

การวิเคราะห์แผนภาพอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์

นฤนาท โคมุต

TNII

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตศึกษา สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2566

AN ANALYSIS OF ELECTRONIC CIRCUITS DIAGRAM
USING COMPUTER VISION TECHNIQUES

Naruenat Komoot

TNII

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Information Technology

Graduate Studies

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิค
คอมพิวเตอร์วิทัศน์

โดย

นฤนาท โคมุต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤตสาธร

บัณฑิตศึกษา สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พันธุ์ เจริญพงษ์)

.....กรรมการ

(ดร.ประมุข บุญเลี้ยง)

.....กรรมการ

(ดร.ทองทัต โอฬารศิริกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤตสาธร)

นฤนาท โคมุต : การวิเคราะห์แผนภาพอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.สระพงษ์สิทธิ์ มฤตสาร, 75 หน้า.

ดังที่ผู้วิจัยมีประสบการณ์ในสายงานด้านอิเล็กทรอนิกส์แผนก Failure Analysis ทำให้ความสำคัญของการทำเรื่องวิเคราะห์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีความสำคัญมาก ที่ได้นำมาใช้ในงานเนื่องด้วยตัวงานเป็นส่วนหนึ่งของส่วนประกอบของอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ สำหรับสายงานนี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากในเรื่องของความรู้ความเข้าใจในเรื่องของอิเล็กทรอนิกส์ การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถทำได้ด้วยตัวเองตามความรู้ความเข้าใจตามประสบการณ์ของแต่ละบุคคล หรือการโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถสร้างและวิเคราะห์วงจรได้เข้ามาช่วย ทำให้จึงต้องมีความรู้ความเข้าใจทั้งเรื่องของอิเล็กทรอนิกส์รวมถึงความรู้พื้นฐานในการใช้งานโปรแกรม เพราะว่าสิ่งที่ได้มาเพื่อเป็นตัวอ้างอิงในการวิเคราะห์งานนั้นส่วนใหญ่จะได้มาในรูปแบบไฟล์ PDF ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปัญหาคือเกิดเรื่องของเวลาที่นำตัววงจรอิเล็กทรอนิกส์ในไฟล์ PDF นำไปประกอบใหม่ในโปรแกรมจำลองสิ่งที่ตามมาคือเรื่องของเวลาที่เพิ่มขึ้นมาอย่างน้อย 1 นาทีช้าเรื่อนั้นขึ้นกับจำนวนส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ยิ่งมากยิ่งขึ้นเพิ่มเวลาการทำงานในส่วนของการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในโปรแกรมจำลอง รวมไปถึงปัญหาของผู้ที่ยังมีประสบการณ์ยังน้อยและไม่ค่อยคุ้นเคยกับโปรแกรมจะทำให้เกิดเรื่องของความผิดพลาดในการประกอบวงจรหรือแก้ไขค่าต่างๆในวงจรให้ตามค่าที่ถูกกำหนดในไฟล์ PDF ทำให้เวลานั้นจะมากกว่าผู้ที่มีประสบการณ์รวมถึงความผิดพลาดในการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นมาจากผู้ที่มีประสบการณ์ยังน้อย เพื่อที่จะเข้ามาแก้ไขปัญหาในเรื่องนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1. ช่วยลดเรื่องของเวลาในการใช้งานโปรแกรมจำลองในการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในโปรแกรม 2. เพื่อสามารถวิเคราะห์ห้วงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้เพื่อแก้ไขเรื่องการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดของผู้มีประสบการณ์น้อย งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคต่างที่เข้ามาช่วยให้การวิจัยครั้งนี้สมบูรณ์มากขึ้นไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ และการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยการนำเทคนิคต่างๆมารวมกันจนทำให้เกิดโปรแกรมอัตโนมัติที่สามารถลดเวลาและช่วยในเรื่องการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ โปรแกรมนี้ได้มีประโยชน์มากสำหรับผู้ที่ต้องทำงานในสายงานอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าทางอิเล็กทรอนิกส์ในเรื่องการลดเวลาทำงานและช่วยเรื่องวิเคราะห์วงจรได้อย่างง่าย

บัณฑิตศึกษา

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

NARUENAT KOMOOT: AN ANALYSIS OF ELECTRONIC CIRCUITS DIAGRAM
USING COMPUTER VISION TECHNIQUES. ADVISOR: DR. SAPRANGSIT
MRUETUSATORN, 75 PP.

The electronic analysis is important for the Failure Analysis in their work. Knowledge and understanding of electronics are essential for this line of work. Analyzing electronic circuits can be done based on a person's expertise and experience or by using simulation programs to create and analyze circuits. Therefore, it is necessary to have knowledge and understanding of electronics as well as basic knowledge of using simulation programs. Most reference materials for analyzing work are in the form of PDF files of electronic circuit diagrams. However, reassembling the electronic circuit from the PDF file to the simulation program can be time-consuming, increasing the time required by at least 1 minute, depending on the number of components in the electronic circuit diagrams. For those with sufficient experience but who are not familiar with the simulation program, this may lead to errors in assembling the circuit or modifying various values in the circuit according to the values specified in the PDF file. The objectives of this research are as follows: 1. To reduce the time spent using the simulation program to assemble electronic circuits. 2. To analyze electronic circuit diagrams and solve errors made by experienced individuals. Various techniques have been utilized in this research to improve its completeness and performance, such as Image Analysis techniques, Computer Vision, and Electronic Circuit Analysis. By combining these methods, an automatic program can be created to reduce time and facilitate the analysis of electronic circuit diagrams. This program is beneficial for those who work in the electronics field, as it minimizes working time and solves the electronic circuit analysis.

Graduate Studies

Student's Signature.....

Field of Study Information Technology

Advisor's Signature.....

Academic Year 2023

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สระพริ้งสิทธิ์ มฤทสาธร ผู้ให้ความรู้ คำชี้แนะและให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือทุกอย่างในการทำ วิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ทีฆพันธ์ เจริญพงษ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ประมุข บุญเสียง และ ดร.ทองทัต โอฬารศิริกุล ผู้ให้คำแนะนำข้อ แก้ไขที่ควรปรับปรุงจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และเจ้าหน้าที่ผู้อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือทุกอย่าง รวมทั้งนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ผู้สละเวลามาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และ ขอขอบพระคุณครอบครัว เพื่อนๆ ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อื่นต่อไป

นฤนาท โคมุต

TNI

TAI - NICHII INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
2 หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มาตรฐานของสัญลักษณ์พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์.....	4
2.2 ทฤษฎีพื้นฐาน.....	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.4 ผลสรุปการทำ literature review.....	23
3 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 ภาพรวมของกระบวนการการทำงานของระบบ.....	24
3.2 เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	29
3.4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์.....	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง การวิเคราะห์ และการประเมินผล.....	42
4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
4.3 สรุปผลการวิเคราะห์.....	51
5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และบทวิจารณ์.....	53
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	53
5.2 อภิปรายผล.....	53
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก. แบบประเมินการเวลาการทำงานของ Manual Process.....	60
ภาคผนวก ข. การนำเสนองานวิจัย.....	62
ประวัติย่อผู้วิจัย	75

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตารางการแสดงถึงมาตรฐานของสัญลักษณ์โดยแบ่งต่างมาตรฐานสากลทั้งสองแบบ	5
2.2 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
4.1 ตารางสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้งาน	42
4.2 การทดสอบเรื่องของเวลาของโมเดลทั้ง YOLOv5 เทียบกับ YOLOv8.....	44
4.3 การทดสอบโมเดลของ YOLOv5	45
4.4 การทดสอบโมเดลของ YOLOv8.....	46
4.5 การทดสอบในเรื่องของ Accuracy Precision Recall และ F1-Score	47
4.6 การทดสอบในเรื่องของ Accuracy ของแต่ละคลาสของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	47
4.7 ตารางการทดสอบเวลาของโปรแกรมจำลอง.....	49
4.8 การทดสอบเวลาของกระบวนการต่างๆ.....	50
4.9 การทดสอบความถูกต้องของกระบวนการทั้งหมด	51



สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1	วงจรถ่ายภาพของตัวต้านทาน (design by Canva)..... 7
2.2	วงจรถ่ายภาพของตัวต้านทาน (design by Canva)..... 8
2.3	วงจรถ่ายภาพของตัวเก็บประจุ (design by Canva)..... 9
2.4	วงจรถ่ายภาพของตัวเก็บประจุ (design by Canva)..... 9
2.5	วงจรถ่ายภาพของตัวเหนี่ยวนำ (design by Canva)..... 10
2.6	วงจรถ่ายภาพของตัวเหนี่ยวนำ (design by Canva)..... 10
2.7	ภาพรวมของสถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียม (CNN) และกระบวนการฝึกอบรม CNN ประกอบด้วยบล็อกการสร้างหลายแบบซ้อนกัน..... 18
2.8	ตัวอย่างการดำเนินการรวมสูงสุดด้วยขนาดตัวกรอง 2×2 19
2.9	ตัวอย่างการดำเนินการรวมกลุ่มสูงสุดบนรูปภาพเดียวกัน..... 20
2.10	การดำเนินการบิดโดยไม่มีช่องว่างภายในเป็นศูนย์เพื่อรักษขนาดในระนาบ 21
3.1	กระบวนการหลักทั้งหมดของงานวิจัย..... 24
3.2	กระบวนการการได้มาของรูปภาพ 25
3.3	การเตรียมการเพื่อการประมวลผล 26
3.4	กระบวนการหลัก 27
3.5	รูปข้อมูลเอาต์พุต JSON 27
3.6	การวิเคราะห์ห่ออิเล็กทรอนิกส์..... 28
3.7	เครื่องมือสำหรับการทำโปรแกรมมิ่ง Python 29
3.8	ไลบรารีสำหรับโปรแกรมมิ่ง..... 29
3.9	กระบวนการการได้มาของรูปภาพแบบละเอียด..... 30
3.10	รูปอินพุตสำหรับกระบวนการได้มาของรูปภาพ..... 30
3.11	รูปเอาต์พุตสำหรับกระบวนการได้มาของรูปภาพ..... 31
3.12	กระบวนการแปลง PDF เป็นรูปภาพ..... 31
3.13	การเตรียมการเพื่อการประมวลผลแบบละเอียด 32
3.14	กระบวนการปรับมุมของรูปภาพ..... 33
3.15	รูปการทดสอบกระบวนการ Perspective Transformation 33
3.16	กระบวนการหลักแบบละเอียด 34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.17 กระบวนการแยกส่วน.....	35
3.18 กระบวนการแยกส่วนของวงจร.....	36
3.19 รูปภาพการทดสอบการทำ Segmentation	37
3.20 กระบวนการจำแนก	38
3.21 กระบวนการตรวจจับกราวด์	38
3.22 การจำแนกโหนดของกราวด์.....	39
3.23 การจำแนกโหนดของวงจร.....	40
3.24 รูปข้อมูล JSON ที่มีการจัดเรียงโดยเรียงจาก node_1 แรกและตามด้วย node_2.....	40
3.25 กระบวนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	41
4.1 รูปการทดสอบ validation ข้อมูลของ YOLOv5.....	43
4.2 รูปการทดสอบ validation ข้อมูลของ YOLOv8.....	44
4.3 รูปเปรียบเทียบ YOLO โมเดลแต่ละ version.....	46
4.4 รูปแต่ละคลาสของวงจรอิเล็กทรอนิกส์	48
4.5 รูปสำหรับการทดสอบเวลาการทำงานของโปรแกรมจำลอง.....	49
4.6 รูปการทดสอบแสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากการศึกษาแนวโน้มธุรกิจอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปี 2564-66 [1] อุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 2515 รัฐบาลได้เริ่มมีนโยบายส่งเสริมการลงทุนผ่านสิทธิประโยชน์ต่าง ๆ ทั้งทางด้านภาษีและไม่ใช้ภาษีโดยคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (Board of Investment: BOI) เพื่อดึงดูดนักลงทุนต่างชาติเข้ามาลงทุน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการส่งออกเป็นหลักโดยมีสัดส่วน 90-95% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ด้านการตลาดการส่งออกใหญ่ของประเทศไทยได้แก่ อเมริกา (27.6% ของมูลค่าส่งออกอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดของไทย) อาเซียน (14.4%) สหภาพยุโรป (12.9%) จีน (10.5%) และญี่ปุ่น (8.7%) ประเทศไทยเป็นฐานผลิตอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่อันดับ 13 ของโลก (ข้อมูลปี 2562) แต่มีส่วนแบ่งตลาดเพียง 1.8% ของมูลค่าส่งออกอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดของโลก ผลสรุปแนวโน้มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยปี 2564-2566 คาดว่าจะกลับมาขยายตัว ตามการฟื้นตัวของภาวะเศรษฐกิจโลก รายได้ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยปี 2564-2566 จะกลับมาขยายตัว ปัจจัยหนุนจากความต้องการ สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นตามการฟื้นตัวของเศรษฐกิจโลก และการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่ตาม Megatrends ของโลก ซึ่งนำมาเรื่องของการผลิตที่เพิ่มขึ้นที่เป็นผลโดยตรงต่อการจ้างงานมากขึ้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายงานด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังเช่นผู้วิจัยที่ได้ทำงานในด้านสายอิเล็กทรอนิกส์ ที่เรียกว่า วิศวกรวิเคราะห์ความล้มเหลว (Failure Analysis Engineer) [2] สายงานในด้านนี้จะทำหน้าที่ในการแก้ไขปัญหาของการผลิตที่มีปัญหาระหว่างทาง จึงต้องมีความเข้าใจในเรื่องของอิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์เพื่อหาค่าต่างๆทางไฟฟ้าของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในสายงานนี้จะมีการติดต่อกับทาง (R&D) หรือ (Research and Design Department) เพื่อที่ขอในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะสามารถนำภาพหรือไฟล์ของวงจรนั้นไปอ้างอิงเพื่อหาค่าต่างๆทางไฟฟ้าของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในการหาสิ่งที่ผิดปกติในการผลิตหรือชิ้นงานต่างๆในอุปกรณ์ ให้สามารถที่จะสามารถแก้ไขปัญหาซึ่งเป็นผลต่อการเพิ่มจำนวนการผลิตที่มากขึ้นได้ ในการวิเคราะห์นั้นเมื่อทาง ผู้วิเคราะห์ความล้มเหลวได้ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากการทาง (R&D) นั้นในบางที่จะได้เป็นรูปแบบของไฟล์โปรแกรมจำลองต่างๆที่ทางฝั่ง (R&D) นั้นใช้งานก็สามารถที่จะใช้งานผ่านโปรแกรมจำลองนั้นได้อย่างรวดเร็ว แต่ส่วนใหญ่แล้วไฟล์ที่ได้รับมานั้นจะเป็นไฟล์ที่เป็นรูปแบบของไฟล์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ PDF จึงจำเป็นต้องมีการจัดรูปแบบวงจรใหม่ในโปรแกรมจำลองหรือ

วิเคราะห์ด้วยความเข้าใจของตัวเอง ในการจัดรูปแบบของวงจรใหม่ในโปรแกรมจำลองนั้นจำเป็นต้องใช้เวลาในการจัดรูปแบบวงจรซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความรู้ความเข้าใจในโปรแกรมจำลองของแต่ละบุคคล จึงเกิดความแตกต่างในเรื่องของความเร็วในการใช้งานโปรแกรมจำลองของแต่ละบุคคล

ผลกระทบที่เห็นได้ชัดจากการทำงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ยังน้อยอยู่ในการตรวจสอบหรือวิเคราะห์ตัวงานนั้นจำเป็นต้องใช้ตัววัดโวลต์มิเตอร์ เพื่อทำการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าในตัวงานหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการทำการวิเคราะห์ โอกาสที่จะผิดพลาดนั้นมีอยู่บ้าง สำหรับผู้ที่มีประสบการณ์น้อยอาจจะไม่ทราบคุณสมบัติบางอย่างตัวอิเล็กทรอนิกส์จึงทำให้กรณีที่ผิดพลาดหรือมีการสัมผัสตัวอุปกรณ์นั้นจะเป็นอันตรายต่อร่างกายที่อาจจะทำให้โดยกระแสไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์กระชากมาหาตัวได้ [3] ทำให้เกิดแนวคิดที่เข้ามาช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถทราบค่าทางไฟฟ้าในตัวอุปกรณ์เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายและรู้ถึงจุดที่อันตรายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ให้สามารถหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่อันตรายต่อตัวเองได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อตรวจจับและรู้จำสัญลักษณ์องค์ประกอบพื้นฐานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบแผนภาพการพิมพ์ทางคอมพิวเตอร์

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์และคำนวณค่าพื้นฐานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สามารถระบุประเภทของ องค์ประกอบพื้นฐานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตามมาตรฐานของ IEC และ ANSI เช่น ตัวต้านทาน (Resistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply) และกราวด์ (Ground)

1.3.2 สามารถระบุประเภทของค่าพื้นฐานต่างๆ ที่ต้องการวิเคราะห์และคำนวณได้ เช่น ค่าความต้านทาน (Resistance) ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Current) และกำลังไฟฟ้า (Power)

1.3.3 สามารถระบุได้ถึงเส้นทางการไหลทางกระแสทางไฟฟ้า ในรูปแบบของบวกลบ โดยทางบวกเป็นหัวลูกศรและทางลบเป็นหางลูกศร ในขณะที่มีการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.3.4 รูปแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในรูปแบบของวงจร 1-layer หรือรูปแบบที่ไม่ทับ

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 **Current** หมายถึง การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง จากวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าลบ ไปยังวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าบวกและมีการวัดในหน่วยแอมแปร์ (A)

1.4.2 **Voltage** หมายถึง ความแตกต่างในพลังงานศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดต่อหน่วยประจุไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดจะมีค่าเท่ากับงานที่ทำต่อหน่วยประจุต้านกับสนามไฟฟ้าคงที่เพื่อเคลื่อนย้ายประจุระหว่างจุดสองจุดและมีการวัดในหน่วยเป็นโวลต์ (v)

1.4.3 **Resistance** หมายถึง ความต้านทานทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

1.4.4 **Power** หมายถึง ค่าที่แสดงถึงอัตราการใช้พลังงานในการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ มีหน่วยเป็นวัตต์ (w)

1.4.5 **Ground** หมายถึง จุดหนึ่งในวงจรไฟฟ้าที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดแรงดันไฟฟ้าหรือใช้เป็นเส้นทางกลับร่วมกันของกระแสไฟฟ้าจากหลายๆที่ หรือจุดเชื่อมต่อทางกายภาพโดยตรงกับพื้นดิน

1.4.6 **Kirchhoff's Laws** หมายถึง กฎแรงดันไฟฟ้าของ Kirchhoff ที่ได้กล่าวว่า ผลบวกของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ในวงจรไฟฟ้าปิดจะมีค่าเท่ากับผลบวกของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานในวงจรไฟฟ้าปิดนั้น

1.4.7 **Capacitors** หมายถึง เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ทำหน้าที่เก็บพลังงานในรูปประจุไฟฟ้า

1.4.8 **Inductors** หมายถึง เป็นชิ้นส่วนในวงจรไฟฟ้าแบบ passive สองขั้วไฟฟ้า มีคุณสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวมัน

1.4.9 (**Ohm: Ω**) คือหน่วยที่ใช้วัดค่าของความต้านทานที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.4.10 (**Farad: F**) คือหน่วยที่ใช้วัดค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.4.11 (**Volt: V**) คือหน่วยที่ใช้วัดค่าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

1.4.12 (**Henry: H**) คือหน่วยที่ใช้วัดค่าของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า

1.4.13 (**Watt: W**) คือหน่วยที่ใช้วัดค่าของกำลังทางไฟฟ้า

1.4.14 (**Ampere: A**) คือหน่วยการวัดของกระแสไฟฟ้า

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

ลดขั้นตอนการทำงานและเวลาสำหรับการคิด วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuit Analysis) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) เป็นเครื่องมือสำคัญในการช่วยในกระบวนการนี้ การใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ช่วยในการวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยให้สามารถตรวจสอบโครงสร้างของวงจรได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยเฉพาะในการตรวจสอบความถูกต้องของการเชื่อมต่อประกอบและการทำงานของวงจร การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีการพัฒนาวิธีการและอัลกอริทึมที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และปรับปรุงการออกแบบวงจร ซึ่งรวมถึงการใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยอัตโนมัติ การใช้งานคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในสาขานี้มีประโยชน์อย่างมากในการลดเวลาและความยุ่งยากในกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบวงจร ทั้งยังช่วยให้การออกแบบมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดในการเชื่อมต่อวงจรล่วงหน้าได้ล่วงหน้า

2.1 มาตรฐานของสัญลักษณ์พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์

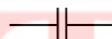
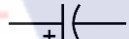
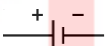
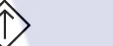
มาตรฐานของสัญลักษณ์พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือมาตรฐาน ANSI/IEEE Std 91-1984 หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า ANSI 91 [4] ดังเช่นที่แสดงในตาราง 2.1 ซึ่งรวบรวมและกำหนดรูปแบบของสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงแผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมาตรฐานนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการอิเล็กทรอนิกส์และได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกแบบและเขียนเอกสารเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงการกำหนดสัญลักษณ์สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เช่น ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ตัวต้านทาน และอื่น ๆ อีกมาก มาตรฐานนี้ช่วยให้ผู้ที่ทำงานในวงการอิเล็กทรอนิกส์สามารถเข้าใจและสื่อสารได้โดยมีความเป็นไปตามมาตรฐานที่เหมือนกัน

2.1.1 มาตรฐาน (International Electrotechnical Commission: IEC) เป็นองค์การระดับโลกที่กำหนดมาตรฐานและข้อกำหนดทางเทคนิคเกี่ยวกับเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องมีคุณภาพและปลอดภัยสำหรับการใช้งานทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ. มาตรฐาน IEC มีผลกระทบอย่างมากต่ออุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกโดยการส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ การปรับปรุงคุณภาพ และความปลอดภัยในการใช้งาน. มาตรฐานเหล่านี้เป็นการรวมความรู้และประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญทั่วโลก

เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์และบริการที่สร้างขึ้นตรงตามเกณฑ์และมีคุณภาพที่มั่นใจได้. มาตรฐาน IEC มักถูกนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมไฟฟ้า การสื่อสาร อุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมการแพทย์ และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

2.1.2 มาตรฐาน (American National Standards Institute: ANSI) เป็นองค์กรสากลที่มีภารกิจในการส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับหลายอุตสาหกรรม และดำเนินการให้มาตรฐานเหล่านั้นได้รับการยอมรับและนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ มาตรฐาน ANSI มุ่งเน้นให้มีความเป็นไปตามความต้องการและความสมบูรณ์ของมาตรฐาน โดยให้คำแนะนำเกี่ยวกับกระบวนการพัฒนามาตรฐาน การจัดการข้อมูลมาตรฐาน การทดสอบและการรับรองมาตรฐาน และเครื่องมือสนับสนุนในการพัฒนามาตรฐาน มาตรฐาน ANSI ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในหลายกลุ่มอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการผลิต สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และอื่นๆ มาตรฐานเหล่านี้มักถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถตรวจสอบคุณภาพ ประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์และบริการต่างๆ ให้มีมาตรฐานที่เหมือนกันและปลอดภัยในการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 ตารางการแสดงถึงมาตรฐานของสัญลักษณ์โดยแบ่งต่างมาตรฐานสากลทั้งสองแบบ

ชื่อสัญลักษณ์	International Electrotechnical Commission: IEC	American National Standards Institute: ANSI
ตัวต้านทาน		
ตัวเหนี่ยวนำ		
ตัวเก็บประจุ		
แหล่งกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรง	      	    
กราวด์ (สายดิน)		

2.2 ทฤษฎีพื้นฐาน

2.2.1 การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Basic Analysis of Electronic Circuit) [5] คือกระบวนการวิเคราะห์พื้นฐานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเข้าใจพฤติกรรมและการทำงานของวงจรนั้นๆ โดยใช้หลักการและทฤษฎีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไฟฟ้า

2.2.1.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage) หมายถึง ความแตกต่างในพลังงานที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า โดยมักถูกนับด้วยหน่วยวัดที่ชื่อว่า "โวลต์" (Volt) ซึ่งมักแทนด้วยสัญลักษณ์ "V" โวลต์

หมายถึงพลังงานที่เกิดขึ้นต่อหน่วยปริมาณของไฟฟ้าในวงจร โวลต์สามารถเป็นบวกหรือลบ โดยที่การเป็นบวกหมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับกระแสไฟฟ้า ในขณะที่การเป็นลบหมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ไปตรงข้ามกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า

$$V = IR \quad (2.1)$$

โดยมีการกำหนดว่า V คือค่าทางแรงดันไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Volt: V) ส่วน I คือค่าทางกระแสไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Ampere: A) และ R คือค่าความต้านทาน มีหน่วยคือ (Ohm: Ω)

2.2.1.2 กระแสไฟฟ้า (Current) หมายถึง การไหลของอิเล็กตรอนในวงจรไฟฟ้า โดยมีการนับค่าการไหลของอิเล็กตรอนนั้นด้วยหน่วยที่เรียกว่า "แอมป์" (Ampere) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ "I" และมักใช้สัญลักษณ์ "I" ในการบ่งบอกระดับของกระแสไฟฟ้า การไหลของกระแสไฟฟ้าสามารถเป็นบวกหรือลบ โดยที่การเป็นบวกหมายถึงการไหลของอิเล็กตรอนในทิศทางเดียวกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่การเป็นลบหมายถึงการไหลของอิเล็กตรอนในทิศทางที่ตรงข้ามกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญในวงจรไฟฟ้า เนื่องจากมันเป็นพลังงานที่ขับเคลื่อนการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.2)$$

โดยมีการกำหนดว่า I คือค่าทางกระแสไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Ampere: A) ส่วน V คือค่าแรงดันทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Volt: V) และ R คือค่าความต้านทาน มีหน่วย (Ohm: Ω)

2.2.1.3 กำลังไฟฟ้า (Power) หมายถึง ปริมาณของการทำงานหรือการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระหว่างเวลา โดยมักใช้หน่วยวัดที่เรียกว่า "วัตต์" (Watt) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ "W" โดยพลังงานมักถูกนับในหนึ่งวินาที วัตต์ (Watt) คือหน่วยวัดของการทำงานหรือการเปลี่ยนแปลงพลังงานในหนึ่งวินาที หรือมีสมการเท่ากับ $1 \text{ วัตต์} = 1 \text{ จูล/วินาที}$ หรือ $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ พลังงานมีความสำคัญมากในการขับเคลื่อนและใช้งานอุปกรณ์หลายอย่างในชีวิตประจำวัน การวัดและควบคุมพลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและควบคุมการใช้งานของพลังงานในหลายๆ ด้าน

$$P = VI \quad (2.3)$$

โดยมีการกำหนดว่า P คือค่าพลังงานทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Watt: W) ส่วน V คือค่าแรงดันทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Volt: V) และ I คือค่ากระแสทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Ampere: A)

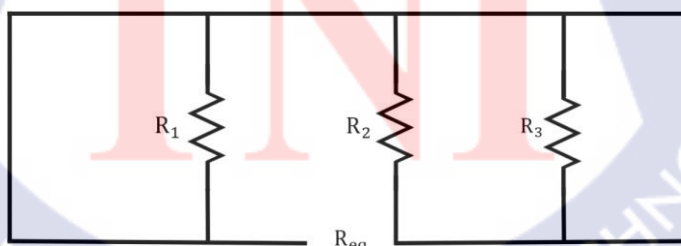
$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.4)$$

โดยมีการกำหนดว่า P คือค่าพลังงานทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Watt: W) ส่วน V คือค่าแรงดันทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Volt: V) และ R คือค่าความต้านทาน มีหน่วยคือ (Ohm: Ω)

$$P = I^2 R \quad (2.5)$$

โดยมีการกำหนดว่า P คือค่าพลังงานทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Watt: W) ส่วน I คือค่ากระแสทางไฟฟ้า มีหน่วยคือ (Ampere: A) และ R คือค่าความต้านทาน มีหน่วยคือ (Ohm: Ω)

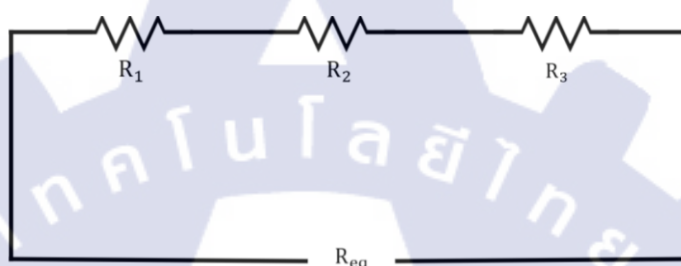
2.2.1.4 ความต้านทาน (Resistance) หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุหรืออุปกรณ์ที่ต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า ความต้านทานมักถูกนับด้วยหน่วยที่เรียกว่า "โอห์ม" (Ohm) แทนด้วยสัญลักษณ์ " Ω " ซึ่งมักใช้สัญลักษณ์ " R " ในการบ่งบอกค่าความต้านทาน ความต้านทานยังมีส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานในวงจร โดยที่พลังงานที่ใช้ในการยับยั้งกระแสไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่มีความต้านทานโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานให้เป็นงานได้ทำงานได้อย่างประหยัดและเพื่อช่วยลดการสูญเสียพลังงานในวงจรไฟฟ้า สมการคิดค่าความต้านทานแบบขนานโดยมีรูปแบบวงจรและสมการดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรการขนานของตัวต้านทาน (design by Canva)

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (2.6)$$

โดยมีการกำหนดว่า R_{eq} คือค่าผลรวมทั้งหมดของความต้านทาน มีหน่วยคือ (Ω) ส่วน R_1 คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวที่ 1 มีหน่วยคือ (Ω) ส่วน R_2 คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวที่ 2 มีหน่วยคือ (Ω) และ R_3 คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวที่ 3 มีหน่วยคือ (Ω) สมการคิดค่าความต้านทานแบบอนุกรมโดยมีรูปแบบวงจรและสมการดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

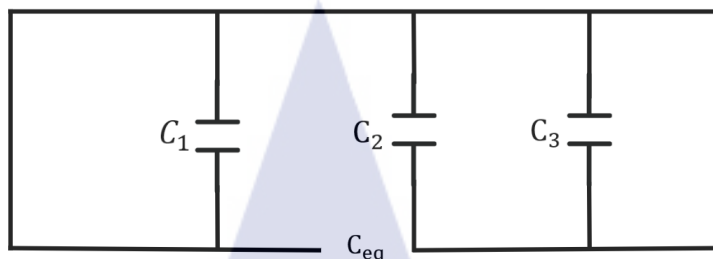


รูปที่ 2.2 วงจรการอนุกรมของตัวต้านทาน (design by Canva)

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (2.7)$$

โดยมีการกำหนดว่า R_{eq} คือค่าผลรวมทั้งหมดของความต้านทาน มีหน่วยคือ (Ω) ส่วน R_1 คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวที่ 1 มีหน่วยคือ (Ω) ส่วน R_2 คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวที่ 2 มีหน่วยคือ (Ω) และ R_3 คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวที่ 3 มีหน่วยคือ (Ω)

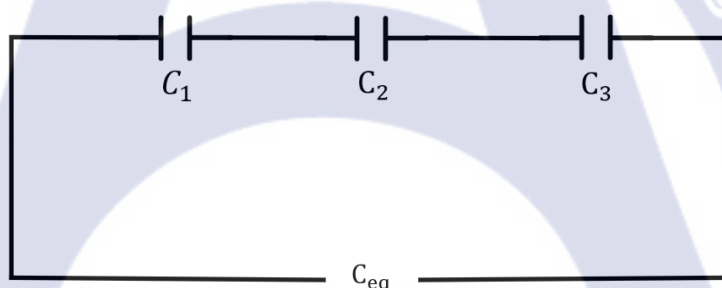
2.2.1.5 ความจุไฟฟ้า (Capacitance) หมายถึง ความสามารถของอุปกรณ์ที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของศูนย์การกระจายไฟฟ้า หรือความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งแทนด้วยหน่วยวัดที่เรียกว่า "ฟารัด" (Farad) แทนด้วยสัญลักษณ์ "F" ซึ่งมักใช้สัญลักษณ์ "C" ในการบ่งบอกความจุประจุ ความจุประจุของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับค่าพื้นที่ผิวที่มีผลต่อการเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ที่มีพื้นที่ผิวที่มากมาย จะมีความจุประจุที่มากขึ้น และอุปกรณ์ที่มีพื้นที่ผิวน้อยๆ จะมีความจุประจุที่น้อยลง สมการคิดค่าความจุจากตัวเก็บประจุแบบขนานโดยมีรูปแบบวงจรและสมการดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงขนานของตัวเก็บประจุ (design by Canva)

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (2.8)$$

โดยมีการกำหนดว่า C_{eq} คือค่าผลรวมทั้งหมดของความจุ มีหน่วยคือ (F) ส่วน C_1 คือค่าความจุของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 มีหน่วยคือ (F) ส่วน C_2 คือค่าความจุของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 มีหน่วยคือ (F) และ C_3 คือค่าความจุของตัวเก็บประจุตัวที่ 3 มีหน่วยคือ (F) สมการคิดค่าความจุจากตัวเก็บประจุแบบอนุกรมโดยมีรูปแบบวงจรและสมการดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



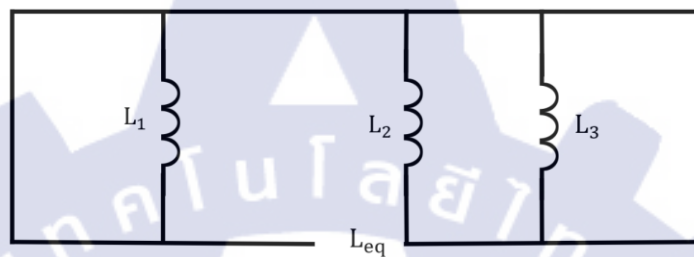
รูปที่ 2.4 วงอนุกรมของตัวเก็บประจุ (design by Canva)

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (2.9)$$

โดยมีการกำหนดว่า C_{eq} คือค่าผลรวมทั้งหมดของความจุ มีหน่วยคือ (F) ส่วน C_1 คือค่าความจุของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 มีหน่วยคือ (F) ส่วน C_2 คือค่าความจุของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 มีหน่วยคือ (F) และ C_3 คือค่าความจุของตัวเก็บประจุตัวที่ 3 มีหน่วยคือ (F)

2.2.1.6 ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance) หมายถึง ความสามารถของวัสดุหรืออุปกรณ์ในการสร้างแม่เหล็กภายในวงจรเมื่อไฟฟ้าไหลผ่าน โดยทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในทิศทาง

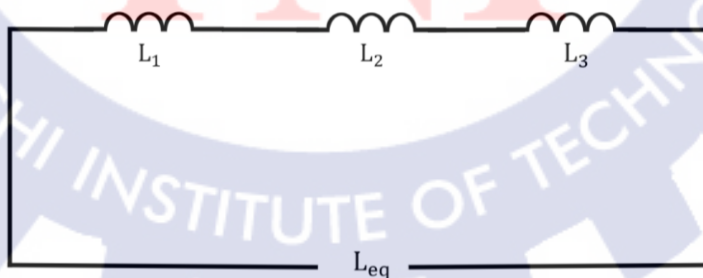
ตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า หรือกำลังปรับตัวตามความเร็วของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า แม้ว่าอุปกรณ์นี้จะไม่เก็บพลังงานเหมือนความจุประจุ (Capacitance) แต่มันสามารถเก็บพลังงานได้ชั่วคราวในรูปแบบของแม่เหล็กเวียนไปมา ซึ่งแทนด้วยหน่วยวัดที่เรียกว่า "เฮนรี" (Henry) แทนด้วยสัญลักษณ์ "H" และมักใช้สัญลักษณ์ "L" ในการบ่งบอกค่าความเป็นอินดักแตนซ์ สมการคิดค่าความเหนี่ยวนำจากตัวเหนี่ยวนำแบบขนานโดยมีรูปแบบวงจรและสมการดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรขนานของตัวเหนี่ยวนำ (design by Canva)

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \quad (2.10)$$

โดยมีการกำหนดว่า L_{eq} คือค่าผลรวมทั้งหมดของความเหนี่ยวนำ มีหน่วยคือ (H) ส่วน L_1 คือค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1 มีหน่วยคือ (H) ส่วน L_2 คือค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 2 มีหน่วยคือ (H) และ L_3 คือค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 3 มีหน่วยคือ (H) สมการคิดค่าความเหนี่ยวนำจากตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรมโดยมีรูปแบบวงจรและสมการดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรอนุกรมของตัวเหนี่ยวนำ (design by Canva)

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 \quad (2.11)$$

โดยมีการกำหนดว่า L_{eq} คือค่าผลรวมทั้งหมดของความเหนี่ยวนำ มีหน่วยคือ (H) ส่วน L_1 คือค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1 มีหน่วยคือ (H) ส่วน L_2 คือค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 2 มีหน่วยคือ (H) และ L_3 คือค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 3 มีหน่วยคือ (H)

2.2.2 เทคนิคการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (Image Processing and Image Analysis) [6] [7] เป็นสองแง่ของการประมวลผลภาพที่มีลักษณะแตกต่างกันความแตกต่างระหว่าง Image Processing และ Image Analysis อยู่ที่จุดประสงค์ของการประมวลผลภาพโดยที่ Image Processing เน้นการปรับแต่งภาพเพื่อการนำไปใช้งาน และ Image Analysis เน้นการตีความข้อมูลภาพเพื่อให้เข้าใจและนำไปสู่การตัดสินใจหรือการวิเคราะห์ที่ลึกซึ้งขึ้น

2.2.2.1 เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing Techniques) หมายถึง การปรับแต่งภาพเพื่อเพิ่มความชัดเจนหรือลดสัญญาณรบกวน เช่น การปรับความสว่าง การลบสัญญาณรบกวน การปรับขนาดภาพ การเปลี่ยนแปลงสี การตรวจจับขอบ และการลบพื้นหลัง การประมวลผลภาพมักถูกใช้ในการปรับปรุงภาพเพื่อให้ข้อมูลสามารถนำไปใช้ได้ขั้นตอนถัดไปของการวิเคราะห์ภาพ

(1) การลดสัญญาณรบกวนการรูปภาพ (Image Noise Reduction) หมายถึง กระบวนการลดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการในภาพ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้น โดยใช้เทคนิคและวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้ตัวกรอง การใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ การใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ การใช้การแปลงภาพ และการปรับค่าความสว่างและความคมชัด เพื่อลดหรือเอาออกสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นจากการถ่ายภาพหรือกระบวนการอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อภาพโดยไม่ต้องทำลายคุณภาพหรือข้อมูลที่สำคัญในภาพต้นฉบับ

(2) การเปลี่ยนแปลงมุมมองของภาพ (Perspective Transformation) หมายถึง กระบวนการที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนหรือปรับแต่งมุมมองของภาพ เพื่อให้มีลักษณะที่ต้องการ โดยใช้การแปลงเชิงเส้นหรือการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดบนภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในหลายแง่มุม เช่น การปรับปรุงรูปภาพ, การปรับขนาดภาพ, การสร้างภาพที่มีมุมมองต่าง ๆ, และการสร้างภาพที่ดูเป็นจริงจากมุมมองต่าง ๆ ที่ต้องการ ดังนั้น Perspective Transformation เป็นเครื่องมือสำคัญที่นักพัฒนาซอฟต์แวร์และนักวิจัยด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกใช้ในการปรับแต่งภาพให้มีคุณภาพและมุมมองที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม

(3) เทคนิคการกรองรูปภาพ (Image Filter Techniques) หมายถึง เทคนิคหรือวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงหรือปรับแต่งคุณภาพของภาพดิจิทัล ดังเช่นสมการที่ 2.12 โดยการใช้ตัวกรองหรือการประมวลผลที่เป็นรูปแบบต่าง ๆ เพื่อลบสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการหรือเพิ่มคุณลักษณะที่ต้องการให้กับภาพ โดยมักใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพดิจิทัลที่ได้จาก กล้องดิจิทัลหรือการสแกน และสามารถนำไปใช้ในหลากหลายงาน เช่น การปรับปรุงภาพทางการแพทย์, การปรับปรุงภาพที่ใช้ในการแสดงผลหรือสื่อสาร, การปรับปรุงภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูล, และอื่นๆ

(3.1) Gaussian Filter เป็นเพียงวิธีการทำให้ภาพเบลอโดยใช้ฟังก์ชัน Gaussian ฟังก์ชันเกาส์เซียนในสองมิติ ดังสมการต่อไปนี้

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.12)$$

เมื่อ $-(x^2+y^2)$ เป็นค่าระยะทางจากจุดกึ่งกลาง โดยเมทริกซ์ฟิลเตอร์รูปแบบนี้จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางแล้วค่าค่อยๆลดลงมา

(3.2) Median Filter เป็นการกรองแบบไม่เชิงเส้น ในการกรองค่ามัธยฐาน ค่าของ pixel เอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยค่ามัธยฐานของ pixel ใกล้เคียงมากกว่าการกรองค่าเฉลี่ย การกรองค่ามัธยฐานจะมีความไว้น้อยกว่าการกรองค่าเฉลี่ย จึงดีกว่าในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบสุ่ม สามารถ ลดการเบลอของภาพได้ดี จึงไม่ลดความคมชัดของภาพ

(3.3) Sharpening Filter เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการปรับให้ภาพมีความคมชัดขึ้นด้วยการเน้นที่ขอบของรูปภาพ

(3.4) Morphology Filter เป็นวิธีการที่จะช่วยคือการปรับอาณาเขตของรูปภาพ เพื่อจะลดอาณาเขตของรูปภาพในส่วนที่ไม่ต้องการออกไป ในหลักการนี้เจ้าช่วยคือการ filter noise ในกรณีที่มี noise ที่ไม่ต้องการเป็นบริเวณใหญ่ๆ ในรูปภาพ

(4) การลดสัญญาณรบกวนรูปภาพ (Image Noise Reduction) สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดของสัญญาณรบกวนในภาพถ่ายดิจิทัลเกิดขึ้นระหว่างการรับหรือส่งภาพ ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ภาพที่มีผลจากหลายประการ รวมถึงสภาพแวดล้อมระหว่างรับภาพและคุณภาพขององค์ประกอบการตรวจจับ ดังเช่นสมการที่ 2.13 ในระหว่างการส่งภาพนั้นอาจจะเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับภาพได้ไม่ว่าจะเกิดจากดังเช่น ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หรือไม่ว่าจะเป็นแสงหรือเงาบบัง การลดสัญญาณรบกวนของภาพจะมีการอธิบายทางหลักคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

$$Y_1 = x_1 + n_1 \quad (2.13)$$

เมื่อ Y_1 เป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่สามารถสังเกตเห็นได้, x_1 เป็นภาพที่สะอาดไร้ซึ่งสัญญาณรบกวน และ n_1 เป็นส่วนการ Additive White Gaussian Noise (AWGN) กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน n ตามหลักการที่สามารถประมาณได้ว่าใช้งานได้จริงโดยวิธีการต่างๆ โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการลดจุดรบกวนของภาพสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

(4.1) Gaussian Noise สำหรับชื่อที่ใช้บ่อยในสัญญาณรบกวนรูปแบบ Gaussian Noise คือ Additive White Gaussian Noise สัญญาณรบกวนมีการกระจายแอมพลิจูดแบบ Gaussian ที่ได้ถูกกำหนดเพื่อให้เหมาะสมกับ Gaussian Noise สมการรูปแบบของ Gaussian Noise จะมีตัวแปรในลักษณะแบบสุ่มโดย z คือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ถูกกำหนดโดย p โดยกำหนดไว้ว่า ดังเช่นสมการที่ 2.14

$$g(z_1) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z_1 - u_1)^2}{2\sigma_1^2}} \quad (2.14)$$

เมื่อ z_1 คือระดับของ gray scale, u_1 คือค่าเฉลี่ย และ σ_1 คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำให้แต่ละ pixel จะเปลี่ยนไปเล็กน้อยจากค่าดั้งเดิมในรูปของสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian Noise สัญญาณรบกวนรูปแบบนี้แสดงได้ดีโดยการแจกแจงแบบ Gaussian (normal)

(4.2) Salt and Pepper Noise ลักษณะของการกระจายสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ประเภทค่าคงที่และค่าสุ่มเป็นประเภทที่มีการพบบ่อยที่สุด ในสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ที่มีค่าคงที่ระหว่าง 0 ถึง 255 ด้วยเหตุนี้ จึงเน้นไปที่การสุ่มเพียงอย่างเดียวกับรูปแบบของ Salt and Pepper Noise ความเข้มของ pixel ในภาพจะมีความแตกต่างกันอย่างมากโดยอิทธิพลจาก pixel โดยรอบ โดยที่สีของสัญญาณรบกวนจะไม่ส่งผลต่อสีของ pixel ใกล้เคียง จะมีจุดสีขาวหรือดำ สัญญาณรบกวนนี้เกิดจากการมีฝุ่นภายในกล้องและองค์ประกอบ CCD ที่ร้อนเกินไปหรือการทำงานผิดพลาด

(4.3) Speckle Noise เป็นสัญญาณรบกวนแบบทวิคูณ ผลกระจายใดๆจะถูกคูณด้วยแต่ละ pixel ในรูปภาพ ดังเช่นสมการที่ 2.15 ภาพอัลตราซาวด์ เลเซอร์ และโซนาร์ทั้งหมดจะมีผลต่อการเกิดสัญญาณรบกวนประเภทนี้ Synthetic Aperture Radar (SAR) Images จะถูกลดระดับโดยสัญญาณรบกวนประเภทนี้อย่างมาก ความผันผวนแบบสุ่มของสัญญาณเป็นองค์ประกอบที่มีขนาดเล็กกว่าส่วนประกอบของการประมวลผลภาพเดียวทำให้เกิดสัญญาณ

รบกวนส่วนใหญ่การประมวลผลสัญญาณที่กระจัดกระจายอย่างสม่ำเสมอจากเป้าหมายแบบกระจายที่หลากหลายก็เป็นสาเหตุเช่นกัน ภาพระดับสีเทาค่าเฉลี่ยของภาพจะเพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากสัญญาณรบกวนด้วยเช่นกัน โดยมีแบบจำลองสมการดังต่อไปนี้

$$G_1(n, m) = (f_1(n, m) * u_1(n, m)) + \xi_1(n, m) \quad (2.15)$$

โดยที่ $G_1(n, m)$ คือภาพที่เราสามารถเห็นได้, $u_1(n, m)$ เป็นองค์ประกอบพริคคูลของ Speckle Noise และ $\xi_1(n, m)$ คือส่วนองค์ประกอบเสริม

(5) การเพิ่มประสิทธิภาพรูปภาพ (Histogram Equalization)

หมายถึง เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพดิจิทัลโดยการปรับค่าสีของแต่ละพิกเซลในภาพ เพื่อให้กระจายความเข้มของสีในภาพแบบที่สมดุลกัน ซึ่งทำโดยการปรับปรุงฮิสโตแกรมของภาพ ข้อดีของ Histogram Equalization คือสามารถปรับปรุงคุณภาพของภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องใช้ข้อมูลจากภาพอื่น ๆ และสามารถใช้งานได้ง่าย ๆ โดยไม่ต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำมากมาย แต่ก็มีข้อเสียบ้าง เช่น การใช้ Histogram Equalization บางครั้งอาจทำให้ภาพดูไม่เชื่อถือได้ เนื่องจากการกระจายความเข้มของสีอาจทำให้ภาพดูเป็นเทศกาลมากเกินไป โดยทั่วไปแล้ว Histogram Equalization นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพในหลายๆ แ่งมุม เช่น การปรับปรุงภาพที่มีมืดหรือสว่างเกินไป เพื่อให้มีการกระจายความเข้มของสีที่สมดุลกัน หรือการใช้ในงานการปรับปรุงภาพทางการแพทย์เพื่อช่วยให้ข้อมูลที่สำคัญในภาพเป็นมากขึ้น โดยเฉพาะในภาพที่มีการกระจายความเข้มของสีไม่สมดุลหรือไม่เท่าเทียมกัน

(6) การเปลี่ยนแปลงภาพสีเป็นภาพสองระดับ (Binarization)

หมายถึง กระบวนการแปลงภาพจากการมีค่าสีหลายระดับเป็นภาพที่มีเพียงสองระดับของความเข้ม ซึ่งจะเป็นเพียงสีดำ (0) หรือสีขาว (255) เท่านั้น กระบวนการนี้มักใช้ในการเน้นด้านที่สำคัญของภาพ หรือในการเตรียมข้อมูลสำหรับการประมวลผลภายหลัง เช่น การประมวลผลภาพทางการแพทย์หรือการตรวจจับวัตถุในภาพ เป้าหมายหลักของการทำ binarization คือการลดปริมาณข้อมูลที่ต้องการช่วยลดเรื่องการทำงานลงอย่างมาก มีวิธีการทำ binarization สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

(6.1) Global (thresholding) เป็นเทคนิคหนึ่งในการแปลงภาพให้อยู่ในรูปแบบของ binary image โดยใช้ค่า threshold เดียวกันทั้งภาพทั้งหมด เทคนิคนี้มักถูกใช้เมื่อลักษณะของวัตถุหรือลายนิ้วมือในภาพมีความคงที่ทั้งภาพ หรือความเป็นเส้นและเป็นพื้นที่ของวัตถุในภาพมีความแตกต่างกันมากน้อยในทุก ๆ ส่วนของภาพ Global thresholding มักใช้

งานได้ดีในกรณีที่ภาพมีลักษณะที่เหมือนกันทั้งภาพ หรือลักษณะของวัตถุหรือลายนิ้วมือในภาพไม่มีความแตกต่างกันมากนักในทุก ๆ ส่วนของภาพ โดยแบ่งออกได้เป็นดังต่อไปนี้

binarization with low thresholding เป็นการกำหนดค่า threshold ให้ต่ำกว่าปกติ เพื่อให้มีการแปลงค่า intensity ของพิกเซลในภาพเป็น binary ได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้มีจำนวนพิกเซลที่มีค่า binary มากขึ้นในภาพ ดังเช่นสมการที่ 2.16 โดยมักจะได้รับผลกระทบโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเข้มของสีต่ำหรือความเข้มของสีแตกต่างกันน้อย เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้จะมีค่า intensity ที่อยู่ใกล้กับค่า threshold ที่ถูกกำหนดมากขึ้น ทำให้มีโอกาสที่จะถูกแปลงเป็น binary ได้สูงขึ้น การใช้ low thresholding อาจมีประโยชน์ในการเพิ่มการเป็นเส้นของวัตถุหรือลายนิ้วมือในภาพ โดยทำให้เส้นของวัตถุหรือลายนิ้วมือนั้นมีความหนาแน่นมากขึ้น และยังช่วยลด noise ในภาพที่มีความเข้มของสีต่ำหรือสีแตกต่างกันน้อยได้ด้วย อย่างไรก็ตาม การใช้ low thresholding อาจทำให้ข้อมูลที่สำคัญหายไปหรือถูกละเลยได้ในกรณีที่มีการหลอเลือนของข้อมูลมากเกินไป หรือในภาพที่มีความเข้มของสีมากจนทำให้มีการปรากฏ noise ที่มีความเข้มสีต่ำในส่วนต่าง ๆ ของภาพ

$$F'(m, n) = \begin{cases} 0, & F(m, n) \geq t \\ 1, & F(m, n) < t \end{cases} \quad (2.16)$$

binarization with the upper threshold เป็นการกำหนดค่า threshold สูงสุดเพื่อแปลงค่า intensity ของพิกเซลในภาพให้เป็น binary โดยเฉพาะในส่วนของพิกเซลที่มีค่า intensity สูงกว่าหรือเท่ากับค่า threshold นั้น ดังเช่นสมการที่ 2.17 ซึ่งจะทำให้มีจำนวนพิกเซลที่มีค่า binary เท่ากับ 1 มากขึ้นในภาพ การใช้ upper thresholding มักมีประโยชน์ในการเน้นเฉพาะบางส่วนของภาพที่มีความสนใจ หรือส่วนที่มีสิ่งที่ต้องการจับตามอง เช่น เส้นของวัตถุหรือเส้นของลายนิ้วมือ การกำหนด upper threshold สูงสุดจะทำให้เฉพาะส่วนของภาพที่มีความสว่างสูงมากขึ้นถูกแปลงเป็น binary ซึ่งมักจะเป็นส่วนที่ต้องการจับตามองได้เป็นพิกเซลสีขาว อย่างไรก็ตาม การใช้ upper thresholding อาจทำให้ข้อมูลที่สำคัญหายไปหรือถูกละเลยได้ในกรณีที่มีการหลอเลือนของข้อมูลมากเกินไป หรือในภาพที่มีความเข้มของสีน้อยมาก การใช้ upper thresholding นั้นต้องพิจารณาความเหมาะสมและลดความสูญเสียข้อมูลให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดในการตัดสินใจเรื่องค่า threshold สูงสุด

$$F'(m, n) = \begin{cases} 0, & F(m, n) \leq t \\ 1, & F(m, n) > t \end{cases} \quad (2.17)$$

binarization with double restriction เป็นการใช่วิธีการกำหนด threshold ในการแปลงภาพเป็น binary image โดยใช้เงื่อนไขสองระดับของ threshold ในการตัดสินใจว่าแต่ละพิกเซลในภาพจะเป็นสีขาวหรือสีดำ ดังเช่นสมการที่ 2.18 วิธีการนี้มักใช้ในการจำแนกวัตถุหรือสิ่งของในภาพที่มีความแตกต่างในลักษณะการเป็นเส้นและพื้นที่ หรือมีความเข้มของสีและความเข้มของสีต่างกัน ด้วยการใช้เงื่อนไขที่เฉพาะเจาะจงเพื่อกำหนดค่า threshold สำหรับแต่ละกรณี โดยการใช้ double restriction เป็นการใช้อนุพัทธ์สองระดับของ threshold เพื่อแบ่งแยกพื้นที่หรือวัตถุที่มีความแตกต่างกันในภาพได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถเน้นวัตถุหรือพื้นที่ที่สนใจในภาพได้เป็นอย่างดี

$$F'(m, n) = \begin{cases} 0, F(m, n) \geq t_1 \\ 1, t_1 < F(m, n) \leq t_2 \\ 0, F(m, n) > t_2 \end{cases} \quad (2.18)$$

incomplete thresholding เป็นการใช้เทคนิคในการแปลงภาพเป็น binary image โดยใช้ค่า threshold ดังเช่นสมการที่ 2.19 ซึ่งอาจเป็นค่าคงที่หรือค่าที่ถูกคำนวณจากวิธีการเชื่อมโยงกับลักษณะของภาพ แต่ไม่ใช้ค่า threshold ที่แน่นอน และเป็นที่ตั้งแต่เริ่มต้นสำหรับทุก ๆ พิกเซลในภาพ แทนที่จะใช้ค่า threshold สำหรับทุก ๆ พิกเซลในภาพ วิธีการนี้มักถูกใช้ในการแปลงภาพที่มีความสว่างและเข้มของสีแตกต่างกันอย่างมาก หรือมีเส้นของวัตถุหรือลายนิ้วมือที่มีความสว่างแตกต่างจากพื้นหลัง โดยการใช้ incomplete thresholding จะช่วยในการเน้นเฉพาะส่วนที่สนใจของภาพโดยไม่สนใจพื้นหลังหรือส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องมาก ตัวอย่างเช่น ในภาพที่มีวัตถุเป็นสีเข้มบนพื้นหลังสีสว่าง การใช้ incomplete thresholding อาจทำให้เราสามารถแยกเฉพาะวัตถุเพื่อวิเคราะห์หรือประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องสนใจส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องในภาพ

$$F'(m, n) = \begin{cases} F(m, n), F(m, n) > t \\ 0, F(m, n) \leq t \end{cases} \quad (2.19)$$

multilevel thresholding เป็นเทคนิคในการแปลงภาพเป็น binary image โดยใช้ค่า threshold หลายระดับ ดังเช่นสมการที่ 2.20 เพื่อแบ่งแยกพิกเซลในภาพออกเป็นกลุ่มหลาย ๆ กลุ่มที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของภาพที่ต้องการจัดกลุ่ม ด้วยการกำหนดค่า threshold ที่หลายระดับนี้ ซึ่งเป็นการแยกแยะพิกเซลในภาพออกเป็นกลุ่มของพิกเซลที่มีความเหมาะสมกับลักษณะที่กำหนดมา อาจเป็นเพื่อการแยกแยะวัตถุที่ต้องการจับตามอง หรือการแยกแยะลายนิ้วมือ หรือภาพที่

มีลักษณะทางธรรมชาติที่แตกต่างกันออกไป เป็นต้น วิธีการนี้มักถูกใช้ในการประมวลผลภาพเพื่อการวิเคราะห์และจัดกลุ่มข้อมูล หรือในงานการประมวลผลภาพทางการแพทย์ เช่น การตรวจจับและการระบุลักษณะของเนื้อเยื่อในภาพ X-ray หรือภาพ MRI หรือในงานภาพถ่ายด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ เช่น การวิเคราะห์ภาพเซลล์ในช่วงการวิวัฒนาการของสัตว์และพืช เพื่อช่วยในการระบุลักษณะของเซลล์หรือส่วนต่าง ๆ ของภาพได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว การใช้ multilevel thresholding ช่วยให้สามารถแยกแยะข้อมูลในภาพได้อย่างชัดเจนและเหมาะสมกับการประมวลผลของภาพในระดับที่หลากหลาย

$$F'(m, n) = \begin{cases} 1, F(m, n) \in D_1 \\ 2, F(m, n) \in D_2 \\ \dots \\ n, F(m, n) \in D_n \\ 0, \text{ in other situation} \end{cases} \quad (2.20)$$

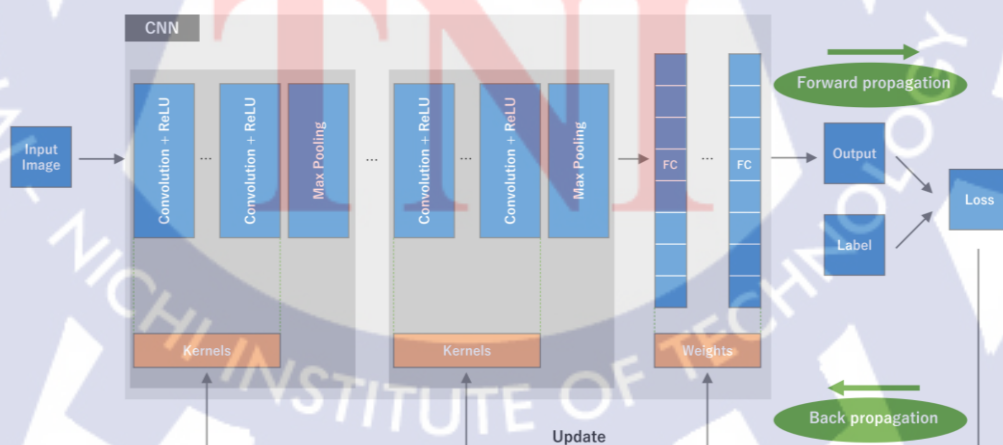
(6.2) Local (adaptive) เป็นเทคนิคในการปรับค่า threshold ในการทำ binary image โดยใช้ค่า threshold ที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับพื้นที่หรือลักษณะของภาพแต่ละส่วน เทคนิคนี้มักถูกใช้ในการประมวลผลภาพเพื่อการตรวจจับวัตถุหรือลายนิ้วมือ เพราะสามารถปรับค่า threshold ให้เหมาะสมกับลักษณะของวัตถุหรือลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจจับได้ การทำ local (adaptive) binarization มักจะใช้วิธีการคำนวณ threshold โดยพิจารณาค่า intensity ของพิกเซลในพื้นที่เพื่อกำหนด threshold โดยใช้วิธีการเชื่อมโยง (local linking) หรือวิธีการเฉลี่ย (local averaging) เพื่อหาค่า threshold ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่ของภาพ การใช้ local (adaptive) binarization ช่วยลดปริมาณของข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องในภาพ และช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุหรือลายนิ้วมือในภาพได้มากขึ้น เนื่องจากสามารถปรับ threshold ให้เหมาะสมกับลักษณะของภาพได้ในแต่ละส่วน

2.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (Image Analysis Techniques) การตีความข้อมูลภาพเพื่อให้เข้าใจโดยเชื่อถือได้ เช่น การตรวจจับและการจำแนกประเภทวัตถุในภาพ, การวัดและการจำแนกลักษณะทางพรรณนาของวัตถุ, การตรวจจับสถานการณ์, การวิเคราะห์และการสร้างโมเดลทางสถิติ การวิเคราะห์ภาพมักถูกใช้ในงานวิจัยทางการแพทย์, การตรวจสอบความปลอดภัย, การวิเคราะห์ภาพดาวเคราะห์, และงานวิจัยทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) เป็นสาขาของปัญญาประดิษฐ์และการคอมพิวเตอร์วิทยาที่มุ่งเน้นการให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเข้าใจและประมวลผลภาพ โดย

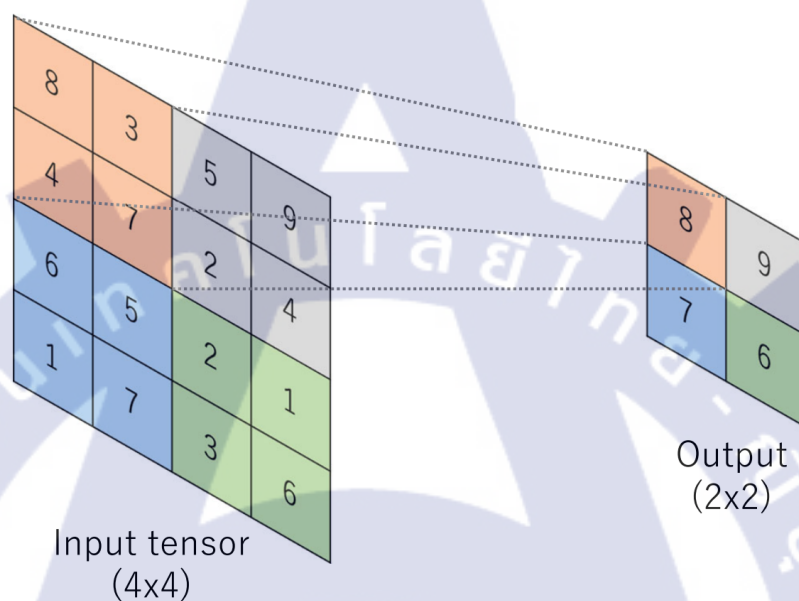
ใช้วิธีการและเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น การเรียนรู้ของเครื่อง, การประมวลผลภาพดิจิทัล, และการวิเคราะห์รูปแบบ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network) [8] เป็นโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกออกแบบมาเพื่อการประมวลผลภาพและข้อมูลที่มีลักษณะเชิงพื้นที่ หลักการของ CNN มีองค์ประกอบหลักคือการใช้ชั้นการคอนโวลูชัน (convolutional layers) เพื่อทำการสกัดลักษณะเด่นๆ จากภาพ โดยการใช้การสัมผัส (filter) หรือเรียกว่า kernel ที่เคลื่อนที่ทั่วภาพ และทำการคูณค่าพิกเซลในพื้นที่ของภาพด้วยค่าของ filter นั้นๆ ซึ่งช่วยในการจับลักษณะเฉพาะของภาพออกมา เช่น เส้นขอบ การเรียงลำดับของสี และลักษณะอื่นๆ หน้าที่ของชั้นการสกัดลักษณะ (feature extraction) คือการลดมิติของข้อมูลที่ซับซ้อนเช่นภาพให้เป็นรูปแบบที่เหมาะสมต่อการจัดการกับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำให้ CNN เหมาะสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกประเภทภาพ เช่น การจำแนกวัตถุในภาพ (object classification) หรือการตรวจจับวัตถุ (object detection) นอกจากนี้ CNN ยังใช้การกับค่าที่ลดลง (pooling) เพื่อลดขนาดของภาพหรือข้อมูลที่สกัดลักษณะแล้ว โดยทั่วไปใช้การ Max pooling โดยเลือกค่ามากที่สุดจากพื้นที่ที่กำหนดไว้ ซึ่งช่วยลดการคำนวณและความซับซ้อนของโมเดล ในสร้างโครงสร้างของ CNN ดังเช่นแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนสำคัญที่ควรมีอีกอย่างหนึ่งคือชั้นการรวมร่าง (fully connected layers) ที่ใช้เพื่อการจำแนกประเภทของข้อมูลที่ถูกลักษณะไว้แล้ว โดยใช้ค่าที่ได้จากชั้นการสกัดลักษณะเป็นข้อมูลเข้าสู่ชั้นการรวมร่างเพื่อการจำแนกประเภทในขั้นตอนสุดท้าย หลักการของ CNN คือการนำเอาการคำนวณที่เกิดขึ้นบนภาพเข้ามาเข้าใจและสกัดลักษณะเฉพาะ และนำมาประมวลผลเพื่อจำแนกประเภทข้อมูลที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ



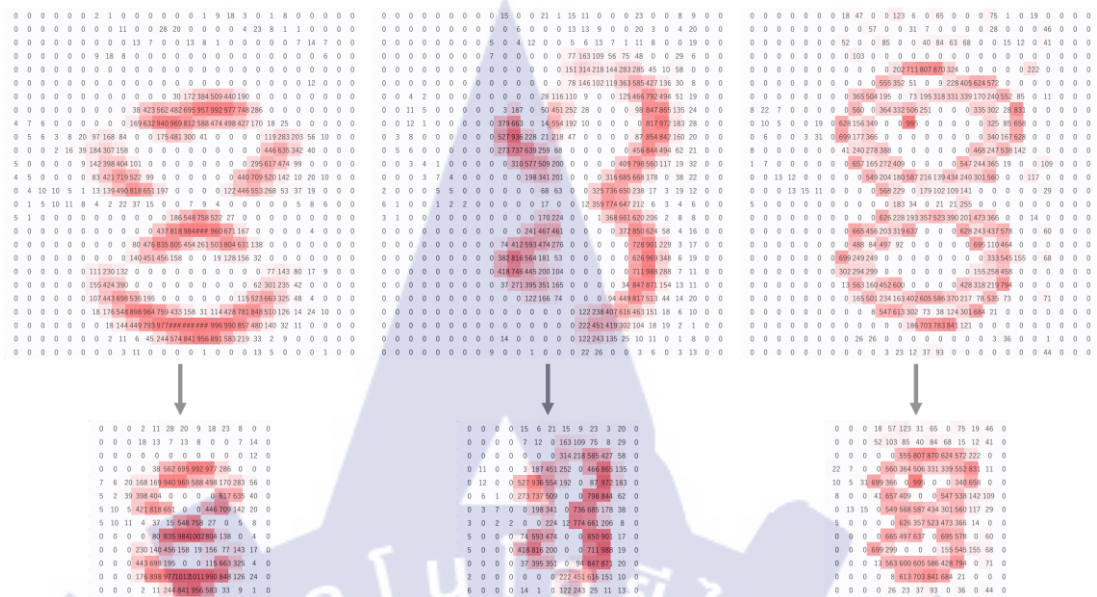
รูปที่ 2.7 ภาพรวมของสถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียม (CNN) และกระบวนการฝึกอบรม CNN ประกอบด้วยบล็อกการสร้างหลายแบบซ้อนกัน

Input tensor ใน CNN เป็นโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการป้อนข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม โดยมักจะเป็น tensor ที่มีขนาดและมิติต่างๆ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเดล CNN และขนาดของภาพที่จะถูกป้อนเข้าสู่โครงข่ายเพื่อการประมวลผล โดยทั่วไปแล้ว input tensor จะมีรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมกับโครงสร้างของโมเดล CNN ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการจะประมวลผลดังเช่นแสดงในรูปที่ 2.8



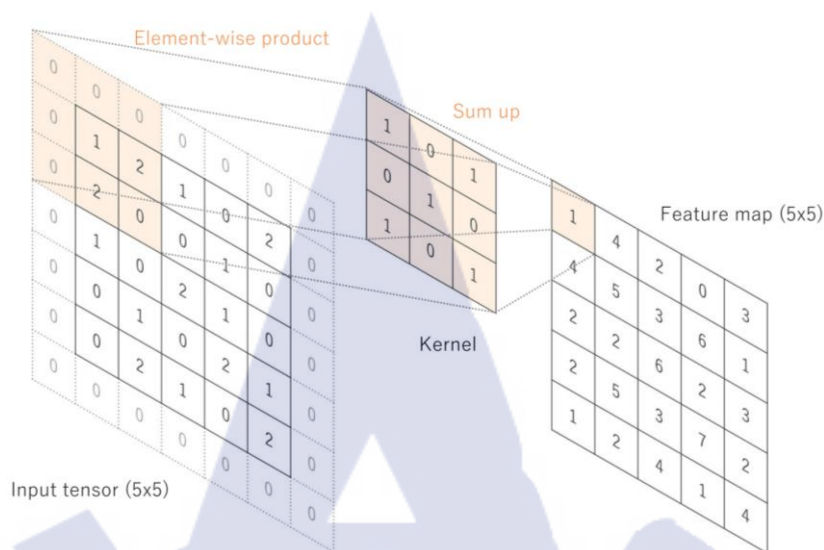
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการดำเนินการรวมสูงสุดด้วยขนาดตัวกรอง 2×2

การดำเนินการรวมกลุ่มสูงสุด (max pooling) ใน CNN เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อลดขนาดของฟีเจอร์แมพ (feature map) โดยการเลือกค่าสูงสุดจากพื้นที่เฉพาะของฟีเจอร์แมพที่กำหนดไว้ ตัวอย่างการดำเนินการรวมกลุ่มสูงสุดใน CNN สามารถอธิบายได้ดังที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.9 เมื่อทำการดำเนินการรวมกลุ่มสูงสุดใน CNN ก็จะทำให้ฟีเจอร์แมพมีขนาดเล็กลงตามขนาดของการรวมกลุ่มที่กำหนดไว้ และยังช่วยลดการคำนวณและทรัพยากรที่ใช้ในโมเดลได้อีกด้วย ซึ่งการรวมกลุ่มสูงสุดนี้มักถูกใช้ในขั้นตอนหลังการสกัดลักษณะเฉพาะ (feature extraction) ในการสร้างโมเดล CNN อย่างส่วนใหญ่



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการดำเนินการรวมกลุ่มสูงสุดบนรูปภาพเดียวกัน

Feature map ใน CNN เป็นรูปแบบของข้อมูลที่เกิดจากการสกัดลักษณะเฉพาะ (feature extraction) โดยปกติแล้วจะเป็น tensor ที่เกิดขึ้นหลังจากการผ่านชั้นการสกัดลักษณะ (convolutional layer) ของโครงสร้าง CNN แต่ละชั้น เมื่อภาพถูกส่งผ่านชั้นการสกัดลักษณะ จะได้รับการประมวลผลโดยการใช้การรอบความสัมพัทธ์ (filter) หรือ kernel ที่กำหนดไว้ ซึ่งจะช่วยในการสกัดลักษณะเฉพาะของภาพ เช่น เส้นขอบ เนื้อภาพ เป็นต้น Feature map จะเป็นผลลัพธ์จากการนำภาพข้อมูลผ่านกระบวนการด้านบน และจะมีจำนวน feature map ตามที่กำหนดในการออกแบบโมเดล CNN โดยทั่วไปแล้ว การสกัดลักษณะจะทำการสร้าง feature map หลายชั้น โดยแต่ละชั้นจะเป็นการสกัดลักษณะที่นำเข้าไปในชั้นถัดไป ตัวอย่างของ feature map สามารถเป็นได้หลายรูปแบบ โดยแต่ละ feature map จะแทนลักษณะเฉพาะของภาพที่ได้รับการสกัดออกมา และเมื่อรวม feature map ทุกชั้นจะช่วยให้โมเดล CNN เรียนรู้และเข้าใจลักษณะของภาพได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การจำแนกประเภทหรือการทำนายข้อมูลต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การดำเนินการบิดโดยไม่มีช่องว่างภายในเป็นศูนย์เพื่อรักษาขนาดในระนาบ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนนี้คือกระบวนการที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและสรุปความรู้ที่ปรากฏอยู่ในงานวิจัยหรืองานที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาหรือวางแผนที่จะดำเนินการต่อไปในปัจจุบัน ขั้นตอนนี้เป็นส่วนสำคัญของการพัฒนางานวิจัย เพื่อช่วยให้ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลและความรู้ที่เกี่ยวข้องได้อย่างเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังช่วยในการมองภาพรวมและสรุปข้อสรุปจากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การสำรวจวรรณกรรม เพื่อค้นหาข้อมูล แนวโน้มในการวิจัย และช่องว่างที่ยังไม่ได้รับการค้นหาหรือประเมินอย่างเหมาะสม มันมีค่าสำคัญที่สำคัญในการมองหาคำสำคัญ ในการมองเห็นหลักการที่แตกต่างกันและพัฒนาจากงานวิจัยที่ได้ศึกษาไปแล้ว ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยในอนาคต เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ดำเนินการวิจัยผู้วิจัยได้มีการรวบรวมและศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่มีความหลากหลายได้แก่ การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ การประมวลผลภาพ และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อเป็นการสนับสนุนเรื่องของความรู้ความเข้าใจให้สามารถพัฒนาต่อไปได้ จากการศึกษาจากงานวิจัยต่าง ๆ นั้น เป็นการสรุปได้ดังเช่นตาราง 2.2 ที่ได้ศึกษาและสรุปแล้วได้นำมาพัฒนาต่อในงานวิจัยขั้นนี้

ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Topic	Method	Performance
1. A Symbol Recognition System for Single-Line Diagrams Developed Using a Deep-Learning Approach [9]	YOLOv5	Accuracy 89% False detection 3 Missing detection 4 YOLOv5 model accuracy 95%
2. A two-stage CNN-based hand-drawn electrical and electronic circuit component recognition system [10]	CNN	Accuracy 97.33% Recall 97.33% Precision 97.43% F1-score 97.32%
3. Application of a Pattern-Recognition Neural Network for Detecting Analog Electronic Circuit Faults [11]	ANN	Faults class detection 94.6%
4. Hand-Drawn Electrical Circuit Recognition using Object Detection and Node Recognition [12]	YOLOv3 TOLOv5 SSD300	YOLOV5 Accuracy 99.17%, Precision 98.06%, Recall 98.75%, and F1-Score 98.40% YOLOv3 Accuracy 98.62%, Precision 98.27%, Recall 97.01%, and F1-Score 97.62% SSD300 Accuracy 98.20%, Precision 98.27%, Recall 97.01%, and F1-Score 97.62%
5. Hand-Drawn Electronic Component Recognition Using ORB [13]	SIFT ORB	Accuracy 99.31%

2.4 ผลสรุปการทำ literature review

เมื่อทบทวนการศึกษาวิจัยต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในงานวิจัยของผู้เขียนเอง พบว่ามีความคล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เห็นได้ชัดว่าวิธีการของ CNN ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางและพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพสูงในแง่ของความแม่นยำ ในความเป็นจริง การศึกษาแสดงให้เห็นว่าแต่ละวิธีที่นักวิจัยใช้ให้อัตราความแม่นยำมากกว่า 89% เพื่อให้งานวิจัยได้มีความสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม จึงได้นำหลักการศึกษานางานวิจัยต่างๆที่ได้ศึกษา ไปค้นคว้าต่อในเรื่องของการเพิ่มเรื่องต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความแม่นยำของการตรวจจับของเทคนิค CNN ความเร็วของ sensitivity ของตัวที่จะนำมาเป็นตัวตรวจจับตัวอุปกรณ์ รวมไปถึงค่าต่างๆที่ใช้ในการวัดค่าของประสิทธิภาพของโมเดลการทำงานของตัวตรวจจับ ไม่ว่าจะเป็น Accuracy, Precision, Re-call, mAP50, และ F1-Score เป็นต้น



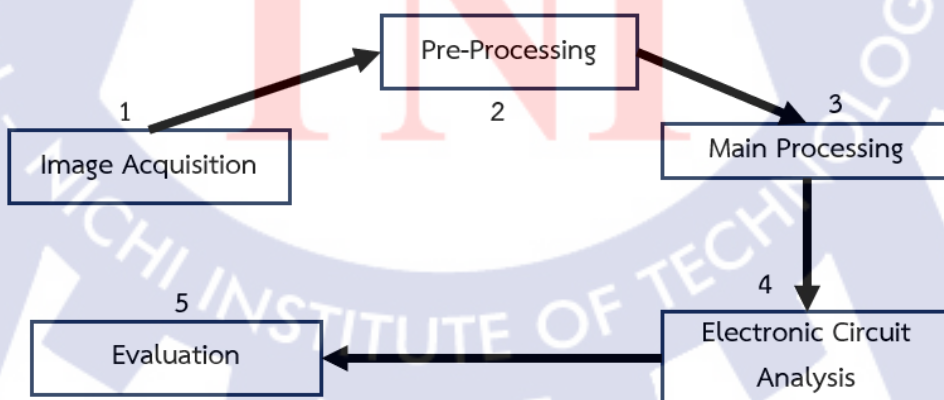
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การวิจัยในการวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์เป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการช่วยในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจแผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างละเอียดและมีประสิทธิภาพ วิธีการดำเนินงานที่ใช้ในการวิจัยนี้มักเน้นไปที่การพัฒนาอัลกอริทึมและโมเดลคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่สามารถจำแนกและสกัดลักษณะเฉพาะของแผนภาพวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ. เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) และการนำหลักการประมวลผลรูปภาพ (Image Processing) เพื่อช่วยในการค้นหาลักษณะที่สำคัญและการจำแนกประเภทของส่วนต่างๆ ในแผนภาพวงจร นอกจากนี้ การวิจัยในส่วนนี้ยังมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องมือและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการช่วยในการวิเคราะห์และแสดงผลแผนภาพวงจรที่เข้าใจง่ายและมีประสิทธิภาพ การวิจัยในเชิงนี้มีศักยภาพที่จะมีผลกระทบใหญ่ในการพัฒนาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และการออกแบบวงจรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

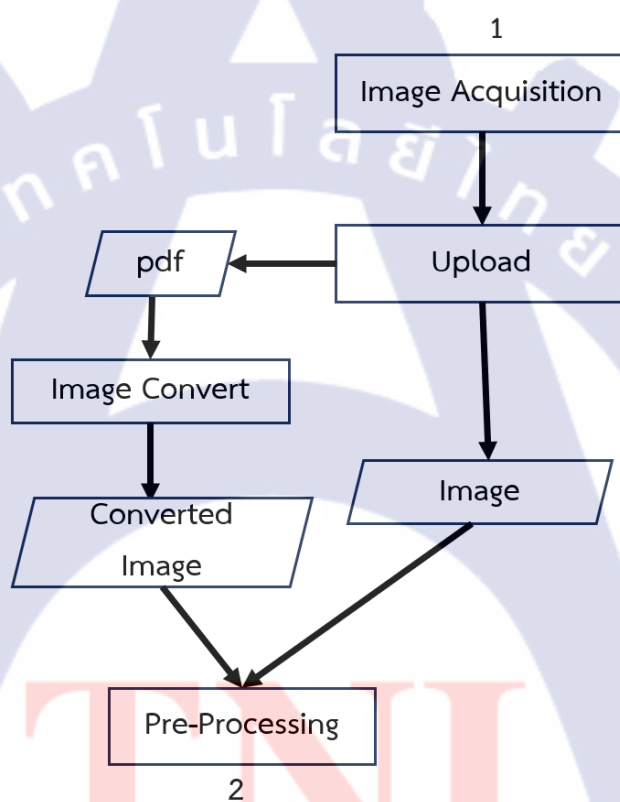
3.1 ภาพรวมของกระบวนการการทำงานของระบบ

การทำงานโดยรวม จะแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การได้มาของรูปภาพ (1 Image Acquisition) การเตรียมการเพื่อการประมวลผล (2 Pre-Processing) กระบวนการประมวลผล (3 Main Processing) การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (4 Electronic Circuit Analysis) และการประเมินผลลัพธ์ (Evaluation) ตามลำดับที่ได้แสดงในรูปที่ 3.1



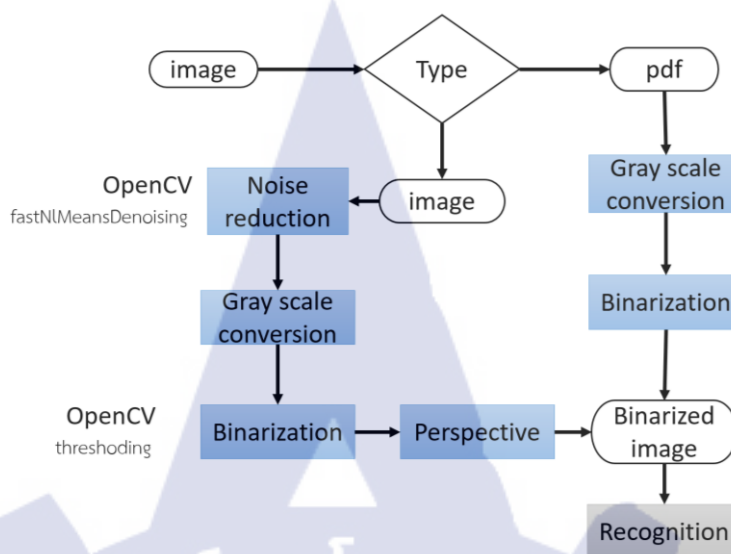
รูปที่ 3.1 กระบวนการหลักทั้งหมดของงานวิจัย

3.1.1 การได้มาของรูปภาพ (Image Acquisition) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 กระบวนการนี้ เป็นการนำรูปภาพของวงจรเข้ามาวิเคราะห์โดยภาพที่ใช้นั้นเป็นรูปแบบของ pdf ที่เป็นรูปภาพที่มีระดับสีเพียง 2 ระดับนั่นคือ ขาวและดำ ที่ส่วนใหญ่ได้มีการใช้งานในการวิเคราะห์ ในส่วนนี้จะมีการทำในเรื่อง manual process ด้วยการทำกรอบและ perspective ของภาพที่ได้มาในรูปแบบของ pdf การอัปโหลดนั้นส่วนใหญ่จะเป็นภาพแบบระดับสีเทาที่มีค่า pixel ระหว่าง 0-255 จึงง่ายต่อการทำกระบวนการต่อไป การได้มาของรูปภาพวิธีที่ 2 ด้วยการถ่ายภาพในกระบวนการนี้ สิ่งที่เป็นเอาต์พุตนั้นก็คือนำรูปภาพ



รูปที่ 3.2 กระบวนการการได้มาของรูปภาพ

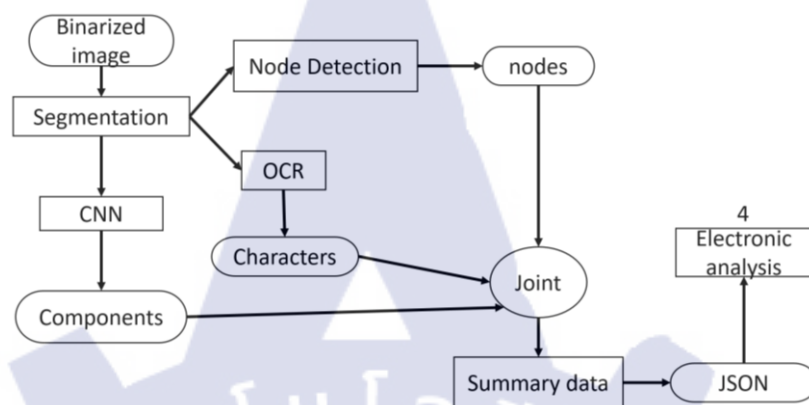
3.1.2 การเตรียมการเพื่อการประมวลผล (Pre-Processing) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 กระบวนการนี้จะทำการ binarization รูปภาพเพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ หลังจากเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้นจะทำการ binarization โดยการปรับค่า thresholding เพื่อให้ภาพนั้นสามารถทำ segmentation ได้แม่นยำมากที่สุดออกมาเพื่อที่จะวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องสำหรับกระบวนการต่อไป



รูปที่ 3.3 การเตรียมการเพื่อการประมวลผล

3.1.3 กระบวนการหลัก (Main Processing) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ในกระบวนการนี้สิ่งที่เราต้องการนั้นคือข้อมูลในรูปแบบของ JSON ดังเช่นที่แสดงในรูปที่ 3.5 หลังจากที่ได้มีการแปลงภาพเป็นภาพขาวดำ ต่อไปเราจะทำเรื่อง segmentation process เพื่อทำการแยกส่วนขององค์ประกอบต่างๆของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่ว่าจะเป็น เส้นลายวงจร แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และกราวด์ ในการทำ segmentation ด้วยหลักการ line detection เพื่อตรวจสอบจุดเปลี่ยนแปลงในรูปภาพเพื่อที่จะแยกออกมาเป็นส่วนๆ ในกระบวนการแยกนั้น จะได้มาทั้งตำแหน่ง ขนาด และจุดเชื่อมต่อละจุดขององค์ประกอบต่างๆในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากที่ยกส่วนเป็นส่วนๆเรียบร้อยแล้ว ต่อไปทำการ matching process ว่าเป็นองค์ประกอบตัวไหน มี 2 กรณี คือ ทำการ matching ได้และไม่ได้ สำหรับกรณีที่ Matching ไม่ได้นั้นจะมีการทำในส่วน of Component Classification ในกระบวนการนี้จะมีส่วนคือ Machine Learning เข้ามามีบทบาทในการทำการแยกองค์ประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตาม Dataset ที่ได้ทำไว้ แต่ในกรณีที่ไม่สามารถแยกองค์ประกอบของอุปกรณ์ได้นั้นจะทำเป็นในส่วนของ open circuit เนื่องจากอาจจะเป็นในส่วนของ IC หรือองค์ประกอบอื่นที่ไม่ได้อยู่ใน scope ของงานนี้ และกรณีที่ทำการ Matching ได้ปกติก็ด้วยการตรวจสอบประเภทขององค์ประกอบว่าเป็นรูปแบบประเภทต่างๆ ดังเช่นที่แสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อทำในส่วน of Segmentation และ Classification เสร็จแล้วนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่กำหนดมาในวงจร จึงจำเป็นต้องทำ OCR Process เพื่อระบุค่าทางไฟฟ้าต่างๆขององค์ประกอบนั้นๆ ตามที่ได้หลักการขององค์ประกอบ สำหรับการกำหนด node ขององค์ประกอบนั้นจะใช้เกณฑ์การกำหนดด้วยการตรวจสอบองค์ประกอบนั้นว่ามีรูปแบบในแนวตั้งหรือแนวนอนก่อน กรณีที่อยู่ในแนวนอนนั้นจะ

กำหนดให้ node แรกนั้นเริ่มจากฝั่งซ้ายไปหาฝั่งขวา แล้วสำหรับกรณีแนวตั้งนั้นจะกำหนด node แรกจากบนลงล่าง



รูปที่ 3.4 กระบวนการหลัก

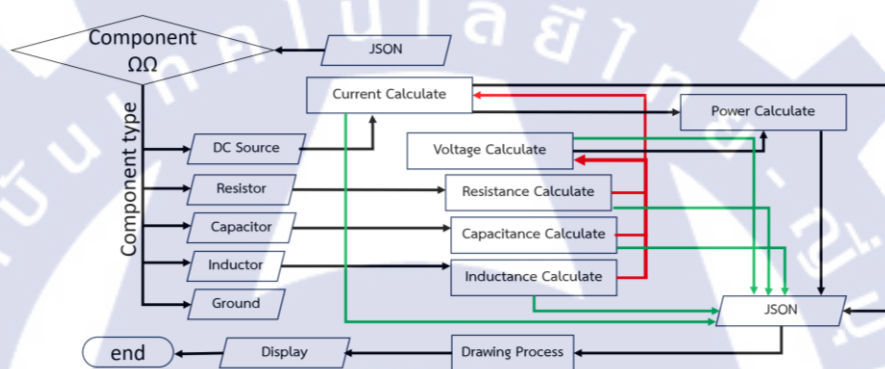
เพื่อการทำงานของงานวิจัยที่ง่ายขึ้นรวมถึงประโยชน์ในการใช้งานจึงได้นำเรื่องรูปแบบของ JSON เข้ามาช่วยในเรื่องนี้โดยการนำ JSON เข้ามาเป็นเอาต์พุตของกระบวนการหลัก ดังเช่นในรูปที่ 3.5 จากการศึกษารูปแบบของ JSON ความสามารถของ JSON นั้นเป็นข้อมูลรูปแบบ text ที่มีรูปแบบที่จะเก็บข้อมูลแบบ key, value แบบชัดเจน

```

{
  "name_type": "V",
  "name": "input1",
  "value": 18,
  "node_1": 0,
  "node_2": 1,
  "unit": null,
  "x": 39,
  "y": 141,
  "width": 131,
  "height": 228,
  "component_type": 11
}
  
```

รูปที่ 3.5 รูปข้อมูลเอาต์พุต JSON

3.1.4 การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuit Analysis) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ก่อนหน้าที่เราได้ข้อมูลออกมาเป็นรูปแบบ JSON ดังเช่นที่แสดงในรูปที่ 3.6 เมื่อเข้ากระบวนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะมีการจำแนกประเภทเพื่อที่จะให้กระบวนการนี้วิเคราะห์หาค่าหรือคำนวณค่าออกมา โดยแยกเป็น แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สิ่งที่มีค่านั่นคือ กระแสไฟฟ้าและพลังงาน ตัวต้านทาน สิ่งที่มีค่านั่นคือความต้านทาน แรงดัน กระแสและพลังงาน ตัวเก็บประจุ สิ่งที่มีค่านั่นคือค่าความเก็บประจุ แรงดัน กระแสและพลังงาน และส่วนสุดท้ายตัวเหนี่ยวนำ สิ่งที่มีค่านั่นคือค่าความเหนี่ยวนำ แรงดัน กระแสและพลังงาน สุดท้ายสิ่งที่เราต้องการก็คือค่าเอาต์พุตในรูปแบบของ JSON ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3.5 เมื่อได้มาเรียบร้อยแล้วก็จะทำการเข้ากระบวนการเขียนวงจรกลับและใส่ค่าที่ได้มาแสดงออกไปทางของโปรแกรม



รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์อิเล็กทรอนิกส์

3.1.5 การประเมินผลลัพธ์ (Evaluation) เป็นการทำให้เห็นข้อแตกต่างจากการทดสอบงานวิจัยที่ได้มีจุดประสงค์ในเรื่องของการลดเวลาการทำงาน โดยนำเวลาของกระบวนการต่างๆในงานวิจัยเข้ามาเปรียบเทียบกับการใช้งานกับโปรแกรมจำลอง (PSPICE) จากการผู้ทำการทดสอบ 10 คน โดยทุกคนนั้นจะมีความสามารถในเรื่องอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด ต่างกันแค่เรื่องประสบการณ์และทักษะในเรื่องของการใช้งานโปรแกรม โดยมีทั้งคนที่เคยใช้โปรแกรมจำลองหรือ PSPICE มาก่อนและไม่เคยใช้งานมาก่อน เพื่อทดสอบเรื่องของเวลาสำหรับการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใน PSPICE

3.2 เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือสำหรับการสร้างโปรแกรม (Programming) ดังเช่นรูปที่ได้แสดง 3.7 เครื่องมือสำหรับการสร้างโปรแกรมที่เป็นหัวใจหลักในการเชื่อมโยงระบบต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง

สุดท้ายไม่ว่าจะเป็นในเรื่องการประมวลผลภาพ การวิเคราะห์รูปภาพ การทำคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อทำในส่วนของการแยกและการจัดหมวดหมู่ รวมไปถึงการทำการวิเคราะห์ค่าทางอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.7 เครื่องสำหรับการทำโปรแกรมมิ่ง Python [14]

3.2.2 ไลบรารีสำหรับการเขียนโปรแกรม (Programming Libraries) ไลบรารีต่างๆ ดังเช่นรูปที่ได้แสดง 3.8 ที่นำมาสำหรับการเขียนโปรแกรมนั้นจะเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อข้อมูลต่างๆที่ทางผู้วิจัยต้องการทดสอบและวิเคราะห์ส่วนต่างๆของข้อมูล โดยจะแยกเป็นการทำงานส่วนต่างๆ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

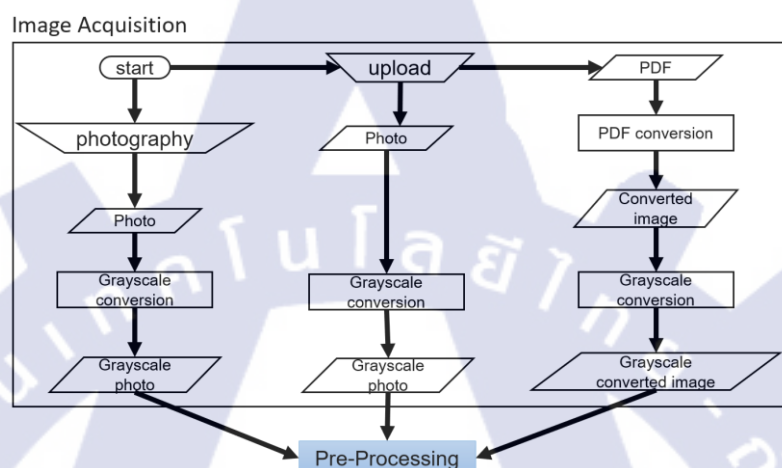
รูปที่ 3.8 ไลบรารีสำหรับโปรแกรมมิ่ง (ก) สำหรับการแปลง pdf [15] (ข) CNN (YOLO) [16]
(ค) OpenCV [17] (ง) Electronic analysis (PySpice) [18] (จ) OCR (tesseract) [19]

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการเพื่อให้เห็นผลของแต่ละขั้นตอนของการทำงานโดยการประมวลผลผ่านโปรแกรมทั้งหมด 5 ขั้นตอนหลักๆ ทำให้เห็นภาพการทดลองอย่างชัดเจนดังต่อไปนี้

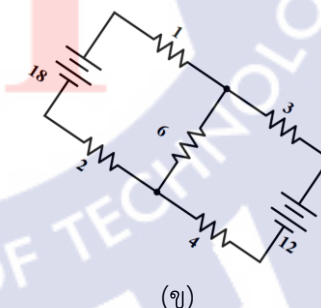
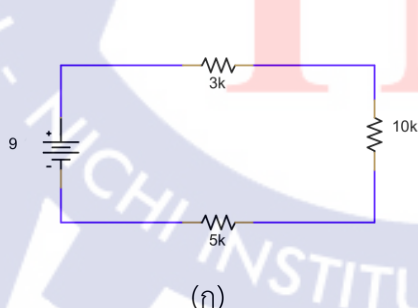
3.3.1 การได้มาของรูปภาพ (Image Acquisition) กระบวนการนี้เป็นการตรวจสอบไฟล์ที่ได้รับเข้ามาจากการอัปโหลดหรือใช้กล้องถ่าย สำหรับการอัปโหลดมีการตรวจสอบไฟล์ที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้นั้นจะ 2 ประเภทที่เป็นแบบรูปภาพและ PDF ไฟล์ ส่วนในการถ่ายรูปนั้น

จะได้ไฟล์ที่มีประเภทเดียวนั้นคือประเภทรูปภาพ สำหรับการอัปโหลดนั้นจะมีกระบวนการตรวจสอบข้อมูลก่อนที่จะทำกระบวนการต่อไป ในกรณีที่มันเป็นไฟล์รูปแบบ PDF จะต้องผ่านกระบวนการแปลงไฟล์ PDF เป็นรูปภาพในรูปแบบ RGB ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.9 จากกระบวนการทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ ทั้งการอัปโหลดและการใช้กล้องถ่ายภาพ ข้อมูลที่ได้มานั้นจะเป็นในรูปแบบของรูปภาพ RGB เพื่อเข้ากระบวนการต่อไปในการแปลงรูปภาพจาก RGB เป็นรูปแบบของรูปภาพประเภทของ gray scale



รูปที่ 3.9 กระบวนการการได้มาของรูปภาพแบบละเอียด

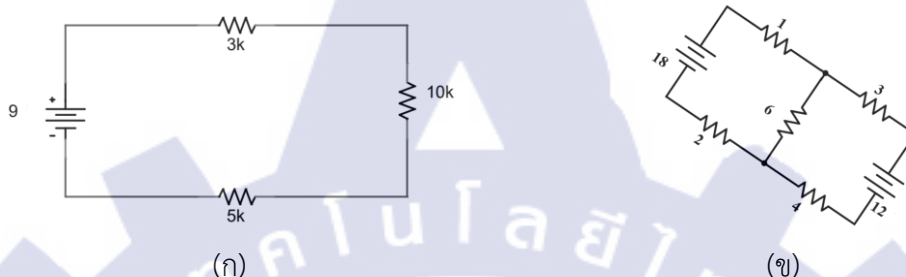
จากกระบวนการของ Image Acquisition ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.10 เป็นข้อมูลภาพที่มีการอินพุตเข้าในกระบวนการ Image Acquisition ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.10 (ก) เป็นอินพุตของที่เป็นไฟล์ในรูปแบบของ PDF และดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.10 (ข) เป็นประเภทของไฟล์ที่เป็นรูปภาพ



รูปที่ 3.10 รูปอินพุตสำหรับกระบวนการได้มาของรูปภาพ (ก) ไฟล์ในรูปแบบของ PDF

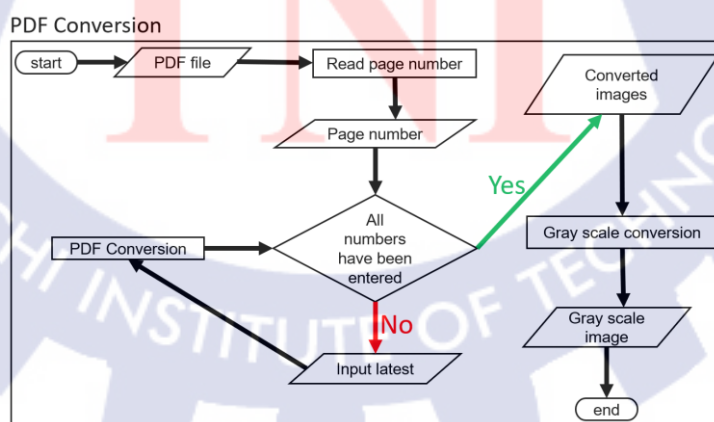
(ข) ไฟล์ในรูปแบบของรูปภาพ

ส่วนเอาต์พุตที่ได้จากการทำ Image Acquisition ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.11 สิ่งที่ได้ออกมาจากการทำ Image Acquisition นี้จะเป็นข้อมูลในรูปแบบของ Gray scale images ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.11 (ก) เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำ Image Acquisition จากไฟล์ PDF ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ gray scale ที่เป็นรูปแบบของการแปลงไฟล์เป็นภาพ ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.11 (ข) เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำ Image Acquisition ที่เป็นรูปแบบของอินพุตที่เป็นไฟล์ภาพ



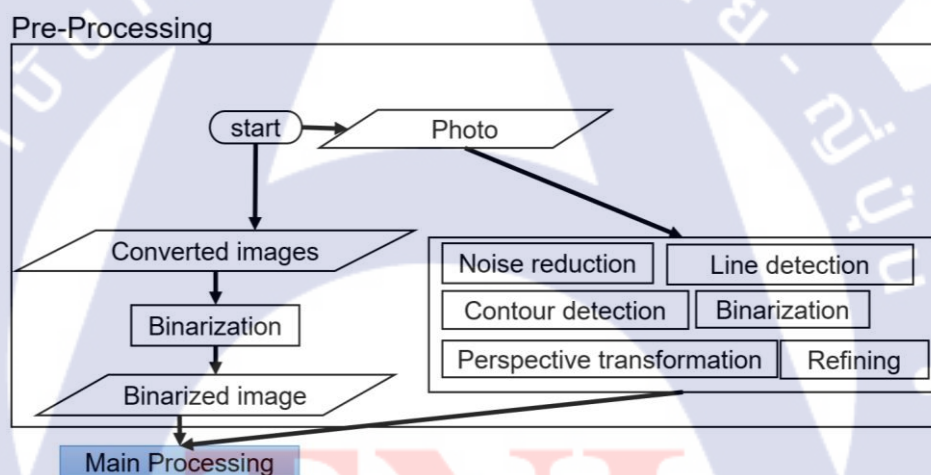
รูปที่ 3.11 รูปเอาต์พุตสำหรับกระบวนการได้มาของรูปภาพ (ก) ข้อมูลเอาต์พุตที่เป็นข้อมูลอินพุตในรูปแบบของไฟล์ PDF (ข) ข้อมูลเอาต์พุตที่เป็นข้อมูลอินพุตในรูปแบบของไฟล์รูปภาพ

จากการได้รับข้อมูลที่เป็นรูปแบบไฟล์ PDF นั้นจะต้องมีการทำการแปลงให้เป็นรูปภาพ ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.12 เพื่อให้สามารถเข้าสู่กระบวนการ Pre-Processing ได้ การที่จะนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการ Pre-Processing ได้นั้นจำเป็นต้องเป็นรูปภาพที่มีระดับ grayscale ก่อนการกำกระบวนการ กระบวนการ Pre-Processing นั้นจะเข้ามาช่วยให้ได้ข้อมูลเอาต์พุตที่เป็นข้อมูลภาพในรูปแบบของไบนารีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ในกระบวนการหลักได้



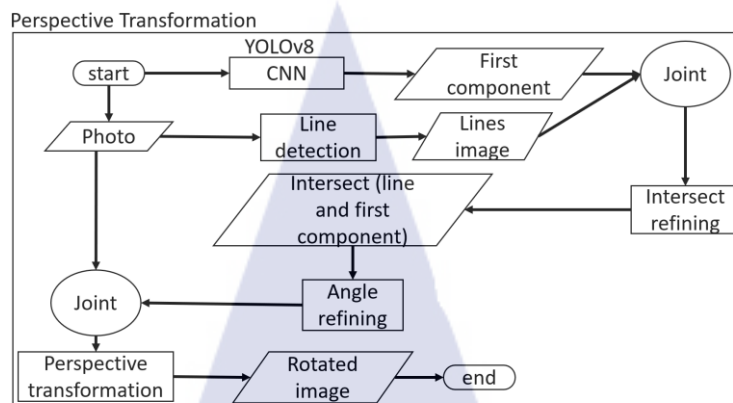
รูปที่ 3.12 กระบวนการแปลง PDF เป็นรูปภาพ

3.3.2 การเตรียมการเพื่อประมวลผล (Pre-Processing) เป็นกระบวนการที่จะมาช่วยในเรื่องของความแม่นยำในการวิเคราะห์ห้วงในกระบวนการหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.13 สำหรับอินพุตของกระบวนการนี้จะป็นรูปภาพที่อยู่ในประเภทของรูปแบบ gray scale ที่ได้มาจากกระบวนการก่อนหน้านี้ ข้อมูลที่ได้มาจะมีอยู่ประเภทหลักคือ 2 ประเภทคือ รูปภาพที่ได้มาจากการถ่ายรูปหรือเป็นประเภทของรูปภาพตั้งแต่การนำเข้าของไฟล์ และประเภทของข้อมูลอื่นจะเป็นรูปภาพที่ได้จากการแปลงมาจาก PDF ไฟล์ สำหรับข้อมูลที่เป็นรูปแบบของการแปลงมาจาก PDF จะมีเพียง binarization เพียงอย่างเดียว ส่วนอีกประเภทที่เป็นรูปภาพตั้งแต่ต้นจะมีกระบวนการต่างๆเข้ามาช่วย ตั้งแต่ noise reduction, binarization, refining, line detection, perspective transformation, และ contour detection กระบวนการทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้นจะเป็นกระบวนการที่จะมาช่วยให้ได้ภาพที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้แม่นยำขึ้น ข้อมูลที่ได้มาจากการทำกระบวนการนี้จะป็นข้อมูลในรูปแบบของรูปภาพไบนารีที่มีขนาดข้อมูลที่เป็น 0 และ 1



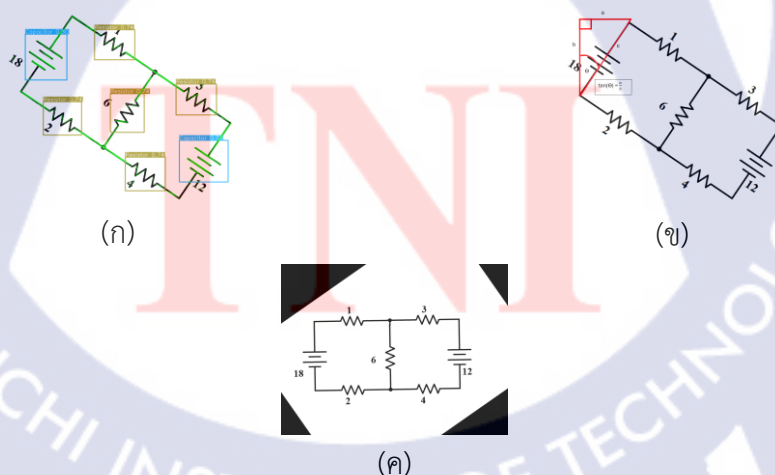
รูปที่ 3.13 การเตรียมการเพื่อการประมวลผลแบบละเอียด

เพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์และตรวจจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างแม่นยำ จะมีการถ่ายรูปวงจรเพื่อให้แน่ใจว่ามีการจัดตำแหน่งที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม มีบางกรณีที่ภาพถ่ายอาจถ่ายจากมุมหนึ่ง เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงมีการใช้หลักการปรับเอียงภาพกับภาพที่ถ่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.14 เพื่อสร้างภาพที่แม่นยำสำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะช่วยให้การเห็นภาพและดึงกระบวนการออกมาเพื่อผลลัพธ์ที่ดีขึ้น



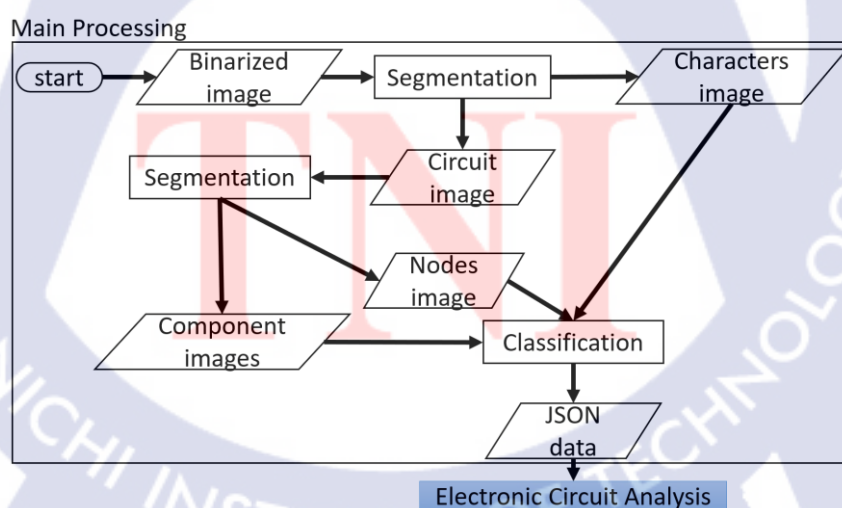
รูปที่ 3.14 กระบวนการปรับมุมของรูปภาพ

เพื่อที่จะปรับรูปให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ดังเช่นในรูปที่ได้แสดง 3.15 ที่เป็นการแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการทำของกระบวนการ Perspective Transformation โดยเทคนิคนี้จะนำเรื่องการตรวจจับตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และการตรวจจับเส้นของวงจรมาช่วยในการตรวจจับตัวอุปกรณ์ตัวแรกและเส้นแรกที่มีความสัมพันธ์กันในเรื่องของ intersection ต่อกัน ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3.15 (ก) เพื่อสามารถที่นำไปหามุมของรูปภาพด้วยการนำวิธีการของพีทาโกรัสมาช่วยในเรื่องของการหามุมของดังเช่นภาพที่ 3.15 (ข) และผลลัพธ์ที่ได้ของกระบวนการนี้จะเป็ภาพที่มีการตั้งฉากเรียบร้อยดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.15 (ค)



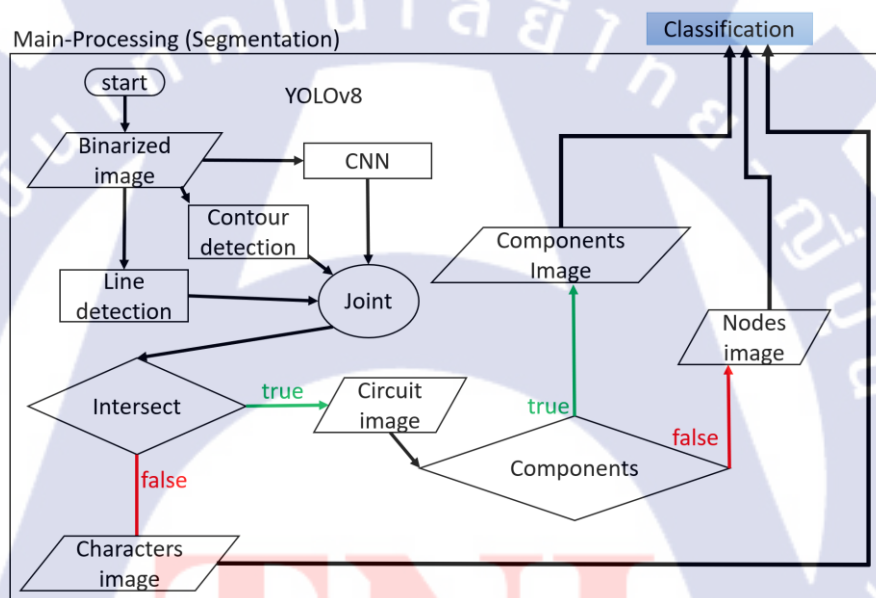
รูปที่ 3.15 รูปการทดสอบกระบวนการ Perspective Transformation (ก) ภาพการวิเคราะห์ด้วย CNN และ Line detection (ข) ภาพแสดงถึงมุมของรูปภาพ (ค) ภาพผลลัพธ์ของกระบวนการ Perspective Transformation

3.3.3 กระบวนการหลัก (Main Processing) กระบวนการนี้จะมีการแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการได้แก่ การแยกส่วน (Segmentation) และการจัดหมวดหมู่ (Classification) ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.16 และ 3.19 สำหรับกระบวนการเหล่านี้จะนำมาช่วยเรื่องการจัดการข้อมูลที่จะวิเคราะห์ได้จากกรุปของวงจร รวมไปถึงประเภทของข้อมูลเพื่อให้เกิดความถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์การคำนวณค่าต่างๆของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับข้อมูลที่รับเข้ามาทำในกระบวนการหลักนี้จะเป็นข้อมูลในรูปแบบรูปภาพที่เป็นประเภทไบนารีที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์รูปภาพมาเรียบร้อยแล้วนั้น ขั้นตอนแรกจะเป็นเรื่องของการแยกส่วนข้อมูลที่จะได้ออกมาจะเป็นข้อมูลทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ รูปภาพของอักขระ รูปภาพองค์ประกอบของวงจร และรูปภาพที่เป็นลายเส้นของวงจร จากข้อมูลทั้ง 3 นี้ที่ได้มานั้นจะมีการแบ่งการทำงานเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกจะมีการแบ่ง รูปแบบของอักขระออกจากรูปภาพวงจรก่อนด้วยวิธีการนำ CNN, line detection และ contour detection เข้ามาช่วยในส่วนนี้ เพื่อให้สามารถแยกส่วนระหว่างอักขระและวงจรอย่างเดียวกันได้ จะเป็นการแยกส่วนอักขระและวงจรออกจากกันเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องของตัวค่าต่างๆที่อยู่ในวงจรเพื่อนำมาเป็นค่าอ้างอิงในการคำนวณหาค่าทางไฟฟ้าของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของแต่ละองค์ประกอบของวงจร ในส่วนนี้จะได้ออกเป็น 2 ข้อมูลคือ รูปภาพที่มีเพียงตัวอักขระ และรูปภาพที่มีเพียงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สุดท้ายของการแยกส่วนจะเป็นการแยกตัวองค์ประกอบและโหนด โดยมีการนำเข้าของข้อมูลที่ได้มาจากการแยกส่วนที่ส่วนแรกคือข้อมูลรูปภาพที่เป็นเพียงภาพวงจรไม่มีตัวอักขระเพื่อให้ได้ข้อมูล 2 ข้อมูลคือ ข้อมูลขององค์ประกอบในวงจรและการแยกส่วนต่างๆของโหนดเพื่อเอาไปกำหนดเส้นทางของวงจร



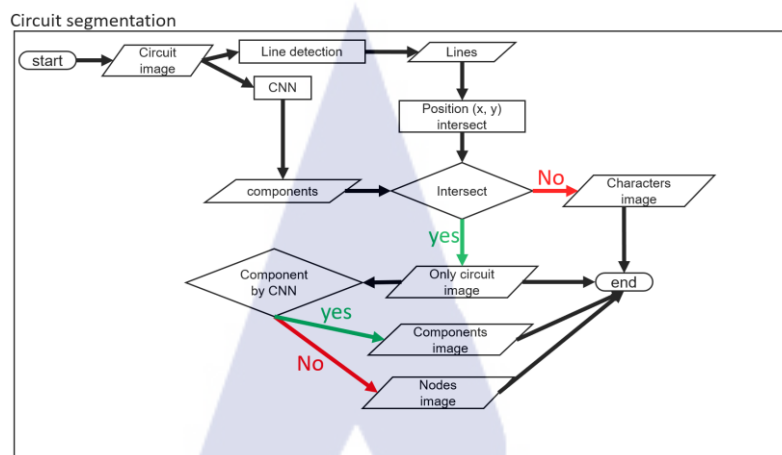
รูปที่ 3.16 กระบวนการหลักแบบละเอียด

Main Processing (Segmentation) เป็นกระบวนการย่อยของกระบวนการหลักที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในความแม่นยำในการวิเคราะห์ กระบวนการนี้แยกเอาต์พุตออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์และภาพตัวอักษร ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ด้วยเทคนิคนำเข้าต่างๆ เช่น CNN (YOLOv8) และ Line Detection เพื่อตรวจจับจุดตัดระหว่างองค์ประกอบและเส้นที่ตรวจพบ CNN และ Line Detection กรณีที่ตรวจพบว่าเป็นจุดตัดกันจะถูกแยกออกเป็นภาพของวงจรสำหรับกรณีที่ไม่ใช่จุดตัดกัน มันถูกแบ่งออกเป็นตัวอักษร กระบวนการเริ่มต้นนี้จะมีเอาต์พุตสองเอาต์พุต: ภาพวงจรและภาพตัวอักษร แต่ในกรณีนี้จะต้องเอาต์พุตสามส่วน ได้แก่ ภาพวงจร ภาพตัวอักษร และภาพโหนดต่างๆ ภาพวงจรใช้เพื่อค้นหาภาพของหลายโหนด โดยแยกออกจากกันว่าเคสต่างๆ เป็นองค์ประกอบของวงจรที่ตรวจพบโดย CNN และส่วนที่เหลือถูกกำหนดให้เป็นโหนด



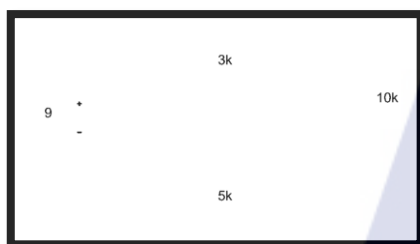
รูปที่ 3.17 กระบวนการแยกส่วน

การเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจจับอุปกรณ์ จากรูปที่ 3.18 เป็นกระบวนการย่อยของการทำการแยกแยะ ที่จะเข้ามาช่วยในการแยกส่วนตัวอักษรของตัววงจรออกจากกันทำให้การทำคอมพิวเตอร์วิทัศน์นั้น แม่นยำมากยิ่งขึ้น วิธีการนี้จะนำเรื่องการทำการตรวจจับลายเส้นของรูป โดยอิงจากกรณีที่ตรวจจับอุปกรณ์ได้ด้วย YOLOv8 และการตรวจจับลายเส้นที่มีการทับซ้อนกันจะถูกแยกออกเป็นรูปของวงจร และส่วนที่ตรวจจับได้ด้วย OCR พร้อมไม่ถูกทับซ้อนด้วยเส้นและตัวอุปกรณ์ จะถูกแยกออกเป็นในส่วนของตัวอักษร

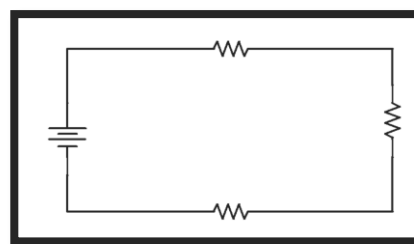


รูปที่ 3.18 กระบวนการแยกส่วนของวงจร

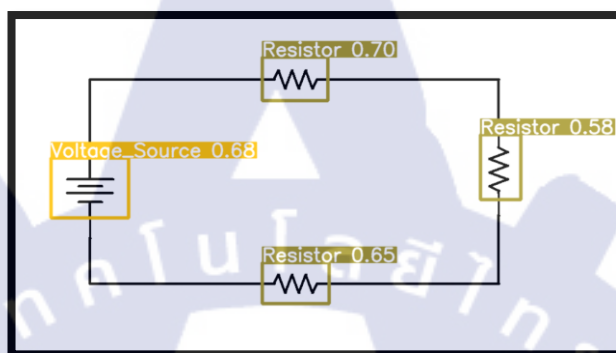
สำหรับข้อมูลของกระบวนการหลักหลักนี้จะมีทั้งหมด 3 ข้อมูลได้แก่ ภาพของอักขระต่างๆ ที่มีในวงจร ภาพงตัวอุปกรณ์ของอิเล็กทรอนิกส์ และภาพโหนดของวงจร กระบวนการนี้จะมีย่อยออกเป็น 2 ส่วนคือ การแยกส่วน และการจำแนก ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3.19 ที่เป็นผลลัพธ์ของการทำกระบวนการหลัก ในขั้นตอนของการแยกส่วนนั้นส่วนแรกเป็นการแยกส่วนระหว่างตัวอักขระและวงจรออกจากกัน ด้วยการนำเทคนิค YOLOv8 เพื่อตรวจจับอุปกรณ์และเทคนิค Line Detection เพื่อตรวจจับลายเส้นของวงจร สำหรับการหาตัวอักขระนั้นจะเป็นส่วนที่ไม่ถูกทำการตรวจจับด้วย Line Detection และไม่ได้ตัด (intersect) กับตัวอุปกรณ์มีการตรวจจับได้จะถูกแยกออกมาเป็นส่วนของตัวอักขระ ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3.19 (ก) เมื่อทำการแยกในส่วนของอักขระออกไปแล้วนั้นสิ่งที่จะได้จะเป็น 2 ข้อมูลที่เป็นภาพอักขระ และภาพวงจร ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.19 (ข) ที่เป็นภาพที่ไม่มีอักขระต่างๆของวงจรอยู่ด้วย ในขณะที่ได้ภาพของวงจรอย่างเดียวนั้นยังขาดในเรื่องของภาพตัวอุปกรณ์ต่างๆและภาพที่แสดงถึงแต่ละโหนดของวงจร ในส่วนต่อไปจะทำการแยกส่วนของอุปกรณ์ออกไปด้วยการตรวจจับอุปกรณ์ด้วย YOLOv8 ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.19 (ค) ส่วนของการตรวจจับด้วย YOLOv8 ได้นั้นจะถือว่าเป็นส่วนของอุปกรณ์ แล้วทำการแยกออกมาทำได้เลยผลลัพธ์ ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.19 (ข) และส่วนที่เหลือนั้นจะถูกจัดออกเป็นโหนดของวงจร ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.19 (ง) ในส่วนข้อมูลที่ได้มานี้จะถูกส่งเข้ากระบวนการจำแนกต่อไปเพื่อทำการจำแนกข้อมูลต่างๆของวงจร โดยอินพุตในส่วนของการจำแนก ได้แก่ ข้อมูลของรูปที่ 3.19 (ก) ข้อมูลของรูปที่ 3.19 (ข) และข้อมูลของรูปที่ 3.19 (ง)



(ก)



(ข)



(ค)



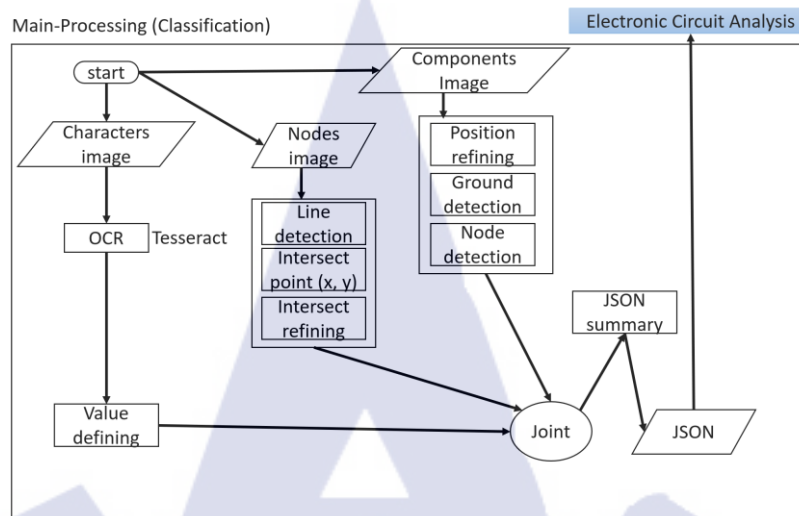
(ง)



(จ)

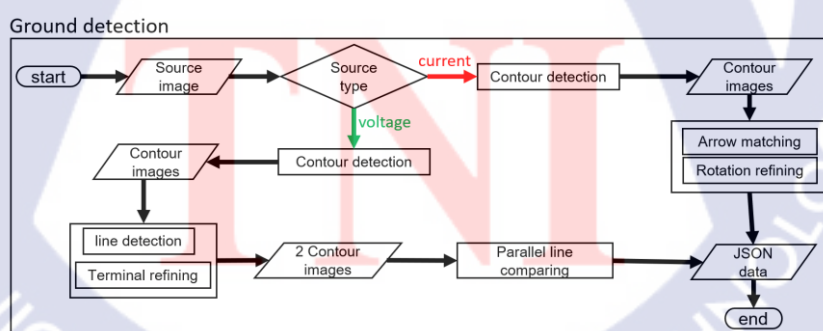
รูปที่ 3.19 รูปภาพการทดสอบการทำ Segmentation (ก) รูปแสดงเฉพาะอักขระ (ข) รูปแสดงเฉพาะวงจร (ค) รูปแสดงการตรวจจับอุปกรณ์ (ง) รูปแสดงการแยกอุปกรณ์ (จ) รูปแสดงโหนด

Main Processing (Classification) เป็นกระบวนการย่อยของกระบวนการหลักที่จำเป็นในการกำหนดค่าวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ กระบวนการนี้จะกำหนดเส้นทางของส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์และตั้งค่าต่างๆ สำหรับองค์ประกอบวงจร ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ข้อมูลในรูปแบบ JSON ได้มาเพื่อใช้เป็นอินพุตในกระบวนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เทคนิคต่างๆ มากมาย เช่น OCR, Line Detection และ Matching



รูปที่ 3.20 กระบวนการจำแนก

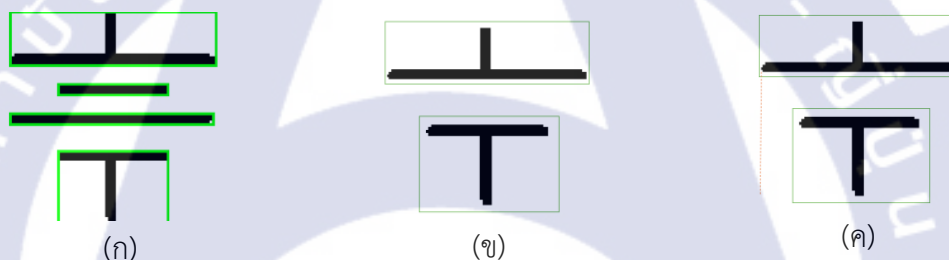
เพื่อการวิเคราะห์วงจรที่สมบูรณ์นั้นส่วนสำคัญของข้อมูลที่กระบวนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นที่ขาดไม่ได้เลยนั้นจะเป็นกราฟด์ ที่จะเป็นส่วนให้กระบวนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถวิเคราะห์ออกมาได้อย่างแม่นยำ และครบองค์ประกอบของวงจรที่ควรจะมีกระบวนการที่มาช่วยในเรื่องของการตรวจสอบและกำหนดกราฟด์ของวงจร ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.21 ในกรณีที่สามารถตรวจจับ สัญลักษณ์กราฟด์ ในวงจรได้ หรือ + กับ - และผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะเป็นดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 กระบวนการตรวจจับกราฟด์

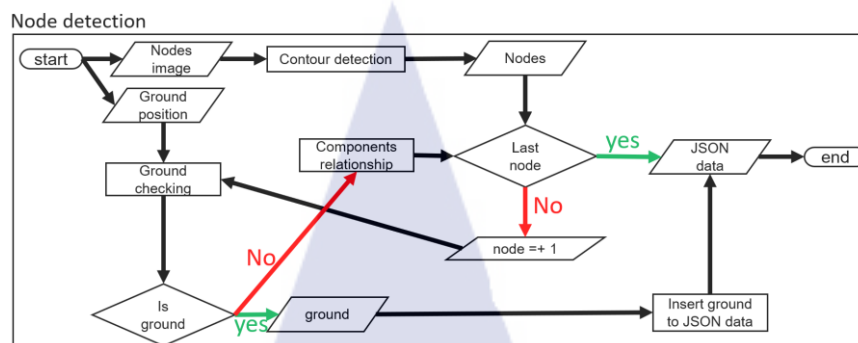
สำหรับข้อมูลของการตรวจจับกราฟด์ ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.22 เป็นการยกตัวอย่างการตรวจจับกราฟด์ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจจับตัวสัญลักษณ์ + และ - ได้โดยจะอ้างอิงจากแหล่งจ่ายไฟเป็นหลักเพื่อหาว่าไหนคือตัวไหนที่เป็นโนดของกราฟด์ ในส่วนของรูปที่ 3.22 เป็นการแสดงการ

ตรวจจับกราวนด์ของแหล่งจ่ายไฟในรูปแบบของ Voltage Source โดยมีขั้นตอนดังนี้ ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.22 (ก) เป็นการนำ feature ของ OpenCV มาใช้งานที่เรียกว่า Contour Detection เป็นการตรวจจับคุณสมบัติของภาพโดยหารูปร่างที่มีในรูปภาพโดยมีความต่อเนื่องกัน เป็นการแสดงในส่วนของรูปร่างแต่ละรูปร่างที่ถูกตรวจจับได้ เมื่อทำการตรวจจับได้แล้วนั้นจะทำการแยกออกจากกัน โดยได้ข้อมูลทั้งหมด 4 ข้อมูล ส่วนที่ต้องการตรวจสอบนั้นจะเป็น ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.22 (ข) โดยคุณสมบัติของ Voltage Source นั้นจะมีส่วนของ แสดงถึงภาคจ่ายไฟโดยถูกกำหนดด้วยลักษณะของตัวจ่ายไฟฟ้าที่เป็นรูปแบบของเส้นที่สั้นและยาวไม่เท่ากัน โดยนำภาพที่มีการตรวจจับด้วย Line Detection แล้วมีเส้นมากกว่า 1 และมีเส้นที่ตัดกัน ในส่วนสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบความยาวของเส้นเพื่อหาว่าเส้นที่สั้นที่สุดนั้นเป็นส่วนของกราวนด์ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.22 (ค) เป็นการตรวจสอบเส้นที่ขนานกันโดยใช้วิธีการหาค่า x, y ของแต่ละเส้นและหาเส้นที่ยาวที่สุด ในการเปรียบเทียบนี้จะมีแค่ 2 ข้อมูลมาเปรียบเทียบทำให้เมื่อได้เส้นที่ยาวที่สุดส่วนที่เหลือคือเส้นที่สั้นที่สุดหรือกราวนด์ของวงจร



รูปที่ 3.22 การจำแนกโหนดของกราวนด์ (1) ภาพการตรวจจับของ Contour Detection (ข) ภาพการแยกส่วนที่จะนำไปเปรียบเทียบหากราวนด์ของวงจร (ค) ภาพการเปรียบเทียบหากราวนด์ของวงจร

ในส่วนสำคัญอีกอย่างนั้นจะเป็นการที่จะสามารถวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ออกมาได้อย่างสมบูรณ์นั้นตัวอุปกรณ์จะต้องมีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์และไม่ขาดหายไปในบางจุด การตรวจจับโหนด ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.23 เพื่อให้วงจรนั้นทำงานได้ครบรูปการทำงานตามหลักของวงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน จึงได้นำหลักการการตรวจจับโหนดของวงจรที่ช่วยให้ตรวจจับโหนดแต่ละตัวพร้อมสามารถตรวจสอบได้ว่าแต่ละโหนดนั้นมีการเชื่อมต่อตัวอุปกรณ์ตัวไหนบ้าง เพื่อเป็นการกำหนดเส้นทางการไหลของกระแสพร้อมทั้งการวิเคราะห์วงจรที่สมบูรณ์ตามกฎของวงจรอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.23 การจำแนกโหนดของวงจร

3.3.4 การวิเคราะห์ทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuit Analysis) ดังเช่นรูปที่ได้แสดง 3.25 เป็นขั้นตอนที่เข้ามาช่วยในวิเคราะห์ค่าทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะสามารถคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละโหนดการเชื่อมต่อ ในกระบวนการนี้จะมีการนำเข้าข้อมูล 2 อินพุตคือ ข้อมูลที่เป็น JSON ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.24 ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ของกระบวนการหลัก (Main-Processing) และรูปภาพที่เป็นไบนารีที่ได้มาจากการประมวลผล (Pre-Processing) กระบวนการนี้จะวิเคราะห์ค่าทางอิเล็กทรอนิกส์ออกมาของแต่ละโหนดเพื่อให้สามารถคำนวณที่สามารถระบุเส้นทางของกระแสไฟฟ้า และทำการบันทึกเพิ่มเข้าไปใน JSON และนำไปเขียนเส้นทางของกระแสออกมาโดยใช้ภาพเดิมที่ได้มา

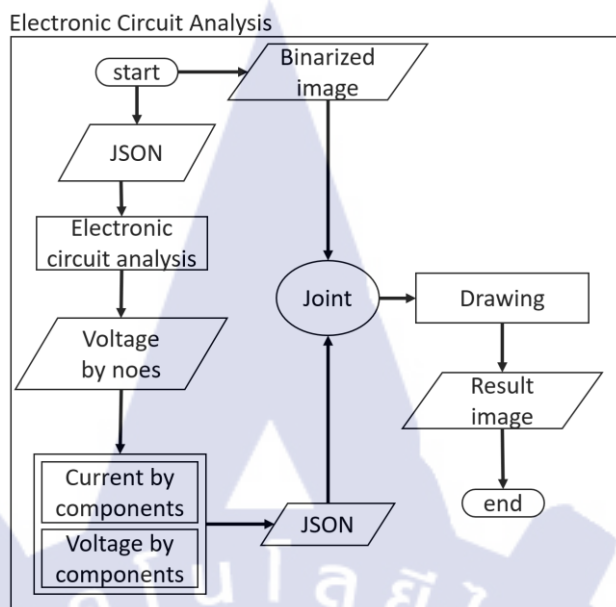
```

{ "name_type": "V", "name": "input1", "value": 18, "node_1": 0, "node_2": 1, "unit": null, "x": 39, "y": 141, "width": 131, "height": 228, "component_type": 11 },
{ "name_type": "R", "name": 3, "value": 2, "node_1": 0, "node_2": 3, "unit": null, "x": 163, "y": 273, "width": 256, "height": 313, "component_type": 10 },
{ "name_type": "R", "name": 5, "value": 4, "node_1": 0, "node_2": 3, "unit": null, "x": 403, "y": 270, "width": 488, "height": 316, "component_type": 10 },
{ "name_type": "V", "name": "input2", "value": 12, "node_1": 0, "node_2": 4, "unit": null, "x": 502, "y": 160, "width": 590, "height": 227, "component_type": 11 },
{ "name_type": "V", "name": 1, "value": 1, "node_1": 1, "node_2": 2, "unit": null, "x": 159, "y": 53, "width": 250, "height": 93, "component_type": 10 },
{ "name_type": "R", "name": 2, "value": 6, "node_1": 2, "node_2": 3, "unit": null, "x": 305, "y": 149, "width": 357, "height": 234, "component_type": 10 },
{ "name_type": "R", "name": 4, "value": 3, "node_1": 2, "node_2": 4, "unit": null, "x": 403, "y": 51, "width": 490, "height": 94, "component_type": 10 }

```

รูปที่ 3.24 รูปข้อมูล JSON ที่มีการจัดเรียงโดยเรียงจาก node_1 แรกและตามด้วย node_2

สำหรับกระบวนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 3.25 ในกระบวนการนี้จะมีข้อมูลสำหรับอินพุต 2 ข้อมูลโดยมีข้อมูลที่เป็น JSON และข้อมูลที่เป็นรูปภาพ สำหรับข้อมูล JSON เป็นข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการนี้สำหรับการวิเคราะห์ค่าต่างๆทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะเป็นค่าแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ในแต่ละโหนดของวงจรที่ได้ทำการวิเคราะห์ และในส่วนของคุณภาพรูปนั้นจะเป็นการข้อมูลสำหรับเอาต์พุตเพื่อที่จะแสดงทิศทางของกระแสโดยมีการเขียนลูกศรด้วยโปรแกรม เพื่อให้เห็นเรื่องของทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.25 กระบวนการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์

3.3.5 การประเมินผลลัพธ์ (Evaluation) เป็นการประเมินผลการทดสอบโดยการประเมินผลลัพธ์จะเป็นในเรื่องของเวลาการทดสอบของโปรแกรม ให้ได้ผลการทดสอบตามเป้าหมายของงานวิจัย โดยการทดสอบจะเป็นในเรื่องของเวลาการทดสอบที่ตามวัตถุประสงค์คือการลดเรื่องของเวลาการทำงานลงจากการทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมจำลอง

3.4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

สำหรับผลสรุปของการทำงานวิจัยเรื่องนี้ด้วยวิธีการต่างๆที่ได้มา โดยแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆได้ 3 ส่วน ได้แก่ การทำเรื่องของการประมวลผลภาพเบื้องต้น การทำส่วนของ segmentation และการทำส่วนของการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประเด็นสำคัญของงานวิจัยเรื่องนี้คือเรื่องความแม่นยำของระบบในการอ่านค่าและการตรวจจับอุปกรณ์ที่ถูกต้องที่เป็นหัวใจหลักของงานวิจัยเรื่องนี้ การทำงานของงานวิจัยนี้คือความเร็วในการทำงานนั้นของแต่ละรูปที่ได้มาทดสอบเพื่อให้เห็นการทดลองนี้สามารถที่จะมาช่วยในเรื่องลดเวลาการทำงานและการวิเคราะห์ค่าต่างๆทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ พร้อมมรแสดงถึงทิศทางกรไหลของกระแสในวงจร จากการทดลองปัญหาหลักของ YOLOv8 ที่เจอจะเป็นเรื่องของการตรวจจับที่ผิดพลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความคล้ายคลึงกับตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำที่มีความคล้ายคลึงกับตัวต้านทานที่ยังคงมีผิดพลาดมากส่วนในส่วนนี้

บทที่ 4

ผลการทดลอง การวิเคราะห์ และการประเมินผล

การวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์เป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นการใช้ความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ในการทำความเข้าใจและวิเคราะห์โครงสร้างและพฤติกรรมของวงจรอิเล็กทรอนิกส์. โดยการใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ช่วยในการทำนายและทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับประสิทธิภาพและความเสถียรของวงจร นอกจากนี้ เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ยังช่วยในการสกัดลักษณะเฉพาะของวงจร เช่น การตรวจจับสัญญาณที่ผิดปกติหรือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของวงจร เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของวงจรได้อย่างลึกซึ้ง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ที่ได้จากเทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ช่วยให้ให้นักวิจัยและวิศวกรสามารถปรับปรุงและออกแบบวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากยิ่งขึ้น และเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาหรือการปรับปรุงวงจรให้เหมาะสมต่อการใช้งานในสถานการณ์ต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยลดเวลาและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการออกแบบและพัฒนางานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อเป็นการกำหนดข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์และทดสอบ ดังเช่นในตาราง 4.1 เป็นค่าต่างๆ ที่ได้ใช้ในงานวิจัย ในเรื่องของการใช้งานโมเดลของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อป้องกันสิ่งที่ได้กำลังทำอยู่ในงานวิจัย

ตารางที่ 4.1 ตารางสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้งาน

ชื่อสัญลักษณ์	ความหมาย
Precision	ความแม่นยำว่าสิ่งที่ทำนายนั้นเป็นองค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์จริงและทำนายถูกต้อง
Recall	ความถูกต้องของการทำนายว่าเป็นองค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นจริง เทียบกับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ทั้งทำนายและเกิดขึ้นว่าเป็นจริง
TP (True Positive)	สิ่งที่มีการทำนายว่าเป็นองค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์จริงและทำนายว่าจริง
FP (False Positive)	สิ่งที่มีการทำนายว่าไม่เป็นองค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์และทำนายว่าจริง

ตารางที่ 4.1 ตารางสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้งาน (ต่อ)

FN (False Negative)	สิ่งที่มีการทำนายว่าไม่เป็นองค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์และทำนายว่าไม่จริง
TN (True Negative)	สิ่งที่มีการทำนายว่าเป็นองค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์จริงและทำนายว่าไม่จริง
F1-Score	ค่าความสมดุลระหว่างความแม่นยำในการทำนายในกลุ่มของเป้าหมายและการตรวจจับเหตุการณ์ที่เราสนใจ
second	หน่วยสำหรับการวัดเวลาการทดสอบ วินาที

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ (Convolutional Neural Network: CNN) กับ YOLOv8 การฝึกโมเดลจะใช้คอมพิวเตอร์ที่มีข้อกำหนดระบบดังต่อไปนี้ CPU: i7-13700kf, RAM: 64Gb และ GPU: RTX 4070 super ภาษาการเขียนโปรแกรมที่ใช้เพื่อจุดประสงค์นี้คือ Python v3.11.7 ดังได้แสดงในรูปที่ 4.1 เป็นการวิเคราะห์โมเดลแบบจำลองเพื่อจะได้รับการประเมินค่าผลลัพธ์ต่างๆ เช่น Precision Recall mAP50 และ F1-Score โดยการวิเคราะห์โมเดลด้วย YOLOv5

```

Ultralytics YOLOv8.2.1 Python-3.11.7 torch-2.2.2 CUDA:0 (NVIDIA GeForce RTX 4070 SUPER, 12282MiB)
YOLOv8n summary (fused): 193 layers, 2505284 parameters, 0 gradients, 7.1 GFLOPs
val: Scanning D:\Projects\YOLOv8\dataset files\circuit 202000.vii.yolov5pytorch\valid\labels.cache... 427 images, 0 backgrounds, 0 corrupt: 100% 427/427 [00:00<?, ?it/s]
Class Images Instances Box(P R mAP50 mAP50-95): 100% 27/27 [00:03<00:00, 7.42it/s]
all 427 1023 0.77 0.789 0.788 0.416
AC_Source 427 11 0.897 0.797 0.915 0.452
BJT 427 57 0.701 0.78 0.691 0.388
Battery 427 22 0.447 0.771 0.642 0.335
Capacitor 427 73 0.872 0.795 0.787 0.384
Current_Source 427 40 0.838 0.9 0.939 0.54
DC_Source 427 70 0.742 0.834 0.841 0.482
Diode 427 50 0.751 0.8 0.786 0.405
Ground 427 73 0.766 0.849 0.762 0.381
Inductor 427 57 0.879 0.635 0.689 0.387
MOSFET 427 26 0.758 0.923 0.923 0.572
Resistor 427 465 0.878 0.832 0.834 0.41
Voltage_Source 427 79 0.711 0.57 0.648 0.333
Speed: 1.4ms preprocess, 2.0ms inference, 0.0ms loss, 0.6ms postprocess per image
Results saved to runs\detect\val3

```

รูปที่ 4.1 รูปการทดสอบ validation ข้อมูลของ YOLOv5

ในส่วนต่อไปเพื่อให้เห็นความแตกต่างของโมเดลที่ได้นำมาวิเคราะห์ในเรื่องของความแม่นยำของงานวิจัย ดังเช่นที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2 เป็นการวิเคราะห์ค่าต่าง ได้แก่ Precision Recall mAP50 และ F1-Score ด้วยการใช้งานโมเดลของ YOLOv8 เพื่อเป็นเหตุผลในการเลือกใช้โมเดลของ YOLOv8

```

Ultralytics YOLOv8.2.1 Python-3.11.7 torch-2.2.2 CUDA:0 (NVIDIA GeForce RTX 4070 SUPER, 12282MiB)
YOLOv8m summary (fused): 218 layers, 25846708 parameters, 0 gradients, 78.7 GFLOPs
val: Scanning D:\Projects\YOLO\dataset files\circuit12_v11.yolov8\valid\labels.cache... 751 images, 0 backgrounds, 0 corrupt: 100% [██████████] 751/751 [00:00<?, ?it/s]

```

Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95
all	751	1799	0.827	0.77	0.805	0.415
AC_Source	751	22	0.883	1	0.995	0.52
BJT	751	82	0.738	0.866	0.748	0.422
Battery	751	42	0.565	0.595	0.612	0.357
Capacitor	751	134	0.824	0.731	0.723	0.348
Current_Source	751	66	0.937	0.803	0.919	0.538
DC_Source	751	125	0.827	0.725	0.867	0.466
Diode	751	85	0.793	0.768	0.82	0.362
Ground	751	134	0.827	0.821	0.816	0.331
Inductor	751	112	0.974	0.669	0.748	0.404
MOSFET	751	46	0.953	0.957	0.969	0.543
Resistor	751	834	0.907	0.794	0.841	0.391
Voltage_Source	751	117	0.702	0.504	0.597	0.296

```

Speed: 0.4ms preprocess, 7.0ms inference, 0.0ms loss, 1.6ms postprocess per image
Results saved to runs\detect\val2

```

รูปที่ 4.2 รูปการทดสอบ validation ข้อมูลของ YOLOv8

จากทั้งสองรูปทั้ง รูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเรื่องของความแม่นยำในส่วนของ YOLOv8 นั้นจะทำได้ดีกว่าจึงเป็นเหตุผลในเรื่องการเลือกใช้งาน YOLOv8 เพื่อให้เห็นภาพชัดยิ่งขึ้น จึงได้ทำการทดสอบเรื่องของความเร็วในการวิเคราะห์ของทั้งสองโมเดล ดังเช่นที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดสอบเรื่องของความเร็วเพื่อที่จะได้สามารถเทียบว่างานวิจัยนี้ได้เลือกในส่วนของ YOLOv8 มาใช้งาน ดังเช่นที่ได้แสดงถึงเวลาแต่ละ parameter ของทั้ง YOLOv5 และ YOLOv8 ตามตารางที่ได้กล่าวมา

ตารางที่ 4.2 การทดสอบเรื่องของเวลาของโมเดลทั้ง YOLOv5 เทียบกับ YOLOv8

ผลการทดสอบเวลา	YOLOv5 (ms)	YOLOv8 (ms)
preprocess	0.9	0.2
inference	2.3	6.3
loss	0.0	0.0
postprocess	2.7	0.5

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆ ใน YOLOv5 เพื่อให้สามารถเห็นถึงค่าความแม่นยำในแต่ละคลาสของตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตามตารางที่ 4.3 เป็นการทดสอบ validation ข้อมูลจากรูปทั้งหมด 1023 รูปของ YOLOv5 เป็นการทดสอบหาค่าต่างๆ ได้แก่ Precision Recall mAP50 และ F1-Score ที่ได้ทดสอบโมเดลในแต่ละ class ทั้งหมด 12 classes

ตารางที่ 4.3 การทดสอบโมเดลของ YOLOv5

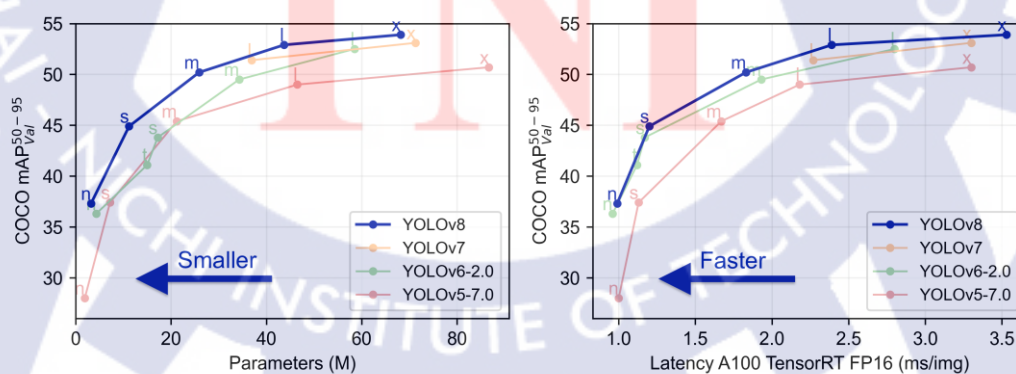
Class	Instances	Precision	Recall	mAP50	F1-Score
All	1023	77.0%	78.9%	78.8%	41.6%
AC Source	11	89.7%	79.7%	91.5%	45.2%
BJT	57	70.1%	78.0%	69.1%	38.8%
Battery	22	44.7%	77.1%	64.2%	33.5%
Capacitor	73	87.2%	79.5%	78.7%	38.4%
Current Source	40	83.8%	90.0%	93.9%	54.0%
DC Source	70	74.2%	81.4%	84.1%	48.2%
Diode	50	75.1%	80.0%	78.6%	40.5%
Ground	73	76.6%	84.9%	76.2%	30.1%
Inductor	57	87.9%	63.5%	68.9%	38.7%
MOSFET	26	75.8%	92.3%	92.3%	57.2%
Resistor	465	87.8%	83.2%	83.4%	41.0%
Voltage Source	79	71.1%	57.0%	64.8%	33.3%

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นว่างานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกการใช้งานใน YOLOv8 โดยการทดสอบให้เห็นตารางที่ 4.4 ที่เป็นการทดสอบหาค่าต่างๆ ได้แก่ Precision Recall mAP50 และ F1-Score ที่ได้ทดสอบโมเดลในแต่ละ class จากการ train ของ YOLOv8 โดยจาก dataset จะมีทั้งหมด 12 classes เหมือนกับตัวที่ได้ทำการ train ในส่วนของ YOLOv5 เช่นเดียวกัน เพื่อที่จะสามารถเป็นการเปรียบเทียบได้ของทั้ง 2 version ได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.4 การทดสอบโมเดลของ YOLOv8

Class	Instances	Precision	Recall	mAP50	F1-Score
All	1799	82.7%	77.0%	80.5%	79.75%
AC Source	22	88.3%	100%	99.5%	93.79%
BJT	82	73.8%	86.6%	74.8%	79.69%
Battery	42	56.6%	59.5%	61.2%	58.01%
Capacitor	134	82.4%	73.1%	72.3%	77.47%
Current Source	66	93.7%	80.3%	91.9%	86.48%
DC Source	125	82.7%	72.5%	86.7%	77.27%
Diode	85	79.3%	76.8%	82.0%	78.03%
Ground	134	82.7%	82.1%	81.6%	82.40%
Inductor	112	97.4%	66.9%	74.8%	79.32%
MOSFET	46	95.3%	95.7%	96.9%	95.50%
Resistor	834	90.7%	79.4%	84.1%	84.68%
Voltage Source	117	70.2%	50.4%	59.7%	58.68%

จากการทดสอบของการเทรนโมเดลทั้ง YOLOv5 และ YOLOv8 เมื่อได้เปรียบเทียบของทั้ง 2 ทำให้เห็นว่าในเรื่องของ version ล่าสุดนั้นจะมีในเรื่องของความเร็วในการวิเคราะห์ที่เร็วกว่าดังเช่นที่ได้แสดงตามรูปภาพที่ 4.3 ทำให้เห็นทั้ง 2 โมเดล YOLOv8 จะมีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องของความแม่นยำและความเร็วในด้านของการวิเคราะห์



รูปที่ 4.3 รูปเปรียบเทียบ YOLO โมเดลแต่ละ version [16]

หลังจากที่ได้เปรียบเทียบและได้ทดสอบโมเดลของ YOLO และได้เห็นว่าในส่วน of YOLOv8 นั้นจะมีทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพและความเร็วทดสอบที่ดีกว่า งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้เลือกเอาตัว YOLOv8 มาทำการทดสอบในเรื่องของตัว ตรวจสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากตารางที่ 4.5 เป็นการทดสอบในเรื่องของ Accuracy Precision Recall และ F1-Score

ตารางที่ 4.5 การทดสอบในเรื่องของ Accuracy Precision Recall และ F1-Score

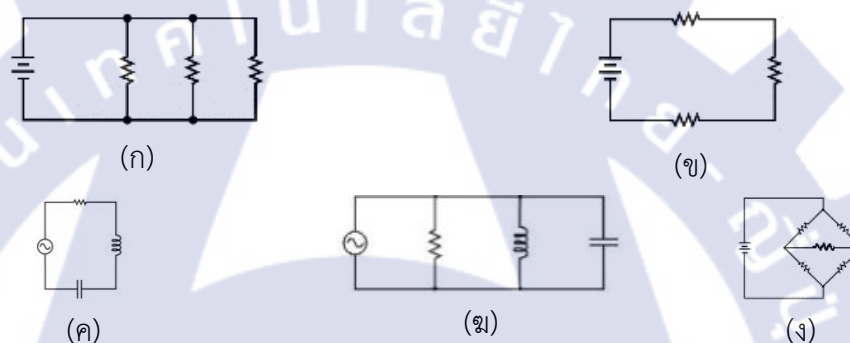
Parameter	Percentage
Accuracy	98.87%
Precision	98.92%
Recall	99.46%
F1-Score	99.19%

การทดสอบความแม่นยำของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกเป็นคลาสตามประเภทของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ YOLOv8 สำหรับการรับรู้ตามคลาส สามารถแบ่งออกเป็นทั้งหมด 5 คลาส ประกอบไปด้วย วงจรอนุกรม วงจรขนาน วงจรบริดจ์ วงจรอนุกรม RLC และ วงจรขนาน RLC โดยแต่ละคลาสจะแบ่งออกเป็นรูปแบบของไฟล์ที่เป็น PDF และรูปภาพ ตามแต่ละคลาสและได้อย่างละ 5 ไฟล์ตามการแบ่งตามขั้นตอนนี้ โดยที่ทั้งหมดของไฟล์จะมีอยู่ 50 ไฟล์ หลังจากที่ได้ทำการทดสอบเรื่องความแม่นยำขององค์ประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย YOLOv8 ตามตารางที่ 4.6 ความแม่นยำสูงสุดอยู่ที่ 99.40% จะเป็นของตัวต้านทานและต่ำสุดอยู่ที่ 95.24% จะเป็นในส่วน of ตัวแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

ตารางที่ 4.6 การทดสอบในเรื่องของ Accuracy ของแต่ละคลาสของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

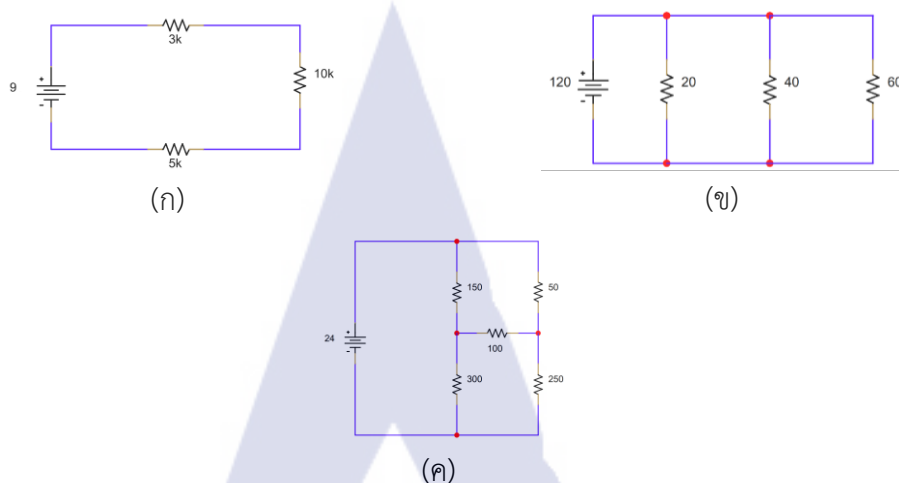
Class	Instances	Accuracy
Resistor	165	99.40%
Capacitor	45	97.78%
Inductor	47	98.87%
AC Source	20	95.24%
Voltage Source	42	97.68%
Ground	49	98.00%

เพื่อตรวจสอบว่างานวิจัยนี้สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีได้หรือไม่ จะต้องประเมินงานที่ทำไปแล้ว เพื่อระบุขีดความสามารถ จะมีเรื่องการประเมินรวมถึงเรื่องความถูกต้องด้วย มีความแม่นยำในการตรวจจับส่วนประกอบวงจรที่ถูกต้อง วิเคราะห์วงจรให้ถูกต้อง องค์ประกอบที่ใช้ในการประเมินนี้แบ่งออกเป็นประเภทวงจร ได้แก่ วงจรขนานทั่วไป วงจรอนุกรมทั่วไป วงจรบริดจ์ วงจรขนาน RLC และ อนุกรมวงจร RLC ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยจะแบ่งออกเป็น 5 รูปแบบสำหรับวงจรแต่ละประเภท สำหรับตรวจจับการทดสอบและเวลากระบวนการทั้งหมด จำนวนรูปภาพที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 50 ไฟล์ ผลลัพธ์ของกระบวนการนี้คือภาพระดับสีเทา การประเมินผลลัพธ์เป็นการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานและความแม่นยำในการประเมินโดยใช้ Confusion Matrix ในด้านความแม่นยำ ความแม่นยำ การเรียกคืน และ F1-score เป็นคลาสอ้างอิงของวงจร



รูปที่ 4.4 รูปแต่ละคลาสของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ก) รูปแบบวงจรอนุกรม (ข) รูปแบบวงจรขนาน (ค) รูปแบบวงจรอนุกรมของ RLC (ง) รูปแบบวงจรขนาน RLC (จ) รูปแบบวงจรบริดจ์

นอกจากนี้ ยังมีการประเมินผลงานใน เรื่องไขความเร็วการทำงานโดยทำการทดสอบโดยใช้กระบวนการถ่ายภาพด้วยตนเอง ดังแสดงในรูปที่ 11 สำหรับอินพุตอ้างอิงของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นสามคลาสของรูปภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น อนุกรม ขนาน และบริดจ์ ผู้เข้าร่วม 10 คนทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อวงจร และบันทึกการทดสอบความเร็วประสิทธิภาพ ด้วยการใช้รูปภาพสำหรับการทดสอบของโปรแกรมจำลอง ดังที่ได้แสดงตามรูปที่ 4.5 โดยเลือกเฉพาะสิ่งที่ดีที่สุด เวลาทดสอบ ผู้เข้าร่วมทั้ง 10 รายนี้ล้วนสำเร็จการศึกษาในสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และทำงานในสาขาวิเคราะห์ความล้มเหลว ผู้เข้าร่วมได้รับการจัดหมวดหมู่ตามประสบการณ์ของพวกเขาในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีสามคนที่มีความชำนาญน้อยกว่าหนึ่งปี สี่คนมีความชำนาญหนึ่งถึงสามปี และสามคนมีความชำนาญมากกว่าสามปี มีผู้ทดสอบทดลองทั้งหมดสิบคน



รูปที่ 4.5 รูปสำหรับการทดสอบเวลาการทำงานของโปรแกรมจำลอง (ก) รูปแบบวงจรอนุกรม (ข) รูปแบบวงจรขนาน (ค) รูปแบบวงจรบริดจ์

ประเด็นหลักของการวิจัยนี้คือความถูกต้องและเวลาที่ใช้ในกระบวนการ ความจริงคือการเปรียบเทียบกับโปรแกรมจำลอง โดยที่เวลาที่ใช้ในโปรแกรมอัตโนมัตินี้น้อยกว่า 1 วินาทีสำหรับโปรแกรมจำลองโดยใช้เวลามากกว่าประสบการณ์ของบุคคล สรุปการใช้การจำลองคือ เวลาขั้นต่ำคือ 40 วินาที และสูงสุดคือ 69 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของบุคคลนั้น

ตารางที่ 4.7 ตารางการทดสอบเวลาของโปรแกรมจำลอง

ผู้ทดสอบ	โปรแกรมจำลอง (วินาที)	การวิเคราะห์ของโปรแกรมจำลอง (วินาที)	เวลารวม (วินาที)
1	61	0.1	61.1
2	69	0.1	69.1
3	51	0.1	51.1
4	40	0.1	40.1
5	50	0.1	50.1
6	43	0.1	43.1
7	62	0.1	62.1
8	52	0.1	52.1
9	57	0.1	57.1
10	45	0.1	45.1

การทดสอบเรื่องเวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการของโปรแกรม จากตาราง 4.8 ได้มีการแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก โดยมีการแยกส่วน การจำแนก และการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากผลการทดสอบทั้งหมด 50 รูปภาพ โดยมีการแบ่งตามคลาสโดยมี ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ ตัวจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และตัวจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อที่สามารถตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงได้นำในส่วนของตัวจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับนั้นเข้ามาด้วย เนื่องจากวงจร RLC นั้นส่วนใหญ่แล้วจะเป็นวงจรในรูปแบบของวงจรที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ จากการทดสอบนี้ทำให้เห็นเรื่องของเวลาการทดสอบนั้นจะมีเวลาเฉลี่ยที่ 0.149 วินาที โดยมีเวลาที่กระบวนการทำงานนานสุดอยู่ที่ 0.158 วินาที และต่ำสุดอยู่ที่ 0.138 วินาที สรุปกระบวนการของโปรแกรมเวลาโดยรวมนั้นยังคงน้อยกว่า 0.5 วินาที และเป็นที่สรุปแล้วนั้นว่าสามารถทำงานได้เร็วกว่าการทำการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมจำลอง PSpice

ตารางที่ 4.8 การทดสอบเวลาของกระบวนการต่างๆ

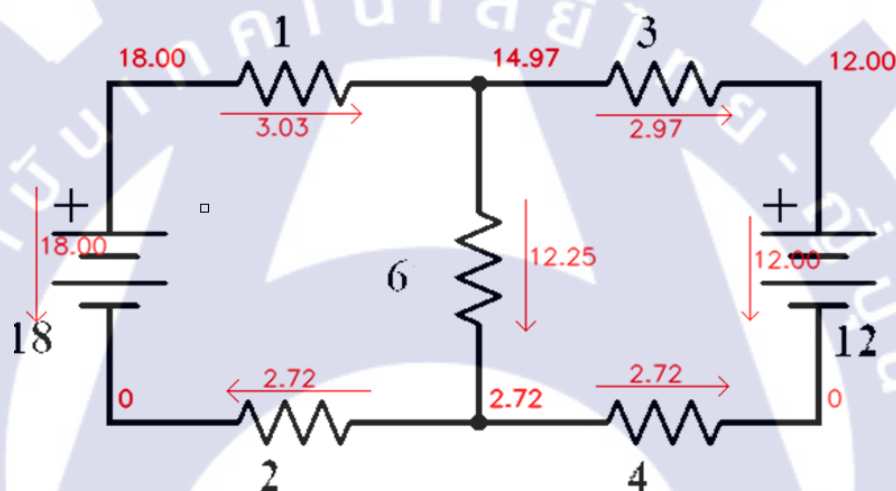
Class	Instances (files)	Segmentation (second)	Classification (second)	Electronic Circuit Analysis (second)	Total (second)
Resistor	50	0.098	0.033	0.027	0.158
Capacitor	20	0.087	0.043	0.017	0.147
Inductor	20	0.089	0.047	0.018	0.154
AC Source	20	0.085	0.036	0.017	0.138
Voltage Source	30	0.095	0.031	0.026	0.152
Ground	30	0.091	0.032	0.025	0.148

ความแม่นยำของโปรแกรมอัตโนมัติขึ้นอยู่กับการประมวลผลหลัก ด้วยการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย PySpice โปรแกรมสามารถบรรลุความแม่นยำ 100% เมื่อได้รับอินพุตที่แม่นยำจากการประมวลผลหลัก มีการทดสอบไฟล์ทั้งหมด 50 ไฟล์ ดังเช่นตามตารางที่ 4.9 ซึ่งประกอบด้วยไฟล์รูปภาพ 25 ไฟล์ และไฟล์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ PDF 25 ไฟล์ ไฟล์เหล่านี้แบ่งออกเป็น 5 ประเภทวงจร ผลลัพธ์สรุปดังแสดงในตารางที่ 9 ว่ามีความแม่นยำโดยรวมถึง 84% จากอินพุต 50 รายการ มี 42 รายการถูก และ 8 รายการไม่ถูกต้อง ส่งผลให้มีความแม่นยำของกระบวนการทั้งหมด 84.00%

ตารางที่ 4.9 การทดสอบความถูกต้องของกระบวนการทั้งหมด

Analysis	YOLOv8	OCR	PySpice	Total
Input	50	45	42	50
Correct	45	42	42	42
Incorrect	5	3	0	8
Accuracy	90.00%	93.33%	100%	84.00%

ผลการทดสอบของโปรแกรมเพื่อที่จะให้เห็นภาพในเรื่องของการแสดงถึงทิศทางกระแสไฟฟ้าที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6 เพื่อให้สามารถทำตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย



รูปที่ 4.6 รูปการันทดสอบแสดงทิศทางกระแสไฟฟ้า

4.3 สรุปผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์แบบจำลองการวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้การวิเคราะห์โดยละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้รับในส่วนที่ 3 เพื่อแสดงถึงความเร็วและการทำงานของโครงร่างวงจรในเครื่องจำลอง การวิเคราะห์นี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการลดเวลาการทำงานที่จำเป็นสำหรับการทดสอบผ่านการวิเคราะห์โปรแกรมจำลอง นอกจากนี้ การได้รับความรู้ด้านการวิเคราะห์จากค่าที่ถูกต้องของโปรแกรมที่วิเคราะห์จะเป็นประโยชน์สำหรับบุคคลที่มีประสบการณ์การทำงานจำกัด ความแม่นยำในการตรวจจับทั้งสามประเภท อุปกรณ์ โหนด และอักษระ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปรับปรุงความแม่นยำของระบบและการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง ผลการทดสอบความแม่นยำในการจดจำคือ 98.87% ด้วย CNN (YOLOv8) และการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วย PySpice คือ 100% ความแม่นยำของ

กระบวนการทั้งหมดขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการประมวลผลหลักเป็นหลัก สามารถวิเคราะห์ความแม่นยำของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้โดยการประเมินค่าอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดอย่างแม่นยำ เช่น แรงดันไฟฟ้าที่แต่ละโหนดและทิศทางของกระแสไฟฟ้า ขณะวิเคราะห์วงจรโดยใช้โปรแกรมจำลองจะไม่เกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากกลุ่มทดลองมีประสบการณ์การทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์และใช้งานโปรแกรมมาแล้ว อย่างไรก็ตามความแม่นยำของการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมอัตโนมัติขึ้นอยู่กับความแม่นยำของกระบวนการทั้งหมด แม้แต่ข้อผิดพลาดเล็กน้อยในกระบวนการก็สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ถูกต้องได้ ความแม่นยำของการวิเคราะห์วงจรถูกกำหนดโดยอิงจากการคำนวณที่แม่นยำ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้อย่างแม่นยำกับการวิเคราะห์ที่ดำเนินการโดยใช้เครื่องจำลอง PSpice อัตราความแม่นยำ 84.00% บ่งชี้ว่าการคำนวณแม่นยำและวิเคราะห์วงจรได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยนี้ระบุถึงความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โปรแกรมจำลอง Pspice จุดมุ่งหมายคือเพื่อลดเวลาที่ต้องใช้ในการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และเห็นภาพการไหลของกระแสในวงจร การศึกษาช่วยให้บรรลุเป้าหมายนี้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและรวมถึงส่วนการแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ง่ายขึ้น ลดเวลาการทำงาน และอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ค่าอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุต่างๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยดำเนินการศึกษางานวิจัยต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัย การวิจัยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวน การตรวจจับเส้น การตรวจจับรูปร่าง และการแปลงมุมมอง ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพงานวิจัยในด้านความแม่นยำ นอกจากนี้ยังรวมเอาส่วนขยายจากการวิจัยการวิเคราะห์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแยกและการจำแนกส่วนประกอบต่างๆ ในวงจรโดยใช้ CNN (YOLOv8) รวมถึงอักขระ ส่วนประกอบวงจรต่างๆ และเส้นที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ช่วยให้การวิจัยสามารถแยกแยะและจำแนกค่าต่างๆ ได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์ค่าต่างๆ ในวงจรได้โดยใช้ PySpice เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อกำหนดทิศทางของกระแสที่แสดงในเอาต์พุตเป็นรูปภาพ หลังจากทำการวิจัยนี้ เห็นได้ชัดว่ามีการรวบรวมแนวคิดต่างๆ เพื่อพัฒนางานวิจัย เช่น การลดเวลาในการทำงานด้วยตนเอง การเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกประเภท และปรับปรุงประสิทธิภาพของการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ สิ่งนี้ช่วยให้บรรลุเป้าหมายการวิจัยในการลดเวลาที่จำเป็นในการผ่านโปรแกรม PSpice โดยการป้อนรูปภาพของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวิเคราะห์ค่าต่างๆ ในวงจรเพื่อกำหนดทิศทางของการไหลของกระแสในแต่ละองค์ประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ความแม่นยำในการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นสิ่งสำคัญในการบรรลุเป้าหมายการวิจัยแต่ละข้อ เพื่อปรับปรุงการวิจัยเพิ่มเติม เราสามารถเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับและวิเคราะห์รูปแบบวงจรในส่วนประกอบต่างๆ ได้มากขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และบทวิจารณ์

การวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาและปรับปรุงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรม. ในการวิเคราะห์แผนภาพวงจร การใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ช่วยให้เราสามารถทำความเข้าใจกับโครงสร้างและพฤติกรรมของวงจรได้อย่างลึกซึ้ง โดยใช้เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการสกัดข้อมูลและทำนายพฤติกรรมของวงจรอย่างมีประสิทธิภาพ. ผลการวิเคราะห์ที่ได้มักเป็นประโยชน์อย่างมากในการช่วยให้นักวิจัยและวิศวกรสามารถปรับปรุงและประสานงานกับวงจรให้เหมาะสมกับความต้องการและการใช้งานต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยลดเวลาในการพัฒนาและทดสอบวงจร ทำให้เกิดความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงและการปรับปรุงวงจรในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ. ในที่สุดการใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการวิเคราะห์แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนการพัฒนาและนวัตกรรมในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการศึกษาการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้งาน ทำให้พบว่าการนำเทคนิคนี้มาใช้กับรูปแบบของโปรแกรม เพื่อให้โปรแกรมมีความซับซ้อนที่มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการทำงานนั้นดีขึ้นตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคในเรื่องการกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพที่ได้ยกมานั้น จะทำให้โปรแกรมนั้นสามารถจัดเตรียมรูปภาพเพื่อให้โปรแกรมสามารถคาดการณ์ลักษณะขององค์ประกอบในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ดี

5.1.2 สิ่งสำคัญของงานวิจัยเรื่องนี้คือเรื่องของความแม่นยำ ยิ่งระบบมีความแม่นยำมากเท่าไรการวิเคราะห์นั้นยิ่งแม่นยำและถูกต้อง ของทั้ง 3 อย่าง คือ สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ โหนดของเส้น และตัวอักษรค่าทางอิเล็กทรอนิกส์

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 ผลการวิจัย หลังจากการทดลองใช้งานโปรแกรมจำลองคือเวลา รวมไปถึงการวิเคราะห์ค่าทางอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตัวตัวเองนั้น ค่าเฉลี่ยของเวลาจะอยู่ที่ 2.00 นาที และเมื่อเทียบกับการทำงานของงานวิจัยจะอยู่ที่เฉลี่ย 0.3 วินาที ซึ่งเวลาการทำงานนั้นจะอยู่ห่างกันมากพอสมควร

5.2.2 ผลการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบแนวทางในการพัฒนาการตรวจจับลักษณะขององค์ประกอบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถตรวจจับได้อย่างแม่นยำ ซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษา A Symbol Recognition System for Single-Line Diagrams Developed Using a Deep-Learning Approach และพบว่ามีตัวอย่างที่ใช้การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในหลายรูปแบบ พร้อมทั้งวิธีการทำเรื่องของ machine learning เพื่อนำมาช่วยคือการแยกส่วนต่างๆของวงจร ส่วนเพิ่มเติมที่ได้เพิ่มจากงานวิจัยนี้คือเรื่องของการวิเคราะห์ทางอิเล็กทรอนิกส์หลังจากที่มีการวิเคราะห์รูปวงจร

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา การพัฒนาคู่มือโครงสร้างในลักษณะอินโฟกราฟิก (infographics) flowchart ที่ชัดเจน เพื่อนำไปสู่การดำเนินงานที่รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.3.2 ข้อเสนอแนะอื่น ๆ ควรมีการตรวจจับอุปกรณ์ที่มากกว่าเดิมเพื่อครอบคลุมได้หลายรูปแบบของงานในสายอิเล็กทรอนิกส์ และควรจัดคู่มือการใช้งานของระบบ

5.3.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป กรณีสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบของ AC เนื่องจากตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของวงจรกระแสสลับ

5.3.4 เพื่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ควรพัฒนาและเน้นในเรื่องความแม่นยำของระบบ

5.3.5 กรณีภาพที่เล็กมากเกินไปโปรแกรมจะไม่สามารถตรวจจับได้

5.3.6 การทดลองของงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถทำคือการตรวจจับในรูปแบบเงา การทดลองนี้จึงมีข้อจำกัดคือการถ่ายภาพที่เป็นภาพลายวงจรที่ชัดเจนและไม่มีเงามาทับลายวงจรเพื่อคุณภาพในการวิเคราะห์วงจรออกมาได้อย่างแม่นยำ

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] วันนา ยงพิสาพบ, “แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยของกรุงศรีด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์, ” Krungsri Industry Outlook, [Online]. Available: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/hi-tech-industries/electronics/io/io-Electronics-21>. [Accessed: 3 ตุลาคม 2565].
- [2] Y. Luo et al., “Failure analysis of power electronic devices and their applications under extreme conditions,” *Journal of Electrical Engineering, Tsinghua University*, vol. 2, no. 1, pp. 91-100, June 2016.
- [3] บริษัท เออีซี เอนจิเนียริง จำกัด, “ร่างกายของคนเรากันไฟฟ้าได้เท่าไร,” [Online]. Available: <https://www.changfi.com/fix/2022/09/06>. [Accessed: 25 สิงหาคม 2566].
- [4] P. Scherz and S. Monk, *Practical Electronics for Inventors Fourth Edition*, New York: MC Graw Hill Education, 2016.
- [5] American Society of Mechanical Engineers, *Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams*, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993.
- [6] J.R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, Indianapolis: Wiley Publishing, 2010.
- [7] W. Burger and M. J. Burge, *Principles of Digital Image Processing Fundamental Techniques*, Falls Church: Springer, 2009.
- [8] R. Yamashita et al., “Convolutional neural networks: An overview and application in radiology,” *Springer*, vol. 9, no. 4, pp. 611-619, June 2018.
- [9] H. Bhanbhro et al., “A symbol recognition system for single-line diagrams developed using a deep-learning approach,” *MDPI*, vol 13, no. 15, pp 87-98, July 2023.
- [10] M. Dey et al., “A two-stage CNN-based hand-drawn electrical and electronic circuit component recognition system,” *Springer*, vol 33, pp. 13367-13390, April 2021.
- [11] M. Isabel and D. Velasco, “Application of a pattern-recognition neural network for detecting analog electronic circuit faults,” *MDPI*, vol. 9, no. 24, no page, December 2021.

- [12] R.R. Reddy and M.R. Panicker, "Hand-drawn electrical circuit recognition using object detection and node recognition," *Springer*, vol. 3, no. 244, no page, April 2022.
- [13] S. Pavithra et al., "Hand-drawn electronic component recognition using ORB," *Elsevier*, vol. 218, pp. 504-513, January 2023.
- [14] Python, "*Python Documents*," [Online]. Available: <https://www.python.org/doc>. [Accessed: October 8, 2023].
- [15] IronPDF, "*The Python PDF Library*," [Online]. Available: <https://ironpdf.com>. [Accessed: February 29, 2024].
- [16] Ultralytics, "*Ultralytics YOLO Docs*," [Online]. Available: <https://docs.ultralytics.com>. [Accessed: February 29, 2024].
- [17] OpenCV, "*OpenCV – 4.10.0 Libraries*," [Online]. Available: <https://opencv.org/releases>. [Accessed: October 4, 2023].
- [18] TesseractOCR, "*Tesseract Documentation*," [Online]. Available: <https://tesseract-ocr.github.io>. [Accessed: February 29, 2024].
- [19] PySpice, "*PySpice User/API*," [Online]. Available: <https://pypi.org/project/PySpice>. [Accessed: February 29, 2024].
- [20] American National Standards Institute, *American National Standard Flowchart Symbols and Their Usage in Information Processing*, New York: Forgotten Book, 1973.
- [21] C. Solomon and T. Breckon, *Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in MATLAB*, USA: John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [22] N. Khatri et al., "Perspective transformation layer," *Cornell University*, vol.2, no page, October 2022.
- [23] D.Y. Yun et al., "Deep neural network for automatic image recognition of engineering diagrams," *MDP*, vol. 10, no. 11, no page, June 2020.
- [24] Y. Yu et al., "Techniques and challenges of image segmentation," *MDPI*, vol. 12, no. 5, no page, March 2023.

- [24] S. Tania and R. Rowaida, "A comparative study of various image filtering techniques for removing various noisy pixels in aerial image," *International Journal of Signal Processing, Bangladesh University of Engineering and Technology*, vol.9, no. 3, pp. 113-124, March 2016.
- [25] International Electrotechnical Commission, "IEC 60617 - Graphical Symbols for Diagrams," [Online]. Available: <https://std.iec.ch/iec60617>. [Accessed: March 20, 2024].
- [26] N. Komoot and S. Mruetusatorn, "An analysis of electronic circuits diagram using computer vision techniques," *International Conference on Business and Industrial Research, ICBIR 2024*, Bangkok, May 23-24, 2024, no page.





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

แบบประเมินการเวลาการทำงานของ Manual Process

TNII

แบบการสำรวจผู้ทดสอบการใช้งานของโปรแกรม PSpice

คำชี้แจง แบบสำรวจนี้เป็นการส่วนหนึ่งของการทำวิทยานิพนธ์ “การวิเคราะห์แผนภาพอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์” ของ นายนฤนาท โคมุต นักศึกษาปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เพื่อทราบถึงคุณสมบัติของแต่ละบุคคลในการทำการประเมินเรื่องเวลาการทำงานของกระบวนการแบบ manual process ในครั้งนี้

ตัวอย่างการทำการประเมิน

กรุณาทำเครื่องหมาย / หน้าคำตอบที่ท่านต้องการลงในและเติมข้อความหรือตัวเลขในช่องว่างที่มีให้

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง อายุ.....ปี
2. ประสบการณ์ทำงานในสายอิเล็กทรอนิกส์.....ปี
3. ทักษะด้านคอมพิวเตอร์ ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 โดยเรียงจาก 1 - 5
4. ระดับการศึกษา.....สาขา.....
5. เคยใช้ PSpice มาก่อนหรือไม่ ☐ ใช่ ☐ ไม่
6. ท่านคิดอย่างไรกับการที่สามารถลดเวลาการทำงานในช่วงที่ประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในโปรแกรม PSpice ลงไปได้โดยเข้าไปในส่วนของการวิเคราะห์ค่าต่างๆของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

.....

.....

.....

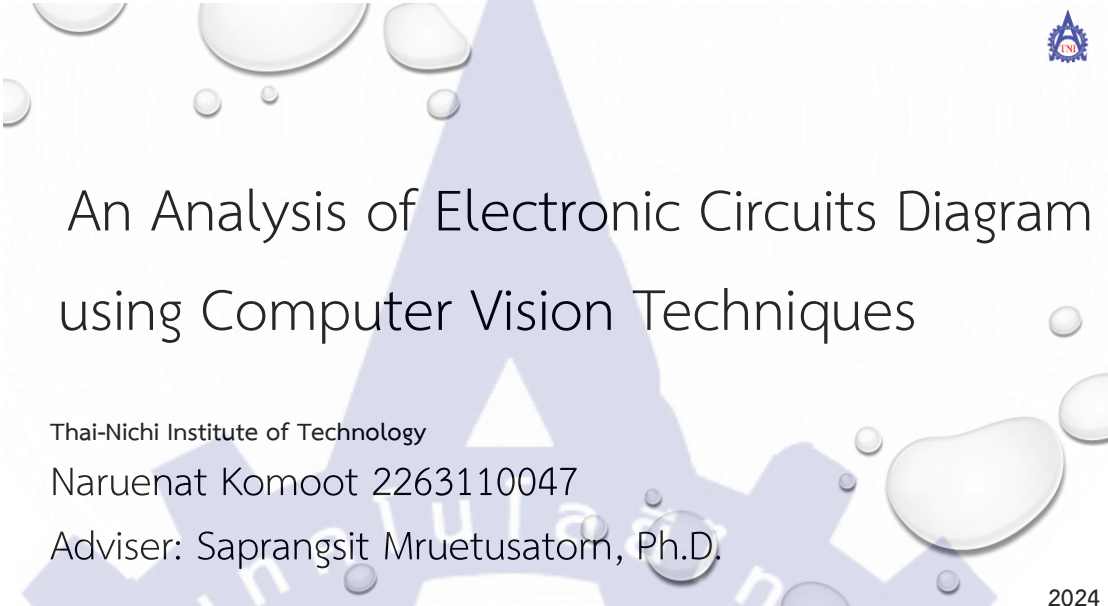
TNI

THAI - NICHU INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก ข.
การนำเสนองานวิจัย

TNII

1. หัวข้องานวิจัย



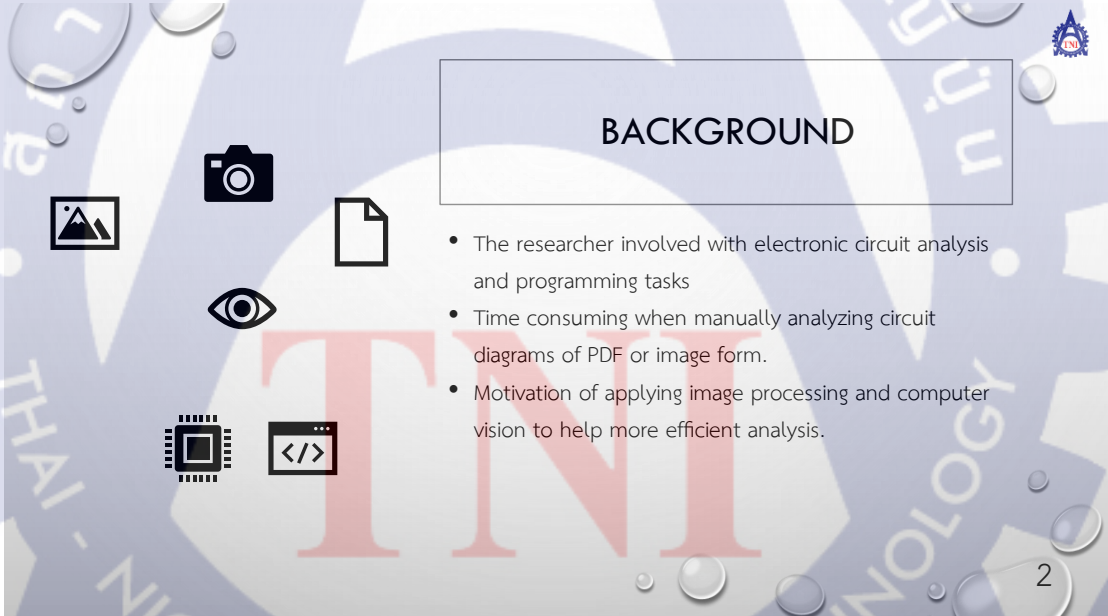


An Analysis of Electronic Circuits Diagram using Computer Vision Techniques

Thai-Nichi Institute of Technology
Naruenat Komoot 2263110047
Adviser: Saprangsit Mruetusatorn, Ph.D.

2024

2. หน้าอธิบายเบื้องหลังความเป็นมา



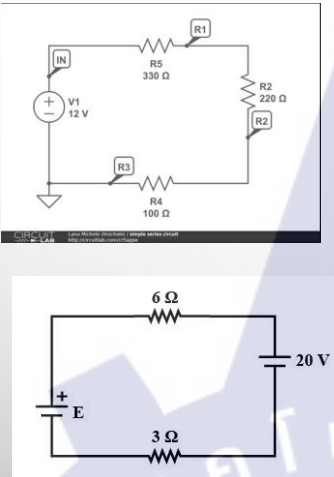


BACKGROUND

- The researcher involved with electronic circuit analysis and programming tasks
- Time consuming when manually analyzing circuit diagrams of PDF or image form.
- Motivation of applying image processing and computer vision to help more efficient analysis.

2

3. ปัญหาของงานวิจัย



PROBLEM

- Longer time spent on manually analyzing circuit diagrams in PDF or images.
- Lack of experience and knowledge may cause incorrect analysis and longer time for correction

3

4. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย



OBJECTIVE

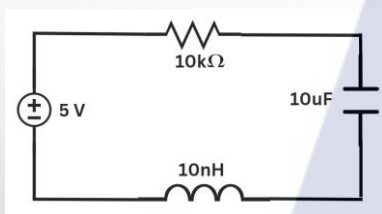
- To detect and remember the symbols of essential components of electronic circuits in the form Computer printing diagram.
- To analyze and calculate fundamental values of basic electronic circuits.
- To reduce the time of processing in the simulation program.

4

5. ขอบเขตของงานวิจัย



SCOPE OF RESEARCH



- Can specify the type of Basic components of electronic circuits according to IEC and ANSI standards
- Can specify various types of basic trades that need to be analyzed and calculated
- Can specify the direction of electrical current flow
- The layout of the electronic circuit is in the form of a 1-layer circuit

5

6. Literature review หน้าที่ 1



LITERATURE REVIEW

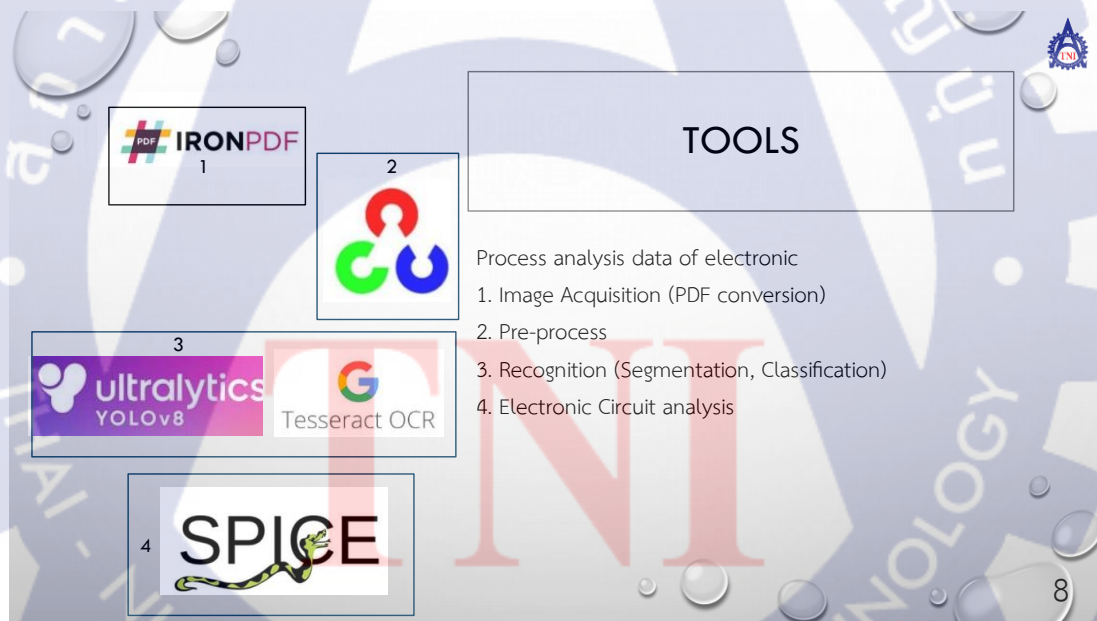
TOPIC	METHOD	PERFORMANCE
1. A Symbol Recognition System for Single-Line Diagrams Developed Using a Deep-Learning Approach	YOLOv5	Accuracy 89% False detection 3 Missing detection 4 YOLOv5 model accuracy 95%
2. A two-stage CNN-based hand-drawn electrical and electronic circuit component recognition system	CNN	Accuracy 97.33% Recall 97.33% Precision 97.43% F1-score 97.32%
3. Application of a Pattern-Recognition Neural Network for Detecting Analog Electronic Circuit Faults	ANN	Faults class detection 94.6%

6

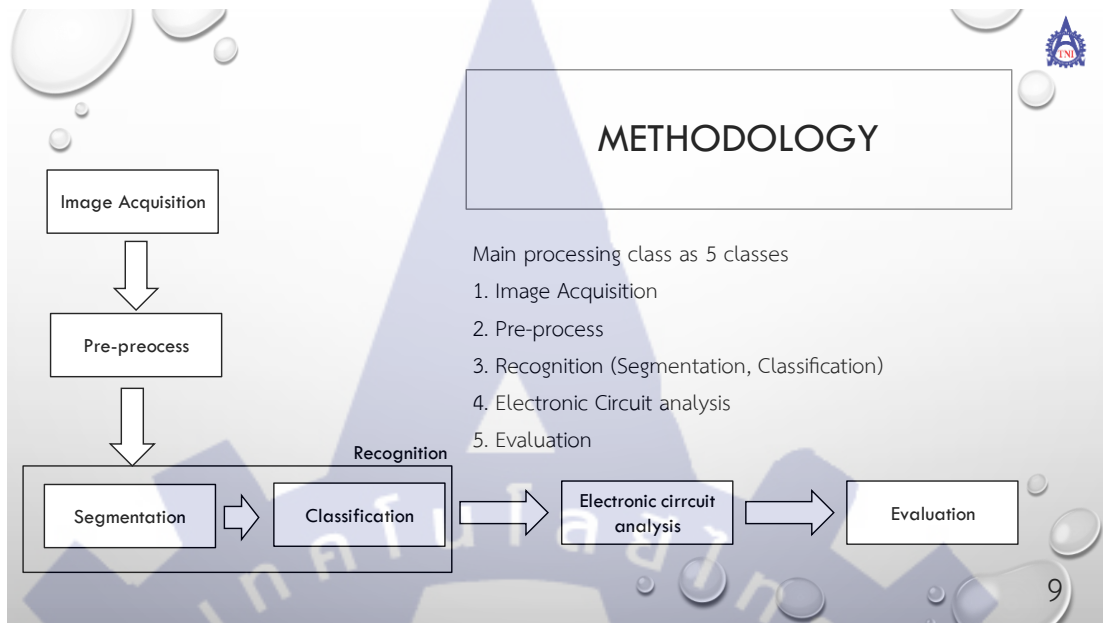
7. Literature review หน้าที่ 2

TOPIC	METHOD	PROFERMENCE
4. Hand-Drawn Electrical Circuit Recognition using Object Detection and Node Recognition	YOLOv3 TOLOv5 SSD300	YOLOV5 Accuracy 99.17%, Precision 98.06%, Recall 98.75%, and F1-Score 98.40% YOLOv3 Accuracy 98.62%, Precision 98.27%, Recall 97.01%, and F1-Score 97.62% SSD300 Accuracy 98.20%, Precision 98.27%, Recall 97.01%, and F1-Score 97.62% YOLOv3
5. Hand-Drawn Electronic Component Recognition Using ORB	SIFT ORB	Accuracy 99.31%

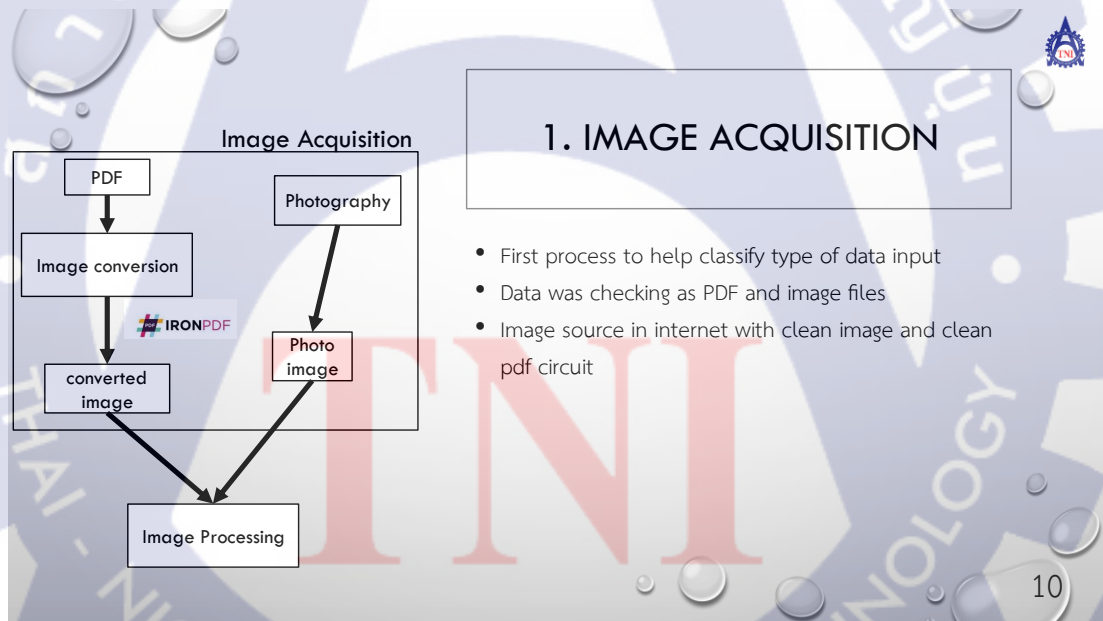
8. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



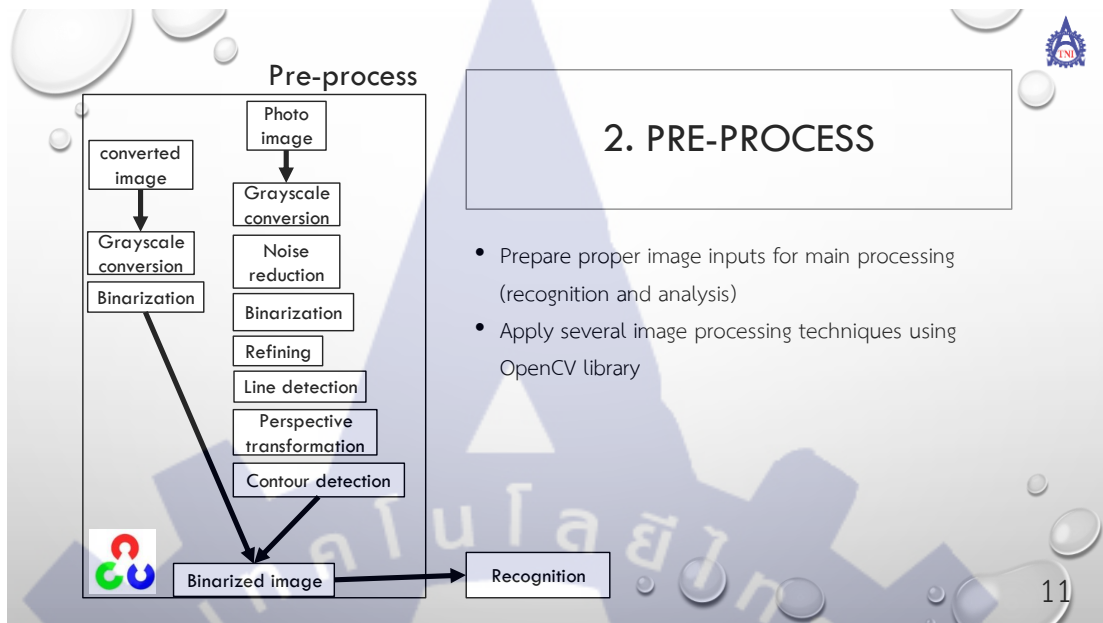
9. ขั้นตอนการทำงานของระบบโดยรวม



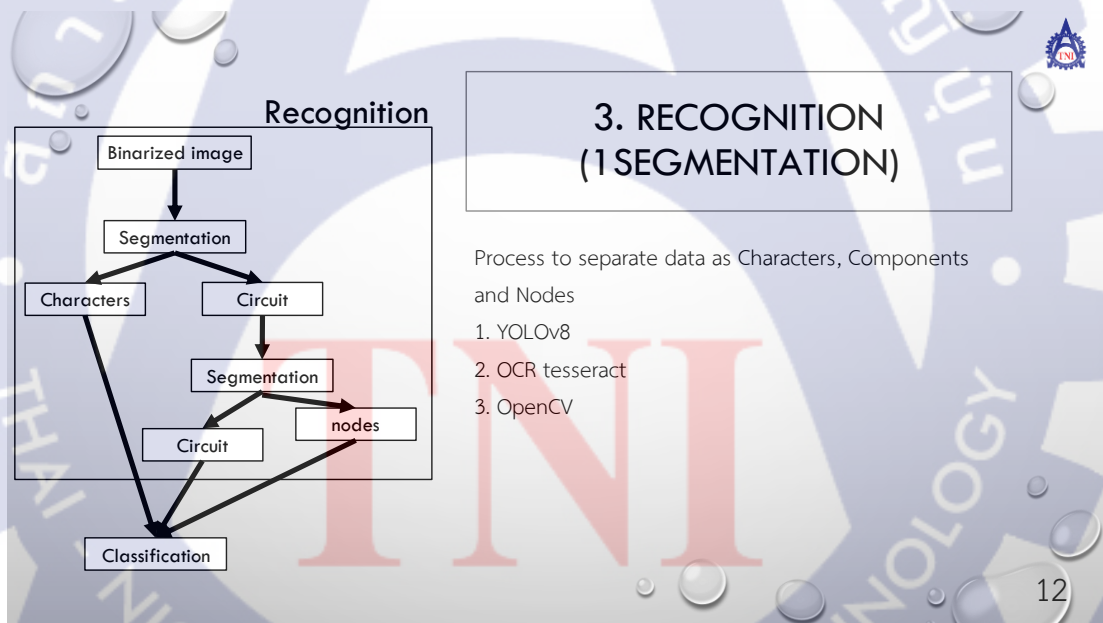
10. ขั้นตอนการทำ Image Acquisition



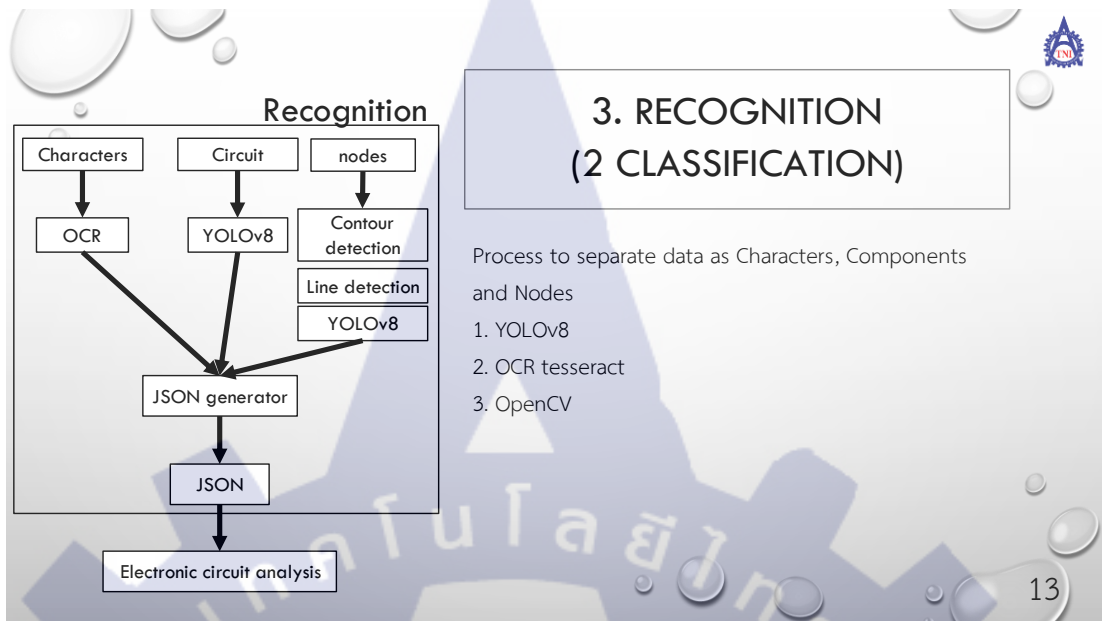
11. ขั้นตอนการทำ Pre-processing



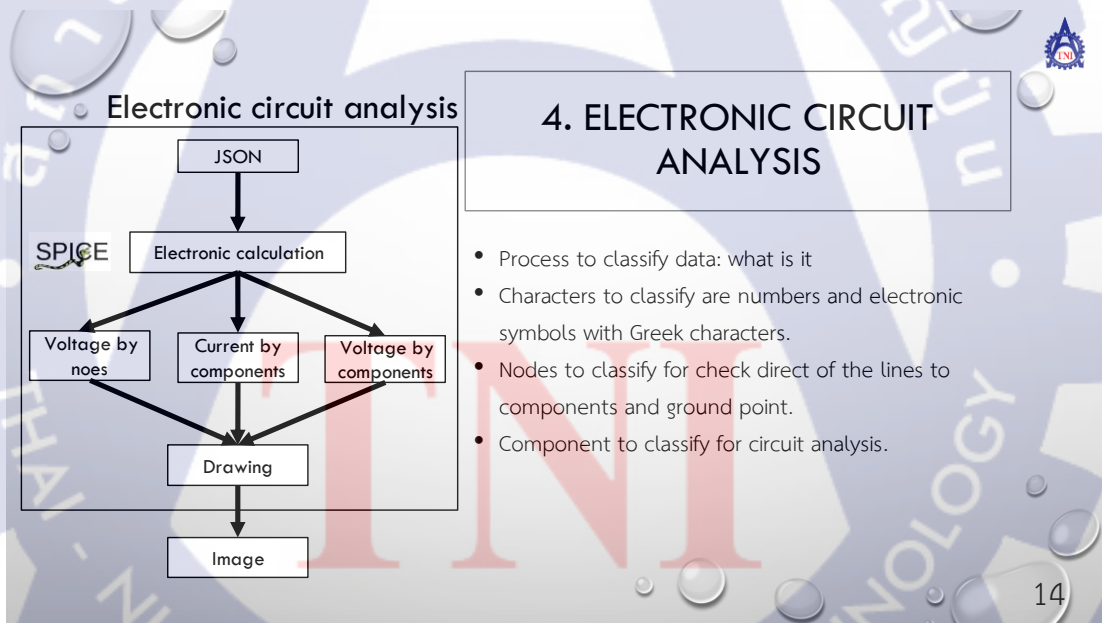
12. ขั้นตอนการทำ Main Process (Segmentation)



13. ขั้นตอนการทำ Main Process (Classification)



14. ขั้นตอนการทำ Electronic Circuit Analysis



15. ประเภทของภาพที่ทำในส่วนของ Evaluation

5. EVALUATION

Circuit diagram class

1. Simple series circuits
2. Simple parallel circuits
3. Simple bridge circuits
4. Simple parallel RLC circuits
5. Simple series RLC circuits

15

16. ภาพรวมการทำ Evaluation

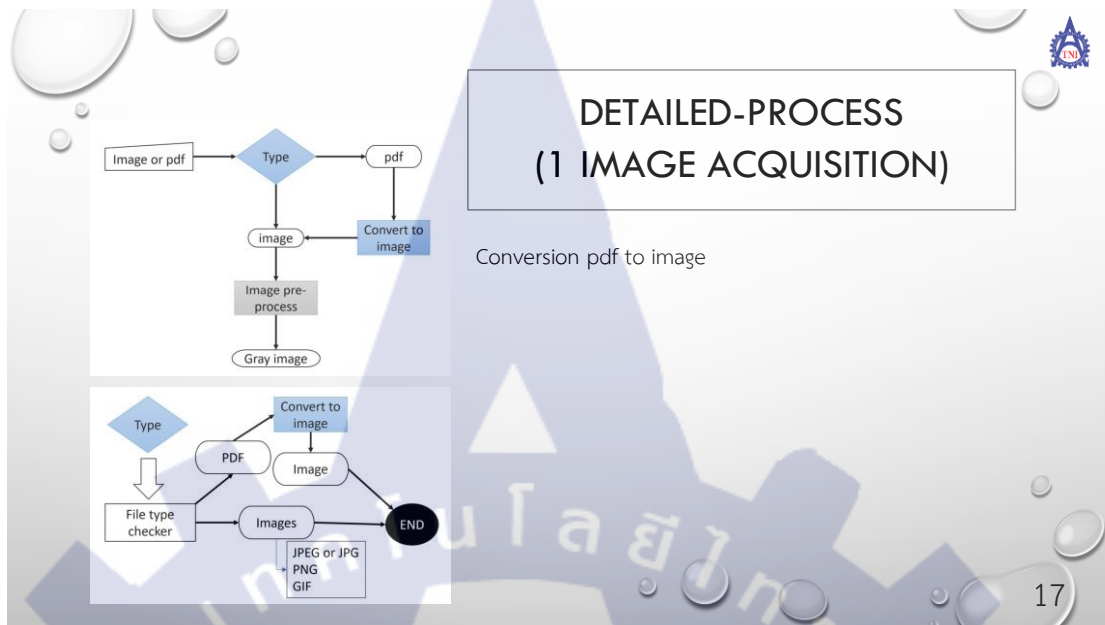
5. EVALUATION

Circuit diagram class

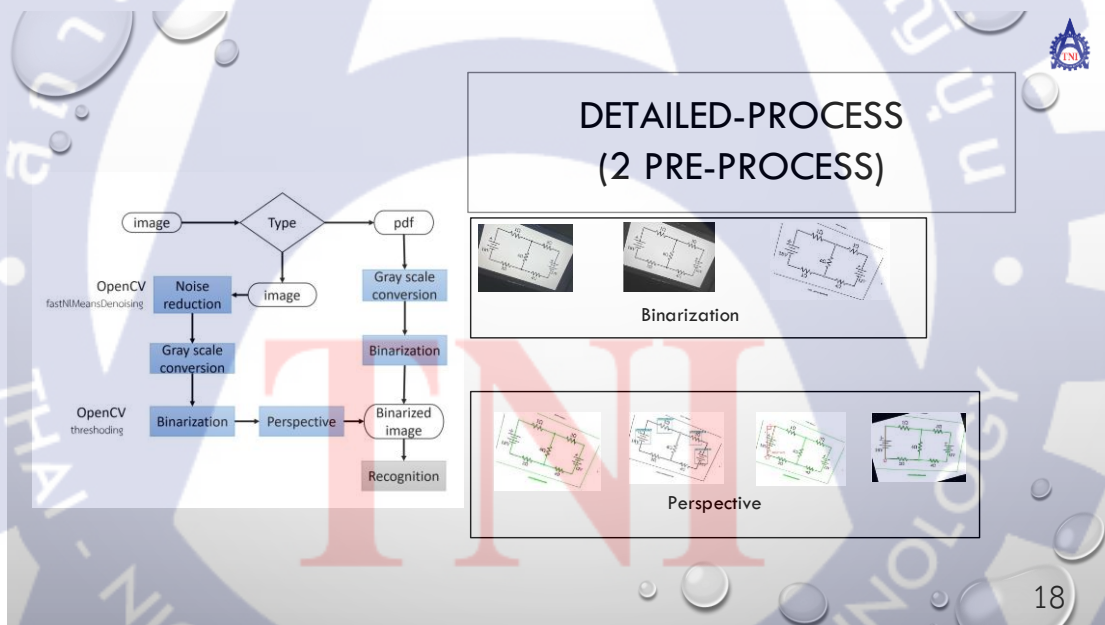
1. Accuracy (recognition)
2. Time process

16

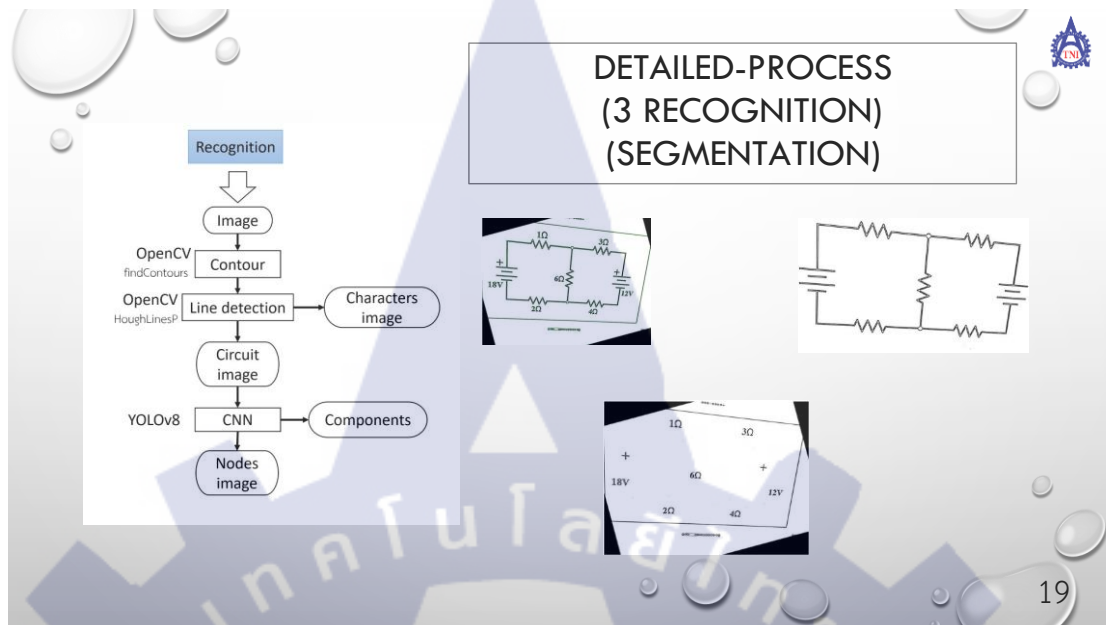
17. รายละเอียดของการทำ Image Acquisition



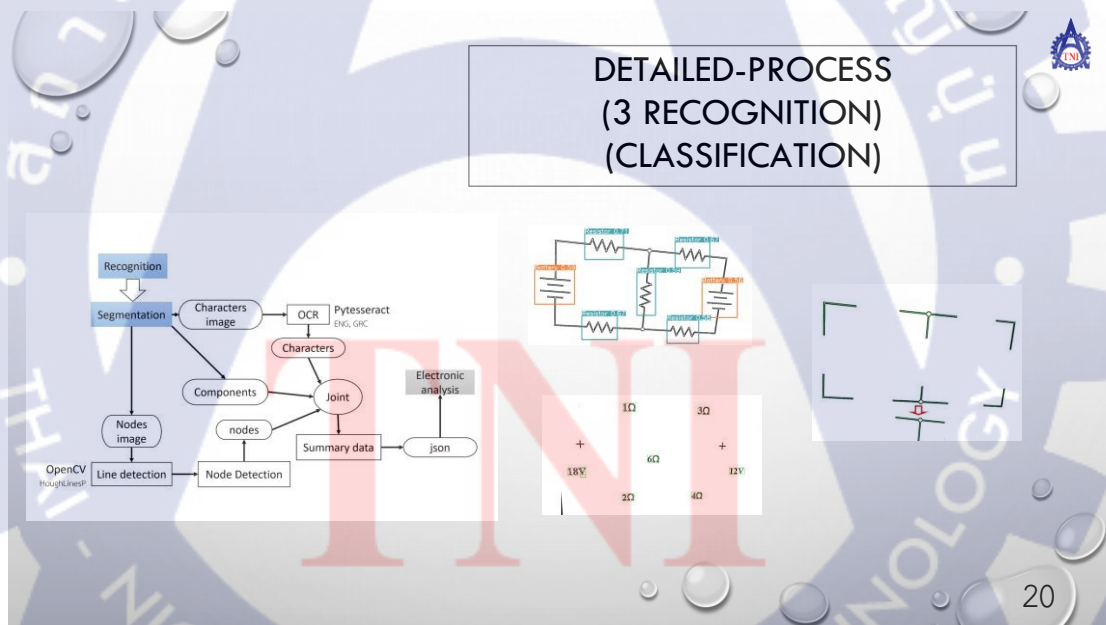
18. รายละเอียดของการทำ Pre-Processing



19. รายละเอียดของการทำ Main Process (Segmentation)



20. รายละเอียดของการทำ Main Process (Classification)



21 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการตรวจจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

Actual Values

		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

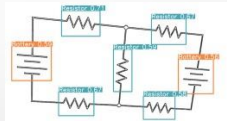
107	3
0	4

Accuracy	0.93
Precision	0.97
Recall	1
F1-Score	0.98

EXPERIMENTAL RESULTS, AND EVALUATION

Recognition components with YOLOv8

- Accuracy 93%
- Precision 97%
- Recall 100%
- F1-score 98%



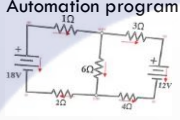
21

22. การวิเคราะห์เรื่องการทำงานของกระบวนการทั้งหมด

Manual simulate



Automation program



EXPERIMENTAL RESULTS, ACCURACY, AND EVALUATION

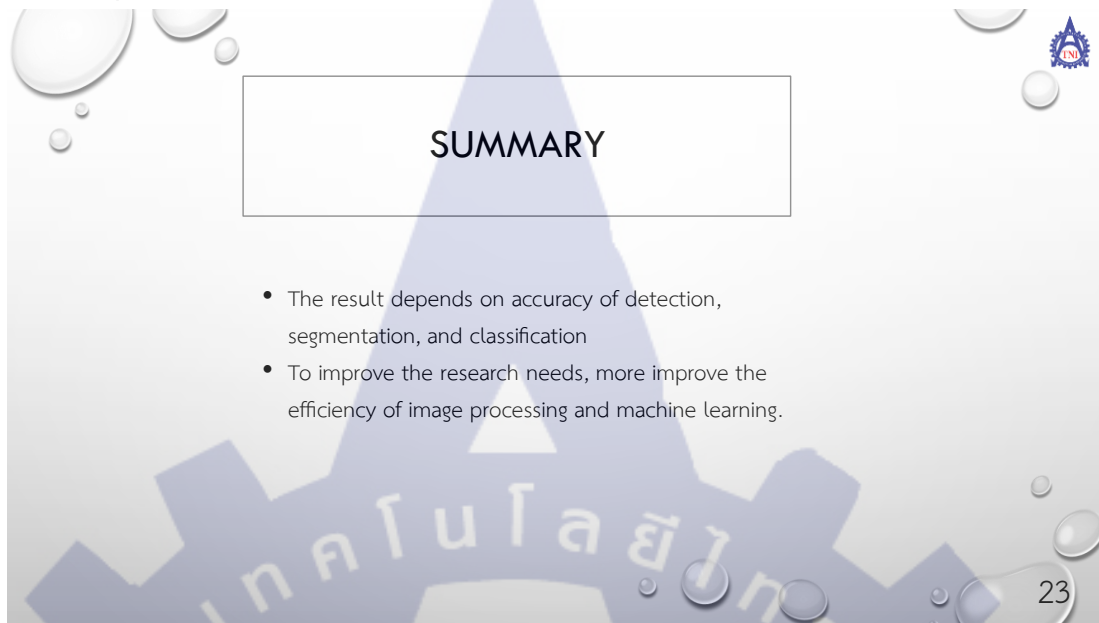
- After summarizing with a manual simulation program, ten people.
- The accuracy of the simulation program can hit 100% accuracy of calculation depending on the manual drawing circuit correctly.

คนที่	การประกอบวงจรด้วย spice (second)	การวิเคราะห์ของโปรแกรม spice (second)	เวลารวม (second)
1	65	0.1	65.1
2	72	0.1	72.1
3	53	0.1	53.1
4	42	0.1	42.1
5	54	0.1	54.1
6	45	0.1	45.1
7	64	0.1	64.1
8	56	0.1	56.1
9	59	0.1	59.1
10	49	0.1	49.1

ประเภท	Segmentation (second)	Classification (second)	Electronic Analysis (second)	Total (second)
Resistor	0.2976	0.0034	0.023	0.324
Capacitor	0.3109	0.0041	0.021	0.3729
Inductor	0.3014	0.039	0.027	0.3674
Power supply (DC)	0.4112	0.043	0.024	0.4782
Ground	0.2456	0.017	0.016	0.2786

22

23. ผลสรุปของการทำงานวิจัย



SUMMARY

- The result depends on accuracy of detection, segmentation, and classification
- To improve the research needs, more improve the efficiency of image processing and machine learning.

23

