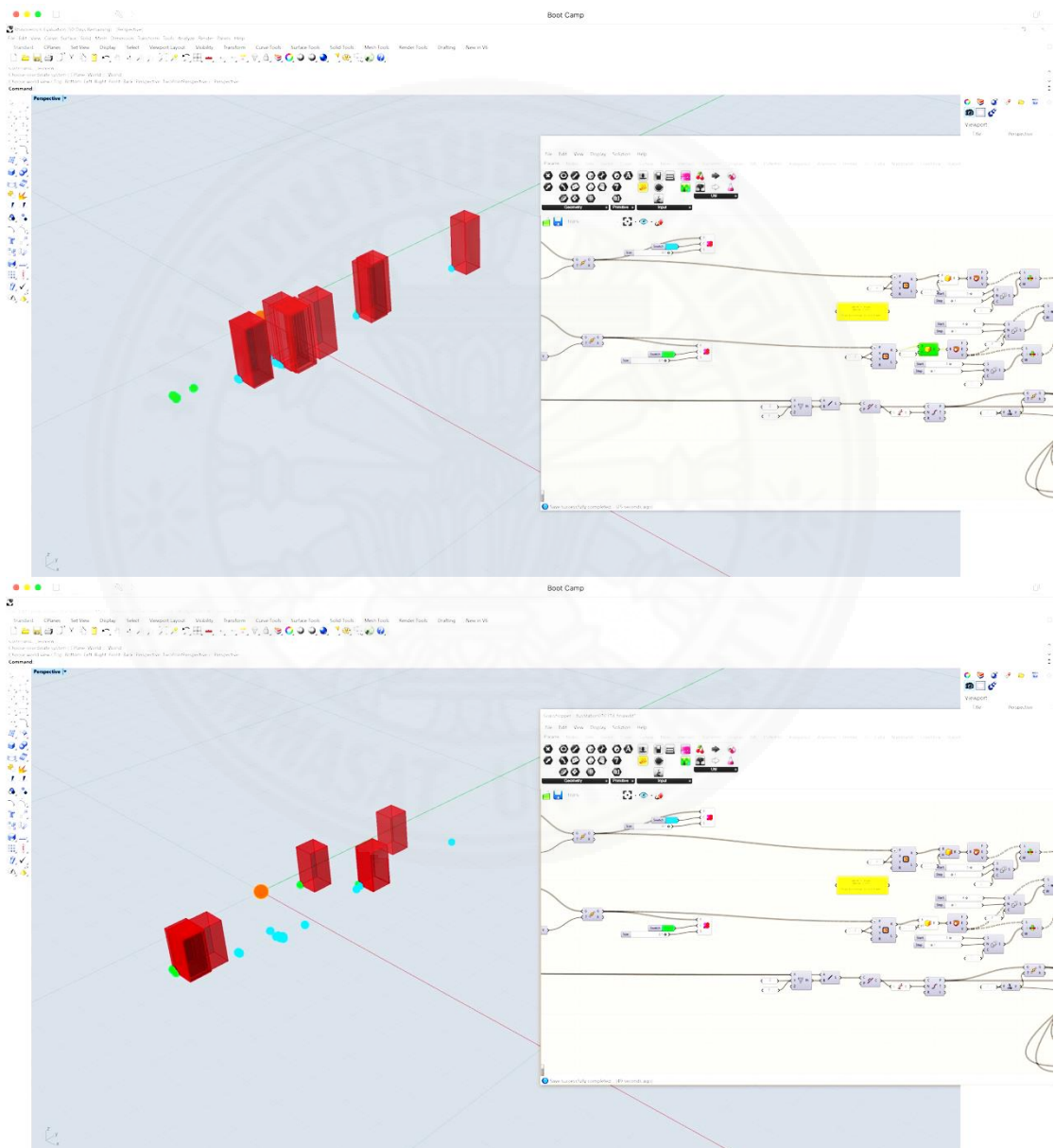


ภาพที่ 4.28 ภาพแสดงกระบวนการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยอาศัยข้อมูลจากพื้นที่ทดลองจริง. โดย ผู้วิจัย.



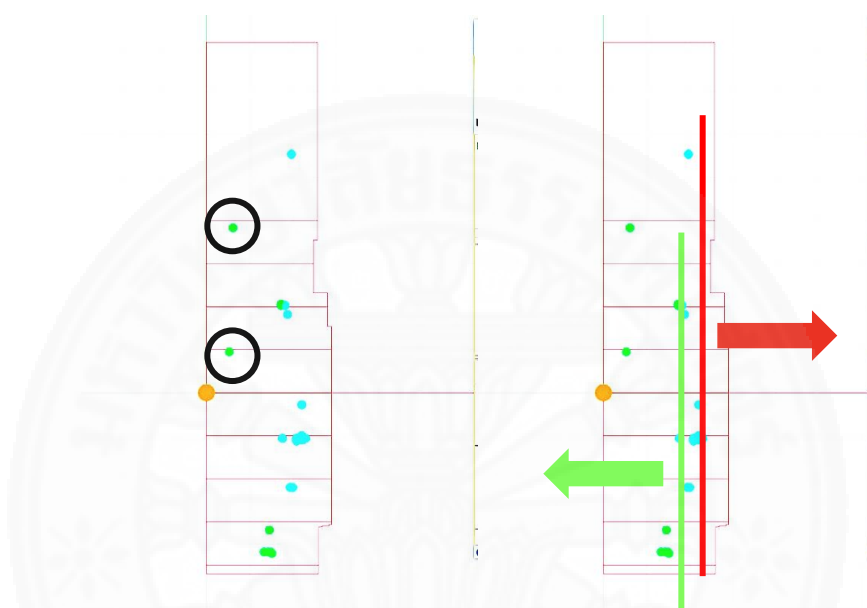
ภาพที่ 4.29 ภาพแสดงการสร้างผังตำแหน่งจากระบบการรู้จำวัตถุด้วยวิธีการเชิงพารามเมตริก. โดย ผู้วิจัย.

1) ตัวแปรแต่ละชนิดหลังจากถูกนำเข้าสู่ระบบ จะถูกนำไปใช้แทนค่าต่าง ๆ บนระบบเพื่อใช้ปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยค่าตำแหน่งของวัตถุบนแกน X และ Y ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุจะถูกนำมาใช้แสดงผล โดยหลังค่าที่ได้จากการอ่านไฟล์ .csv ถูกแปลงหน่วยวัดให้ตรงกับโปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติแล้วนั้น วัตถุจะถูกแบ่งออกเป็นจุดสีเพื่อใช้จำแนกวัตถุแต่ละชนิดออกจากกัน (ภาพที่ 4.29)



ภาพที่ 4.30 ภาพแสดงตำแหน่งการยืน (บน) และภาพแสดงตำแหน่งการนั่ง (ล่าง) ที่ถูกจำแนกด้วยขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ. โดย ผู้วิจัย.

2) ขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ ถูกใช้ทดลองในการแบ่งรูปแบบกิจกรรมออกจากกัน โดยเราสามารถอธิบายตำแหน่งคนนั่ง กับคนยืนได้จากความสูง ของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ โดยค่าที่ได้จากการตรวจจับมีขนาดความสูงของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุตั้งแต่ 62 – 124 โดยการแบ่งให้ความสูงของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุมากกว่า 100 แทนตำแหน่งของคนยืน และค่าที่ต่ำกว่าค่าดังกล่าวถูกแทนเป็นตำแหน่งของคนนั่ง (ภาพที่ 4.30)

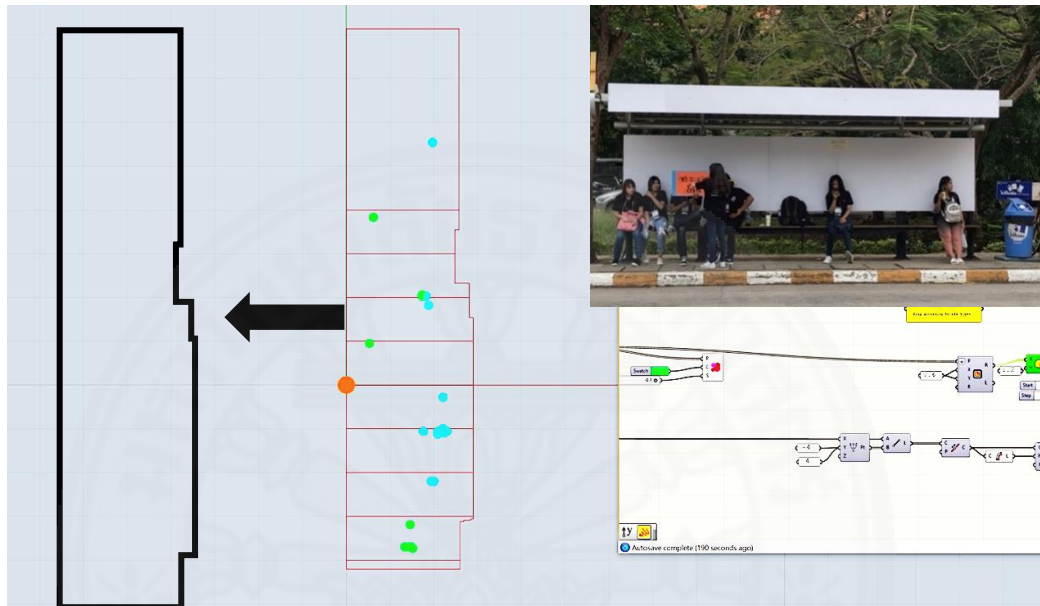


ภาพที่ 4.31 ภาพแสดงขอบเขตและตำแหน่งคนยืนและนั่งบนพื้นที่ขอบเขตป้ายรถโดยสารใหม่. โดยผู้วิจัย.

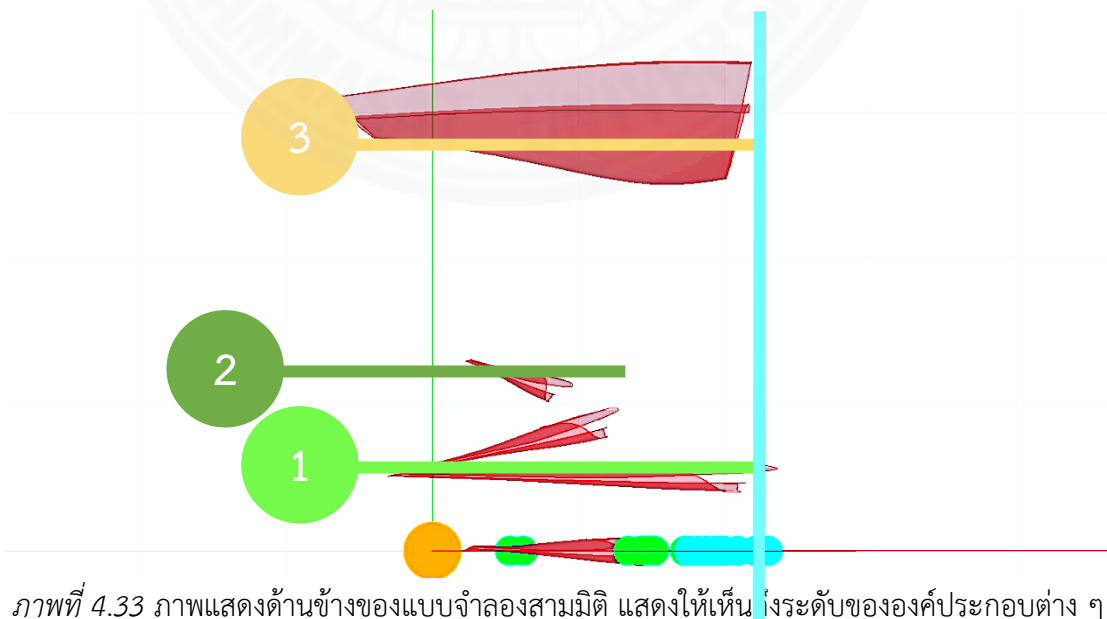
จากภาพแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถแบ่งรูปแบบของกิจกรรม ระหว่างการนั่งและยืนออกจากกันได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด สังเกตได้จากแนวเส้นสีแดง ซึ่งแสดงถึงแนวคนยืน และเส้นสีเขียวที่แสดงถึงแนวคนนั่ง (ภาพที่ 4.31 (ขวา)) เนื่องจากกรณีศึกษาเป็นป้ายรถโดยสารประจำทาง ทำให้เรารู้ล่วงหน้าว่าตำแหน่งคนนั่ง และคนยืนนั้นอยู่คนละแนวระนาบกัน การที่เส้นสีแดงและเขียวอยู่กันคนละระนาบอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถแยกรูปแบบการนั่งและยืนออกจากกันได้ชัดเจน

แม้จะเห็นได้ว่าระบบมีการตรวจจับวัตถุที่มีค่าตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงอยู่ 2 ตำแหน่ง (ตำแหน่งภายในวงกลมสีดำ) แต่จะเห็นได้ว่าวัตถุที่ปรากฏอยู่ในตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนนั้นมีสีเขียว ซึ่งแสดงว่าคนในตำแหน่งนั้นกำลังนั่งอยู่ จุดสีเขียวนี้อยู่ด้านหลังของแนวเส้นสีเขียว ทำให้ไม่กระทบต่อการสร้างแบบจำลอง (ภาพที่ 4.31 (ซ้าย)) เนื่องจากระบบอาศัยเฉพาะตำแหน่งของคนยืน ในการกำหนดขอบเขตการสร้างแบบจำลองสามมิติเพราะมีตำแหน่ง

ของการเกิดกิจกรรมที่ไม่แน่นอนและอาจอยู่เหนือขอบเขตของพื้นที่ป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี เดิม ทำให้เป็นตัวแปรที่มีความเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวแกน X และ Y ต่างจากตำแหน่งการนั่ง ซึ่งเป็น ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเฉพาะแกน Y เท่านั้นและความคลาดเคลื่อนบนแกน X นั้นไม่ มากนัก

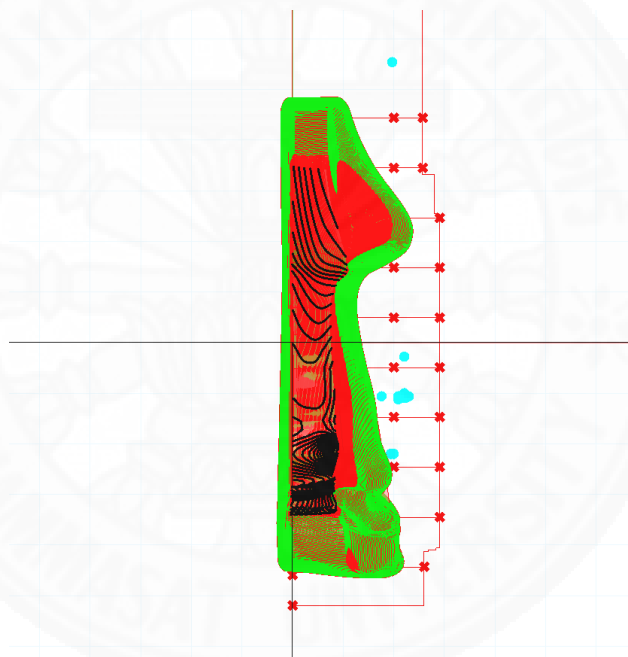


ภาพที่ 4.32 ภาพแสดงขอบเขตใหม่ของป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีที่ได้จากจำแนกตำแหน่งคน ยืนในพื้นที่ทดลอง. โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.33 ภาพแสดงด้านข้างของแบบจำลองสามมิติ แสดงให้เห็น ีงระดับขององค์ประกอบต่าง ๆ ของป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีที่ถูกสร้างขึ้นใหม่. โดย ผู้วิจัย.

3) จากนั้นจึงทดลองนำค่าตัวแปรต่าง ๆ มาปรับแต่งในแต่ละชั้นส่วนของตัวป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ที่ได้ขึ้นใหม่ โดยใช้ตัวแปร คน เป็นตัวแปรสำคัญในการปรับแต่งแต่ละส่วน จากในข้อที่ 2 หลังจากได้ขอบเขตใหม่ของตัวสถานีจากการใช้ขนาดที่ได้จาก การเก็บข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุของตัวสถานีและถึงขยะแล้วนั้น ตัวป้ายรถโดยสารจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับที่นั่ง 2) ระดับพนักงาน 3) ระดับหลังคา (ภาพที่ 4.33) โดยแต่ละลำดับจะมีขนาดและรูปทรงเริ่มต้น ตามขนาดของตัวสถานีที่ได้จากการใช้ตัวแปรตัวสถานีและถึงขยะร่วมกัน คือเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดประมาณ 4 – 5 เมตร โดยขนาดจะถูกคิดจากการนำค่าเฉลี่ยของตำแหน่งป้ายรถโดยสาร ร่วมกับค่าเฉลี่ยของตำแหน่งถึงขยะที่เพิ่มเติมออกไป ก่อนนำค่าขนาดของทั้งสองตัวแปรมาคิดคำนวณร่วมกันเพื่อกำหนดขอบเขตให้แก่แบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก



ภาพที่ 4.34 ภาพแสดงลักษณะของระดับที่นั่งที่เกิดจากการใช้ค่าตัวแปร คน ในการปรับแต่ง. โดยผู้วิจัย.

จากนั้นตัวแปร คน จะถูกนำมาใช้ ในการตัดแต่งรูปทรงตามลักษณะของการใช้ของพื้นที่ และแตกต่างกันไปตามระดับของป้ายรถโดยสาร ที่ถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

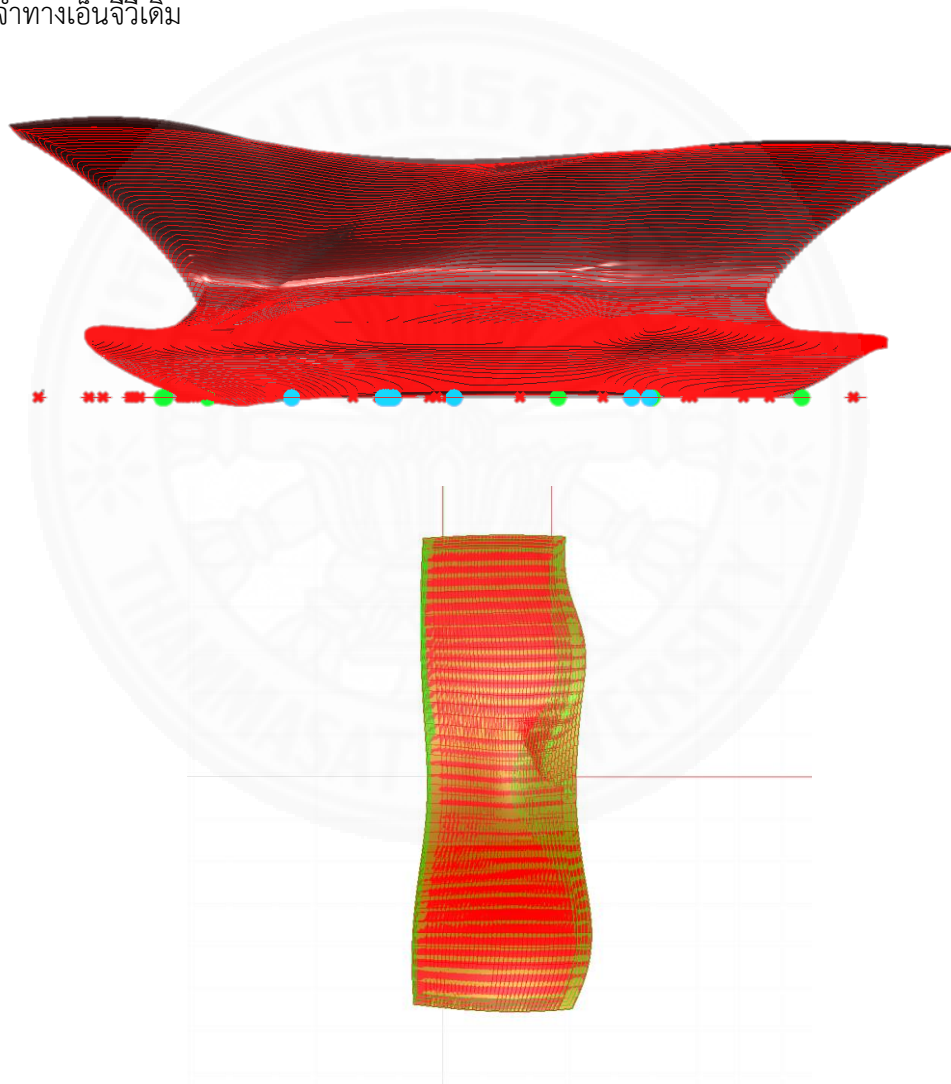
ในระดับที่ 1 ระดับที่นั่งนั้น ถูกออกแบบให้ส่วนที่มีความหนาแน่นของคนนั่งนั้น มีขนาดของพื้นที่นั่งที่กว้างขึ้น ในขณะที่ส่วนที่มีคนยืนนั้นถูกออกแบบให้มีลักษณะโอบล้อมพื้นที่บริเวณจุดสีฟ้าที่ใช้แสดงแทนตำแหน่งคนยืน (ภาพที่ 4.34) เพื่อเพิ่มพื้นที่นั่งและยืนให้มีเพิ่มขึ้น

ในระดับที่ 2 ระดับพนักงาน อาศัยการใช้คัดลอกลักษณะของการ

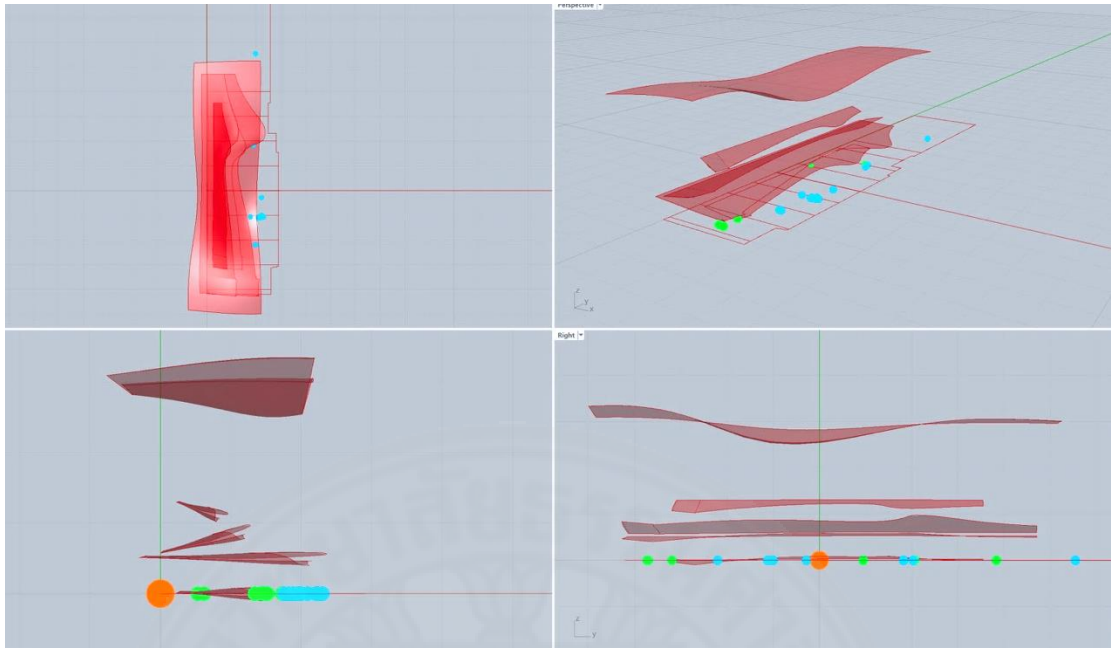


เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนในระดับที่หนึ่ง ก่อนทำการลดขนาดและปรับองศาให้เอียงขึ้นเพื่อให้ในขั้นตอนสุดท้าย ในการเชื่อมทุกชิ้นส่วนเข้าด้วยกันชิ้นส่วนบริเวณนี้จะเอียงรับกับระดับที่หนึ่ง และกลายเป็นพนักพิงตามลักษณะที่เกิดขึ้นกับระดับที่หนึ่ง

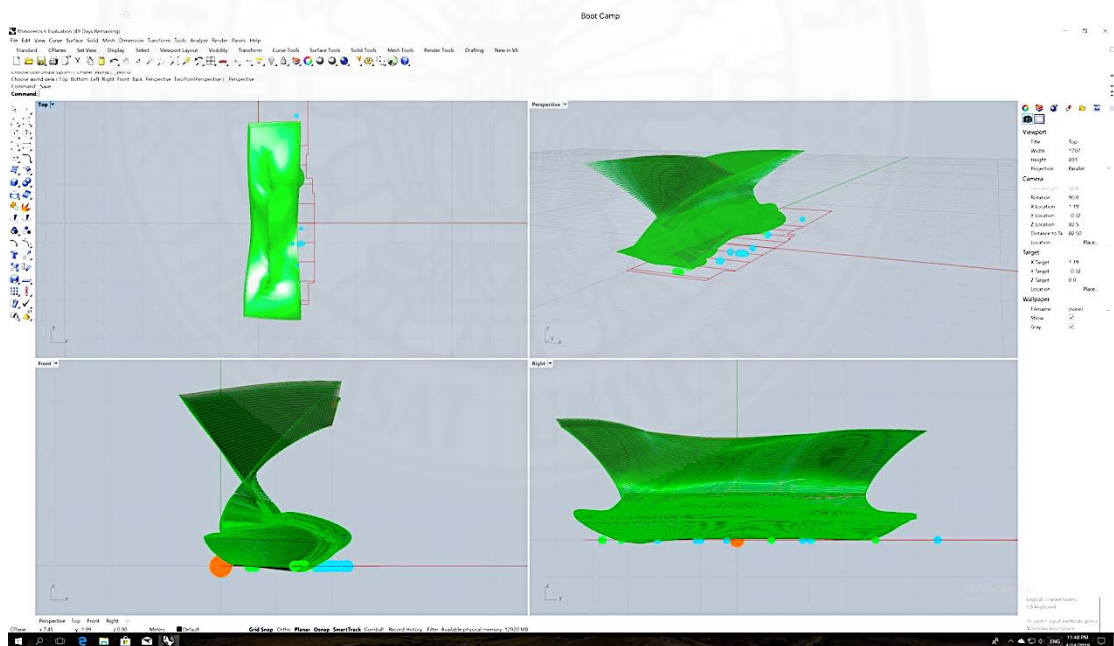
ในระดับที่ 3 ระดับหลังคา ถูกออกแบบให้นำความหนาแน่นของคนมาทดลองใช้ในการปรับเปลี่ยนระดับความสูง โดยกำหนดให้บริเวณพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานหนาแน่นมีระดับหลังคาสูงกว่าบริเวณอื่น และลดหลั่นลงไปตามระดับความหนาแน่น (ภาพที่ 4.35) ซึ่งระดับต่ำสุดของหลังคาจะถูกกำหนดโดยขนาดมาตรฐานของตัวแบบจำลองตามขนาดจริงของ ตัวป้ายสถานีรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีเดิม



ภาพที่ 4.35 ภาพแสดงให้เห็นลักษณะโดยรวมของหลังคา (บน) ภาพแสดงลักษณะของหลังคาจากมุมมองด้านบน (ล่าง). โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.36 ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการใช้งานระบบทั้งหมดร่วมกัน. โดย ผู้วิจัย.



ภาพที่ 4.37 ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว. โดย ผู้วิจัย.

4) หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมพื้นผิวทั้งหมดโดยการใช้คำสั่ง ทวิน (Tween) เพื่อสร้างพื้นผิวในพื้นที่ว่างระหว่างพื้นผิวแต่ละลำดับเข้าด้วยกัน เพื่อจบการสร้างแบบจำลองสามมิติจากการใช้ค่าที่ได้จากการระบบการรู้จำวัตถุ มาใช้เป็นตัวแปรในการปรับค่าพารามิเตอร์ (ภาพที่ 4.37) ก่อนทดลองนำค่าที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ บนพื้นที่กรณศึกษาอื่น ๆ มาทดลองใช้สร้าง

แบบจำลองสามมิติด้วยกระบวนการเดียวกัน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานของแต่ละพื้นที่ (ภาพที่ 4.38)



ภาพที่ 4.38 ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติที่เสร็จสมบูรณ์จากการใช้ข้อมูลจากพื้นที่กรณีศึกษา ที่แตกต่างกัน. โดย ผู้วิจัย.

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปภาพรวมของงานวิจัย

จากการวิจัยพบว่า การนำระบบการรู้จำวัตถุมาใช้ร่วมกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก สามารถนำมาใช้งานร่วมกันอย่างได้ผล โดยระบบการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริกสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุที่อยู่ในรูปแบบของไฟล์สกุล .csv มาใช้ในการปรับลักษณะของแบบจำลองสามมิติให้มีลักษณะที่สอดคล้องกับตัวแปร ที่กำหนดซึ่งประกอบด้วย 1) ชื่อชนิดของวัตถุ 2) ตำแหน่งของวัตถุ 3) ขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ (Bounding box) โดยแบบจำลองสามารถปรับเปลี่ยนลักษณะตามข้อมูลตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปมาตามข้อมูลของไฟล์ที่เปลี่ยนแปลงไปได้ แม้ว่าปริมาณของตัวแปรจะเพิ่มขึ้นและแตกต่างกันตามระยะเวลาและสถานที่ ที่ใช้ระบบการรู้จำวัตถุทำการบันทึกผลลัพธ์ ซึ่งแบบจำลองแต่ละอันนั้นมีลักษณะสอดคล้องกับตำแหน่งและชนิดของวัตถุแต่ละชนิด แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

การทดลองบนพื้นที่กรณศึกษาทำให้พบว่าค่าตัวแปร แต่ละชนิดมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานร่วมกับระบบการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริกไม่เท่ากัน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุที่ส่งผลให้การสร้างแบบจำลองสามมิติเกิดความยุ่งยากในการจำแนกข้อมูลที่ผิดพลาดออกจากระบบ โดยตัวแปรทั้งสามชนิดมีตัวแปร 2 ชนิดที่ถูกไปใช้งานโดยตรง คือ ชื่อชนิดของวัตถุ และตำแหน่งของวัตถุ ในขณะที่ขนาดของกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ นอกจากถูกใช้ในการคาดคะเนขนาดของวัตถุในการสร้างแบบจำลองสามมิติแล้ว ยังถูกนำไปทดลองใช้จำแนกการยืนและการนั่งของคนที่ถูกตรวจจับได้อีกด้วย

นอกจากนี้การทดลองใช้งานระบบพบว่าปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ความไม่แม่นยำในการระบุตำแหน่งและขนาดของวัตถุที่ปรากฏอยู่บนระบบ โดยเฉพาะกับวัตถุที่มีองค์ประกอบซับซ้อนอย่างป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี ซึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบมีดังต่อไปนี้

1) จำนวนภาพที่ใช้ในการสอนระบบ อย่างที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 จำนวนภาพที่ถูกใช้สอนระบบภายในงานวิจัยนั้นใช้รูปทั้งหมดเพียงจำนวน 40 รูป โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามชนิดของวัตถุที่ใช้สอน ประเภทละ 20 รูป เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปริมาณรูปตามแนวทางของ Caltech 101 มีประสิทธิภาพลดลงในการใช้ระบุขอบเขตบนป้ายรถโดยสารเอ็นจีวี แต่กับวัตถุที่มีองค์ประกอบไม่ซับซ้อนอย่างถังขยะ ไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพอย่างมีนัยยะสำคัญ

2) คุณภาพและรูปแบบของภาพที่ใช้ถ่าย เนื่องจากภาพที่ใช้ในการสอนนั้นถูกถ่ายและเก็บข้อมูลในเวลาใกล้เคียงกัน รวมทั้งความหลากหลายของภาพนั้นมีไม่มาก ซึ่งอาจส่งผลทำให้การระบุวัตถุที่ปรากฏบนระบบนั้นมีความผิดพลาด

3) จำนวนครั้งที่ใช้ในการสอนย้ำ ในงานวิจัยได้ทำการระบุการสอนย้ำในครั้งที่ 25,000 ครั้งโดยประมาณ ซึ่งอาจไม่เพียงพอหรือมากเกินไปซึ่งอาจส่งผลต่อการระบุวัตถุที่ปรากฏบนระบบได้ โดยเฉพาะในการสอนระบบโดยอาศัยรูปถ่าย 20 รูป ซึ่งค่าแสดงความผิดพลาดระหว่างการสอนมีความผันผวนสูง

โดยในการทำการสร้างชุดข้อมูลใหม่สำหรับระบบการรู้จำวัตถุ การอาศัยภาพถ่ายองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีความซับซ้อนอย่างป่ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี โดยใช้ภาพจำนวนไม่มากนักนั้นให้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ แม้ว่าในการตรวจจับในการนำไปใช้จริง จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการตรวจจับทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ต้องการมีความผิดพลาดไปจากความจริงบ้างก็ตาม ซึ่งจำนวนครั้งที่ทำการสอนย้ำ จากการทดลองพบว่าเราสามารถหยุดการทำการสอนย้ำได้ โดยที่ประสิทธิภาพไม่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญได้ตั้งแต่ครั้งที่ 10,000 ขึ้นไป จนกระทั่งถึงจำนวนครั้งที่ 20,000 ที่ประสิทธิภาพในการระบุวัตถุ เริ่มมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นการเลือกชุดข้อมูลเพื่อนำไปทดลองประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้งานนั้นจึงอยู่ในช่วง 10,000 ถึง 20,000 ครั้ง (ตารางที่ 5.1) โดยในงานวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของชุดข้อมูลจากการสอนทั้งการใช้จำนวนภาพ 40 ภาพและ 20 ภาพต่อชนิดของวัตถุ ในการสอนย้ำ 25,000 ครั้งนั้น ครั้งอยู่ในช่วง 18,000 ครั้งนั้นมีผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งจำนวนครั้งที่แน่นอนอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไข และจำนวนของประเภทวัตถุที่ใช้ในการสอน หากเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขไปจากขอบเขตภายในงานวิจัย

ตารางที่ 5.1

ตารางแสดงรายละเอียดระหว่างการสอนชุดข้อมูล

สอนโดยวัตถุชนิดละ 40 ภาพ		สอนโดยวัตถุชนิดละ 20 ภาพ	
จำนวนครั้งที่ทำการสอนย้ำ (Iterations) <sup>a</sup>	Average Loss Value	จำนวนครั้งที่ทำการสอนย้ำ (Iterations)	Average Loss Value
1	17.7681	1	21.538
1000	0.1967	1000	0.5370
2,000	0.0248	2,000	0.2740
4,000	0.0194	4,000	0.0593

## ตารางที่ 5.1

ตารางแสดงรายละเอียดระหว่างการสอนชุดข้อมูล (ต่อ)

สอนโดยวัตถุชนิดละ 40 ภาพ		สอนโดยวัตถุชนิดละ 20 ภาพ	
จำนวนครั้งที่ทำการสอน ย่ำ (Iterations) <sup>a</sup>	Average Loss Value	จำนวนครั้งที่ทำการสอนย่ำ (Iterations)	Average Loss Value
6,000	0.0189	6,000	0.0185
<b>8,000</b>	<b>0.0297</b>	8,000	0.0358
10000	0.0112	<b>10000</b>	<b>0.0162</b>
15,000	0.0120	15,000	0.0110
20,000	0.0156	<b>20,000</b>	<b>0.0180</b>
25,000	0.0058	25,000	0.0061

หมายเหตุ. <sup>a</sup>จำนวนครั้งที่ทำการสอนย่ำ หมายถึง จำนวนครั้งที่ระบบแสดงว่ากระบวนการสอนในระบบสำเร็จจูล่วงแล้ว  $n$  ครั้งบนดาร์คเน็ต เช่น ระบบแสดงค่าเป็น 100: 0.002, 0.002 avg แปลว่าระบบได้ทำการสอนย่ำไปแล้ว 100 ครั้ง เป็นต้น, โดยผู้วิจัย.

การนำระบบไปใช้งานจริงพบว่าองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีความซับซ้อน และมีองค์ประกอบที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในภาพที่ใช้ในการสอนมาก เช่น ต้นไม้ พื้นหลัง ฯลฯ ระบบยังสามารถตรวจจับได้ในระดับที่ใช้งานได้ ยกเว้นในระหว่างการตรวจจับนั้นกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ (Bounding box) ที่ใช้ในการระบุวัตถุนั้น มีตำแหน่งคาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่เหมาะสมมากพอสมควร โดยคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งดังกล่าวประมาณร้อยละ 25 (ภาพที่ 5.1)



ภาพที่ 5.1 ภาพแสดงผลลัพธ์ระหว่างใช้ตรวจจับป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี. โดย ผู้วิจัย.

ในขณะที่องค์ประกอบอีกชนิดคือถังขยะ สามารถตรวจจับได้โดยที่ตำแหน่งคลาดเคลื่อนน้อยกว่ามาก แต่ระบบจะไม่สามารถตรวจจับได้เลยหากระยะที่ใช้งานแอปพลิเคชันอยู่ห่างจากตัววัตถุมากเกินไป เนื่องจากวัตถุที่ปรากฏอยู่บนจอแสดงผล จะมีขนาดเล็กเกินกว่าที่ระบบจะสามารถระบุได้ หากต้องการตรวจจับตัวป้ายสถานีรถโดยสารเอ็นจีวีไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งทำให้ในการใช้งานจริง จำเป็นต้องจัดการข้อมูลที่ได้ของวัตถุทั้ง 2 ชนิด แยกออกจากกันเพื่อชดเชยระยะ และขนาดที่คลาดเคลื่อนไป ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนระยะของการเก็บข้อมูล

ดังนั้นระบบจึงเหมาะสมกับการเก็บข้อมูลของวัตถุที่มีขนาดไม่แตกต่างกันมากเกินไป โดยระบบไม่มีปัญหาในการเก็บข้อมูลคน และป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวีจากระยะห่างเดียวกัน ทำให้ข้อมูลทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถถูกจัดการได้ง่าย เนื่องจากตำแหน่งของวัตถุบนแกน XY และข้อมูลขนาดของวัตถุ มีความสอดคล้องกัน

## 5.2 สรุปผลจากการทำงานของโปรแกรมร่วมกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก

จากการทดลองนำผลลัพธ์จากระบบการรู้จำวัตถุมาทดลองใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก เราสามารถประเมินระบบได้ 2 แนวทาง คือ

- 1) ประเมินประโยชน์ที่ได้ของการใช้ตัวแปรแต่ละชนิดในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกบนพื้นที่กรณีศึกษา
- 2) ประเมินการทำงานร่วมกันของระบบเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีแนวทางการวิจัยใกล้เคียงกัน

### 5.2.1 การประเมินประโยชน์ที่ได้ของการใช้ตัวแปรแต่ละชนิดในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกบนพื้นที่กรณีศึกษา

โดยในการประเมินประโยชน์ที่ได้ของการใช้ตัวแปรแต่ละชนิดในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกบนพื้นที่กรณีศึกษา ทำการประเมินความสำคัญของตัวแปร แต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก (ตารางที่ 5.2) โดยแบ่งคะแนนตามอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของแบบจำลอง (รายละเอียดบทที่ 3 หน้าที่ 33)

## ตารางที่ 5.2

ตารางประเมินตัวแปรแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก

ตัวแปร	Object Label	Position on XY-Axis	Bounding Box
ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการสร้างแบบจำลอง	มาก ก่อให้เกิดความผิดพลาดกับระบบน้อย	ปานกลาง เกิดจากตำแหน่งที่อาจซ้อนทับกันทำให้การสร้างแบบจำลองคลาดเคลื่อน	น้อย ก่อให้เกิดความผิดพลาดมาก เกิดจากความใกล้เคียงกันของขนาด
ประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่อ	มาก มีความยืดหยุ่นในการนำไปปรับใช้	มาก มีความยืดหยุ่นในการนำไปปรับใช้	น้อย เนื่องจากขึ้นอยู่กับมุมมอง ระยะ และชนิดวัตถุ
ประโยชน์ในการทำงานร่วมกัน	มาก สามารถปรับใช้ได้กับทุกตัวแปร	มาก สามารถปรับใช้ได้กับทุกตัวแปร	ปานกลาง สามารถใช้จำแนกวัตถุ ในกรณีชุดข้อมูลไม่รองรับได้

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

จากตารางจะพบว่าผู้วิจัยให้คะแนนชนิดของวัตถุมากที่สุด เพราะเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานร่วมกันของตัวแปรแต่ละตัวแปรในการสร้างแบบจำลอง โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการระบุชนิดของวัตถุในระหว่างการสร้างแบบจำลองสามมิตินั้น พบว่าเนื่องจากระบบอาศัยการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องจำนวนมาก ก่อนนำมาใช้ทำให้หากมีข้อมูลที่ผิดพลาดเกิดขึ้นบ้างข้อมูลดังกล่าวจะถูกทำการเฉลี่ยจนแทบไม่ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง และเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อรูปแบบของแบบจำลองมากที่สุด

ในขณะที่ตำแหน่งของวัตถุ และกรอบแสดงขอบเขตของวัตถุ คะแนนเฉลี่ยโดยรวมใกล้เคียงกัน โดยเริ่มจากตำแหน่งของวัตถุ สาเหตุที่ตำแหน่งของวัตถุถูกให้คะแนนน้อยเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่เกิดขึ้น ทำให้ยากต่อการจัดการข้อมูล เนื่องจากระบบไม่ได้ทำการบันทึกข้อมูลดิบ เช่น ภาพเคลื่อนไหวเอาไว้ด้วย ทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นยากที่จะระบุได้ว่าความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งไหน ในขณะที่กรอบแสดงขอบเขตของวัตถุที่ถูกใช้ในการจำแนกการนั่งและการยืนของคนบนพื้นที่ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ทำให้ความแม่นยำในการระบุที่นั่งน้อยลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองใช้ในกรณีศึกษาพบว่าความสามารถใน



การแบ่งประเภทของกิจกรรมนั้นอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ คือสามารถจำแนกตำแหน่งของประเภทกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับรูปแบบกิจกรรมที่เกิดขึ้นจริงบนพื้นที่

### 5.2.2 ประเมินการทำงานร่วมกันของระบบเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีแนวทางการวิจัยใกล้เคียงกัน

โดยงานวิจัยได้อาศัยแนวทางที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยในอดีตในการดำเนินการวิจัย ซึ่งนำไปสู่การทดลองนำผลลัพธ์ไปทดลองใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์เชิงพารามेटริก โดยงานที่ผ่านมาได้อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างการวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหว (วิดีโอ)

งานวิจัยนี้ได้ทดแทนรูปแบบการวิเคราะห์ดังกล่าวด้วยระบบการรู้จำวัตถุซึ่งสามารถนำไปประเมินเปรียบเทียบกับงานอื่นที่คล้ายคลึงในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามेटริกดังนี้

ตารางที่ 5.3

ตารางเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบการประเมิน	งานวิจัยนี้	งานวิจัย “Using Human Motion,” (2011)	งานวิจัย “Human-Based Design and,” (2016)
<b>อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง</b>			
ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ ตรวจจับ	สมาร์ทโฟน	กล้องวิดีโอ	กล้องวิดีโอ
<b>ส่วนการตรวจจับวัตถุ</b>			
ความแม่นยำในการ ตรวจจับวัตถุ	ปานกลาง เนื่องจาก ระบบมีความผิดพลาด ในการระบุวัตถุ	ดี เนื่องจากไม่มีการ ประมวลผลผลลัพธ์ใน ขั้นตอนนี้	ดี เนื่องจากไม่มีการ ประมวลผลผลลัพธ์ใน ขั้นตอนนี้
ผลลัพธ์ที่ได้จากการ ตรวจจับ	ข้อมูลตัวแปร 3 ชนิด ของวัตถุที่ตรวจจับได้	ภาพเคลื่อนไหว (วิดีโอ)	ภาพเคลื่อนไหว (วิดีโอ)
ลักษณะการนำผลลัพธ์ ที่ได้ไปใช้งานต่อ	ไฟล์เก็บข้อมูลแบบ ตาราง สกุล .csv	ใช้คอมพิวเตอร์ ประมวลผลภาพ	ใช้คอมพิวเตอร์ ประมวลผลภาพ

## ตารางที่ 5.3

ตารางเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

รูปแบบการประเมิน	งานวิจัยนี้	งานวิจัย “Using Human Motion,” (2011)	งานวิจัย “Human-Based Design and,” (2016)
<b>ส่วนการตรวจจับวัตถุ</b>			
การนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งานต่อ	ผู้ใช้งานสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ต่อได้เลย	ไม่ได้ นอกจากทำการประมวลผลภาพเสร็จก่อน	ไม่ได้ นอกจากทำการประมวลผลภาพเสร็จก่อน
การแก้ไขข้อมูล	ไม่ได้ เพราะไม่มีการเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหวไว้เปรียบเทียบ	ได้ เพราะข้อมูลดิบ (ภาพเคลื่อนไหว) ถูกบันทึกไว้	ได้ เพราะข้อมูลดิบ (ภาพเคลื่อนไหว) ถูกบันทึกไว้
<b>การทดลองนำไปใช้</b>			
วิธีการนำเข้าสู่ระบบ	นำเข้าสู่ระบบโดยตรง	ต้องผ่านการประมวลผลก่อน	ต้องผ่านการประมวลผลก่อน
ประเภทของข้อมูลที่นำไปใช้	ข้อมูลตัวแปร 3 ชนิดจากระบบการรู้จำวัตถุ	ตำแหน่งการเคลื่อนไหวของคน	ตำแหน่งการเคลื่อนไหวของคน
รูปแบบการแปลงผลข้อมูล	ผังแสดงตำแหน่งวัตถุและคน	ผังแสดงตำแหน่งการเคลื่อนไหวของคน	ผังแสดงการเข้าออกพื้นที่
ชนิดของแบบจำลอง	แบบจำลองสามมิติจากตัวแปร	แบบจำลองสามมิติจากแผนผัง	แบบจำลองสามมิติจากแผนผัง

หมายเหตุ. ประเมินโดยผู้วิจัย

จากการเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่าง Using Human Motion Intensity As Input For Urban Design โดย Esben et al. (2011) และ Human-Based Design and digital fabrication behavioral mapping parametric knitter (BMPK) โดย Kalantari et al. (2016) (ตารางที่ 5.3) จะพบว่าลักษณะของงานวิจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 งานนั้นมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ในระหว่างขั้นตอนการตรวจจับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ภายในงานวิจัยนี้มี

ความยืดหยุ่นกว่า งานวิจัยทั้งสองในการนำไปใช้งานต่อ เนื่องจากการจะนำข้อมูลภาพเคลื่อนไหวไปใช้งานต่อนั้น จำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมแยกขึ้นมาอีกเพื่อแปลงข้อมูลที่ได้จากภาพเคลื่อนไหว ให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ผู้ใช้งานแต่ละคนต้องการ การที่งานวิจัยนี้สามารถส่งข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นไฟล์เก็บข้อมูลแบบตาราง ในสกุล .csv นั้นทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเข้าไปยุ่งเกี่ยวกับกระบวนการประมวลผลภาพ (Image-Processing) และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานต่อได้เลย

โดยวิธีดังกล่าวมีข้อดีอยู่ เนื่องจากระบบได้ทำการประมวลผลผลลัพธ์เรียบร้อยแล้วตั้งแต่ต้นภายในแอปพลิเคชัน ดังนั้นผลลัพธ์อาจมีความคลาดเคลื่อนได้ จากการระบุชนิดและตำแหน่งของวัตถุที่ผิดพลาด โดยที่ไม่มีข้อมูลอ้างอิงได้ว่าผิดพลาดอย่างไร ยกเว้นทำการบันทึกวิดีโอแยกอีกชุดหนึ่งเพื่อทำการเปรียบเทียบ ซึ่งนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันคือแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก แต่ด้วยชั้นข้อมูลภายในงานวิจัยนี้ที่อาศัยตัวแปรจากระบบการรู้จำวัตถุเพิ่มเติม ทำให้แบบจำลองมีความซับซ้อนมากกว่า และอาศัยการจัดการของผู้ใช้งานให้น้อยลงเพราะใช้ค่าตัวแปรในการจัดการแบบจำลองโดยอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

### 5.3 ข้อจำกัดของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นภายในงานวิจัย

ระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นมีข้อจำกัดบางประการที่อาจส่งผลต่อการใช้งาน ที่ต้องได้รับการระบุ โดยสามารถแบ่งข้อจำกัดดังกล่าวออกได้เป็น 2 ส่วนตามกระบวนการวิจัย คือ 1) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับแอปพลิเคชันระบบการรู้จำวัตถุ 2) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามетริก

#### 5.3.1 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับแอปพลิเคชันระบบการรู้จำวัตถุ

ระบบไม่สามารถเรียนรู้เพิ่มเติมหรือสอนตัวเองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบได้ด้วยพื้นฐานของระบบและแอปพลิเคชันซึ่งมีพื้นฐานบนแอปพลิเคชัน Forge และเอพีไอ (API) ของแอปเปิล ทำให้ผลลัพธ์จากชุดข้อมูลที่ได้นั้นถือเป็นสิ้นสุด โดยหากต้องการตรวจจับวัตถุอื่นหรือต้องการประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม จำเป็นต้องทำการสร้างชุดข้อมูลใหม่ทุกครั้ง เช่น ภายในงานวิจัยนี้ต้องการตรวจจับองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ปรากฏอยู่บนพื้นที่เพิ่มเติม อย่างตัวป้ายรถโดยสารประจำทางเอ็นจีวี และถังขยะ (ภาพที่ 5.1) ในขณะที่ชุดข้อมูลเดิมที่อาศัยข้อมูลจากชุดข้อมูล Pascal-Voc ที่สามารถตรวจจับวัตถุได้ 20 ชนิด หากผู้ใช้งานต้องการเพิ่มชนิดของวัตถุให้ระบบสามารถตรวจจับได้ ผู้ใช้งานมีทางเลือก 2 แบบคือ

1) ทำการแจกแจงชุดข้อมูลเดิม (Pascal-Voc) ออกเป็นข้อมูลดิบ ซึ่งประกอบด้วย ภาพ และข้อมูลอภิพันธ์ที่ทำการแปลงให้อยู่ในแบบแผนของโครงข่ายประสาทเทียม ดาร์คเน็ตเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงเพิ่มเติมข้อมูลวัตถุที่ต้องการเพิ่มเติมเข้าไปทั้งภาพและข้อมูลอภิพันธ์ ก่อนทำการสอนข้อมูลชุดนั้นใหม่อีกครั้งหนึ่ง

2) ทำการสร้างชุดข้อมูลใหม่แยกจากเดิมโดยสิ้นเชิง ซึ่งวิธีนี้จำเป็นต้องทำการบรรจุชุดข้อมูลลงแอปพลิเคชันใหม่ทุกครั้ง หรือทำการสร้างแอปพลิเคชันซ้ำแยกตามประเภทชุดข้อมูลออกไป และผลลัพธ์ที่ได้จะถูกแยกอยู่คนละไฟล์ไม่มีความเกี่ยวข้องกัน

นอกจากนี้การนำผลลัพธ์ไปใช้งานต่อในปัจจุบันต้องพึงพาการส่งออกข้อมูล โดยผู้ใช้งานเพื่อนำไปใช้งานต่อกับระบบอื่น เช่น ภายในงานวิจัยทดลองนำค่าที่ได้ไปทดลองใช้กับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก การนำเข้าข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุนั้นทำโดยการส่งไฟล์ไปยังตำแหน่งที่ผู้ใช้งานสะดวก และกำหนดตำแหน่งที่จะค้นหาภายในซอฟต์แวร์เชิงพาราเมตริกอีกครั้ง ข้อจำกัดนี้ทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์โดยไม่มีผู้ใช้งานเข้ามาเกี่ยวข้องได้

### 5.3.2 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก

ในส่วนของการสร้างแบบจำลองเชิงพาราเมตริกนั้นระบบถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถรับข้อมูลและแจกแจงข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุที่ส่งออกมาในรูปแบบไฟล์สกุล .csv ได้ก็จริง แต่ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีความรู้ในการใช้งานซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริก เช่น กราฟฮอปเปอร์ ได้ด้วย เนื่องจากในกระบวนการขึ้นแบบจำลอง จำเป็นต้องให้ผู้ใช้งานเป็นคนกำหนดเงื่อนไขในการสร้างแบบจำลองสามมิติขึ้นใหม่เอง หากต้องการนำไปปรับใช้กับรูปแบบสถานการณ์อื่น ๆ โดยใช้ระบบในการแจกแจงข้อมูลจากระบบการรู้จำวัตถุในการเริ่มต้นพัฒนาอัลกอริทึมและกำหนดเงื่อนไขในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกจากระบบที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยระบบจะช่วยในการแบ่งข้อมูลทั้ง 3 ประเภทให้ผู้ใช้งานสามารถดึงนำค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ เหล่านั้นไปใช้ได้โดยง่าย

จากข้อจำกัดดังกล่าว อาจทำให้ผู้ใช้งานซึ่งไม่มีความรู้ความเข้าใจในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกเลยนั้น ไม่สามารถนำระบบในส่วนของการสร้างแบบจำลองไปทดลองใช้กับงานออกแบบของตนได้ เนื่องจากอัลกอริทึมในงานวิจัยนี้ถูกตั้งเงื่อนไขเพื่อออกแบบสำหรับพื้นที่ในกรณีศึกษาเท่านั้น ยกเว้นในส่วนของการนำเข้าและแจกแจงข้อมูล

#### 5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

ด้วยเวลาและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการศึกษา ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแนวทางพัฒนาระบบ และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำไปใช้ เพื่อให้สามารถใช้งานวิจัยได้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนี้

1) เพิ่มเติมการพัฒนาแอปพลิเคชันให้สามารถสอนตัวเองได้ (Machine Learning) เพื่อให้ประสิทธิภาพโดยรวมในการระบุวัตถุที่มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดการใช้งาน เนื่องจากในปัจจุบันแอปพลิเคชันถูกพัฒนาเป็นระบบปิดทำให้ระบบไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเองได้

2) ปัจจุบันการส่งออกข้อมูลยังจำเป็นต้องพึ่งการสั่งการจากผู้ใช้งาน ทำให้การนำข้อมูลไปใช้งานต่ออย่างซอฟต์แวร์อื่น ๆ เช่น การสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามิเตอร์ในกรณีศึกษาของงานวิจัยฉบับนี้ ไม่สามารถทำได้แบบต่อเนื่อง การส่งออกข้อมูลออกมาได้อัตโนมัติจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้และแสดงผลลัพธ์ได้โดยทันที โดยอาจใช้เทคโนโลยี เช่น ระบบฐานข้อมูลออนไลน์ เป็นต้น

3) พัฒนาแนวทางในการนำผลลัพธ์ที่ได้จากแอปพลิเคชันระบบการรู้จำวัตถุตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการสร้างชุดข้อมูลใหม่ ๆ ตามที่ต้องการแล้วไปปรับใช้ตามที่เหมาะสม เช่น การวิเคราะห์พื้นที่ในกระบวนการออกแบบ การนำไปปรับใช้ในงานสถาปัตยกรรมที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน หรือการนำไปปรับใช้กับระบบไฟในอาคาร เป็นต้น เพื่อช่วยลดความจำเป็นในการจัดการและการทำงานของคน

4) นำแนวทางที่ได้ไปทดลองใช้ในการวางแผนจัดการพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร และการจัดการด้านพลังงานภายในอาคาร โดยการนำไปเชื่อมโยงกับระบบฐานข้อมูลออนไลน์ เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันและระบบที่ใช้ในการบริหารจัดการเดิม เพื่อเพิ่มตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์แก่ระบบ

## รายการอ้างอิง

### หนังสือและบทความในหนังสือ

- Hanson, H. B. (1999). *Space is the machine: a configurational theory of architecture*. New York: Cambridge University Press.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. New York: Cambridge University Press.
- Jabi, W. (2013). *Parametric design for architecture*. London: Laurence King Publishing.
- Knoll, M. A. (1966). *Computers and the visual arts*. *Design quarterly*, (66/67), 64-71.
- Rynne, A., & Gaughran, W. F. (2007). *Cognitive modeling strategies for optimum design intent in parametric modeling*. *Computers in Education Journal*. American Society for Engineering Education. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/237478324>
- Whyte, W. H. (1998). *The social life of small urban spaces*. Project for Public Spaces.

### บทความวารสาร

- Aknar, M., & Atun, R. A. (2017). Predicting movement in architectural space. *Architectural Science Review, Volume 60, 2017*(Issue 1) DOI: 10.1080/00038628.2016.1254594
- Arbelaez, P., Maire, M., Fowlkes, C., & Malik, J. (2011). Contour detection and hierarchical image segmentation. *PAMI*.
- Brcsic, D., Kanda, T., Ikeda, T., & Miyashita, T. (2013). Person tracking in large public spaces using 3-D range sensors. *IEEE Transactions on human-machine systems, Volume 43*. 522-534. DOI:10.1109/THMS.2013.2283945
- Everingham, M., Van Gool, L., Williams, C. K. I., Winn, J. & Zisserman (2010). The PASCAL Visual Object Classes (VOC) Challenge Everingham. *A. International Journal of Computer Vision, 88*(2). 303-338.

- Kalantari, S., Poustinchi, E., & Ahmadi, N. (2016) Human-Based Design and digital fabrication behavioral mapping parametric knitter (BMPK). *E-periodical: 2251-371X, Volume 4, Issue 1*. 13 - 17. DOI:10.5176/2251-3701\_4.1.167
- Kettner, V., Zabih, R. (1999). Counting People from multiple cameras. *Proceedings IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*. DOI:10.1109/MMCS.1999.778358
- Parsaei, M. (2016). Interactive architectural approach (interactive architecture): An effective and adaptive process for architectural design. *HBRC Journal, Volume 12, Issue 3*. 327-336.
- Pinto, N., Cox, D. D., DiCarlo, J. J. (2008). Why is Real-World Visual Object Recognition Hard. *PLoS Comput Biol, Volume 4*. 151-156. DOI:10.1371/journal.pcbi.0040027.
- Poulsen, E. S., Andersen, H. J., Gade, R., Jensen, O. B., & Moeslund, T. B. (2012). Using Human Motion Intensity as Input for Urban Design. *In Constructing Ambient Intelligence Vol. 277*. 128-136. Amsterdam: Springer. Communications in Computer and Information Science, Vol. 277. DOI: 10.1007/978-3-642-31479-7\_20
- Samuel, A. L. (1959). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of Research and Development archive, Volume 3, Issue 3*. 210-229.
- Stavric, M. & Marina, O. (2011). *Parametric modeling for advanced architecture*. International journal of applied mathematics and informatics. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/285467523>
- Taiqing, W., Shaogang, G., Xiatian, Z., & Shengjin, W. (2014). Person re-identification by video ranking. *ECCV European conference on computer vision 2014*. 688-703.
- Vroman, L., & Lagrange, T. (2017). Human movement in Public spaces: The use and development of motion-oriented design strategies. *The Design Journal An International Journal for All Aspects of Design, Volume 20, 2017*(Issue 1). 252-261. DOI:10.1080/14606925.2017.1352830

- Wei, Y., Forsyth, D. A. (2005). Learning the behavior of users in a public space through video tracking. In application of computer vision. *WACV/MOTIONS'05 Volume 1. Seventh IEEE Workshops Vol. 1.* 370-377.
- Wells, A. (2012) The importance of design thinking for technological literacy: A phenomenological perspective. *International Journal of Technology and Design Education 23(3)*. DOI:10.1007/s10798-012-9207-7

### รายงานการวิจัย

- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2015). *You Only Look Once: Unified, Real-time object detection*. University of Washington, Allen Institute for AI, Facebook AI Research. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1506.02640>
- Yihui, H. (2016). *Object detection with YOLO on artwork dataset*. Computer Science Department, Xi'an Jiaotong University. Retrieved from [http://nbviewer.jupyter.org/github/yihui-he/Objects-Detection-with-YOLO-on-Artwork-Dataset/blob/master/Report\\_Yihui.pdf](http://nbviewer.jupyter.org/github/yihui-he/Objects-Detection-with-YOLO-on-Artwork-Dataset/blob/master/Report_Yihui.pdf)
- Zhong, H., & Shi, J. (2003). *Finding (Un) Usual Events in Video* (CMU-RI-TR-0305). University of Pennsylvania Philadelphia, PA 19104. Retrieved from [https://www.semanticscholar.org/paper/Finding-\(-Un-\)-Usual-Events-in-Video-CMU-RI-TR-0305-Zhong-Shi/7ad177534ee20285ea97e16e9fcb6281ca53d9c0](https://www.semanticscholar.org/paper/Finding-(-Un-)-Usual-Events-in-Video-CMU-RI-TR-0305-Zhong-Shi/7ad177534ee20285ea97e16e9fcb6281ca53d9c0)

### สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- Redmon, J. (2013) Re: You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection (versions 2 & 3). Retrieved from <https://github.com/AlexeyAB/darknet>
- Tijtgat, N. (2017, May 16) Re: How to train YOLOv2 to detect custom objects [Web blog message]. Retrieved from <https://timebutt.github.io/static/how-to-train-yolov2-to-detect-custom-objects/>





ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## อัลกอริทึมที่พัฒนาเพิ่มเติมแก่แอปพลิเคชัน Forge

## CameraViewController

```
//  
// ViewController.swift  
// Test 2  
//  
// Created by Sitthitouch Surabotsopon on 17/10/17.  
// Copyright © 2017 Sitthitouch Surabotsopon. All rights reserved.  
  
import UIKit  
import Vision  
import AVFoundation  
import CoreMedia  
import VideoToolbox  
import os.log  
import CSV  
  
class CameraViewController: UIViewController {  
    @IBOutlet weak var videoPreview: UIView!  
    @IBOutlet weak var timeLabel: UILabel!  
    @IBOutlet weak var debugImageView: UIImageView!  
    @IBOutlet weak var objectsListLabel: UILabel!  
    //@IBOutlet weak var saveButton: UIBarButtonItem!  
  
    let yolo = YOLO()  
  
    var videoCapture: VideoCapture!
```

```
var request: VNCoreMLRequest!
var startTimes: [CFTimeInterval] = []

var boundingBoxes = [BoundingBox]()
var colors: [UIColor] = []

let ciContext = CIContext()
var resizedPixelBuffer: CVPixelBuffer?

var framesDone = 0
var frameCapturingStartTime = CACurrentMediaTime()
let semaphore = DispatchSemaphore(value: 2)

var buttonIsSelected = false
var fileCount: Int = 0

var objectName: String = ""
var objectDataX: Int = 0
var objectDataY: Int = 0
var objectBoundingX: Int = 0
var objectBoundingY: Int = 0

struct objectProperties {
    var dataName: [String]
    var dataX: [Int]
    var dataY: [Int]
    var boundingX: [Int]
    var boundingY: [Int]

    init() {
        dataName = []
    }
}
```

```
        dataX = []
        dataY = []
        boundingX = []
        boundingY = []
    }
}

var objects = objectProperties()
var addData: Timer?

var fileName: String?
var descData: String?
var csvFile: URL?

var objectNo: [String] = []

override func viewDidLoad() {
    super.viewDidLoad()

    timeLabel.text = ""

    setUpBoundingBoxes()
    setUpCoreImage()
    setUpVision()
    setUpCamera()

    frameCapturingStartTime = CACurrentMediaTime()
}

override func didReceiveMemoryWarning() {
```

```
super.didReceiveMemoryWarning()
print(#function)
}

// MARK: - Initialization

func setUpBoundingBoxes() {
    for _ in 0..
```

```

func setUpVision() {
    guard let visionModel = try? VNCoreMLModel(for: yolo.model.model) else {
        print("Error: could not create Vision model")
        return
    }

    request = VNCoreMLRequest(model: visionModel, completionHandler:
visionRequestDidComplete)

    // NOTE: If you choose another crop/scale option, then you must also
    // change how the BoundingBox objects get scaled when they are drawn.
    // Currently they assume the full input image is used.
    request.imageCropAndScaleOption = .scaleFill
}

func setUpCamera() {
    videoCapture = VideoCapture()
    videoCapture.delegate = self
    videoCapture.fps = 50
    videoCapture.setUp(sessionPreset: AVCaptureSession.Preset.vga640x480) {
success in
    if success {
        // Add the video preview into the UI.
        if let previewLayer = self.videoCapture.previewLayer {
            self.videoPreview.layer.addSublayer(previewLayer)
            self.resizePreviewLayer()
        }

        // Add the bounding box layers to the UI, on top of the video preview.
        for box in self.boundingBoxes {

```

```

        box.addToLayer(self.videoPreview.layer)
    }

    // Once everything is set up, we can start capturing live video.
    self.videoCapture.start()
}
}

// MARK: Action
@IBAction func saveButton(_ sender: UIBarButtonItem) {
    saveFileName()
}

@IBAction func recordButton(_ sender: UIButton) {
    buttonIsSelected = !buttonIsSelected
    updateFile()

    for no in stride(from: 0, to: objectNo.count, by: 1) {
        print(objects.boundingBox[no])
    }
}

private func updateFile() {
    if buttonIsSelected {
        addData = Timer.scheduledTimer(timeInterval: 1, target: self, selector:
#selector(appendData), userInfo: nil, repeats: true)
        print(objects.dataName)
        print(buttonIsSelected)
    } else {

```

```

        // stop timer
        addData?.invalidate()
        addData = nil

        fileCount += 1

        print(fileCount)
        print(objects.dataName, "x: ",objects.dataX, "y: ", objects.dataY,
objects.boundingX," x ",objects.boundingY)
        print(buttonsSelected)
    }
}

@objc private func appendData() {
    if objectDataX > 0 && objectDataY > 0 {
        objects.dataName.append(objectName)
        objects.dataX.append(objectDataX)
        objects.dataY.append(objectDataY)
        objects.boundingX.append(objectBoundingX)
        objects.boundingY.append(objectBoundingY)
        objectNo.append(objectName)
    }
}

func saveFileName() {
    let alert = UIAlertController(title: "Save As", message: "Please enter the file
name", preferredStyle: .alert)
    alert.addTextField(configurationHandler: {(nameField) -> Void in
        nameField.placeholder = "Enter the file name"
        nameField.textAlignment = .center
    })
}

```



```

alert.addTextField(configurationHandler: {(descField) -> Void in
    descField.placeholder = "Enter the your descriptions"
    descField.textAlignment = .center
})
alert.addAction(UIAlertAction(title: "Cancel", style: .cancel, handler: { (actions:
UIAlertAction) -> Void in
}))

alert.addAction(UIAlertAction(title: "Save", style: .default, handler: { (actions:
UIAlertAction) -> Void in
    let nameFieldData = alert.textFields![0]
    let descFieldData = alert.textFields![1]
    self.fileName = nameFieldData.text ?? ""
    self.descData = descFieldData.text ?? ""
    print(alert.textFields![0])
    let saveCSV = self.saveCSVFiles()
    print(saveCSV.lastPathComponent)

    self.performSegue(withIdentifier: "unwindToCSVList", sender: self)
}))

self.present(alert, animated: true, completion: nil)
}

// MARK: - File management
func saveCSVFiles() -> URL {
    let itemList = objectNo
    let fileManager = FileManager.default

```

```

    let documentDirectory = fileManager.urls(for: .documentDirectory, in:
.userDomainMask)[0]
    csvFile = documentDirectory.appendingPathComponent("\(fileName!).csv")
    let path = csvFile

    let stream = OutputStream(url: csvFile!, append: false)
    let csv = try! CSVWriter(stream: stream!)

    try! csv.write(row: ["name", "x", "y", "width", "height"])

    print(csv)
    for no in 0..

```

```
// MARK: - UITextField

// This method lets you configure a view controller before it's presented.
override func prepare(for segue: UIStoryboardSegue, sender: Any?) {
    super.prepare(for: segue, sender: sender)
}

// MARK: - UI stuff

override func viewWillLayoutSubviews() {
    super.viewWillLayoutSubviews()
    resizePreviewLayer()
}

override var preferredStatusBarStyle: UIStatusBarStyle {
    return .lightContent
}

func resizePreviewLayer() {
    videoCapture.previewLayer?.frame = videoPreview.bounds
}

// MARK: - Doing inference

func predict(image: UIImage) {
    if let pixelBuffer = image.pixelBuffer(width: YOLO.inputWidth, height:
YOLO.inputHeight) {
        predict(pixelBuffer: pixelBuffer)
    }
}
```

```

func predict(pixelBuffer: CVPixelBuffer) {
    // Measure how long it takes to predict a single video frame.
    let startTime = CACurrentMediaTime()

    // Resize the input with Core Image to 416x416.
    guard let resizedPixelBuffer = resizedPixelBuffer else { return }
    let ciImage = CIImage(cvPixelBuffer: pixelBuffer)
    let sx = CGFloat(YOLO.inputWidth) / CGFloat(CVPixelBufferGetWidth(pixelBuffer))
    let sy = CGFloat(YOLO.inputHeight) /
    CGFloat(CVPixelBufferGetHeight(pixelBuffer))
    let scaleTransform = CGAffineTransform(scaleX: sx, y: sy)
    let scaledImage = ciImage.transformed(by: scaleTransform)
    ciContext.render(scaledImage, to: resizedPixelBuffer)

    // This is an alternative way to resize the image (using vImage):
    //if let resizedPixelBuffer = resizePixelBuffer(pixelBuffer,
    //        width: YOLO.inputWidth,
    //        height: YOLO.inputHeight)

    // Resize the input to 416x416 and give it to our model.
    if let boundingBoxes = try? yolo.predict(image: resizedPixelBuffer) {
        let elapsed = CACurrentMediaTime() - startTime
        showOnMainThread(boundingBoxes, elapsed)
    }
}

```

```

func predictUsingVision(pixelBuffer: CVPixelBuffer) {
    // Measure how long it takes to predict a single video frame. Note that
    // predict() can be called on the next frame while the previous one is
    // still being processed. Hence the need to queue up the start times.

```

```

startTimes.append(CACurrentMediaTime())

// Vision will automatically resize the input image.
let handler = VNImageRequestHandler(cvPixelBuffer: pixelBuffer)
try? handler.perform([request])
}

func visionRequestDidComplete(request: VNRequest, error: Error?) {
    if let observations = request.results as? [VNCoreMLFeatureValueObservation],
        let features = observations.first?.featureValue.multiArrayValue {

        let boundingBoxes = yolo.computeBoundingBoxes(features: features)
        let elapsed = CACurrentMediaTime() - startTimes.remove(at: 0)
        showOnMainThread(boundingBoxes, elapsed)
    }
}

func showOnMainThread(_ boundingBoxes: [YOLO.Prediction], _ elapsed:
CFTimeInterval) {
    DispatchQueue.main.async {
        // For debugging, to make sure the resized CVPixelBuffer is correct.
        //var debugImage: CGImage?
        //VTCreatCGImageFromCVPixelBuffer(resizedPixelBuffer, nil, &debugImage)
        //self.debugImageView.image = UIImage(cgImage: debugImage!)

        self.show(predictions: boundingBoxes)

        let fps = self.measureFPS()
        let currentObject = self.showRecorded
        self.timeLabel.text = String(format: "%.0f FPS", fps)
        self.objectsListLabel.text = String(format: "%@", currentObject)
    }
}

```

```

        self.semaphore.signal()
    }
}

func measureFPS() -> Double {
    // Measure how many frames were actually delivered per second.
    framesDone += 1
    let frameCapturingElapsed = CACurrentMediaTime() - frameCapturingStartTime
    let currentFPSDelivered = Double(framesDone) / frameCapturingElapsed
    if frameCapturingElapsed > 1 {
        framesDone = 0
        frameCapturingStartTime = CACurrentMediaTime()
    }
    return currentFPSDelivered
}

func showRecorded() -> String {
    let currentObject = String(describing: objects.dataName.last ?? "")

    return currentObject
}

func show(predictions: [YOLO.Prediction]) {
    for i in 0..

```

```

// and bottom.
let width = view.bounds.width
let height = width * 4 / 3
let scaleX = width / CGFloat(YOLO.inputWidth)
let scaleY = height / CGFloat(YOLO.inputHeight)
let top = ((view.bounds.height - height) / 2) - 64

// Translate and scale the rectangle to our own coordinate system.
var rect = prediction.rect
rect.origin.x *= scaleX
rect.origin.y *= scaleY
rect.origin.y += top
rect.size.width *= scaleX
rect.size.height *= scaleY

objectName = String(labels[prediction.classIndex])
objectDataX = Int(rect.origin.x * scaleX)
objectDataY = Int(rect.origin.y * scaleY)
objectBoundingX = Int(rect.size.width * scaleX)
objectBoundingY = Int(rect.size.height * scaleY)

// Show the bounding box.
let label = String(format: "%@ %.1f x: %d,y: %d",
labels[prediction.classIndex], prediction.score * 100, objectDataX, objectDataY)
let color = colors[prediction.classIndex]
boundingBoxes[i].show(frame: rect, label: label, color: color)
} else {
    boundingBoxes[i].hide()
}
}
}
}

```

```
}

extension CameraViewController: VideoCaptureDelegate {
    func videoCapture(_ capture: VideoCapture, didCaptureVideoFrame pixelBuffer:
    CVPixelBuffer?, timestamp: CMTime) {
        // For debugging.
        //predict(image: UIImage(named: "dog416")); return

        semaphore.wait()

        if let pixelBuffer = pixelBuffer {
            // For better throughput, perform the prediction on a background queue
            // instead of on the VideoCapture queue. We use the semaphore to block
            // the capture queue and drop frames when Core ML can't keep up.
            DispatchQueue.global().async {
                //self.predict(pixelBuffer: pixelBuffer)
                self.predictUsingVision(pixelBuffer: pixelBuffer)
            }
        }
    }
}
}
}
}
}
}
}
```

### TableViewController

```
//
// TableViewController.swift
// Test 2
```



```
//  
// Created by Sitthitouch Surabotsopon on 18/10/17.  
// Copyright © 2017 Sitthitouch Surabotsopon. All rights reserved.  
//  
  
import UIKit  
import QuickLook  
import CSV  
  
class TableViewController: UIViewController, UITableViewDelegate,  
UITableViewDataSource, QLPreviewControllerDataSource {  
  
    @IBOutlet weak var objectFilesList: UITableView!  
    @IBOutlet weak var tableView: UITableView!  
  
    let quickLookController = QLPreviewController()  
  
    var fileURLs = [URL]()  
  
    override func viewDidLoad() {  
        super.viewDidLoad()  
        //quickLookController.dataSource = self  
        prepareFileURLs()  
        quickLookController.dataSource = self  
        // Do any additional setup after loading the view.  
        //self.navigationItem.leftBarButtonItem = self.editButtonItem  
    }  
  
    override func didReceiveMemoryWarning() {  
        super.didReceiveMemoryWarning()  
    }
```

```
// Dispose of any resources that can be recreated.
}

override func viewWillAppear(_ animated: Bool) {
    super.viewWillAppear(true)
    tableView.reloadData()
}

// MARK: - Navigation

private func getFileTypeFromFileExtension(fileExtension: String) -> String {
    var fileType = ""

    switch fileExtension {
    case "csv":
        fileType = "CSV document"
    default:
        fileType = "Text document"
    }

    return fileType
}

// MARK: Table Methods

func tableView(_ tableView: UITableView, numberOfRowsInSection section: Int) ->
Int {
    return fileURLs.count
}

func tableView(_ tableView: UITableView, cellForRowAt indexPath: IndexPath) ->
UITableViewCell {
```

```

let objectIdentifier = "ObjectsTableViewCell"

guard let cell = tableView.dequeueReusableCell(withIdentifier: objectIdentifier,
for: indexPath) as? ObjectsTableViewCell else {
    fatalError("The dequeued cell is not an instance of ObjectsTableViewCell")
}

//quickview
// Fetches the appropriate object for the data source layout
let currentFileParts = extractAndBreakFilenameInComponents(fileURL:
fileURLs[indexPath.row])
cell.nameLabel.text = currentFileParts.fileName
//quickview
cell.descriptionLabel.text = getFileTypeFromFileExtension(fileExtension:
currentFileParts.fileExtension!)

return cell
}

func tableView(_ tableView: UITableView, didSelectRowAt indexPath: IndexPath) {

if QLPreviewController.canPreview(fileURLs[indexPath.row] as QLPreviewItem) {
    quickLookController.currentPreviewItemIndex = indexPath.row
    navigationController?.pushViewController(quickLookController, animated:
true)
}
}

func tableView(_ tableView: UITableView, canEditRowAt indexPath: IndexPath) ->
Bool {

```

```

// Return false if you do not want the specified item to be editable.
return true
}

func tableView(_ tableView: UITableView, commit editingStyle:
UITableViewCellEditingStyle, forRowAt indexPath: IndexPath) {
    if editingStyle == .delete {
        // Delete the row from the data source
        do {
            try FileManager.default.removeItem(at: fileURLs[indexPath.row])
            fileURLs.remove(at: indexPath.row)
            print(indexPath.row)
            tableView.deleteRows(at: [indexPath], with: .fade)
            UIView.animate(withDuration: 0.25, animations: {
                self.tableView.reloadData()
            }) catch {
                print(error.localizedDescription)
            }
        } else if editingStyle == .insert {
            // Create a new instance of the appropriate class, insert it into the array, and
            add a new row to the table view
        }
    }

    // MARK: Action
    @IBAction func unwindToCSVList(sender: UIStoryboardSegue) {
        fileURLs.removeAll()
        prepareFileURLS()
    }
}

```

```

// MARK: Quicklook
func numberOfPreviewItems(in controller: QLPreviewController) -> Int {
    return fileURLs.count
}

func previewController(_ controller: QLPreviewController, previewItemAt index:
Int) -> QLPreviewItem {
    return fileURLs[index] as QLPreviewItem
}

// MARK: Private Methods
private func prepareFileURLS() {
    let fileManager = FileManager.default
    let path = fileManager.urls(for: .documentDirectory, in: .userDomainMask).first!

    do {
        let directoryContents = try fileManager.contentsOfDirectory(at: path,
includingPropertiesForKeys: nil, options: .skipsHiddenFiles)

        for fileName in stride(from: 0, to: directoryContents.count, by: 1) {
            fileURLs.append(directoryContents[fileName])
        }
    } catch {
        print(error.localizedDescription)
    }
}

private func extractAndBreakFilenameInComponents(fileURL: URL) -> (fileName:
String?, fileExtension: String?) {

```

// Break the NSURL path into its components and create a new array with those components.

```
let fileURLParts = fileURL.path.components(separatedBy: "/")
```

// Get the file name from the last position of the array above.

```
let fileName = fileURLParts.last
```

// Break the file name into its components based on the period symbol (".").

```
let filenameParts = fileName?.components(separatedBy: ".")
```

```
print(filenameParts![0])
```

// Return a tuple.

```
return (filenameParts![0], filenameParts![1])
```

```
}
```

```
}
```

### Helpers.Swift

```
import Foundation
```

```
import UIKit
```

```
import CoreML
```

```
import Accelerate
```

// The labels for the 20 classes.

```
let labels = [
```

```
    "aeroplane", "bicycle", "bird", "boat", "bottle", "bus", "car", "cat",
```

```
    "chair", "cow", "diningtable", "dog", "horse", "motorbike", "person",
```

```
    "pottedplant", "sheep", "sofa", "train", "tvmonitor"
```

```
]
```

```
//let labels = ["NGV", "Bin"]
```

```
let anchors: [Float] = [1.08, 1.19, 3.42, 4.41, 6.63, 11.38, 9.42, 5.11, 16.62, 10.52]
```

```
//let anchors: [Float] = [0.57273, 0.677385, 1.87446, 2.06253, 3.33843, 5.47434,
7.88282, 3.52778, 9.77052, 9.16828]
```

```
/**
```

Removes bounding boxes that overlap too much with other boxes that have a higher score.

Based on code from

[https://github.com/tensorflow/tensorflow/blob/master/tensorflow/core/kernels/non\\_max\\_suppression\\_op.cc](https://github.com/tensorflow/tensorflow/blob/master/tensorflow/core/kernels/non_max_suppression_op.cc)

- Parameters:

- boxes: an array of bounding boxes and their scores
- limit: the maximum number of boxes that will be selected
- threshold: used to decide whether boxes overlap too much

```
*/
```

```
func nonMaxSuppression(boxes: [YOLO.Prediction], limit: Int, threshold: Float) ->
[YOLO.Prediction] {
```

```
// Do an argsort on the confidence scores, from high to low.
```

```
let sortedIndices = boxes.indices.sorted { boxes[$0].score > boxes[$1].score }
```

```
var selected: [YOLO.Prediction] = []
```

```
var active = [Bool](repeating: true, count: boxes.count)
```

```
var numActive = active.count
```

```
// The algorithm is simple: Start with the box that has the highest score.
```

```
// Remove any remaining boxes that overlap it more than the given threshold
```

```

// amount. If there are any boxes left (i.e. these did not overlap with any
// previous boxes), then repeat this procedure, until no more boxes remain
// or the limit has been reached.
outer: for i in 0..

```



```

let areaB = b.width * b.height
if areaB <= 0 { return 0 }

let intersectionMinX = max(a.minX, b.minX)
let intersectionMinY = max(a.minY, b.minY)
let intersectionMaxX = min(a.maxX, b.maxX)
let intersectionMaxY = min(a.maxY, b.maxY)
let intersectionArea = max(intersectionMaxY - intersectionMinY, 0) *
                        max(intersectionMaxX - intersectionMinX, 0)
return Float(intersectionArea / (areaA + areaB - intersectionArea))
}

extension Array where Element: Comparable {
  /**
   Returns the index and value of the largest element in the array.
  */
  public func argmax() -> (Int, Element) {
    precondition(self.count > 0)
    var maxIndex = 0
    var maxValue = self[0]
    for i in 1..

```

Logistic sigmoid.

```
*/
public func sigmoid(_ x: Float) -> Float {
    return 1 / (1 + exp(-x))
}
```

```
/**
```

Computes the "softmax" function over an array.

Based on code from <https://github.com/nikolaypavlov/MLPNeuralNet/>

This is what softmax looks like in "pseudocode" (actually using Python and numpy):

```
x -= np.max(x)
exp_scores = np.exp(x)
softmax = exp_scores / np.sum(exp_scores)
```

First we shift the values of x so that the highest value in the array is 0.

This ensures numerical stability with the exponents, so they don't blow up.

```
*/
public func softmax(_ x: [Float]) -> [Float] {
    var x = x
    let len = vDSP_Length(x.count)

    // Find the maximum value in the input array.
    var max: Float = 0
    vDSP_maxv(x, 1, &max, len)
```

```
// Subtract the maximum from all the elements in the array.
```

```
// Now the highest value in the array is 0.
```

```
max = -max
vDSP_vsadd(x, 1, &max, &x, 1, len)

// Exponentiate all the elements in the array.
var count = Int32(x.count)
vvexpf(&x, x, &count)

// Compute the sum of all exponentiated values.
var sum: Float = 0
vDSP_sve(x, 1, &sum, len)

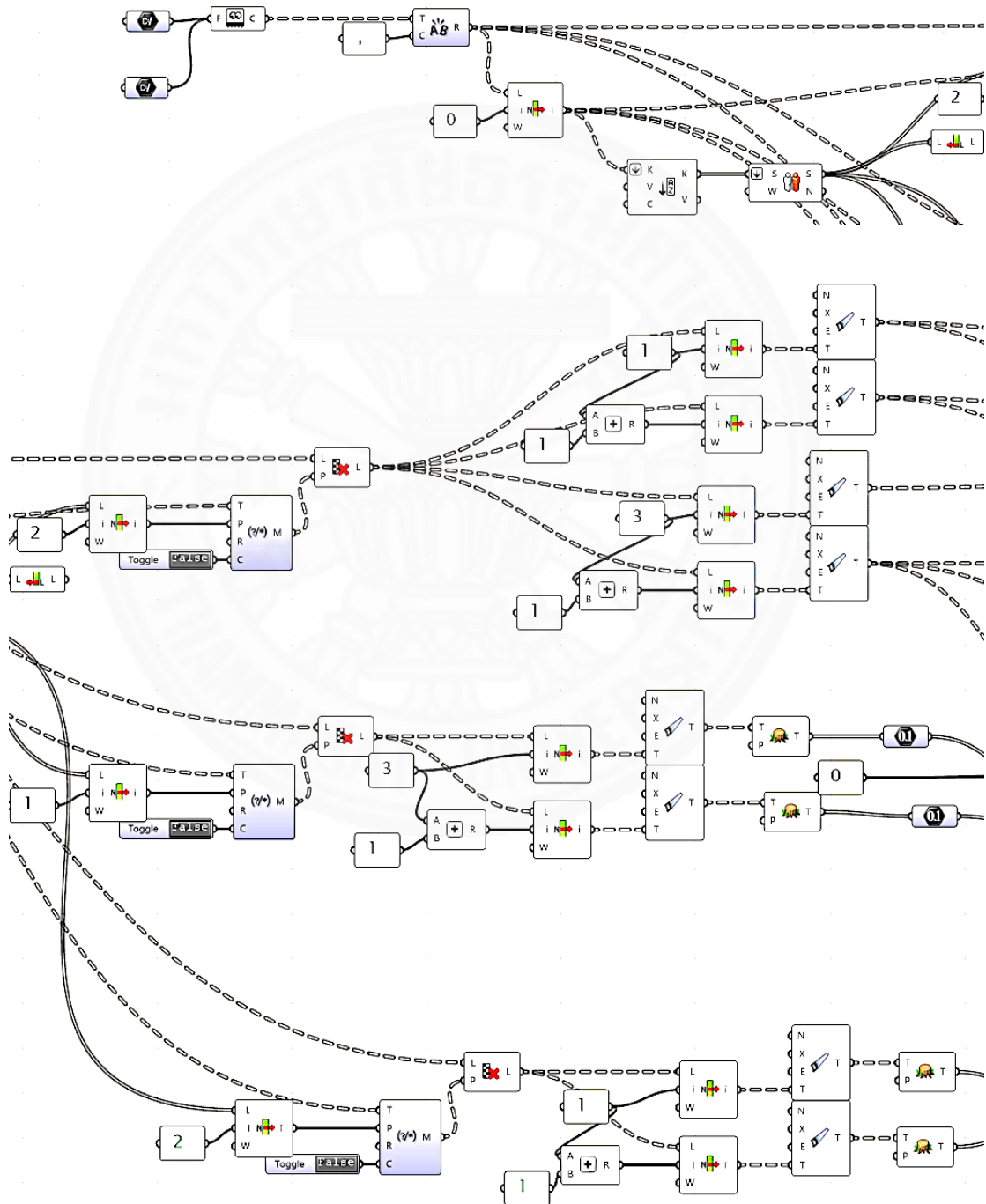
// Divide each element by the sum. This normalizes the array contents
// so that they all add up to 1.
vDSP_vsdiv(x, 1, &sum, &x, 1, len)

return x
}
```

ภาคผนวก ข

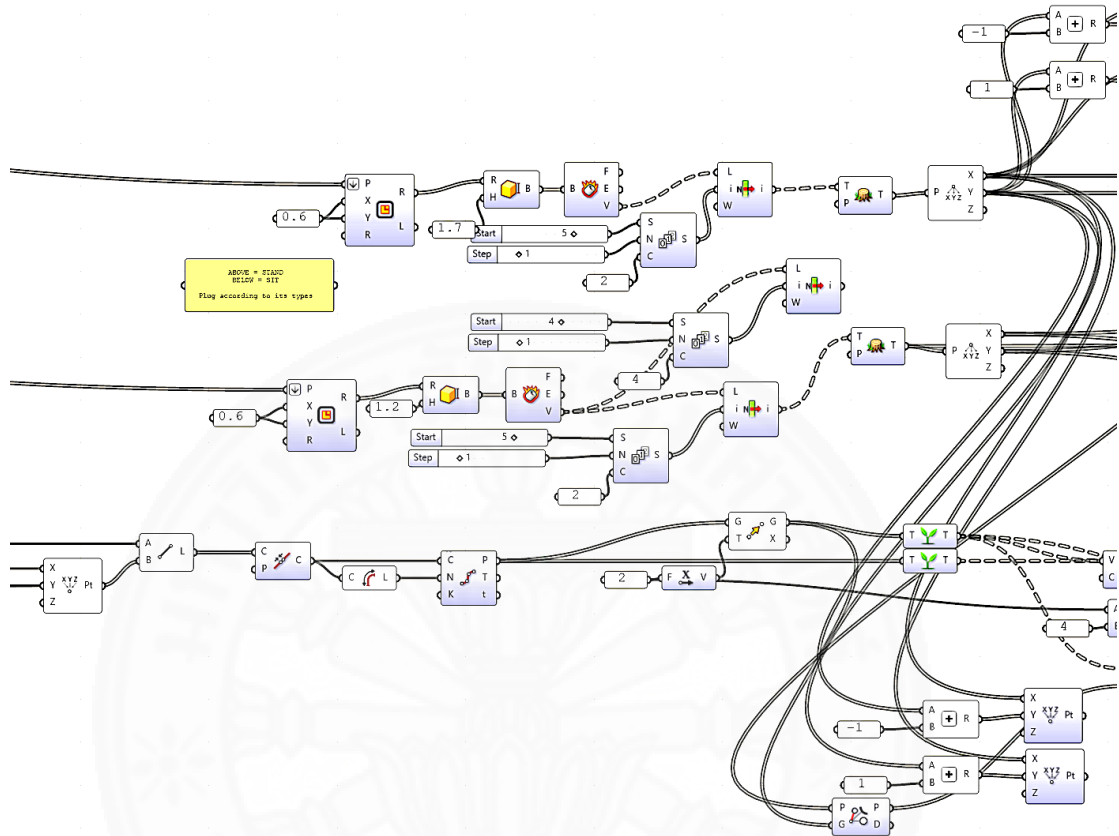
อัลกอริทึมในการสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพารามตริก

ส่วนของการจำแนกข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ

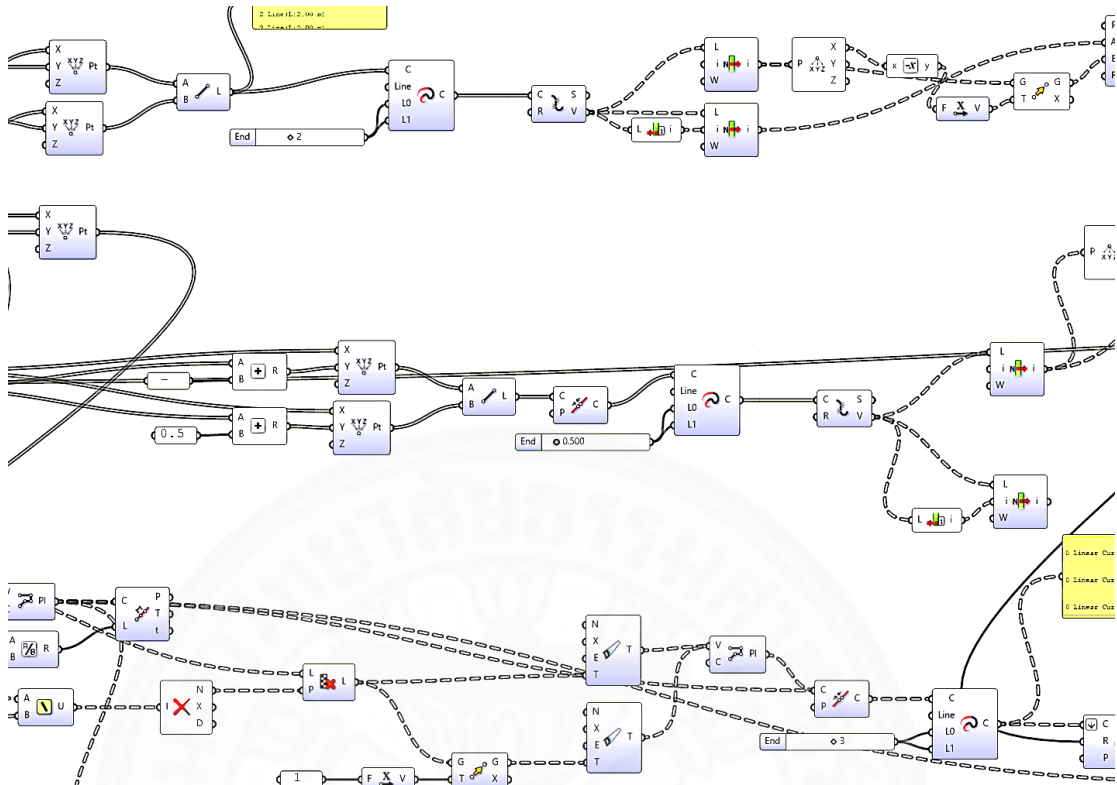


ภาพที่ 1 ภาพแสดงอัลกอริทึมส่วนการจำแนกข้อมูลที่ได้จากระบบการรู้จำวัตถุ.

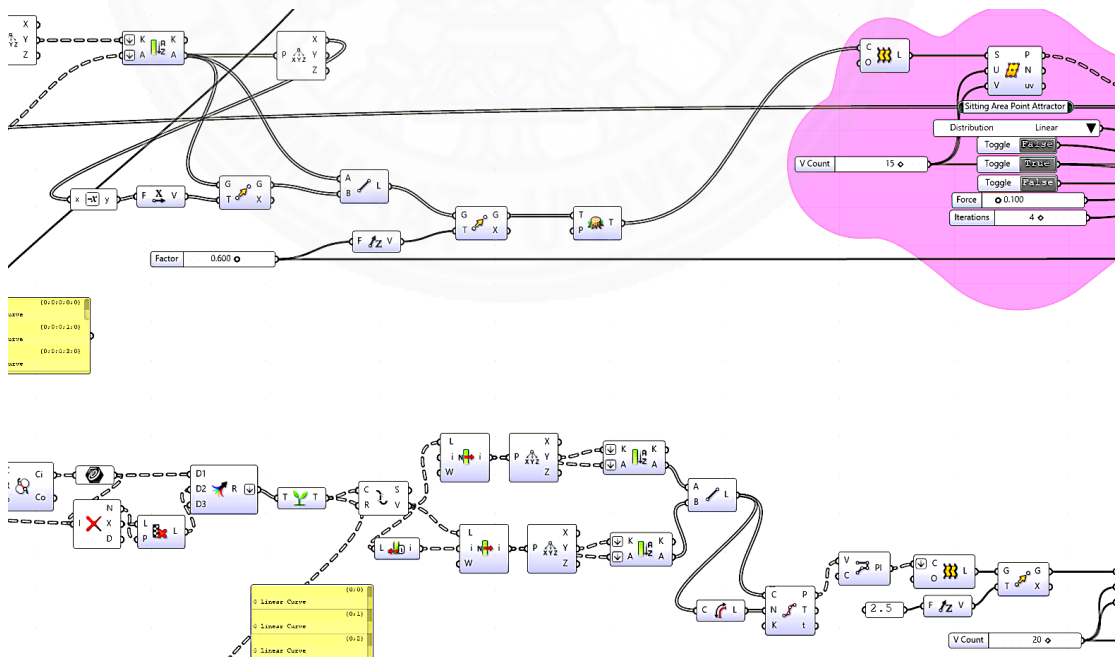
ส่วนของการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทาง



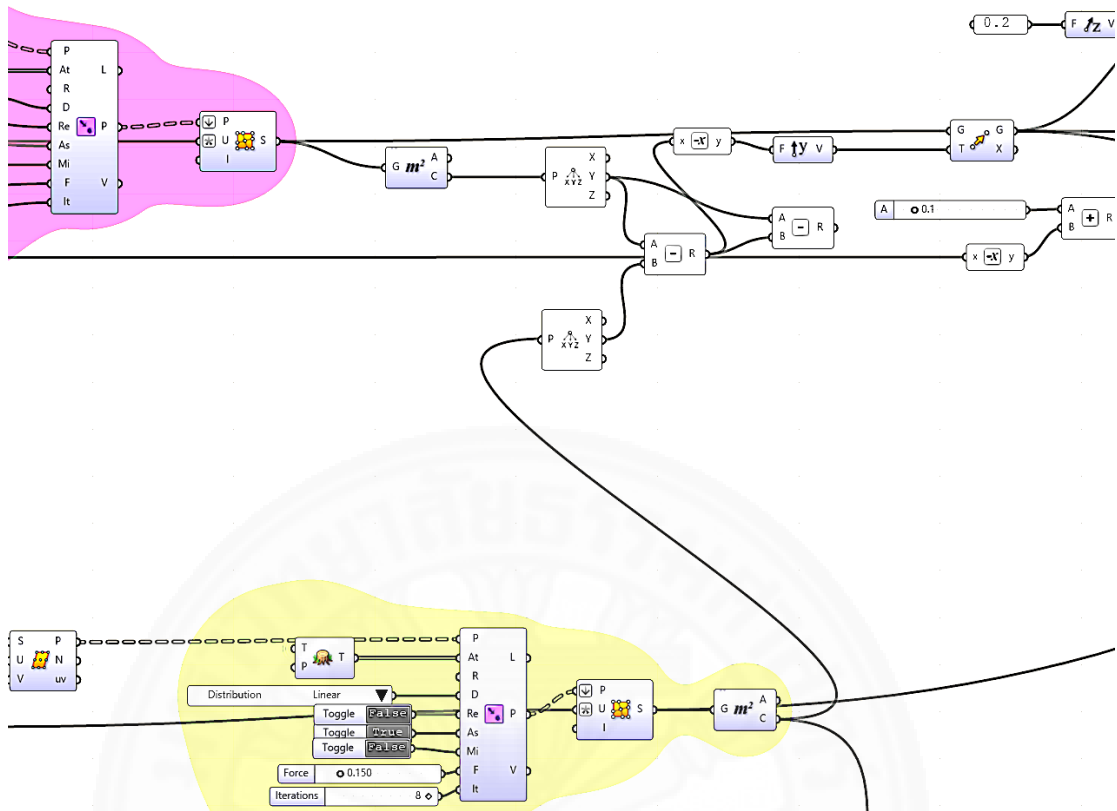
ภาพที่ 2 ภาพแสดงอัลกอริทึมส่วนการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทาง.



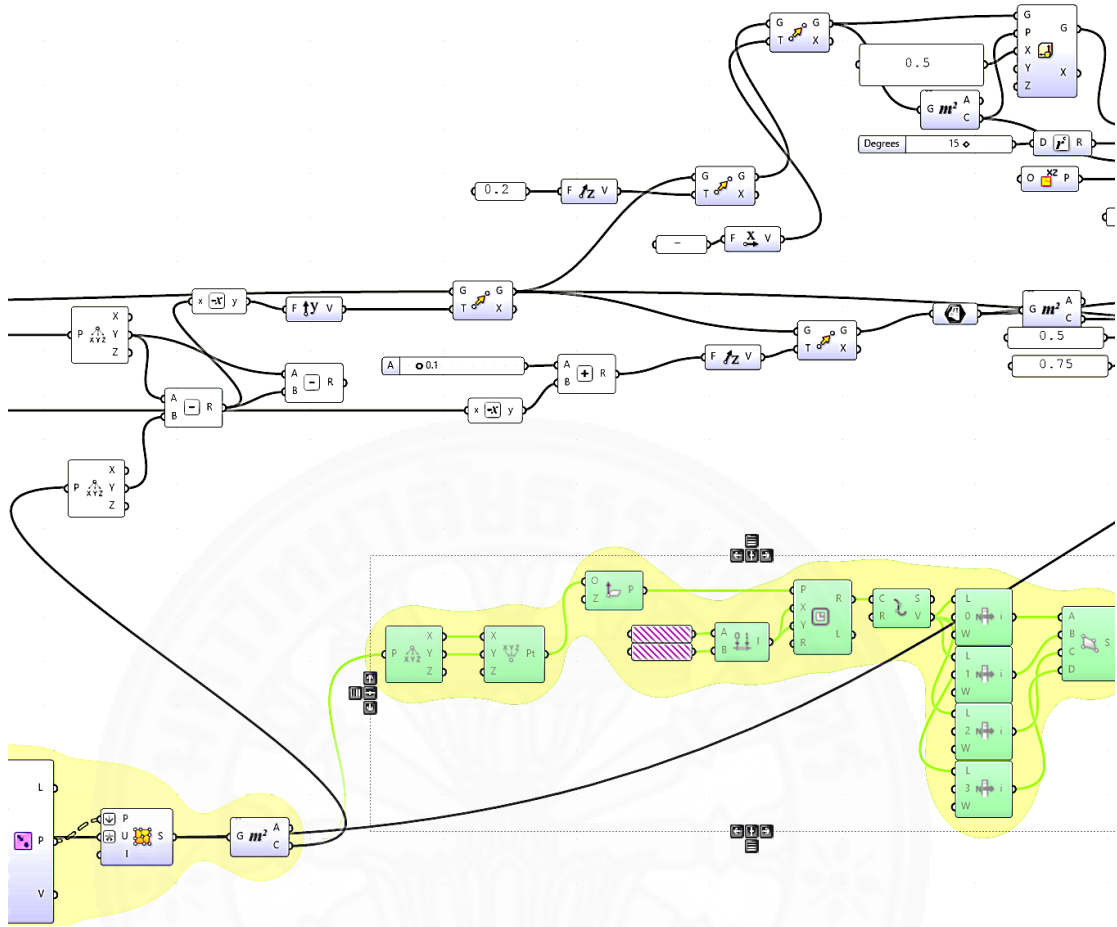
ภาพที่ 3 ภาพแสดงอัลกอริทึมส่วนการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทางส่วนต่อมาจากภาพก่อนหน้าลำดับที่ 1.



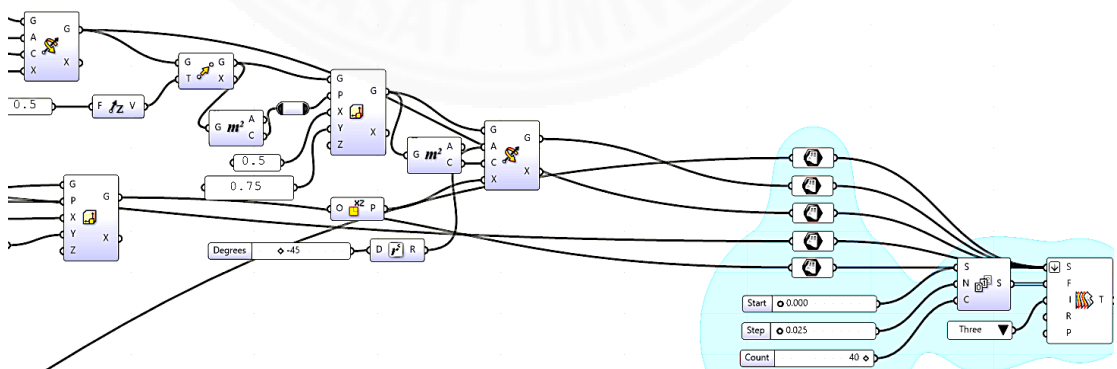
ภาพที่ 4 ภาพแสดงอัลกอริทึมส่วนการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทางส่วนต่อมาจากภาพก่อนหน้าลำดับที่ 2.



ภาพที่ 5 ภาพแสดงอัลกอริทึมที่มส่วนการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทางส่วน ต่อมาจากภาพก่อนหน้าลำดับที่ 3.



ภาพที่ 6 ภาพแสดงอัลกอริทึมส่วนการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับปั๊มรถโดยสารประจำทางส่วนต่อมาจากภาพก่อนหน้าลำดับที่ 4.



ภาพที่ 7 ภาพแสดงอัลกอริทึมส่วนการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับปั๊มรถโดยสารประจำทางส่วนต่อมาจากภาพก่อนหน้าลำดับที่ 5.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสิทธิรัช สุรบถโสภณ
วันเดือนปีเกิด	23 ตุลาคม 2535
ตำแหน่ง	นักศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

### ผลงานทางวิชาการ

งาน BERAC (2018) การสร้างแบบจำลองทางสถาปัตยกรรมจากการตรวจจับรูปแบบกิจกรรมของผู้ใช้งานบนพื้นที่สาธารณะโดยระบบการรู้จำวัตถุ กรณีศึกษา: การสร้างแบบจำลองสามมิติเชิงพาราเมตริกสำหรับป้ายรถโดยสารประจำทาง

### ประสบการณ์ทำงาน

-