



# สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

## Thai-Nichi Institute of Technology

### 泰日工業大学

สร้างนักคิด ผลิตนักปฏิบัติ สร้างนักประดิษฐ์ ผลิตนักบริหาร

## วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

### TNI Journal of Engineering and Technology

ISSN (Online) 2672-9989

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

- |   |   |    |
|---|---|----|
| ☼ | An Algorithm for the All-Pair Shortest Path Problem on Circular Trapezoid Graphs  | 1  |
|   | Hirotohi Honma, Yoko Nakajima, Tsendsuren Urangoo, Yuto Tamori  |    |
| ☼ | Automated pH Control of Nutrient Solution in Hydroponic System using Modified Fuzzy Logic Control   | 9  |
|   | Thanavin Mansakul, Kanticha Kittipeerachon  |    |
| ☼ | Automatic Blurring Based on Structural Similarity of Image Detail   | 17 |
|   | Thitiporn Lertrusdachakul, Kanakarn Ruxpaitoon, Kasem Thiptarajan   |    |
| ☼ | Charcoal Drawing Style and Color Effect of Children Face Images Based on Structural Similarity Index and Color Image Scale                                  | 27 |
|   | Kanakarn Ruxpaitoon, Thitiporn Lertrusdachakul, Kasem Thiptarajan   |    |
| ☼ | Development of a Food Categories and Calories Estimation Full Stack System Based on Multi-CNNs Structures   | 38 |
|   | Kanjanapan Sukvichai, Warayut Muknumporn  |    |
| ☼ | Performance of Electroplated Copper Coating on Graphite Electrode in EDM Process  | 50 |
|   | Nattawut Chindaladdha, Don Kaewdook   |    |
| ☼ | Power Consumption and Surface Quality Optimization of Cutting Condition for S50C Material in Turning Process using Means Utility Concept and Taguchi Method | 58 |
|   | Akaranun Asavarutpokin, Jinjutha Sae-Lee, Don Kaewdook  |    |

# วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

## TNI Journal of Engineering and Technology

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563 Vol. 8 No. 1 January - June 2020

ISSN (Online) 2672-9997

### ความเป็นมา

ด้วยสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น มีนโยบายสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้แก่สังคม โดยเฉพาะภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จึงได้จัดทำวารสารวิชาการ คือ วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีคุณภาพ
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทางการวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อพัฒนาศักยภาพทางการวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

### ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์

### ขอบเขตเนื้อหา

บทความวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี เทคโนโลยีสารสนเทศ และมัลติมีเดีย

### กำหนดออกเผยแพร่

วารสารตีพิมพ์เผยแพร่ราย 6 เดือน (ปีละ 2 ฉบับ)

- ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน
- ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม

### เจ้าของ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (Thai-Nichi Institute of Technology : TNI)

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

1771/1 Pattanakarn Rd., Suanluang, Bangkok 10250

## บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

## กองบรรณาธิการ

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.ธนารักษ์ อีระมันคง            | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร        |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จันทน์ไทย            | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์                 |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.อดิสร ลีลาสันติธรรม        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล      | มหาวิทยาลัยมหิดล                      |
| 5. รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา               | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                 |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ พงษ์ยุพินพานิช | มหาวิทยาลัยรามคำแหง                   |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อัครเสน              | สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น            |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์  | สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น            |

## คณะกรรมการดำเนินงาน

1. รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิ สุขเจริญ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร เลิศรัตน์เดชากุล
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม ทิพย์ธาราจันทร์
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อนุญาหงษ์
7. ดร.เอิบ พงษ์พวง
8. นางสาวสุพิศ บายคายคม
9. นางสาวจุฑามาศ ประสพสันต์
10. นางสาวรชนี นารินทร์
11. นางสาวพิมพ์รต พิพัฒน์กุล

## การติดต่อกองบรรณาธิการ

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Tel. 0-2763-2600 (ต่อ 2402, 2752)

website : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal> e-mail : [journaleng@tni.ac.th](mailto:journaleng@tni.ac.th)

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน  
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์พูลพร แสงบางปลา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณะเดช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ วูวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญะ เกียรติวัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ ญาณภีร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เลื่อน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ สุพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.บุญพริภา เกษมสันติธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต สุขสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.สรพงศ์ ทานอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปตะเขียว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล วรดิษฐ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริทรรศน์ พันธุ์บรรยงค์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรภรณ์ อีสัยกุล	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญกิจ	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ศาสตราจารย์ ดร.รัชนิกร ธรรมวิชัย	St.Cloud State University, USA
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ทิมทรัพย์	มหาวิทยาลัยสแตมป์ฟอร์ด
รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
Prof. Dr.Michiko OHKURA	Shibaura Institute of Technology, Japan
Dr.Masayuki FUJISE	National Institute of Information and Communications Technology, Japan

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์  
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน  
รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์  
รองศาสตราจารย์ ดร.พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมล แสนอุ่ม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัญชลี สุพิทักษ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร เลิศรัตนเดชากุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ เฉิดโฉม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ตรีรัตน์ เมตต์การุณจิต  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม ทิพย์ธาราจันทร์  
ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤตุสาธ  
ดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์  
ดร.กัณติชา กิตติพิรัชล  
ดร.ธีรพล ศิลาวรรณ  
ดร.ดอน แก้วดก  
ดร.เอกอุ ธรรมกรบัญญัติ

[illegible]

## บทบรรณาธิการ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ COVID-19 ที่แพร่ระบาดไปทั่วโลกตั้งแต่ต้นปี 2563 จนถึงปัจจุบัน ทำให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อทั่วโลกหลายล้านคน และมีผู้เสียชีวิตหลายแสนคน นับเป็นอุบัติการณ์ทางสาธารณสุขที่รุนแรงมากที่สุดครั้งหนึ่งของโลกในรอบศตวรรษ ส่งผลให้เศรษฐกิจทั่วโลกหยุดชะงักและคาดการณ์ว่าจะส่งผลให้การเติบโตทางเศรษฐกิจทั้งโลกถดถอยลงอย่างมาก ประเทศไทยเองถึงแม้จะสามารถป้องกันการแพร่ระบาดของ COVID-19 ได้เป็นอย่างดีจนได้รับการยกย่องชมเชยจากนานาประเทศ แต่ผลกระทบในภาคเศรษฐกิจและสังคมก็มีความรุนแรงไม่น้อย ภาครัฐและเอกชนได้มีมาตรการในการฟื้นฟูเศรษฐกิจและสังคมในหลากหลายวิธี หนึ่งในมาตรการที่สำคัญของภาครัฐคือการให้ทุนสนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการฟื้นฟูประเทศ เช่น การวิจัยด้านการแพทย์และสาธารณสุข ด้านการเกษตรและอาหาร ด้านสิ่งแวดล้อมและชุมชน ด้านการผลิตในอุตสาหกรรมและบริการ ด้านการศึกษาและการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ ตลอดจนด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม การวิจัยในด้านต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของประเทศ และจะช่วยฟื้นฟูประเทศให้กลับมาเข้มแข็งได้ในเร็ววัน ทั้งนี้หน่วยงานต่างๆ ของภาครัฐได้เชิญชวนและส่งเสริมให้นักวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำการวิจัยและสร้างนวัตกรรมทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐเพื่อการเพิ่มพูนองค์ความรู้ทางด้านทางเทคโนโลยีระดับสูงและต่อยอดการประยุกต์เทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรมการผลิตและบริการเพื่อเป้าหมายการฟื้นฟูและพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนและมั่นคง

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการเผยแพร่ผลงานวิจัยและนวัตกรรม ตลอดจนงานสร้างสรรค์ทางวิชาการที่จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการและการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ จึงได้จัดทำวารสารฉบับนี้ขึ้นเพื่อเป็นช่องทางสำหรับนักวิจัยและนักวิชาการในการเผยแพร่ผลงานสู่สาธารณะ วารสารฉบับนี้จึงเป็นวารสารสำหรับนักวิจัย นักวิชาการ ตลอดจนผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานในด้านงานวิศวกรรมและเทคโนโลยี

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น: วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ กองบรรณาธิการยินดีรับพิจารณาทุกบทความจากผลงานวิจัย งานวิชาการและงานสร้างสรรค์ที่นำเสนอให้คณะกรรมการกลั่นกรอง ผู้สนใจที่จะร่วมเผยแพร่ผลงาน ความรู้และประสบการณ์ สามารถศึกษาและจัดเตรียมบทความจากคำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความและนำเสนอบทความได้ที่กองบรรณาธิการเพื่อเสนอต่อคณะกรรมการกลั่นกรองบทความพิจารณาจัดพิมพ์ในวารสารต่อไป และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย นักวิชาการ นักการศึกษาและผู้ประกอบการธุรกิจทุกภาคส่วน

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์

บรรณาธิการ

## สารบัญ

---

- 1    An Algorithm for the All-Pair Shortest Path Problem on Circular Trapezoid Graphs  
*Hirotooshi Honma, Yoko Nakajima, Tsendsuren Urangoo, Yuto Tamori*
- 9    Automated pH Control of Nutrient Solution in Hydroponic System using Modified Fuzzy Logic Control  
*Thanavin Mansakul, Kanticha Kittipeerachon*
- 17   Automatic Blurring Based on Structural Similarity of Image Detail  
*Thitiporn Lertrusdachakul, Kanakarn Ruxpaitoon, Kasem Thiptarajan*
- 27   Charcoal Drawing Style and Color Effect of Children Face Images Based on Structural Similarity Index and Color Image Scale  
*Kanakarn Ruxpaitoon, Thitiporn Lertrusdachakul, Kasem Thiptarajan*
- 38   Development of a Food Categories and Calories Estimation Full Stack System Based on Multi-CNNs Structures  
*Kanjanapan Sukvichai, Warayut Muknumporn*
- 50   Performance of Electroplated Copper Coating on Graphite Electrode in EDM Process  
*Nattawut Chindaladdha, Don Kaewdook*
- 58   Power Consumption and Surface Quality Optimization of Cutting Condition for S50C Material in Turning Process using Means Utility Concept and Taguchi Method  
*Akaranun Asavarutpokin, Jinjutha Sae-Lee, Don Kaewdook*
- 63   Study on the Color Feature of Harajuku-Type Kawaii Fashion Comparison with Street Snap Images Using Colorfulness  
*Peeraya Sripian, Keiko Miyatake, Michiko Ohkura*

# An Algorithm for the All-pair Shortest Path Problem on Circular Trapezoid Graphs

Hirotoishi Honma<sup>1\*</sup> Yoko Nakajima<sup>2</sup> Tsendsuren Urangoo<sup>3</sup> Yuto Tamori<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> *Department of Creative Engineering, National Institute of Technology, Kushiro College, Japan*

<sup>3,4</sup> *Department of Information Engineering, National Institute of Technology, Kushiro College, Japan*

\*Corresponding Author. E-mail address: honma@kushiro-ct.ac.jp

Received: 8 April 2020; Revised: 7 May 2020; Accepted: 22 May 2020

Published online: 25 June 2020

## **Abstract**

The shortest path problem involves finding a path between two vertices in a graph such that the sum of the weights of its constituent edges is minimized. This is a fundamental and important problem in graph theory, and it has been applied for solving numerous problems such as the minimum connected dominating set, minimum-weight circle-cover, and minimum cardinality Steiner set problems. The single-source shortest path problem involves finding the shortest paths between a given vertex and all other vertices. The all-pair shortest path problem involves the determination of the shortest graph distances between every pair of vertices in a given graph. In general, it is known that efficient sequential or parallel algorithms can be developed by restricting the classes of graphs. Numerous studies have been conducted on the shortest path problems on several intersection graphs. A circular trapezoid graph is a proper superclass of trapezoid graphs and circular-arc graphs. In this study, we present an  $O(n^2)$  time algorithm to solve the all-pair shortest path problem on circular trapezoid graphs.

**Keywords:** design and analysis of algorithms, shortest path, intersection graphs, circular trapezoid graphs



## I. INTRODUCTION

The shortest path problem involves finding a path between two vertices in a graph such that the sum of the weights of its constituent edges is minimized. This is a fundamental and important problem in graph theory, and it has been applied for solving numerous problems such as the minimum connected dominating set, minimum-weight circle-cover, and minimum cardinality Steiner set problems.

The single-source shortest path (SSSP) problem involves finding the shortest paths between a given vertex and all other vertices. A well-known solution to the SSSP problem was discovered by Dijkstra [1]. A sophisticated implementation can be found in [2]. The all-pair shortest path (APSP) problem involves the determination of the shortest graph distances between every pair of vertices in a given graph. A well-known algorithm for solving the APSP problem was developed by Floyd [3], who obtained the result based on a theorem proposed by Warshall [4]. The all-pair shortest path query problem does not find all pairs of shortest paths; instead, it is described as follows: First, a faster preprocessing algorithm is applied and a data structure is constructed. Then, a query on the length of the shortest path between any two vertices can be answered quite rapidly using the data structure. For other recent studies related to the shortest path problems, please refer to [5]-[8].

In general, it is known that efficient sequential or parallel algorithms can be developed by restricting the classes of graphs. Numerous studies have been conducted on the shortest path problems on several intersection graphs. For example, Hsu et al. developed an  $O(n)$  time algorithm for the SSSP problem on interval and circular-arc graphs [9]. Ibarra and Zheng demonstrated an optimal parallel algorithm for the SSSP problem for permutation graphs. The algorithm runs in  $O(\log n)$  time using  $O(n/\log n)$  processors [10].

Mondal et al. presented an  $O(n^2)$  time algorithm for the APSP problem on trapezoid graphs [11]. Barman et al. presented an efficient algorithm for the next-to-shortest path problem on trapezoid graphs; the algorithm runs in  $O(n^2)$  time [12].

Lin [13] introduced a circular trapezoid graph (CTG), which is a proper superclass of trapezoid graphs and circular-arc graphs. They showed that the maximum weighted independent set can be found in  $O(n^2 \log \log n)$  time on a CTG [13]. In this study, we present an  $O(n^2)$  time algorithm to solve the APSP problem on a CTG.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 defines CTGs and models and introduces the extended circular trapezoid model that is constructed from a circular trapezoid model. Moreover, we provide the definitions and notations used in this paper. Section 3 presents the properties of the shortest path on a CTG, which are useful for efficiently solving the APSP problem. Moreover, we describe our algorithm for solving the APSP problem and its complexity. Section 4 provides the benchmark experimental results. Finally, Section 5 concludes the paper.

## II. DEFINITIONS

### A. Circular Trapezoid Model and Graph

We describe a circular trapezoid model (CTM) before defining a circular trapezoid graph (CTG). A CTM consists of inner and outer circles,  $C_1$  and  $C_2$ , with radii  $r_1$  and  $r_2$ , respectively, where  $r_1 < r_2$ . Each circle is arranged counterclockwise with consecutive integer values  $1, 2, \dots, 2n$ , where  $n$  is the number of trapezoids. Consider two arcs,  $A_1$  and  $A_2$ , on  $C_1$  and  $C_2$ , respectively.

Points  $a$  and  $b$  represent the first points encountered when traversing arc  $A_1$  counterclockwise and clockwise, respectively. Similarly, points  $c$  and  $d$  represent the first points encountered when traversing arc  $A_2$  counterclockwise and clockwise, respectively. A trapezoid is the region in circles  $C_1$  and  $C_2$  that lies between two non-crossing chords,  $ac$  and  $bd$ . Trapezoid  $CT_i$  is defined by four corner points,  $[a_i, b_i, c_i, d_i]$ . Without loss of generality, we assume that each trapezoid contains four corner points and all corner points are distinct. Each trapezoid,  $CT_i$ , is numbered in the ascending order of its corner points,  $a_i$ , i.e.,  $i < j$  if  $a_i < a_j$ . The geometric representation described above is referred to as a CTM. Figure 1 illustrates an example of a CTM  $M$ , with twelve trapezoids.

An example of the use of a CTM is for cities consisting of cityscapes that spread radially around facilities such as stations and rotaries. In this case, the CTM visually represents the relationships among communities (linkage of transportation networks, sharing of infrastructure facilities, etc.) and is applied to the optimization of city planning and facility arrangement. Table 1 shows the details of  $M$  as depicted in Figure 1.

Consider a fictitious line,  $p$ , that connects the points placed between 1 and  $2n$  of  $C_1$  and  $C_2$ . A trapezoid that intersects  $p$  is referred to as a feedback trapezoid. In Figure 1,  $CT_2$  and  $CT_5$  are feedback trapezoids. If a fictitious line,  $p'$ , that connects a point on  $C_1$  and a point on  $C_2$  does not intersect any trapezoid in the CTM, a model obtained by opening the CTM along  $p'$  is equivalent to a normal trapezoid model. Then, the APSP problem can be solved by applying Mondal's algorithm [11] because it is the same as that of normal trapezoid graphs. We assume that any fictitious line,  $p'$ , that connects a point on  $C_1$  and a point on  $C_2$  intersects at least one trapezoid.

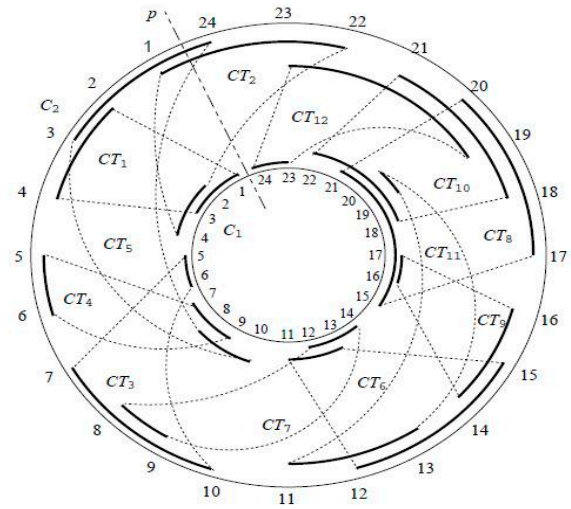


Figure 1 Circular trapezoid model  $M$

A graph,  $G$ , is a CTG if it can be represented by the following CTM  $M$ : each vertex of the graph corresponds to a trapezoid, and two vertices are adjacent in  $G$  if and only if their corresponding trapezoids intersect. Figure 2 illustrates the CTG,  $G$ , corresponding to the CTM  $M$ , shown in Figure 1.

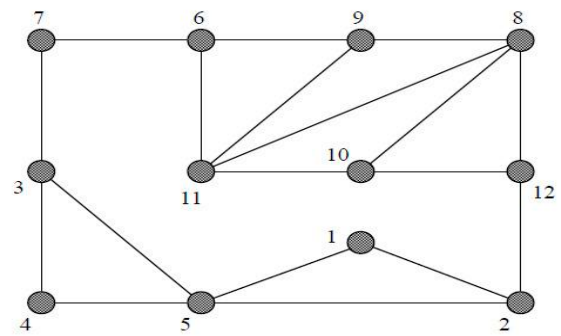


Figure 2 Circular trapezoid graph

Table 1 Detail of the CTM  $M$

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$a_i$	1	2	5	7	8	11	12	15	16	18	19	23
$b_i$	3	4	6	9	10	13	14	21	17	22	20	24
$c_i$	2	22	7	5	24	12	8	17	14	18	11	19
$d_i$	4	1	10	6	3	15	9	20	16	21	13	23

### B. Extended Circular Trapezoid Model

Next, we introduce an extended circular trapezoid model (ECTM) constructed from the CTM. Let  $n$  be the

number of trapezoids in CTM  $M$ . Consider a fictitious line,  $p$ , that connects the points placed between 1 and  $2n$  of  $C_1$  and  $C_2$ . First, the CTM is cut along fictitious line  $p$  and  $C_1$  and  $C_2$  are expanded into parallel horizontal lines (referred to as the top and bottom channels). Hereafter, to prevent confusion, we denote a trapezoid in the CTM and ECTM by  $CT_i$  and  $T_i$ , respectively. The above process is followed to construct an ECTM from the CTM. This process can be executed in  $O(n)$  time [14]. Figure 3 illustrates the ECTM  $EM$ , constructed from the CTM  $M$ , shown in Figure 1. Table 2 shows the details of  $EM$ .

Honma et al. presented a procedure that constructs  $EM$  from  $M$  [14].

**Lemma 1.** [14] *An ECTM  $EM$ , corresponding to a given CTM  $M$ , is constructed in  $O(n)$  time.* □

Efficient algorithms have been developed to address various problems concerning noncircular intersection graphs (interval, permutation, trapezoid, etc). However, in general, the problems for circular intersection graphs tend to be more difficult than those for noncircular intersection graphs. One of the reasons for this difficulty is that we cannot uniquely determine the starting position of an algorithm for circular intersection graphs owing to the existence of feedback elements. However, this position can be determined for noncircular intersection graphs. For several problems, we can develop the circular versions of existing algorithms by constructing the extended intersection models (such as the ECTM) of the problems. We can uniquely determine the starting position of an algorithm and partially apply the algorithms of noncircular versions using these models. For instance, this method has been utilized to develop efficient algorithms for the shortest path query problem [9], [15] and articulation vertex problem [16] in circular-arc

graphs, the maximum clique and chromatic number problems [17], spanning forest problem [18], and articulation problem [19] in circular permutation graphs, and the spanning tree problem [14] and hinge vertex problem [20] in CTGs.

### C. Definitions

We introduce the definitions and notations that are used in our algorithm. Let  $G$  be a CTG corresponding to CTM  $M$  and  $EM$  be an ECTM constructed from  $M$ .

We define  $rt(i)$ ,  $rb(i)$ ,  $lt(i)$ , and  $lb(i)$  as follows: Here, the set (including  $i$ ) of all trapezoids that intersect  $T_i$  in  $EM$  is denoted by  $N[i]$ .

- $rt(i) = k$  such that  $b_k = \max\{b_j \mid j \in N[i]\}$ ,
- $rb(i) = k$  such that  $d_k = \max\{d_j \mid j \in N[i]\}$ ,
- $lt(i) = k$  such that  $a_k = \min\{a_j \mid j \in N[i]\}$ ,
- $lb(i) = k$  such that  $c_k = \min\{c_j \mid j \in N[i]\}$ .

TABLE 2 shows the details of  $rt(i)$ ,  $rb(i)$ ,  $lt(i)$ , and  $lb(i)$ , and the ECTM is illustrated in Figure 3.

Let  $tp_1 < tp_2$  be the coordinates on the top channel and  $bp_1 < bp_2$  be the coordinates on the bottom channel in  $EM$ . We define sets  $A[tp_1, tp_2]$ ,  $C[bp_1, bp_2]$ ,  $B[tp_1, tp_2]$ , and  $D[bp_1, bp_2]$  as follows:

- $A[tp_1, tp_2] = \{k \mid tp_1 < a_k < tp_2\}$ ,
- $C[bp_1, bp_2] = \{k \mid bp_1 < c_k < bp_2\}$ ,
- $B[tp_1, tp_2] = \{k \mid tp_1 < b_k < tp_2\}$ ,
- $D[bp_1, bp_2] = \{k \mid bp_1 < d_k < bp_2\}$ .

$r\text{-tree}(i)$  is a tree with root  $i$ , and it represents the shortest path when visiting all vertices from  $i$  to the right on  $EM$ . Similarly,  $l\text{-tree}(i)$  is a tree with root  $i$ , and it represents the shortest path when visiting all vertices from  $i$  to the left on  $EM$ .  $dis_r(i, j)$  and  $dis_l(i, j)$  are the distances from root  $i$  to vertex  $j$  on  $r\text{-tree}(i)$  and  $l\text{-tree}(i)$ , respectively. Figures 4 and 5 show the examples of  $r\text{-tree}(6)$  and  $l\text{-tree}(6)$ , respectively. In this example, we have  $dis_r(6, 5) = 5$  and  $dis_l(6, 5) = 3$ .

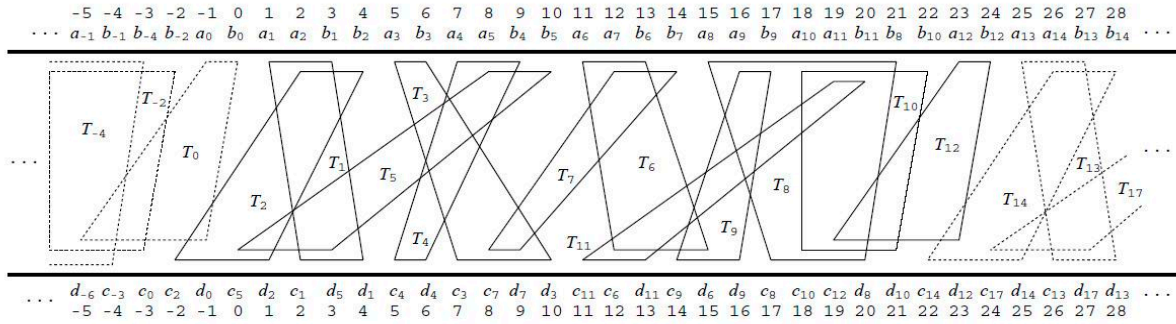


Figure 3 Extended circular trapezoid model EM

Table 2 Detail of the ECTM EM

$i$	-11	-10	...	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	...	23	24
$a_i$	-23	-22	...	-8	-6	-5	-1	1	2	5	7	8	11	12	15	16	18	19	23	25	26	29	31	...	43	47
$b_i$	-21	-20	...	-7	-2	-4	0	3	4	6	9	10	13	14	21	17	22	20	24	27	28	30	33	...	44	48
$c_i$	-22	-26	...	-10	-6	-13	-5	2	-2	7	5	0	12	8	17	14	18	11	19	26	22	31	29	...	35	43
$d_i$	-20	-23	...	-8	-3	-11	-1	4	1	10	6	3	15	9	20	16	21	13	23	28	25	34	30	...	37	47
$rt(i)$	-7	-7	...	-4	0	-2	2	5	5	5	5	5	11	7	12	8	12	10	14	17	17	17	17	...	22	24
$rb(i)$	-11	-11	...	-4	0	-2	2	1	1	3	3	3	9	6	12	8	12	10	14	13	13	15	15	...	22	24
$lt(i)$	-11	-11	...	-6	-4	-6	-4	1	0	3	3	3	6	3	8	6	8	6	8	13	12	15	15	...	18	20
$lb(i)$	-10	-10	...	-1	-1	-1	-4	2	0	5	5	2	7	3	11	11	11	11	8	14	12	17	17	...	23	20

### III. RESEARCH METHODOLOGY

#### A. Useful Properties

In this section, we present some useful properties for constructing an algorithm for computing the shortest path lengths between the all-pair vertices of CTG  $G$ . We describe a few lemmas that are useful for constructing the algorithm for the APSP problem in CTGs.

**Lemma 2.**  $r\text{-tree}(i)$  and  $l\text{-tree}(i)$ ,  $1 \leq i \leq n$ , can be constructed in  $O(n^2)$  time using Mondal's algorithm [11] when the corresponding ECTM is given as an input.  $\square$

Mondal's algorithm [11] can solve the APSP problem of a normal trapezoid graph in  $O(n^2)$  time by constructing shortest path trees. The ECTM is constructed from the CTM, and it is a geometric figure model similar to the trapezoid model. We can obtain  $r\text{-tree}(i)$  and  $l\text{-tree}(i)$ ,  $1 \leq i \leq n$ , in  $O(n^2)$  time by applying Mondal's algorithm to the ECTM.

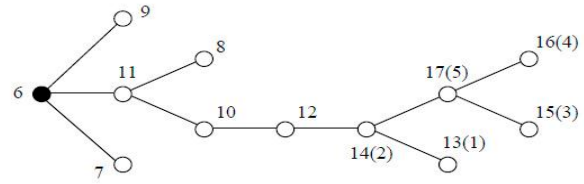


Figure 4 Example of r-tree(6)

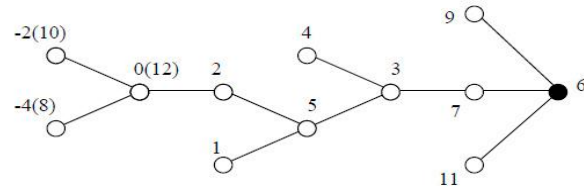


Figure 5 Example of l-tree(6)

**Lemma 3.** For any pair of vertices,  $i$  and  $j$ , on CTG  $G$ , distance  $dis(i, j)$  is obtained from  $\min\{dis_r(i, j), dis_l(i, j)\}$ .

We assume two nonintersecting trapezoids,  $CT_i$  and  $CT_j$ , on the CTM. There are two paths from  $CT_i$  to  $CT_j$  on the CTM. One follows a trapezoid counterclockwise from  $CT_i$  to  $CT_j$ , and the other follows a trapezoid



clockwise.  $r\text{-tree}(i)$  and  $l\text{-tree}(i)$  are the shortest path trees that can be obtained when moving from  $CT_i$  to another trapezoid in the counterclockwise and clockwise directions, respectively.

Therefore, the shortest path length between vertices  $i$  and  $j$  is  $\min\{dis_r(i, j), dis_l(i, j)\}$ .

Figure 6 shows an example of the shortest path from vertex 6 to 5 on the CTG. In this example,  $\langle 6, 11, 10, 12, 2, 5 \rangle$  is the shortest counterclockwise path from vertex 6 on the CTM, and we obtain the length,  $dis_r(6, 5) = 5$ , from  $r\text{-tree}(6)$  shown in Figure 4. Similarly,  $\langle 6, 7, 3, 5 \rangle$  is the shortest clockwise path from vertex 6 on the CTM, and we obtain the length,  $dis_l(6, 5) = 3$ , from  $l\text{-tree}(6)$  shown in Figure 5. Therefore, the shortest path length from 6 to 5 on this CTG is 3.

### B. Algorithm APSP-CTG and Its Complexity

In this section, we present the APSP-CTG algorithm for computing the shortest path lengths between the all-pair vertices of a CTG,  $G$ . In this algorithm, we define a function for normalization,  $nor(i)$ , which is expressed as

$$nor(i) = \begin{cases} i - n & \text{if } i > n, \\ i + n & \text{if } i < 1, \\ i & \text{if } 1 \leq i \leq n, \end{cases}$$

for a trapezoid,  $T_i$ , in the ECTM. The value of  $nor(i)$  is the vertex number in the CTG corresponding to the copy of trapezoid  $T_i$  in the ECTM. For the example shown in Figure 3, we have  $nor(-4)=10$  and  $nor(17)=5$ .

Now, we concisely describe the outline of our algorithm (Algorithm APSP-CTG) and analyze its complexity.

Algorithm~APSP-CTG considers a CTM  $M$ , as an input. In Step 1, we construct an ECTM  $EM$ , from  $M$  using Honma's algorithm [14] (Figure 2). This step can be performed in  $O(n)$  time. In Step 2, we compute  $rt(i)$ ,  $rb(i)$ ,  $lt(i)$ , and  $lb(i)$ , for  $1-n \leq i \leq 2n$ , using prefix computation [21]. This process can execute in  $O(n)$  time. Steps 3 and

### Algorithm 1: APSP-CTG

**Input:** Corner points  $a_i, b_i, c_i, d_i$  for each trapezoid in a CTM  $M$ .  
**Output:** All-pair shortest path matrix  $D$  for the CTG  $G$ .

```

(Step 1) /* Construction of EM from M */
Construct an ECTM EM from M using Honma's algorithm [10];
(Step 2) /* Preprocessing */
for 1 ≤ i ≤ n do
    Compute  $rt(i)$ ,  $rb(i)$ ,  $lt(i)$ , and  $lb(i)$  on EM;
(Step 3) /* Construction of r-tree(i) */
Note that  $N[i]$  is a set  $\{k \mid T_k \text{ intersects with } T_i \text{ on EM}\}$ ;
for 1 ≤ i ≤ n do
    r-tree(i) := ∅;
    for 1 ≤ j ≤ n do v[j] := '0';
    v[i] := '1';
    for k ∈ N[i] do
        r-tree(i) := r-tree(i) ∪ (i, nor(k)); /* Add an edge */
        v[nor(k)] := '1';
    tp1 := b_i, tp2 := b_rt(i);
    bp1 := d_i, bp2 := b_rb(i);
    it := ib := i;
    while there exists j such as v[j] = '0' do
        for k ∈ A[tp1, tp2], v[nor(k)] = '0' do
            r-tree(i) := r-tree(i) ∪ (it, nor(k)); /* Add an edge */
            v[nor(k)] := '1';
        for k ∈ C[bp1, bp2], v[nor(k)] = '0' do
            r-tree(i) := r-tree(i) ∪ (ib, nor(k)); /* Add an edge */
            v[nor(k)] := '1';
        tp'_2 := max{ b_j | j ∈ A[tp1, tp2] };
        tp''_2 := max{ b_j | j ∈ C[bp1, bp2] };
        bp'_2 := max{ d_j | j ∈ A[tp1, tp2] };
        bp''_2 := max{ d_j | j ∈ C[bp1, bp2] };
        tp1 := tp2, tp2 := max{ tp'_2, tp''_2 };
        bp1 := bp2, bp2 := max{ bp'_2, bp''_2 };
        it := k such that b_k = tp2;
        ib := k such that b_k = bp2;
(Step 4) /* Construction of l-tree(i) */
for 1 ≤ i ≤ n do
    l-tree(i) := ∅;
    for 1 ≤ j ≤ n do v[j] := '0';
    v[i] := '1';
    for k ∈ N[i] do
        l-tree(i) := l-tree(i) ∪ (i, nor(k)); /* Add an edge */
        v[nor(k)] := '1';
    tp1 := a_lt(i), tp2 := a_i;
    bp1 := c_lb(i), bp2 := c_i;
    it := ib := i;
    while there exists j such as v[j] = '0' do
        for k ∈ B[tp1, tp2], v[nor(k)] = '0' do
            l-tree(i) := l-tree(i) ∪ (it, nor(k)); /* Add an edge */
            v[nor(k)] := '1';
        for k ∈ D[bp1, bp2], v[nor(k)] = '0' do
            l-tree(i) := l-tree(i) ∪ (ib, nor(k)); /* Add an edge */
            v[nor(k)] := '1';
        tp'_1 := min{ a_j | j ∈ B[tp1, tp2] };
        tp''_1 := min{ a_j | j ∈ D[bp1, bp2] };
        bp'_1 := min{ c_j | j ∈ B[tp1, tp2] };
        bp''_1 := min{ c_j | j ∈ D[bp1, bp2] };
        tp2 := tp1, tp1 := min{ tp'_1, tp''_1 };
        bp2 := bp1, bp1 := min{ bp'_1, bp''_1 };
        it := k such that b_k = tp1;
        ib := k such that b_k = bp1;
(Step 5) /* Construction of APSP matrix D */
Note that  $dis_r(i, j)$  and  $dis_l(i, j)$  are the distances from root  $i$  to  $j$  on  $r\text{-tree}(i)$  and  $l\text{-tree}(i)$ , respectively.
for 1 ≤ i ≤ n do
    for 1 ≤ j ≤ n do
        D[i, j] := min{  $dis_r(i, j)$ ,  $dis_l(i, j)$  };

```

4 construct  $r\text{-tree}(i)$  and  $l\text{-tree}(i)$ , for  $1 \leq i \leq n$ , respectively. These steps can be executed in  $O(n^2)$  time using Mondal's algorithm [11]. Figures 4 and 5 show the examples of  $r\text{-tree}(6)$  and  $l\text{-tree}(6)$ , respectively. Step 5

constructs APSP matrix  $D$ . From Lemma 3, the distance,  $dis(i, j)$ , is computed using  $\min\{dis(i, j), dis(i, j)\}$ . This step can be executed in  $O(n^2)$  time.

Thus, we obtain the following theorem:

**Theorem 1.** Algorithm APSP-CTG computes the all-pair shortest path for a CTG in  $O(n^2)$  time by considering its CTM  $M$ , as an input.  $\square$

#### IV. RESULTS AND DISCUSSION

We actually implemented the program and performed a benchmark test of the execution speed. In the APSP problem, we compared our well-known Floyd-Warshall method with our method. Ten graphs each with 5,000 and 10,000 nodes were created and averaged for each processing time. In processing time benchmarks, graph samples with node sizes of 5,000 and 10,000 are considered adequate. Moreover, in order to absorb the deviation of the shape of graph and the number of edges, the average of 10 samples was calculated.

Table 3 shows the benchmark experimental results. The time complexity of Floyd-Warshall is  $O(n^3)$ , while the complexity of our algorithm is  $O(n^2)$ . The benchmark values show that our algorithm achieves significant speedup.

Floyd-Warshall Algorithm solves the APSP problem using dynamic programming. As often practiced in dynamic programming, the problem is divided into smaller subproblems which are then solved to obtain intermediate results to be used in the overall solution. In the Floyd-Warshall algorithm, it uses the adjacent matrix of the graph given as input and requires  $O(n^3)$  computation time. On the other hand, our algorithm uses the intersection model as an input and holds the shortest distance between vertices in a tree structure, so that the computational complexity can be suppressed to  $O(n^2)$ .

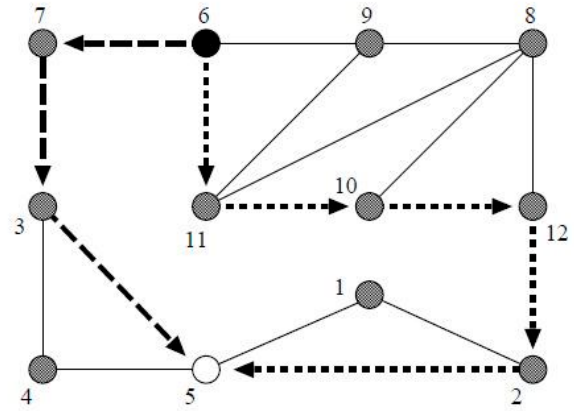


Figure 6 Shortest path from vertex 6 to 5

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 4 & 3 & 3 & 4 & 3 & 4 & 2 \\ 1 & 0 & 2 & 2 & 1 & 4 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 4 & 3 & 4 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 1 & 0 & 1 & 3 & 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 3 & 2 & 3 & 4 & 3 & 4 & 2 \\ 4 & 4 & 2 & 3 & 3 & 0 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 3 & 1 & 2 & 2 & 1 & 0 & 3 & 2 & 3 & 2 & 4 \\ 3 & 2 & 4 & 4 & 3 & 2 & 3 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 3 & 4 & 4 & 1 & 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 4 & 4 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 3 & 4 & 4 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 3 & 3 & 2 & 3 & 4 & 1 & 2 & 1 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

Table 3 Benchmark Results

Size	General Algorithm	Our Algorithm
5,000	58.91 [sec]	1.44 [sec]
10,000	502.46 [sec]	6.02 [sec]

Processor: Intel Core i7-8700 3.2GHz

Memory: 32GB, Compiler: Borland C++ 5.5.1

#### V. CONCLUSION

In this study, we proposed Algorithm APSP-CTG, which operates in  $O(n^2)$  time to compute the APSP problem in a CTG. Our algorithm partially uses Mondal's [11] and Honma's algorithms [14]. The APSP problem is a fundamental problem that is used to solve numerous problems in graph theory. For this reason, we believe that this paper has merits from a theoretical and algorithmic point of view. Reducing the complexity of the algorithm and extending the results to other graphs will be addressed in future work.

## ACKNOWLEDGEMENT

We express many thanks to anonymous referees for their valuable advices on the theory of our attacks and their helpful editorial comments. This work was partially supported by JSPS KAKENHI Grant Number 19K11834 and 17K00324, and Cooperative Education/Research Project between Toyohashi University of Technology and National Institute of Technology.

## REFERENCES

- [1] E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connection with graphs," *Numerische Mathematik*, vol. 1, pp. 269–271, 1959.
- [2] M. L. Fredman and R. E. Tarjan, "Fibonacci heaps and their uses in improved network optimization algorithms," *J. ACM*, vol. 34, no. 3, pp. 596–615, Jul. 1987.
- [3] R. W. Floyd, "Algorithm 97: Shortest path," *Communications of the ACM*, vol. 5, no. 6, pp. 344–348, Jun. 1962.
- [4] S. Warshall, "A theorem on boolean matrices," *J. ACM*, vol. 9, no.1, pp. 11–12, Jan. 1962.
- [5] Y. Kobayashi and R. Sako, "Two disjoint shortest paths problem with non-negative edge length," *Operations Research Letters*, vol. 47, no. 1, pp. 66–69, Jan. 2019.
- [6] C. Glacet, N. Hanusse, D. Ilcinkas, and C. Johnen, "Disconnected components detection and rooted shortest-path tree maintenance in networks," *J. Parallel and Distributed Computing*, vol. 132, pp. 299–309, Oct. 2019.
- [7] M. Debski, K. J. Szaniawski and Z. Lonc, "Bundling all shortest paths," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 277, pp. 82–91, Apr. 2020.
- [8] L. Di Puglia Pugliese, D. Ferone, P. Festa, and F. Guerriero, "Shortest path tour problem with time windows," *European Journal of Operational Research*, vol. 282, no. 1, pp. 334–344, Apr. 2020.
- [9] F. R. Hsu, K. Shan, H. S. Chao, and R. C. Lee, "Some optimal parallel algorithms on interval and circular-arc graphs," *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 21, no. 3, pp. 627–642, May 2005.
- [10] O. H. Ibarra and Q. Zheng, "An optimal shortest path parallel algorithm for permutation graphs," *J. Parallel and Distributed Computing*, vol. 24, no. 1, pp. 94–99, Jan. 1995.
- [11] S. Mondal, M. Pal, and T. K. Pal, "An optimal algorithm for solving all-pairs shortest paths on trapezoid graphs," *Int. J. Computational Engineering Science*, vol. 3, no. 2, pp. 103–116, 2002.
- [12] S. C. Barman, S. Mondal, and M. Pal, "An efficient algorithm to find next-to-shortest path on trapezoid graphs," *Advances in Applied Mathematical Analysis*, vol. 2, no. 2, pp. 97–107, 2007.
- [13] W. L. Lin, "Circular and circle trapezoid graphs," *J. Sci. Eng. Tech.*, vol. 2, no. 2, pp. 11–17, 2006.
- [14] H. Honma, Y. Nakajima, Y. Aoshima, and S. Masuyama, "A lineartime algorithm for constructing a spanning tree on circular trapezoid graphs," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E96-A, no. 6, pp. 1051–1058, Jun. 2013.
- [15] D. Chen, D. T. Lee, R. Sridhar, and C. Sekharam, "Solving the all-pair shortest path query on interval and circular-arc graphs," *Networks*, vol. 31, no. 4, pp. 249–258, 1998.
- [16] T. W. Kao and S. J. Horng, "Optimal algorithms for computing articulation points and some related problems on a circular-arc graph," *Parallel Computing*, vol. 21, no. 6, pp. 953–969, Jun. 1995.
- [17] R. D. Lou and M. Sarrafzadeh, "Circular permutation graph family with applications," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 40, no. 3, pp. 433–457, Dec. 1992.
- [18] H. Honma, S. Honma, and S. Masuyama, "An optimal parallel algorithm for constructing a spanning tree on circular permutation graphs," *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E92-D, no. 2, pp. 141–148, Feb. 2009.
- [19] H. Honma, K. Abe, Y. Nakajima, and S. Masuyama, "Linear time algorithms for finding articulation and hinge vertices of circular permutation graphs," *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, vol. E96-D, no. 3, pp. 419–425, Mar. 2013.
- [20] H. Honma, Y. Nakajima, and S. Masuyama, "An algorithm for hinge vertex problem on circular trapezoid graphs," *Journal of Information Processing*, vol. 25, pp. 945–948, Dec. 2017.
- [21] D. Bera, M. Pal, and T. K. Pal, "An efficient algorithm for finding all hinge vertices on trapezoid graphs," *Theory of Computing Systems*, vol. 36, no. 1, pp. 17–27, Feb. 2003.

# การควบคุมความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิิกส์ แบบอัตโนมัติด้วยวิธีการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลง

ธณวิน มั่นสกุล<sup>1\*</sup> กันติชา กิตติพิรัช<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> หลักสูตรปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

<sup>2</sup> ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ หุ่นยนต์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : ma.thanavin\_st@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 5 พฤษภาคม 2563.; รับบทความฉบับแก้ไข: 13 พฤษภาคม 2563; ตอบรับบทความ: 14 พฤษภาคม 2563

เผยแพร่ออนไลน์: 25 มิถุนายน 2563

## บทคัดย่อ

การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิิกส์สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในการปลูกได้ง่าย แต่มีต้นทุนที่สูง และการจัดการระบบที่ซับซ้อนต้องใช้ประสบการณ์และความรู้ ความเป็นกรด-ด่างในสารละลายที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดความเสียหายต่อรากพืชและส่งผลต่อการดูดธาตุอาหารของพืชได้ บทความนี้นำเสนอการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในสารละลายแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลง โดยการดัดแปลงวิธีการกำจัดความคลุมเครือเป็นการใช้พื้นที่ได้กราฟของรูปที่กำหนดขึ้น และอ้างอิงข้อมูลจากผู้ที่มีประสบการณ์ในการปลูกมาใช้ออกแบบตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อให้ระบบสามารถตัดสินใจและจัดการแทนการทำงานของมนุษย์ได้ จากผลการทดลองกับระบบต้นแบบเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบ P พบว่า ระบบที่นำเสนอสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย และกำจัดผลของการรบกวนจากภายนอกได้ดีกว่า ซึ่งช่วยลดภาระงานของมนุษย์และลดความซับซ้อนของการปลูกเพราะระบบสามารถคำนวณและเติมสารได้เองอย่างเหมาะสม

**คำสำคัญ :** สารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิิกส์ การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิิกส์ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง



# Automated pH Control of Nutrient Solution in Hydroponic System using Modified Fuzzy Logic Control

Thanavin Mansakul<sup>1\*</sup> Kanticha Kittipeerachon<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> *Master of Engineering in Engineering Technology: MET,  
Thai-Nichi Institute of Technology: TNI, Bangkok, Thailand*

<sup>2</sup> *Computer Engineering Robotics and Technology Research Laboratory: CERT  
Thai-Nichi Institute of Technology: TNI, Bangkok, Thailand*

\*Corresponding Author. E-mail address: ma.thanavin\_st@tni.ac.th

Received: 5 May 2020; Revised: 13 May 2020; Accepted: 14 May 2020

Published online: 25 June 2020

## Abstract

A hydroponic system can control many factors significantly, such as the amount of water and fertilizer. However, the system is a high investment and requires some skills to operate. The unsuitable quantity of pH can cause root damage from acidity and inadequate nutrient uptake. This paper presents the pH control in a nutrient solution using modified fuzzy logic control. The fuzzy logic control is a design based on experienced personal adjustment data. However, the defuzzification technique is modified to suit the controlled system using the area under an appropriately designed graph. From the results obtained from the prototype systems, it was found that the proposed system can control pH value in nutrient solution and reject disturbance better than the conventional P control system. Since the system can decide the proper quantity of acid and base automatically, the system can reduce human workload and reduce complicated procedures for the farmer.

**Keywords:** Nutrient solution, Hydroponic system, pH, Fuzzy logic control.

## 1) บทนำ

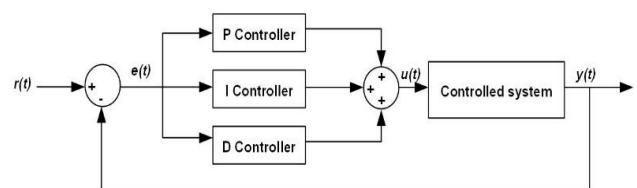
การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ต้องควบคุมปัจจัยหลายอย่างเพื่อป้องกันความเสียหายต่อพืชและให้ผลผลิตตามที่ต้องการ ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในระบบไฮโดรโปนิคส์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่ต้องควบคุม เนื่องจากความเป็นกรดที่มากเกินไปเป็นอันตรายต่อเซลล์ในรากของพืชและทำให้สารละลายกลายเป็นพิษได้ ในทำนองเดียวกัน ความเป็นด่างที่มากเกินไปส่งผลเสียต่อรากพืชเช่นกันและยังส่งผลให้การดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดของพืชลดลง [1] ความเหมาะสมของค่าความเป็นกรด-ด่างในการปลูกพืชโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 5.0-6.0 แต่โดยส่วนใหญ่ค่าความเป็นกรด-ด่างช่วง 6.0-7.0 นั้นก็เพียงพอต่อการปลูกพืช การเพิ่มความเป็นกรดให้กับสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์นิยมใช้กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) และกรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) เพราะสามารถละลายน้ำได้และสามารถเป็นธาตุอาหารที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับราคาและคุณภาพของน้ำ

วิธีการควบคุมความเป็นกรด-ด่างแบบอัตโนมัติที่นำเสนอใน [2] ใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ แล้วนำสมการที่ได้ไปคำนวณปริมาณกรดที่ต้องเติมลงในสารละลายให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างตามต้องการ ระบบสามารถปรับลดค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในย่านที่ยอมรับได้โดยมีความแม่นยำ 95% จากค่าความเป็นกรด-ด่างเป้าหมายคือ 6.0 แต่ไม่ได้แนะนำการปรับเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างหากสารละลายมีความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไป รวมถึงไม่ได้แนะนำเวลาที่ระบบใช้ในการควบคุมให้ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในย่านที่ยอมรับได้ ใน [3] แนะนำการควบคุมความเป็นกรด-ด่างด้วยวิธีตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยนำหลักการตรรกศาสตร์คลุมเครือไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจเพื่อปรับทั้งค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในย่านที่ต้องการ วิธีนี้ไม่ต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในการคำนวณปริมาณกรด ด่าง ธาตุอาหารและน้ำในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ต้องเติม ใช้เพียงความรู้จากผู้ที่มีประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าของตัวควบคุมและออกแบบกฎหรือเงื่อนไขในการควบคุมให้เหมาะสม ระบบสามารถควบคุมทั้งค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้าให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ โดยสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เข้าสู่ช่วงเป้าหมายคือ 5.5-6.5 ได้ภายใน 60 นาที เร็วกว่าการควบคุมด้วยผู้ที่มีประสบการณ์และผู้ที่ไม่มีความรู้ซึ่งใช้เวลาประมาณ 100 นาที

บทความนี้นำเสนอการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยวิธีการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลงในรูปแบบการควบคุมแบบวงปิด โดยกำหนดค่าเป้าหมายของความเป็นกรด-ด่างในการควบคุมเป็นค่าเดียวไม่ใช่ช่วง ทั้งยังได้ออกแบบตัวควบคุมและทดลองกับระบบต้นแบบ เปรียบเทียบผลการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลงกับตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือที่เรียกกันว่าตัวควบคุมแบบ P ทั้งผลตอบสนองชั่วขณะ (การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างช่วงตอนเริ่มต้นหรือหลังจากระบบถูกรบกวน) และผลตอบที่สภาวะคงตัว (ค่าความเป็นกรด-ด่างตอนเข้าสู่ค่าเป้าหมายแล้ว)

## 2) วิธีการควบคุม

### 2.1) การควบคุมแบบ PID



รูปที่ 1 ระบบควบคุมแบบ PID

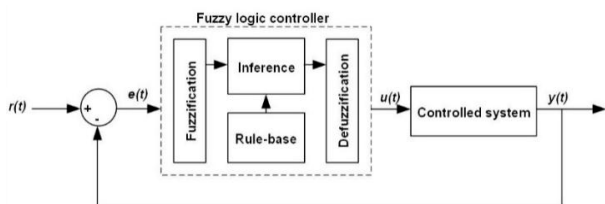
การควบคุมแบบ PID เป็นการควบคุมแบบวงปิดแสดงดังรูปที่ 1 ตัวควบคุมแบบ PID ประกอบด้วย 3 ส่วนรวมกัน คือ ตัวควบคุมแบบ P (P: Proportional) ตัวควบคุมแบบ I (I: Integral) และตัวควบคุมแบบ D (D: Derivative) โดยสัญญาณควบคุม  $u(t)$  ที่สร้างจากตัวควบคุมเพื่อป้อนเข้าระบบที่ต้องการควบคุม นั้น ได้มาจากการนำค่าความคลาดเคลื่อน  $e(t)$  ของสัญญาณเอาต์พุต  $y(t)$  จากค่าเป้าหมาย  $r(t)$  เข้าสู่กระบวนการควบคุม กระบวนการควบคุมจะพยายามทำให้ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสัญญาณควบคุมขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนและตัวแปรในการควบคุม 3 ตัว ดังสมการ (1)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ  $K_p$  แทนอัตราขยายสัดส่วน  $K_i$  แทนอัตราขยายปริพันธ์ และ  $K_d$  แทนอัตราขยายอนุพันธ์ อัตราขยายทั้ง 3 ค่านี้เป็นค่าที่จะถูกออกแบบหรือปรับตั้งให้เหมาะสม เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งอัตราขยายแต่ละตัวจะส่งผลต่อคุณสมบัติของสัญญาณเอาต์พุตแตกต่างกัน โดยสามารถเลือกปรับตั้งเฉพาะค่าที่ต้องการ หรือเลือกใช้เพียงอัตราขยายบางตัวแล้วกำหนดให้ค่าอื่นที่เหลือเป็นศูนย์ได้ [4]

การปรับตั้งค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID นี้สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ต้องการควบคุม จึงนิยมนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในอุตสาหกรรมหาได้ยาก และการปรับตั้งค่าตัวควบคุมแบบ PID สามารถทำที่หน้างานได้ ซึ่งเทคนิคการปรับตั้งค่ามีหลายรูปแบบ บางเทคนิคสามารถปรับตั้งค่าได้ละเอียดและแม่นยำมาก [5]

## 2.2) การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ



รูปที่ 2 ระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นการควบคุมแบบอัจฉริยะรูปแบบหนึ่งที่ใช้เหตุผลในการตัดสินใจแสดงดังรูปที่ 2 ตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือรับค่าความคลาดเคลื่อน  $e(t)$  ของสัญญาณเอาต์พุต  $y(t)$  จากค่าเป้าหมาย  $r(t)$  เข้ามาจัดการตามลำดับขั้นตอนการแก้ไขปัญหา เพื่อเลือกค่าสัญญาณควบคุม  $u(t)$  ที่เหมาะสมสำหรับระบบ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1) การทำข้อมูลให้คลุมเครือ (Fuzzification) เป็นขั้นตอนการแปลงค่าความคลาดเคลื่อนที่รับเข้ามาให้เป็นค่าแบบคลุมเครือ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกฎที่กำหนดไว้

2.2.2) การตั้งกฎ (Rule-base) เป็นขั้นตอนการกำหนดกฎจากประสบการณ์ความรู้ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการควบคุมระบบ โดยกฎที่กำหนดขึ้นจะอยู่ในรูปเซตของกฎ

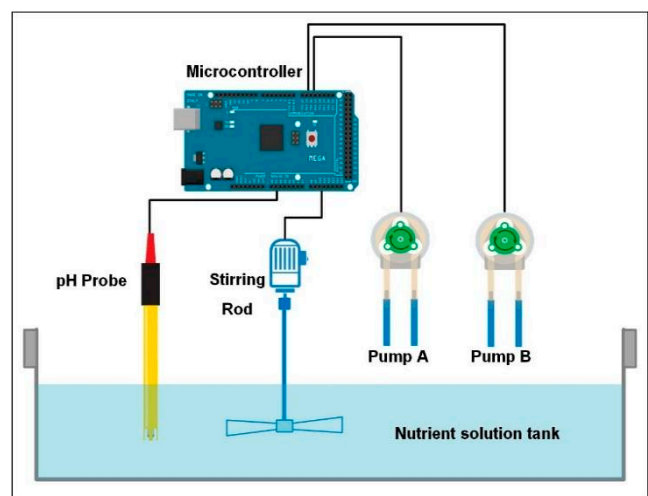
2.2.3) กลไกการตีความ (Inference mechanism) เป็นขั้นตอนการประเมินหาข้อสรุป ซึ่งก็คือค่าสัญญาณควบคุมแบบคลุมเครือจากความสอดคล้องของค่าความคลาดเคลื่อนปัจจุบันแบบคลุมเครือที่ได้รับมากับกฎที่กำหนดไว้

2.3.4) การกำจัดความคลุมเครือ (Defuzzification) เป็นขั้นตอนการแปลงค่าสัญญาณควบคุมแบบคลุมเครือที่ได้จากกลไกการตีความให้เป็นค่าสัญญาณควบคุมแบบทั่วไป เพื่อส่งออกไปยังระบบที่ต้องการควบคุม [6]

การใช้เหตุผลในการตัดสินใจทำให้การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นวิธีการควบคุมอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถใช้กับระบบที่ไม่ทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ นอกจากนั้นการที่ตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถระบุค่าความเป็นสมาชิกได้ระหว่าง 0 ถึง 1 ทำให้เกิดระดับที่สามารถตีความได้มากกว่าขาวหรือดำ เช่น เทา เทาอ่อนหรือเทาเข้ม เป็นต้น จึงใช้ควบคุมระบบที่ซับซ้อน รวมถึงระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้

## 3) การดำเนินการวิจัย

### 3.1) การออกแบบอุปกรณ์



รูปที่ 3 ระบบต้นแบบ

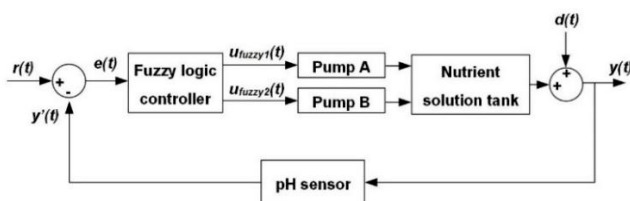
รูปที่ 3 แสดงระบบต้นแบบที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยถังน้ำที่บรรจุสารละลายธาตุอาหารปริมาณ 6 ลิตร เซนเซอร์สำหรับอ่านค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH probe) ซึ่งต้องแช่ไว้ในถังน้ำตลอดเวลา จึงเลือกใช้เซนเซอร์คุณภาพระดับสำหรับการทดลองเพื่อลดปัญหาจากสัญญาณรบกวนที่อาจ

เกิดขึ้น ทำให้อ่านค่าได้อย่างแม่นยำและผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ นอกจากการเลือกอุปกรณ์คุณภาพระดับการทดลองแล้ว ยังออกแบบเครื่องกวน (Stirring rod) เพื่อกวนให้สารละลายมีความเข้ากันมากขึ้นในขณะเซนเซอร์อ่านค่าระหว่างตอนเติมสารละลายกรดหรือน้ำ ปัม (Pump) ที่ใช้ในการทดลองเป็นปั๊มสุบจ่ายของเหลวแบบรีดท่อ (Peristaltic pump) ที่มีความแม่นยำสูงและมีคุณภาพระดับสำหรับการทดลองเช่นเดียวกับเซนเซอร์ ขนาดของปั๊มสอดคล้องกับระบบต้นแบบที่ใช้ทำการทดลอง โดยที่ปั๊ม A คือปั๊มที่ปล่อยสารละลายกรดเพื่อเพิ่มความเป็นกรดให้กับสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิิกส์ และปั๊ม B คือปั๊มที่ปล่อยน้ำเพื่อลดความเป็นกรดในสารละลาย เวลาที่ปั๊ม A และปั๊ม B ปล่อยสารละลายกรดและน้ำถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตามวิธีการควบคุมที่ออกแบบ ซึ่งในบทความนี้ใช้วิธีการควบคุม 2 แบบ คือ การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลง และการควบคุมแบบ P ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้คืออาร์ดูอิโนเนื่องจากใช้งานง่ายและเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโอเพนซอร์สทำให้มีการพัฒนาและมีตัวอย่างการเขียนโปรแกรมจำนวนมาก

### 3.2) การออกแบบตัวควบคุม

#### 3.2.1) ตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลง

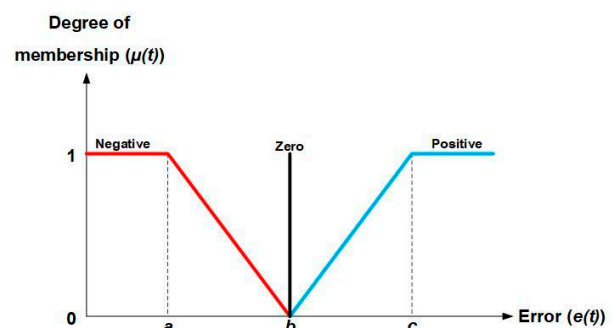
การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือจะดำเนินการตามรูปที่ 4 โดย  $x(t)$  คือค่าความเป็นกรด-ด่างเป้าหมายที่กำหนดไว้มีค่าเท่ากับ 6 ในส่วนของ  $u_{fuzzy1}(t)$  และ  $u_{fuzzy2}(t)$  คือค่าเวลาในการปล่อยสารละลายกรดและน้ำเข้าสู่ระบบ เป็นสัญญาณควบคุมที่ส่งออกจากตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือไปควบคุมการเปิด-ปิดปั๊ม A และปั๊ม B ตามลำดับ  $y'(t)$  คือค่าความเป็นกรด-ด่างที่เซนเซอร์อ่านค่าได้ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความเป็นกรด-ด่างจริงของระบบ  $y(t)$  และ  $d(t)$  คือการรบกวนระบบที่ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเปลี่ยนไป



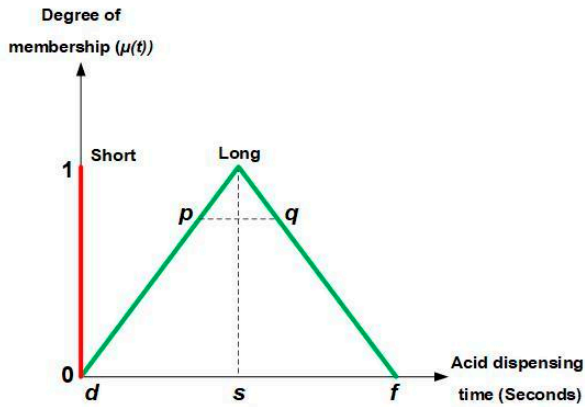
รูปที่ 4 แผนภาพระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลงที่

ออกแบบ

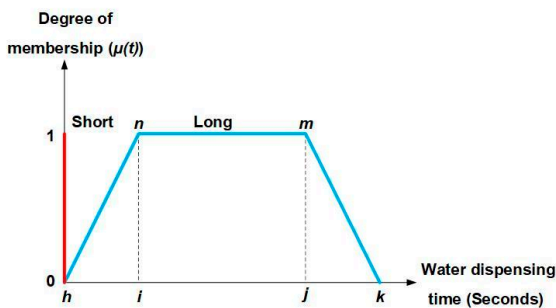
การออกแบบตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลงนี้ กำหนดให้ตัวแปรอินพุตของตัวควบคุมเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเป็นกรด-ด่าง  $e(t)$  ที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าเป้าหมาย โดยออกแบบให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีรูปร่างดังรูปที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ติดลบแสดงถึงความเป็นด่างมากเกินไปของสารละลาย ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นบวกแสดงถึงความเป็นกรดมากเกินไปของสารละลาย โดยในการออกแบบกำหนดให้ตัวแปร  $a$  มีค่าเท่ากับ -3 ตัวแปร  $b$  มีค่าเท่ากับ 0 และตัวแปร  $c$  มีค่าเท่ากับ 3 ตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็นค่าเวลาการปล่อยสารละลายกรดและเวลาการปล่อยน้ำ โดยออกแบบให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีรูปร่างแตกต่างกันดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ เพื่อความเหมาะสมในการควบคุม โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าเวลาปล่อยสารละลายกรด กำหนดให้ตัวแปร  $d$  มีค่าเท่ากับ 0 ตัวแปร  $s$  เท่ากับ 4.5 และตัวแปร  $f$  เท่ากับ 9 ตัวแปร  $p$  และ  $q$  นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า  $\mu(t)$  ที่ได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าความคลาดเคลื่อนและกฎของการควบคุม ในส่วนของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าเวลาการปล่อยน้ำ กำหนดให้ตัวแปร  $h$  มีค่าเท่ากับ 0 ตัวแปร  $i$  มีค่าเท่ากับ 120 ตัวแปร  $j$  มีค่าเท่ากับ 360 และตัวแปร  $k$  มีค่าเท่ากับ 480 ตัวแปร  $m$  และ  $n$  นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า  $\mu(t)$  ที่ได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าความคลาดเคลื่อนและกฎของการควบคุม



รูปที่ 5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเวลาการปล่อย  
สารละลายกรด



รูปที่ 7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเวลาการปล่อยน้ำ

ตารางที่ 1 กฎของการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

Rules		
Negative	Zero	Positive
IF Error is Negative THEN Acid dispensing time is Long and Water dispensing time is Short	IF Error is Zero THEN Acid dispensing time is Short and Water dispensing time is Short	IF Error is Positive THEN Acid dispensing time is Short and Water dispensing time is Long

เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนถูกป้อนเข้าตัวควบคุม จะผ่านขั้นตอนการทำข้อมูลให้คลุมเครือตามฟังก์ชันความเป็นสมาชิก รูปที่ 5 ได้เป็นค่าระดับความเป็นสมาชิก (Degree of membership) ด้วยการประมาณเชิงเส้นตามสมการที่ (2) และ (3)

$$\mu_{Negative}(t) = \frac{e(t)}{a} \quad (2)$$

$$\mu_{Positive}(t) = \frac{e(t)}{c} \quad (3)$$

จากนั้นค่าที่ได้จะผ่านเข้าสู่กลไกการตีความตามกฎที่ตั้งขึ้น (ตารางที่ 1) แล้วส่งข้อมูลข้อสรุปซึ่งอยู่ในรูปของค่าระดับความเป็นสมาชิกเช่นกันเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดความคลุมเครือ เพื่อหาสัญญาณควบคุมป้อนด้วยวิธีพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ดังสมการ (4)

$$\mu_{fuzzy1}(t) = \begin{cases} 0.3 * \mu_{Negative}(t) * (f-d) & ; \mu_{Negative}(t) = 1 \\ 0.3 * \mu_{Negative}(t) * [(q-p) + (f-d)] & ; \mu_{Negative}(t) < 1 \end{cases} \quad (4)$$

สำหรับสัญญาณควบคุมที่ส่งไปยังปั๊ม A เพื่อควบคุมเวลาการปล่อยสารละลายกรดลงในระบบให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ และสมการ (5)

$$\mu_{fuzzy2}(t) = 0.3 * \mu_{Positive}(t) * [(m-n) + (k-h)] \quad (5)$$

สำหรับสัญญาณควบคุมที่ส่งไปยังปั๊ม B เพื่อควบคุมปริมาณการปล่อยน้ำลงในระบบให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

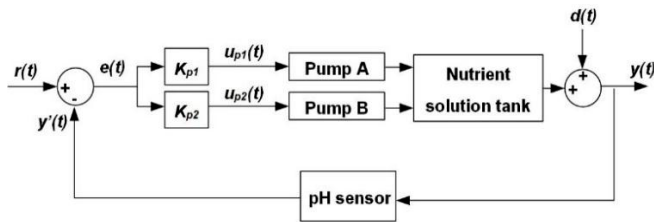
### 3.2.2) ตัวควบคุมแบบ P

การควบคุมแบบ P จะดำเนินการตามรูปที่ 8 โดยอัตราขยายสัดส่วน  $K_{p1}$  มีค่าเท่ากับ -3.81 และ  $K_{p2}$  เท่ากับ 95.24 โดยได้มาจากการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับปริมาณการเติมสารละลายกรดและการเติมน้ำจากผลการทดลองปรับสารละลายโดยมนุษย์ แล้วนำมาปรับค่าอย่างละเอียดเพิ่มเติมจากการทดลอง สัญญาณควบคุมป้อน A กรณีที่ต้องการเติมสารละลายกรดในระบบเพื่อให้มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นแสดงดังสมการ (6)

$$u_{p1}(t) = K_{p1} * e(t) \quad (6)$$

และสัญญาณควบคุมป้อน B เมื่อต้องการเติมน้ำในระบบเพื่อลดความเป็นกรดของสารละลายแสดงดังสมการ (7)

$$u_{p2}(t) = K_{p2} * e(t) \quad (7)$$



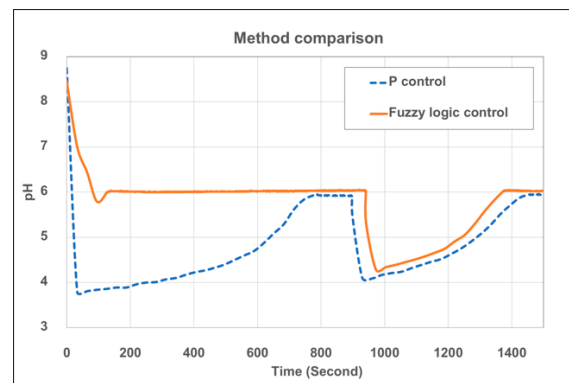
รูปที่ 8 แผนภาพระบบควบคุมแบบ P ที่ออกแบบ

#### 4) ผลการวิจัย

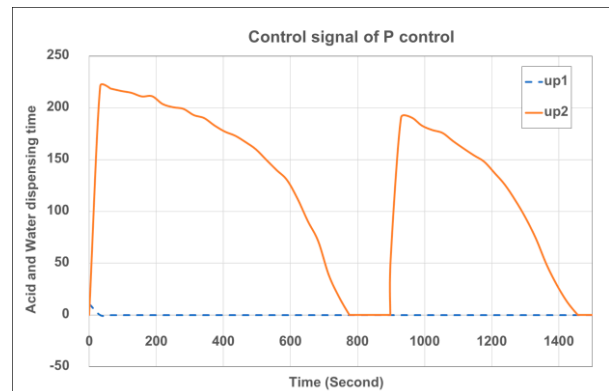
การทดลองช่วงเริ่มต้นใช้น้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 8.4 และกำหนดให้คาบเวลาการสูมตัวอย่างอยู่ที่ 30 วินาที เนื่องจากข้อจำกัดจากคุณสมบัติของอุปกรณ์และต้องการให้ระบบมีผลการตอบสนองที่ดีและตอบสนองต่อสิ่งรบกวนได้อย่างรวดเร็ว โดยให้การควบคุมแต่ละวิธีเติมสารละลายกรดเพื่อให้ถึงค่าเป้าหมายคือ 6 จากนั้นรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วรบกวนระบบด้วยการเติมสารละลายกรด 5 มิลลิลิตร เพื่อทดสอบการตอบสนองชั่วขณะและการตอบสนองที่สภาวะคงตัวของระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ P และตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลงที่นำเสนอ ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 9 จะเห็นว่าในช่วงแรกการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลง (เส้นทึบสีส้ม) ใช้เวลา 126 วินาทีในการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ซึ่งตอบสนองได้รวดเร็วกว่าการควบคุมแบบ P (เส้นประสีน้ำเงิน) 650 วินาที มีค่าพุ่งเกินสูงสุดน้อยกว่า 10.5 เท่า และมีค่าความความเป็นกรด-ด่างที่สภาวะคงตัวเป็น 6.01 ซึ่งน้อยกว่าการควบคุมแบบ P ที่มีค่าเป็น 5.92 หลังจากรบกวนระบบด้วยการเติมสารละลายกรดลงไป การควบคุมด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถตอบสนองได้เร็วกว่า 94 วินาที และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวน้อยกว่าเช่นเดิม อย่างไรก็ตามการควบคุมทั้งสองแบบสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้กลับมาสู่ค่าเป้าหมายได้

เมื่อสังเกตในส่วนของสัญญาณควบคุมปั๊มเมื่อใช้การควบคุมแบบ P และเมื่อใช้การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบดัดแปลง รูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับนั้น จะเห็นว่าในช่วงแรกระบบควบคุมแบบ P พยายามลดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยการควบคุมให้ปั๊ม A ปลดปล่อยสารละลายกรด (รูปที่ 10 เส้นประ

สีน้ำเงิน) มากกว่าระบบที่ควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (รูปที่ 11 เส้นประสีน้ำเงิน) ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบลดลงจนต่ำกว่าค่าเป้าหมายมากกว่า ตัวควบคุมจึงต้องชดเชยระบบด้วยการให้ปั๊ม B ปลดปล่อยน้ำ (รูปที่ 10 เส้นทึบสีส้ม) ให้มากกว่าและให้ปั๊มหยุดทำงานเมื่อได้ค่าความเป็นกรด-ด่างตามเป้าหมายแล้ว ในขณะที่หลังจากรบกวนระบบด้วยสารละลายกรด ตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือนั้นพยายามชดเชยด้วยการควบคุมให้ปั๊ม B ปลดปล่อยน้ำ (รูปที่ 11 เส้นทึบสีส้ม) มากกว่าที่ตัวควบคุมแบบ P ชดเชย (รูปที่ 10 เส้นทึบสีส้ม) ทำให้ปั๊มหยุดปล่อยน้ำได้เร็วกว่านั่นเอง

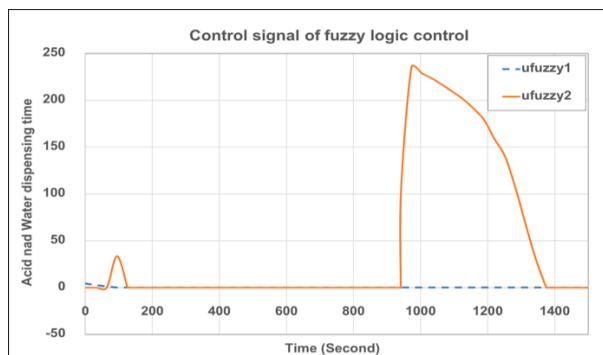


รูปที่ 9 ผลตอบสนองของค่าความเป็นกรด-ด่าง



รูปที่ 10 สัญญาณควบคุมปั๊มของการควบคุมแบบ P





รูปที่ 11 สัญญาณควบคุมปั๊มของการควบคุมแบบตรรกศาสตร์  
คลุมเครือแบบตัดแปลง

### 5) สรุป

ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ จะส่งผลให้พืชสามารถดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ดี และป้องกันการถูกทำลายของรากพืชได้ บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบตัดแปลง เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ P เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากการทดสอบกับระบบต้นแบบปรากฏว่าตัวควบคุมทั้งสองที่ออกแบบสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้และกำจัดผลจากการรบกวนได้ แต่วิธีการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่นำเสนอตอบสนองได้รวดเร็ว มีค่าพุ่งเกินสูงสุดน้อยกว่า และมีค่าความคลื่อนที่สถานะคงตัวน้อยกว่าการควบคุมแบบ P แม้ไม่ได้นำเสนอในบทความนี้ วิธีการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบตัดแปลง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างร่วมกับปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อพืช เช่น การเติมธาตุอาหารให้แก่พืช เป็นต้น ได้

### 6) ข้อเสนอแนะ

ในการปรับเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร หากใช้สารละลายต่างแทนน้ำจะสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างได้เร็วขึ้น โดยสารละลายต่างที่นิยมใช้สำหรับการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.กันติชา กิตติพิรชล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด และช่วยแก้ไขปัญหาดัง ๆ มาโดยตลอดจนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

### REFERENCES

- [1] T. Wada, "Theory and technology to control the nutrient solution of hydroponics," in *Plant Factory using Artificial Light*, Japan: Elsevier, 2019, ch.1, sec.1.1, pp. 5-13.
- [2] T. Kaewwiset and T. Yooyatavong, "Electrical conductivity and pH adjusting system for hydroponics by using linear regression," in *14th ECTI-CON*, Phuket, Thailand, Jun. 2017, pp. 761-764.
- [3] M. Fuangthong and P. Pramokchon, "Automatic control of electrical conductivity and pH using fuzzy logic for hydroponics system," in *3rd ICDAMT*, Chiangrai, Thailand, Feb. 2018, pp. 65-70.
- [4] R. C. Dorf and R. H. Bishop, "PID controllers," in *Modern Control System*, 13th ed. Malaysia: Pearson Education, 2017, ch.7, sec.7.6, p. 479.
- [5] K. Ogata, "Tuning rules for PID controller," in *System Dynamic*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education, 2004, ch.10, sec.10, p. 566.
- [6] K. M. Passino and S. Yurkovich, "Fuzzy control: The basics," in *Fuzzy Control*. Menlo Park, CA, USA: Addison Wesley Longman, 1998, ch.1, sec.1.3, p. 23.

## การเบลอภาพอัตโนมัติด้วยการประมวลผล ความคล้ายคลึงของโครงสร้างรายละเอียดภาพ

ฐิติพร เลิศรัตนเดชากุล<sup>1\*</sup> คณาภาณูจน์ รักไพฑูรย์<sup>2</sup> เกษม ทิพย์ธาราจันทร์<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>สาขาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>2</sup>สาขาเทคโนโลยีดิจิทัลและสื่อสารมวลชน คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>3</sup>สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : thitiporn@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 21 กุมภาพันธ์ 2563; รับบทความฉบับแก้ไข: 8 เมษายน 2563; ตอบรับบทความ: 28 เมษายน 2563

เผยแพร่ออนไลน์: 25 มิถุนายน 2563

### บทคัดย่อ

การเบลอภาพถูกนำมาใช้อย่างหลากหลายเพื่อการปรับปรุงภาพ เช่น แก้ไขจุดบกพร่อง สร้างการรับรู้หรือความรู้สึกต่อภาพ ดึงดูดความสนใจให้กับวัตถุ แต่เนื่องด้วยภาพมีรายละเอียดแตกต่างกัน จึงต้องการระดับความเบลอที่เหมาะสมกับเนื้อหาภาพและวัตถุประสงค์การใช้งาน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาพัฒนาการเบลอเพื่อเพิ่มมิติ ความลึกให้กับภาพแบบอัตโนมัติ โดยแบ่งเป็นการเบลอแบบพื้นหลังละลายและแบบรักษาโครงสร้างรายละเอียด โดยใช้การประเมินคุณภาพภาพด้วยค่า Structural Similarity Index (SSIM) เฉพาะส่วนที่เป็นรายละเอียดภาพที่ส่งผลต่อการรับรู้ความเบลอของมนุษย์ เป็นตัววัดระดับความเบลอของภาพระหว่างกัน โดยใช้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) จากวิธีการของ Otsu เพื่อแยกพื้นที่ส่วนที่เป็นรายละเอียดภาพ และอ้างอิงเกณฑ์ค่าระดับความเบลอที่เหมาะสมจากผลการทดลองเบื้องต้น 100 ภาพ สร้างเป็นภาพผลลัพธ์ความเบลอทั้งสองระดับแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการสร้างความโดดเด่นให้กับจุดสนใจของภาพ ซึ่งจากผลประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการถ่ายภาพพบว่า สามารถช่วยสร้างมิติให้กับภาพได้ดี ช่วยประหยัดเวลาในการปรับแต่งภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ไม่เชี่ยวชาญทางศิลปะ

**คำสำคัญ :** การเบลอภาพอัตโนมัติ ความคล้ายคลึงของโครงสร้างภาพ รายละเอียดภาพ ความลึกของภาพ



# Automatic Blurring based on Structural Similarity of Image Detail

Thitiporn Lertrusdachakul<sup>1\*</sup> Kanakarn Ruxpaitoon<sup>2</sup> Kasem Thiptarajan<sup>3</sup>

<sup>1\*,2,3</sup>*Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

\*Corresponding Author. E-mail address: thitiporn@tni.ac.th

Received: 21 February 2020; Revised: 8 April 2020; Accepted: 28 April 2020

Published online: 25 June 2020

## **Abstract**

Image smoothing is used for a variety of purposes such as removing noise, feeling enhancement, drawing attention to the object. Since the images have different details, they require an appropriate blur level for their contents and applications. Therefore, this research studies and develops automatic blurring method to increase depth impression of image. The blur levels are divided into large blur (very shallow depth of field) and small blur (preserve image structure). The method applies image quality assessment of structural similarity index (SSIM) to measure blur level between images. Only the SSIM values of image detail which affects the blur perception of human are used to compare with the values of appropriate blur levels from preliminary experiment of 100 images. The technique isolates the detail of image in SSIM map by using Otsu's thresholding method. With the proposed approach, blurred images of both levels can be automatically created to enhance the focus to the key subject of image. The evaluation result from photography expert reveals that the proposed method can assist well in creating dimension of image, time saving of image editing especially for those who are not skilled in art.

**Keywords:** Automatic Image Blurring, Structural Similarity Index, Image Detail, Depth of Image

## 1) บทนำ

ปัจจุบันทุกคนสามารถเข้าถึงการถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ทุกที่ ทุกเวลา ซึ่งนอกจากการถ่ายภาพแบบปกติที่มีความคมชัดทั่วทั้งภาพแล้ว การใช้เทคนิค Selective Focus ยังเป็นที่นิยมในกลุ่มของช่างภาพด้วย Selective Focus คือการเลือกความคมชัดในภาพในขณะที่บันทึกภาพ โดยช่างภาพสามารถเลือกระยะความชัดเฉพาะด้านหน้าส่วนระยะหลังเบลอ หรือเลือกความคมชัดที่ระยะหลังส่วนระยะหน้าเบลอ ซึ่งเป็นที่นิยมเพื่อใช้ในการเพิ่มมิติ ความลึกให้กับภาพ [1] สร้างความโดดเด่นให้กับวัตถุที่ต้องการดึงดูดความสนใจ ซึ่งการเบลอนั้นเป็นการลดทอนความคมชัด สามารถใช้ในการแก้ไขจุดบกพร่องของภาพ เช่น สัญญาณรบกวน (Noise), วัตถุที่ไม่ต้องการต่าง ๆ ได้ โดยวิธีการที่ใช้ในการเบลอภาพ แม้จะเป็นวิธีการเดียวกันทุกประการ แต่อาจให้ผลลัพธ์ของระดับความเบลอที่รับรู้โดยมนุษย์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเนื้อหาในภาพ ประโยชน์ของการเบลอภาพมีหลากหลายนอกเหนือจากที่ได้กล่าวข้างต้น เช่น การเบลอเพื่อสร้างความรู้สึกคลาสสิก สร้างเอฟเฟกต์หมอกควัน [2] เพิ่มการรับรู้การเคลื่อนไหวด้วย Motion Blur ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเบลอเพื่อสร้างมิติ ความลึกให้กับภาพ โดยแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ 1. การเบลอแบบพื้นหลังละลาย เพื่อสร้างความโดดเด่นของวัตถุจากมิติที่ชัดเจนและดึงโฟกัสของสายตาสู่จุดสนใจของภาพ 2. การเบลอแบบรักษาโครงร่างละลาย เพื่อเพิ่มมิติให้กับภาพผ่านละลายของพื้นหลัง โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการเบลอทั้งสองระดับแบบอัตโนมัติตามเนื้อหารายละเอียดของภาพ และช่วยลดระยะเวลาการปรับระดับความเบลอด้วยมือ (Manual) รวมถึงใช้เป็นแนวทางแก่บุคคลทั่วไปที่อาจไม่เชี่ยวชาญทางศิลปะได้นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการปรับแต่งภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเบลอ ได้แก่ การค้นหาบริเวณภาพที่เบลอแล้วแยกประเภทเพื่อปรับปรุงแก้ไขตามลักษณะรูปแบบการเบลอ [3], [4] โดยใน [5] ได้ใช้เบลอเมทริกซ์ที่มีพื้นฐานมาจากความกว้างของส่วนประกอบขอบ (Canny and Sobel Edge Components) มาทำการจำแนกภาพเบลอก่อนการตัดสินใจถ่ายหรือไม่ถ่ายภาพหรือประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ เพื่อลดกระบวนการในการวัดความเบลอและการปรับปรุงแก้ไขภายหลังการถ่ายภาพ สำหรับการวัดความเบลอได้มีงานวิจัยต่าง ๆ ศึกษาวิเคราะห์โดยใช้ Blur Measure Operators, Focus Measure Operators ประมวลผลภาพในเชิงความถี่และเชิงพื้นที่ และ

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานเพื่อการแบ่งแยกส่วนพื้นที่เบลอ [6]-[8] ซึ่งการวัดความเบลอนั้นนอกจากจะใช้เพื่อแยกส่วนพื้นที่เบลอสำหรับการฟื้นฟูภาพแล้ว ยังใช้เป็นส่วนหนึ่งของการประเมินคุณภาพภาพอีกด้วย ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพเบลอ ได้แก่ การพัฒนาวิธีการเบลอโดยพิจารณาเกี่ยวกับแสง การปรับโฟกัสของดวงตาร่วมด้วยเพื่อให้ได้ภาพเบลออย่างเป็นธรรมชาติ [9] และใน [10] ได้พัฒนาการสร้าง Motion Blur เพื่อการรับรู้การเคลื่อนไหว โดยอาศัยอินพุตจากผู้ใช้งานน้อยที่สุด และมีการจัดการกับบริเวณขอบวัตถุอย่างระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งแปลกปลอมที่เกิดจากกระบวนการกรองภาพ ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ยังไม่มีการประยุกต์ต่อยอดเพื่อการเบลอภาพแบบอัตโนมัติตามเนื้อหารายละเอียดของภาพ

การเบลอภาพเพื่อเน้นจุดสนใจให้กับวัตถุในภาพ สามารถทำได้ด้วยวิธีการถ่ายภาพ หรือการนำภาพมาตกแต่งในภายหลัง ซึ่งหลายครั้งหากสภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพไม่ดี มีปริมาณแสงไม่เหมาะสม ก็จำเป็นต้องใช้เทคนิคการถ่ายภาพ และการปรับความสัมพันธ์ระหว่างรูรับแสง (Aperture) ความเร็วชัตเตอร์ (Shutter Speed) ความไวแสง (ISO) อย่างเหมาะสม ซึ่งหากไม่มีความเชี่ยวชาญหรือมีข้อจำกัดด้านเวลาในการถ่ายภาพ ก็ย่อมทำให้ได้ภาพที่ไม่พึงปรารถนาได้ นักถ่ายภาพหลายคนนิยมเลือกโหมดการถ่ายภาพแบบอัตโนมัติเพื่อความสะดวก รวดเร็ว ซึ่งมักจะได้ภาพที่มีความคมชัดทั่วทั้งภาพ ซึ่งก็สามารถนำมาตกแต่งปรับความเบลอในส่วนที่ต้องการภายหลังได้ โดยมีซอฟต์แวร์ ไลบรารีแอปพลิเคชัน และเว็บไซต์ให้บริการออนไลน์ช่วยในการเบลอภาพมากมาย เช่น Adobe Photoshop [11], BeFunky [12], Fotor [13] ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกบริเวณที่ต้องการเบลอและปรับขนาดของการเบลอได้ตามที่ต้องการ โดยเครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้มีลักษณะการใช้งานง่าย แต่เนื่องด้วยภาพแต่ละภาพมีรายละเอียดเฉพาะตัว ผู้ใช้งานจึงต้องเลือกปรับระดับความเบลอให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานด้วยตนเอง ซึ่งค่อนข้างใช้เวลาโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อภาพมีจำนวนมาก และผู้ใช้งานไม่ค่อยถนัดทางด้านศิลปะ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดเวลาและข้อผิดพลาดที่อาจเกิดจากความล่าช้าของสายตามนุษย์ในการปรับเบลอภาพ งานวิจัยนี้จึงได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวและเวลาในการปรับเบลอภาพด้วยมือ โดยการพัฒนาวิธีการเบลอภาพแบบพื้นหลังละลายและแบบรักษาโครงร่างละลายอย่างอัตโนมัติจากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ

## 2) วิจัยดำเนินการวิจัย

การเบลอภาพเป็นการทำให้ภาพพร่ามัวหรือมีความคมชัดลดลงหรือที่เรียกว่ามีความราบเรียบมากขึ้น นับเป็นการลดทอนคุณภาพของภาพอย่างหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงได้เลือกการประเมินคุณภาพภาพมาประยุกต์ใช้ โดยศึกษาทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดคุณภาพของภาพที่เบลอเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ และพบว่า Structural Similarity Index (SSIM) ให้ค่าที่มีความเหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบ และแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับความเบลอของภาพต่าง ๆ มากกว่า Mean Squared Error และ Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) กล่าวคือ มีช่วงค่าชัดเจนและมีความสอดคล้องกับการรับรู้ของมนุษย์มากกว่า เนื่องจากใช้ข้อมูลโครงสร้าง (รูปร่างความเข้มของพิกเซล) มาช่วยในการวัดประเมิน ซึ่งตรงกับระบบการมองเห็นภาพของมนุษย์ที่มีความสามารถดีในการรับรู้โครงสร้างรูปร่างนั่นเอง คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบภาพถ่ายจำนวน 100 ภาพ ที่ถ่ายสถานที่ต่าง ๆ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยได้รวบรวมและคัดเลือกภาพที่มีรายละเอียดแบบต่าง ๆ และทำการเบลอด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter) ด้วยเกาส์เซียนฟังก์ชันดังสมการที่ 1 จำนวน 20 ระดับ โดยใช้  $\sigma = 0.5, 1, 1.5, \dots, 10$  และขนาดตัวกรองเท่ากับ  $4\sigma+1$  ซึ่งภาพทั้งหมดในการทดลองจะถูกปรับให้มีขนาดเท่ากัน โดยด้านที่สั้นมีขนาดเท่ากับ 500 พิกเซล และรักษาอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวเดิมของภาพไว้

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

โดย  $x$  คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดในแนวแกนนอน

$y$  คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดในแนวแกนตั้ง

$\sigma$  หรือ sigma คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงเกาส์เซียน

จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการถ่ายภาพ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ที่มีทักษะและประสบการณ์การถ่ายภาพมากกว่า 10 ปี รวมถึงมีองค์ความรู้ทางศิลปศาสตร์และการปรับแต่งภาพ เลือกภาพที่

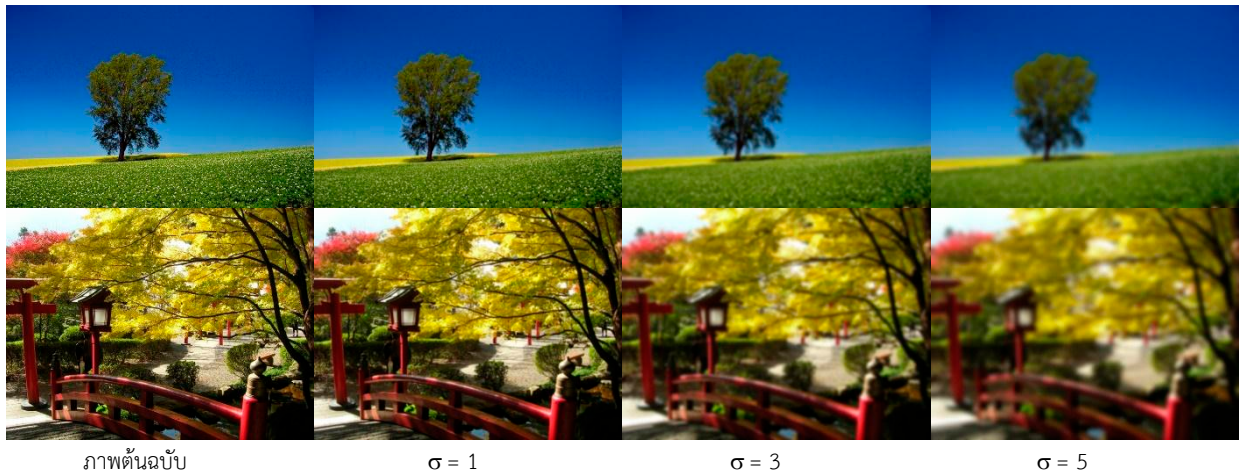
เหมาะสมสำหรับระดับความเบลอแบบพื้นหลังละลาย (เบลอแบบไม่เห็นรายละเอียดของภาพ) และแบบรักษาโครงสร้างชัดเจน (เบลอแบบยังคงเห็นรายละเอียดของภาพ) และนำภาพที่ได้ไปหาค่า SSIM [14] ซึ่งมีพื้นฐานการคำนวณมาจาก 3 ส่วน คือ ความสว่าง (Luminance) ความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืด (Contrast) และโครงสร้างรูปร่าง (Structure) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปย่อได้ดังสมการที่ 2

$$SSIM(A, B) = \frac{(2\mu_A\mu_B+C_1)(2\sigma_{AB}+C_2)}{(\mu_A^2+\mu_B^2+C_1)(\sigma_A^2+\sigma_B^2+C_2)} \quad (2)$$

โดย  $\mu_A, \mu_B, \sigma_A, \sigma_B$  และ  $\sigma_{AB}$  คือ ค่าเฉลี่ยท้องถิ่น (Local Means), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviations) และ Cross-Covariance สำหรับภาพ  $A, B$

$C_1 = (0.01L)^2, C_2 = (0.03L)^2$  โดย  $L$  คือ ค่าช่วงไดนามิกของภาพอินพุต

ซึ่งหากภาพยิ่งมีความใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ก็จะทำให้ค่า SSIM เข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้น รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างภาพที่ใช้ในการทดสอบ เรียงจากภาพต้นฉบับและภาพที่เบลอด้วย  $\sigma = 1, 3, 5$  ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าภาพที่มีระดับความเบลอด้วยค่า  $\sigma$  เดียวกัน เช่น  $\sigma = 5$  อาจให้การรับรู้ความรู้สึกเบลอที่แตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับรายละเอียดของภาพ และจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า บริเวณที่มีความราบเรียบของพื้นผิวหรือบริเวณที่มีรายละเอียดของภาพน้อย จะให้ค่า SSIM สูง และมีการเปลี่ยนแปลงของค่า SSIM น้อยเมื่อเพิ่มระดับความเบลอ กล่าวคือ มีความคล้ายคลึงกันของภาพสูงในระดับความเบลอต่าง ๆ ดังในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นภาพแสดงค่า SSIM (SSIM Map) ที่ระดับความเบลอ  $\sigma = 1, 3, 5$  ของตัวอย่างภาพในรูปที่ 1 โดยสีขาวแสดงค่าสูงสุดของ SSIM (เท่ากับ 1)



รูปที่ 1 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการทดสอบระดับความเบลอ (ภาพต้นฉบับและภาพที่เบลอด้วย  $\sigma = 1, 3, 5$ )



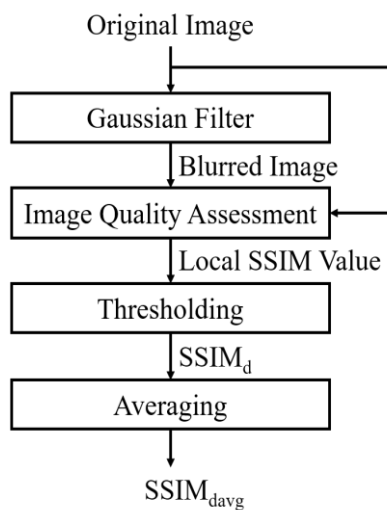
รูปที่ 2 ภาพแสดงค่า SSIM ของแต่ละพิกเซลของภาพตัวอย่างในรูปที่ 1

จากตัวอย่างในรูปที่ 2 สังเกตได้ว่าบริเวณพื้นผิวนราบเรียบของภาพจะเป็นสีขาวและไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับความเบลอเปลี่ยนไป ซึ่งพบว่าการรับรู้ความแตกต่างของความเบลอจะเกิดจากบริเวณที่มีรายละเอียดของภาพที่มากกว่า ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการปรับระดับความเบลอแบบอัตโนมัติโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ย SSIM เฉพาะส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพที่มีอิทธิพลต่อการรับรู้ความเบลอ ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 3 โดยภาพต้นฉบับจะถูกกรองด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน และทำการวัดคุณภาพของภาพเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับด้วยการหาค่า SSIM ของแต่ละพิกเซล จากนั้นค่า SSIM ที่ได้จะถูกนำมาใช้แบ่งส่วนภาพที่มีรายละเอียดมากและน้อยออกจากกัน โดยกระบวนการ Thresholding แบบ Global Thresholding ด้วยค่าจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่ได้จากวิธีการของ Otsu [15] ซึ่งเป็น

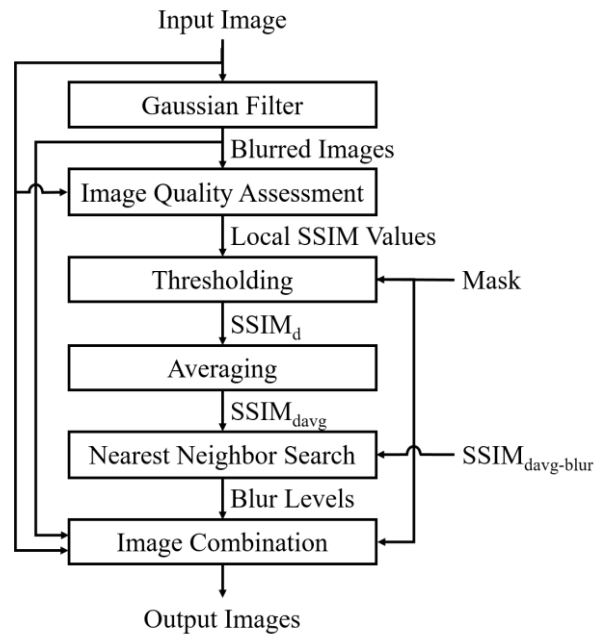
วิธีการเลือกค่าจุดเริ่มเปลี่ยนแบบอัตโนมัติที่ถูกใช้อย่างแพร่หลาย โดยมีหลักในการเลือกค่าจุดเริ่มเปลี่ยน ที่สามารถทำให้ฮิสโตแกรมทั้งสองกลุ่มของภาพ (ในกรณีนี้คือกลุ่มส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพ และกลุ่มส่วนที่เป็นพื้นผิวนราบเรียบ) มีการกระจายตัวน้อยที่สุด หรือ มีค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-Class Variance) มากที่สุด หลังจากนั้นจึงคำนวณค่าเฉลี่ยของค่า SSIM เฉพาะส่วนภาพที่มีรายละเอียดมาก ( $SSIM_{davg}$ ) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระดับความเบลอของภาพระหว่างกัน ภาพที่ใช้ในการทดสอบที่ถูกเลือกสำหรับระดับความเบลอแบบพื้นหลังละลาย และระดับความเบลอแบบรักษาโครงสร้างลวดลาย ทั้ง 200 ภาพ จะถูกคำนวณหาค่า  $SSIM_{davg}$  และค่าเฉลี่ยของ  $SSIM_{davg}$  ในแต่ละระดับความเบลอ จะถูกนำมาอ้างอิงสำหรับการปรับความเบลอในภาพอื่น ๆ ต่อไป



สำหรับขั้นตอนในการปรับระดับความเบลอบนอัตโนมัติสรุปได้ดังรูปที่ 4 โดยสามารถทำได้ทั้งแบบเบลอทั่วทั้งภาพ หรือเบลอเฉพาะส่วนพื้นหลังด้วยการเพิ่มภาพขาวดำที่กำหนดให้ส่วนพื้นหลังที่ต้องการเบลอเป็นสีขาว (Mask) โดยในขั้นตอนแรกของรูปที่ 4 ภาพอินพุตจะถูกเบลอด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน โดยใช้ค่า  $\sigma = 1, 1.5, 2, \dots, 10$  และคำนวณหาค่า SSIM ของแต่ละพิกเซล เพื่อใช้ในการแยกส่วนภาพที่มีรายละเอียดมากด้วยค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากวิธีการของ Otsu [15] เช่นเดียวกับขั้นตอนในรูปที่ 3 และในขั้นตอนนี้ Mask ซึ่งเป็นภาพ RGB ที่ถูกสร้างขึ้นขนาดเท่ากับภาพอินพุต โดยกำหนดให้บริเวณส่วนพื้นหลังที่ต้องการเบลอเป็นสีขาวและบริเวณส่วนวัตถุเป็นสีดำ จะถูกแปลงเป็นภาพที่มีสองระดับ (Binary Image) และนำมาใช้ในการกรองค่า SSIM ของพิกเซลเฉพาะส่วนสีขาวหรือส่วนที่ต้องการเบลอเท่านั้นสำหรับใช้ในกระบวนการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการ Thresholding โดยผลลัพธ์ที่ได้คือค่า  $SSIM_d$  ซึ่งเป็นค่า SSIM ของส่วนภาพที่มีรายละเอียดมากพิจารณาจากความสัมพันธ์เฉพาะส่วนที่ต้องการเบลอ ซึ่งจะนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยที่เรียกว่า  $SSIM_{davg}$  หรือค่าเฉลี่ย SSIM ของพื้นที่ส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพเฉพาะส่วนที่ต้องการเบลอนั่นเอง หลังจากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง  $SSIM_{davg-blur}$  ที่ได้จากการทดลองในเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของ  $SSIM_{davg}$  ของระดับความเบลอบนพื้นหลังละลาย ( $SSIM_{davg\_lb}$ ) และค่าเฉลี่ยของ  $SSIM_{davg}$  ของระดับความเบลอบนรักษาโครงร่างละลาย ( $SSIM_{davg\_sb}$ ) โดยในการเปรียบเทียบเพื่อค้นหาค่าความเบลอ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการหาค่าเฉลี่ย SSIM เฉพาะส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพ



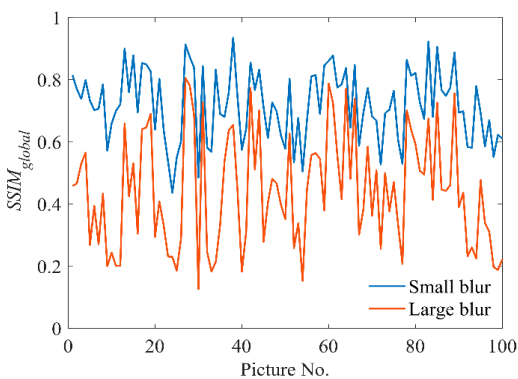
รูปที่ 4 ขั้นตอนการปรับระดับความเบลอบนอัตโนมัติ

ที่เหมาะสมนั้น ใช้หลักการค้นหาค่าที่มีความใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุดหรือมีระยะห่างน้อยที่สุด เมื่อได้ระดับความเบลอที่เหมาะสมสำหรับการเบลอบนพื้นหลังละลายและการเบลอบนรักษาโครงร่างละลายแล้ว จึงเข้าสู่กระบวนการรวมภาพต้นฉบับ ภาพที่เบลอทั้งสองระดับ และ Mask เข้าด้วยกัน สร้างเป็นภาพผลลัพธ์ที่ประกอบด้วยหน้าชัดหลังละลายและหน้าชัดหลังเบลอบนรักษาโครงร่างละลาย

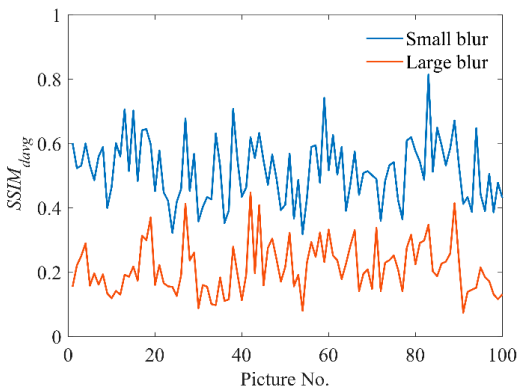
### 3) ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดลองภาพถ่ายจำนวน 100 ภาพ ตามขั้นตอนในรูปที่ 3 โดยใช้ระดับความเบลอ 20 ระดับ ด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน ( $\sigma = 0.5, 1, 1.5, \dots, 10$ ) รูปที่ 5 และ 6 แสดงค่าเฉลี่ย SSIM ของทุกพิกเซล ( $SSIM_{global}$ ) และค่าเฉลี่ย SSIM ของพิกเซลส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพ ( $SSIM_{davg}$ ) สำหรับระดับความเบลอบนพื้นหลังละลาย (Large Blur) และระดับความเบลอบนรักษาโครงร่างละลาย (Small Blur) ที่ถูกเลือกโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการถ่ายภาพ โดย Small Blur จะมีค่า SSIM สูงกว่า Large Blur และพบว่า  $SSIM_{global}$  มีค่าสูงกว่า  $SSIM_{davg}$  ทั้งนี้เนื่องจาก  $SSIM_{global}$  พิจารณาส่วนบริเวณที่มีรายละเอียดน้อยหรือมีพื้นผิวราบเรียบด้วย ซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่า SSIM ของพิกเซลสูงนั่นเอง

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย (Average) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของ  $SSIM_{global}$  และ  $SSIM_{davg}$  สำหรับ Large Blur และ Small Blur โดย  $SSIM_{davg}$  มีการกระจายตัวของข้อมูล ใกล้ค่าเฉลี่ยมากกว่า  $SSIM_{global}$  ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.0794 (Large Blur) และ 0.0996 (Small Blur) ซึ่งค่าเฉลี่ยของ  $SSIM_{davg}$  ของระดับความเบลอแบบพื้นหลังละลาย ( $SSIM_{davg\_lb}$ ) และค่าเฉลี่ยของ  $SSIM_{davg}$  ของระดับความเบลอแบบรักษาโครงร่างวัตถุ ( $SSIM_{davg\_sb}$ ) ที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.2138 และ 0.5161 ตามลำดับ



รูปที่ 5  $SSIM_{global}$  ของ Large Blur และ Small Blur ของภาพทดสอบจำนวน 100 ภาพ

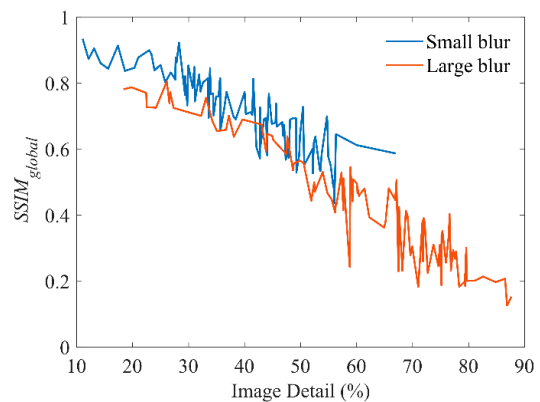


รูปที่ 6  $SSIM_{davg}$  ของ Large Blur และ Small Blur ของภาพทดสอบจำนวน 100 ภาพ

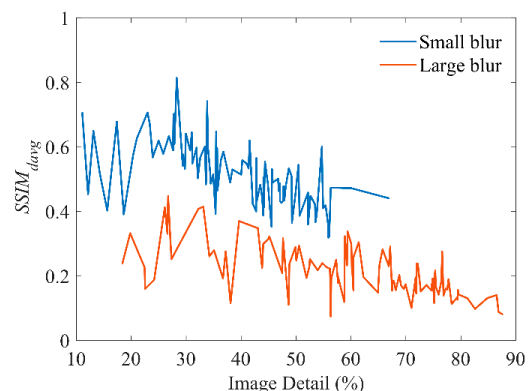
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย (Average) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของ  $SSIM_{global}$  และ  $SSIM_{davg}$  สำหรับ Large Blur และ Small Blur

Blur Type	SSIM Type	Average	SD
Large Blur	$SSIM_{global}$	0.4414	0.1816
	$SSIM_{davg}$	<u>0.2138</u>	0.0794
Small Blur	$SSIM_{global}$	0.7193	0.1137
	$SSIM_{davg}$	<u>0.5161</u>	0.0996

หากนำค่า  $SSIM_{global}$  และ  $SSIM_{davg}$  มาพิจารณาในเทอมของร้อยละของรายละเอียดภาพ (Image Detail in Percentage) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 และ 8 โดยในรูปที่ 7 พบว่า สำหรับค่าเฉลี่ย  $SSIM$  ของทุกพิกเซล หรือ  $SSIM_{global}$  นั้น เมื่อรายละเอียดของภาพเพิ่มขึ้น จะต้องใช้ความเบลอมากขึ้น หรือมีค่า  $SSIM_{global}$  ที่มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่หากพิจารณาค่า  $SSIM$  เฉพาะส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพ หรือ  $SSIM_{davg}$  จะมีแนวโน้มอยู่ในช่วงระดับเดียวกันมากกว่า ไม่ค่อยแปรผันตามปริมาณรายละเอียดของภาพดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งค่าเฉลี่ยของ  $SSIM_{davg}$  นี้หรือที่เรียกว่า  $SSIM_{davg-blur}$  ประกอบด้วย  $SSIM_{davg\_lb}$  สำหรับ Large Blur และ  $SSIM_{davg\_sb}$  สำหรับ Small Blur จะถูกนำไปใช้ในการหาระดับความเบลอที่เหมาะสมสำหรับภาพอื่น ๆ ต่อไป



รูปที่ 7 แนวโน้ม  $SSIM_{global}$  ตามปริมาณรายละเอียดของภาพ



รูปที่ 8 แนวโน้ม  $SSIM_{davg}$  ตามปริมาณรายละเอียดของภาพ

รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับระดับความเบลอแบบอัตโนมัติตามขั้นตอนในรูปที่ 4 โดยคอลัมน์ซ้ายแสดงภาพต้นฉบับที่มีความคมชัดทั่วทั้งภาพ คอลัมน์กลางแสดงภาพพื้นหลังเบลอแบบรักษาโครงร่างลวดลาย (เพิ่มมิติให้กับภาพ แต่

ยังคงเห็นรายละเอียดความงามของพื้นหลัง) และคอลัมน์ขวาแสดงภาพเบลอแบบพื้นหลังละลาย (ดึงความสนใจให้กับวัตถุ) โดยสามารถดูภาพขนาดจริงเพื่อการรับรู้ความเบลอที่ถูกต้องได้ที่ลิงค์ <https://bit.ly/36yruCY>



การเบลอเฉพาะส่วนพื้นหลัง



การเบลอทั่วทั้งภาพ (ตัวอย่างภาพในรูปที่ 1)

รูปที่ 9 ภาพผลลัพธ์จากการปรับระดับความเบลอแบบอัตโนมัติ  
(คอลัมน์ซ้าย: ภาพต้นฉบับ, คอลัมน์กลาง: ภาพพื้นหลังเบลอแบบรักษาโครงร่างลวดลาย, คอลัมน์ขวา: ภาพเบลอแบบพื้นหลังละลาย)



จากภาพผลลัพธ์ พบว่า บริเวณที่ต้องการเบลอนในแต่ละภาพ มีเนื้อหารายละเอียดที่แตกต่างกัน และอาจต้องการการปรับระดับความเบลอด้วยค่า  $\sigma$  ของตัวกรองที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้การรับรู้ระดับความเบลอน้อยและมากอย่างเหมาะสม ซึ่งผลจากวิธีการที่นำเสนอ โดยพิจารณาการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย SSIM ของบริเวณที่เป็นรายละเอียดของภาพ กับค่าอ้างอิงที่ได้จากการทดลอง สามารถสร้างภาพพื้นหลังเบลอแบบรักษาโครงสร้างรายละเอียดและแบบพื้นหลังละลายได้อย่างอัตโนมัติ ช่วยลดเวลาในการปรับด้วยมือเพื่อสร้างมิติ ดึงดูดจุดสนใจให้กับภาพโดยเฉพาะผู้ที่ไม่มีพื้นฐานความรู้ทางศิลปะ ซึ่งผลประเมินภาพที่ได้จากการเบลอภาพแบบอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการถ่ายภาพ พบว่า ภาพผลลัพธ์ทั้งสองระดับความเบลอ สร้างมิติให้กับภาพได้ดี สามารถช่วยลดทอนรายละเอียดส่วนที่ไม่ต้องการหรืออาจไม่สวยงามในภาพลงได้ โดยมีข้อเสนอแนะว่า ภาพควรมีวัตถุที่สนใจอย่างชัดเจน อาจเป็นวัตถุจริงในภาพ หรือวัตถุที่สร้างขึ้นเพิ่มเติมเข้าไป เช่น ผลิตภัณฑ์สำหรับการโฆษณา และหากวัตถุอยู่ระยะใกล้หรือระยะไกลของภาพ สามารถปรับระดับความเบลอแบบไล่ระดับหรือแบบฉับพลันระหว่างวัตถุกับพื้นหลังได้ ขึ้นอยู่กับเนื้อหาและความเหมาะสมของภาพ แต่หากวัตถุอยู่ระยะกลางของภาพ ควรมีการไล่ระดับความเบลอเพื่อสร้างความเป็นธรรมชาติของมุมมอง ลดความโดดเด่นเกินจริงของวัตถุ นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญมีข้อเสนอแนะให้ปรับการประมวลผลบริเวณขอบระหว่างวัตถุกับพื้นหลังเพื่อลดความฟุ้งของภาพที่อาจเกิดขึ้นได้ในกรณีการเบลอแบบพื้นหลังละลายเมื่อวัตถุมีความสว่างและสีแตกต่างกับพื้นหลังมาก ซึ่งโดยภาพรวมแล้วการเบลอภาพแบบอัตโนมัตินี้ มีประโยชน์ช่วยในการปรับภาพถ่ายที่มีความคมชัดทั่วทั้งภาพ ให้เบลอพื้นหลังในระดับที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้โดยตรงสำหรับผู้ที่ไม่เชี่ยวชาญทางศิลปะ หรือต้องการประหยัดเวลาในการปรับแต่งภาพ และยังสามารถใช้เป็นระดับความเบลอตั้งต้นสำหรับผู้ที่ต้องการปรับความละเอียดของการเบลอตามความชอบส่วนบุคคลหรือการใช้งานเฉพาะทางได้อีกด้วย

#### 4) สรุปผล

การเบลอภาพนอกจากจะใช้เพื่อการปรับปรุงภาพ กำจัด Noise หรือวัตถุที่ไม่ต้องการแล้ว ยังสามารถช่วยในการเน้น/เพิ่มหรือลดทอนความรู้สึกให้กับภาพได้ เปรียบเสมือนการปรับโพกัสของสายตา ช่วยเพิ่มมิติของภาพอย่างเป็นธรรมชาติ ซึ่งโดยทั่วไป

ผู้ใช้งานจะเป็นผู้ปรับแต่งระดับความเบลอตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน ลักษณะเนื้อหาในภาพ โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับระดับความเบลอแบบอัตโนมัติ โดยใช้หลักความคล้ายคลึงของส่วนที่เป็นรายละเอียดภาพที่มีอิทธิพลต่อการรับรู้ความเบลอ มาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการทดลอง โดยแบ่งเป็นระดับความเบลอแบบพื้นหลังละลายและแบบรักษาโครงสร้างรายละเอียด เพื่อให้ได้ความเบลอที่สอดคล้องกับการรับรู้ของสายตามนุษย์ โดยประยุกต์ใช้ Structural Similarity Index (SSIM) ร่วมกับการหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธีการของ Otsu เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของ SSIM เฉพาะส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพ แล้วสร้างเป็นตัววัดสำหรับค้นหาระดับความเบลอที่เหมาะสมของภาพที่มีรายละเอียดแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถสร้างภาพเบลอทั้ง 2 ระดับได้อย่างอัตโนมัติตรงตามวัตถุประสงค์ และหากพิจารณาช่วงร้อยละของปริมาณรายละเอียดในภาพเพิ่มเติม อาจพัฒนาไปสู่การปรับค่าอ้างอิงที่ใช้ในการปรับระดับความเบลอให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของรายละเอียดภาพ เพื่อระดับความเบลอที่มีความละเอียดอ่อนมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นในอนาคตการนำ Machine Learning มาประยุกต์ใช้เพื่อการเรียนรู้ภาพในลักษณะเฉพาะตัวต่าง ๆ ก็จะช่วยให้การวัดประเมินผลมีความชัดเจนและการสร้างสรรค์ผลงานมีเอกลักษณ์ โดดเด่นมากยิ่งขึ้น

#### REFERENCES

- [1] G. Mather, "The use of image blur as a depth cue," *Perception*, vol. 26, no. 9, pp. 1147-1158, Sep. 1, 1997.
- [2] M. Gawron and U. Boryczka, "Heterogeneous fog generated with the effect of light scattering and blur," *JACS*, vol. 26, no. 2, pp. 31-44, Oct. 2019.
- [3] R. Liu, Z. Li, and J. Jia, "Image partial blur detection and classification," in *2008 IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, Anchorage, AK, USA, 2008, pp. 1-8.
- [4] D. Yang and S. Qin, "Restoration of partial blurred image based on blur detection and classification," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, pp. 1-12, Jan. 13, 2016.
- [5] P. Shivakumara, B. S. Anami, and G. H. Kumar, "A new structural no-reference rule based blur metric for classification of blurred home photos," *ECTI-EEC*, vol. 7, no. 1, pp. 73-81, Feb. 2009.





- [6] U. Ali and M. T. Mahmood, "Analysis of blur measure operators for single image blur segmentation," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 5, pp. 1-32, May 17, 2018, doi: 10.3390/app8050807.
- [7] S. Pertuz, D. Puig, and M. A. Garcia, "Analysis of focus measure operators for shape-from-focus," *Pattern Recognition*, vol. 46, no. 5, pp. 1415-1432, May 2013.
- [8] K. De and V. Masilamani, "Image sharpness measure for blurred images in frequency domain," *Procedia Engineering*, vol. 64, pp. 149-158, 2013.
- [9] S. A. Cholewiak, G. D. Love, and M. S. Banks, "Creating correct blur and its effect on accommodation," *Journal of Vision*, vol. 18, no. 9, pp. 1-29, Sep. 2018.
- [10] X. Luo, N. Z. Salamon and E. Eisemann, "Controllable motion-blur effects in still images," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 26, no. 7, pp. 2362-2372, 2020, doi: 10.1109/TVCG.2018. 2889485.
- [11] Adobe, "How to add blur to a photo in Adobe Photoshop," ADOBE.com. <https://www.adobe.com/creativecloud/photography/discover/blur-image.html> (accessed Feb. 14, 2020).
- [12] BeFunky, "Photo blurring with a focus on quality," BEFUNKY.com. <https://www.befunky.com/features/blur-image/> (accessed Feb. 14, 2020).
- [13] Fotor, "Easily blur images with powerful blur photo editor," FOTOR.com. <https://www.fotor.com/features/blur.html> (accessed Feb. 14, 2020).
- [14] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.
- [15] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.

# Charcoal Drawing Style and Color Effect of Children Face Images based on Structural Similarity Index and Color Image Scale

Kanakarn Ruxpaitoon<sup>1</sup> Thitiporn Lertrusdachakul<sup>2\*</sup> Kasem Thiptarajan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>*Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

\*Corresponding Author. E-mail address: thitiporn@tni.ac.th

Received: 29 March 2020; Revised: 15 May 2020; Accepted: 16 June 2020

Published online: 25 June 2020

## **Abstract**

Many people love to capture and view children pictures to catch their cute moments. The smile and innocence of children's faces are very impressive. Therefore, this paper proposes an alternative method to create charcoal drawing style and color effect for children face images. The method applies the structural similarity index (SSIM) of image quality assessment to generate rich black tones automatically. The image is blurred with Gaussian filter to the appropriate level and compared with the original image to obtain the local SSIM values. The blurred level and the weight of neighborhood pixels for estimating local statistics in SSIM quality assessment is controlled by the threshold of the average SSIM value of image detail acquired from the preliminary experiment. The color effect is based on SSIM values and the knowledge of color image scale. The results reveal that the sophisticated intensity of lightness from SSIM map has the power to convey this expressive drawing style emotionally and naturally.

**Keywords:** Charcoal Drawing, Color Effect, Children Face Images, Structural Similarity Index, Color Image Scale

## I. INTRODUCTION

Charcoal drawing is one of the amazing arts as it provides a profound and in-depth look to an image. The artists usually use vine charcoal and compressed charcoal with drawing techniques to create rich lines and shading for realistic and attractive work. The softness of charcoal drawing edge emphasizes on mass and movement rather than solid and linear precision. The artists can focus on large shapes and general contours and express more without getting stuck in details. Various art techniques and sketching experiences or skills are required to achieve the professional charcoal drawing. There have been several researches and tools that are available to assist in creating digital imitation of charcoal drawing. Some methods introduce the transformation of photo into pencil drawing first [1]-[3]. The photo can be adjusted manually or transformed automatically to charcoal drawing with realistic charcoal Photoshop action [4]-[5] or charcoal filter [6]. The thickness of the line and the line density or the degree of detail can be controlled to the desirable level. These methods facilitate in producing charcoal drawing with some manual tasks such as reducing noise, selecting subject, adjusting details and brush strokes. The results sometimes tend to be like graphical images. Previous researches have investigated in applying saliency maps for portrait sketching [7] and local image measurements of brightness, color and texture cues for detecting natural image boundaries [8]. These approaches can improve the drawing style and local boundary detection. However, they cannot fully generate charcoal drawing without additional effort. Current interesting apps are “my sketch” [9], “photo to sketch” [10] and “sketch master” [11] which completely convert photos into drawing sketches. The success depends on the content of image and tends to be lower for low image detail or image with weak texture. The natural of drawing style,

i.e., not too photorealistic and not too artifactual, requires more improved. Therefore, we develop an alternative method to automatically create better charcoal drawing and color effect by introducing the structural similarity of image detail. The proposed method is self-generated charcoal drawing and colorizes by applying the color image scale to the structural similarity index (SSIM) information. Generally, the structural similarity index is used for image quality assessment by measuring the similarity between two images [12]. It has been used in a variety of fields, particularly in radiological medical images [13] and neural networks for image classification and super-resolution imaging [14]. This paper has extended the application of SSIM to an aesthetic aspect for children face images. Although the proposed method is not limited to the children face images, their cuteness to stimulate widely use of applications lead us to focus on children faces for practical applications. The natural charcoal drawing and color effect of children faces would contribute to an impressive design in versatile purpose such as T-shirt, tote and grocery bag for more enjoyable and enthusiastic use.

## II. RESEARCH METHODOLOGY

We propose the method to automatically transform the image into charcoal drawing by using the structural similarity index (SSIM) [15]. The overview of the proposed method is illustrated in Figure 1. First, the original RGB image is smoothed with 2-D Gaussian filter. The Gaussian kernel coefficients are sampled from the 2-D Gaussian function described in (1). The initial standard deviation of 1 is used because the image begins to be perceived in blurriness for proceeding to the process of structural similarity measurement.

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

Where  $x$  is the distance from the origin in the horizontal axis,  $y$  is the distance from the origin in the vertical axis, and  $\sigma$  (sigma) is the standard deviation of the Gaussian distribution. The filtered image or blurred image is achieved by convolving the 2-D Gaussian distribution function with the original RGB image in spatial domain. The filter size is  $4\sigma+1$ . Then, the original image and blurred image are converted into grayscale by eliminating the hue and saturation information while retaining the luminance. The formula used to convert RGB values to grayscale values is described in (2).

$$\text{Grayscale} = 0.2989R + 0.5870G + 0.1140B \quad (2)$$

Where  $R, G, B$  are the intensities of red, green and blue components, respectively.

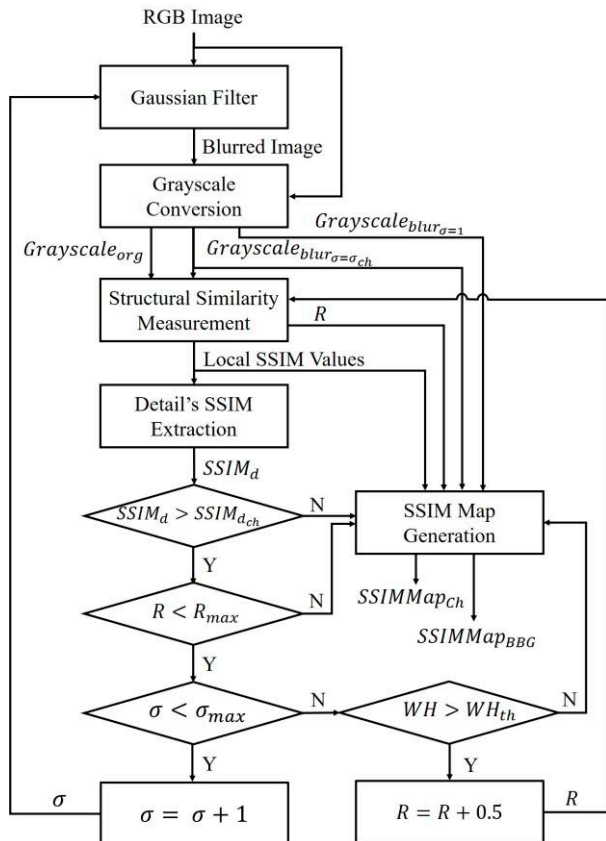


Figure 1 The overview of automatic charcoal drawing generation.

The outputs of this process are the grayscale of original image ( $\text{Grayscale}_{org}$ ), the grayscale of blurred image at  $\sigma=1$  ( $\text{Grayscale}_{blur_{\sigma=1}}$ ), and the grayscale of blurred image at any  $\sigma$  ( $\text{Grayscale}_{blur_{\sigma}}$ ). Next, we measure the similarity between original image and blurred image by computing the local structural similarity index (SSIM) values of  $\text{Grayscale}_{blur_{\sigma}}$  compared to  $\text{Grayscale}_{org}$ . This quality assessment is based on the computation of multiplicative combination of luminance, contrast and structure and can be simplified as (3) [16].

$$SSIM(b, o) = \frac{(2\mu_b\mu_o + C_1)(2\sigma_{bo} + C_2)}{(\mu_b^2 + \mu_o^2 + C_1)(\sigma_b^2 + \sigma_o^2 + C_2)} \quad (3)$$

Where  $\mu_b, \mu_o, \sigma_b, \sigma_o$ , and  $\sigma_{bo}$  are the local means, standard deviations, and cross-covariance for images  $b$  (blurred image),  $o$  (original image). The standard deviation ( $R$ ) of isotropic Gaussian function is initially set to 1.5 as the image begins to reduce in line sharpness. This is because the natural charcoal drawing prefers gray gradient to solid and sharp sketch. The value of  $R$  is used to weight the neighborhood pixels around a pixel for estimating local statistics. The value of  $C_1$  is equal to  $(0.01L)^2$  and the value of  $C_2$  is equal to  $(0.03L)^2$ , where  $L$  is the dynamic range of the input image. The greater the value of SSIM is, the more similar the two images are. The value will become 1 when the two images are identical.

Subsequently, we segment the image detail by using global threshold from Otsu's method [17], [18] to the local SSIM values. The method finds the optimal threshold by exhaustive searching for the threshold that minimizes the intra-class intensity variance or, equivalently, maximizes the inter-class variance for fast calculation. The SSIM value of image detail called  $SSIM_d$  can be then extracted by averaging the local SSIM values of the image detail part. From the preliminary experiment, the most suitable SSIM value

of image detail for charcoal drawing ( $SSIM_{d_{ch}}$ ) is approximated to 0.3 with the maximum standard deviation of the Gaussian distribution ( $\sigma_{max}$ ) of 30. The value of R is limited to 8 ( $R_{max}=8$ ) for the best result of large image size. The initial value of R will be increased with step of 0.5 only when width or height of image (WH) is greater than 3,000 pixels ( $WH_{th}=3000$ ). The process continues increasing the value of  $\sigma$  by step of 1 in image smoothing to decrease the value of  $SSIM_d$  until it reaches or nears 0.3 ( $SSIM_{d_{ch}}$ ). Then, we get  $\sigma_{ch}$  and SSIM map generation will be enabled and collects the data of  $Grayscale_{blur_{\sigma=\sigma_{ch}}}$ ,  $Grayscale_{blur_{\sigma=1}}$ , R and local SSIM values for generating two SSIM maps, i.e.,  $SSIMMap_{ch}$  and  $SSIMMap_{BBG}$ . The charcoal drawing is the SSIM map called  $SSIMMap_{ch}$  which is the local SSIM values of  $Grayscale_{blur_{\sigma=\sigma_{ch}}}$  compared with  $Grayscale_{blur_{\sigma=1}}$  using the current R value. The use of small blurred image ( $Grayscale_{blur_{\sigma=1}}$ ) is to reduce noise on smooth area such as facial skin.

For color effect, we divide into black background and light color background.  $SSIMMap_{BBG}$ , which is the current local SSIM values, is used for black background. This is because dark tone background usually requires more detail for color drawing expression. In light color background, we apply the value of  $SSIMMap_{ch}$  directly. The SSIM maps for color effect in light color background and black background are summarized in (4) and (5), respectively.

$$SSIMMap_{ch} = SSIM(Grayscale_{blur_{\sigma=\sigma_{ch}}}, Grayscale_{blur_{\sigma=1}}) \quad (4)$$

$$SSIMMap_{BBG} = SSIM(Grayscale_{blur_{\sigma=\sigma_{ch}}}, Grayscale_{org}) \quad (5)$$

In the case that  $\sigma$  reaches its maximum value of 30 and  $SSIM_d$  is still greater than  $SSIM_{d_{ch}}$ , the algorithm will check for the size of image. If image width and height are not greater than 3,000 pixels ( $WH_{th}$ ), SSIM map

generation will be enabled. But if image width or height is greater than 3,000 pixels, the value of R will be increased with step of 0.5 to reduce the sharpness of drawing in high resolution image until the value of  $SSIM_d$  reaches or nears  $SSIM_{d_{ch}}$ . SSIM map generation will be then enabled. However, if the increased R reaches its maximum limit of 8, SSIM map generation will be also enabled.

Once we get two SSIM maps, we can apply the color image scale [19]-[22] which matches basic colors and color combinations to key image words to create the emotion throughout the colors. Figure 2 shows the color image chart [21] which organizes the color groups and image words according to warm-cool and soft-hard axes. The chart consists of 23 emotional groups and 160 key image words. Each emotional group has several key image words and each key image word has approximately 16 color combinations. Twenty-three emotional groups, e.g., pretty, romantic, dynamic, modern, classic, formal, are described in Figure 2. For example, emotional group of pretty has 6 key image words, i.e., pretty, endearing, childish, lovely, sweet and cute. Each of these key image words has its own color combinations and might have some colors in common. Figure 3 shows the example of 16 color combinations for key image word of cute. There are 4 key image words or emotions which are demonstrated as the examples in this research, i.e., two for black background and other two for light color background. The first two emotions of black background are daring and intense feelings. We use the color combinations of these key image words to produce the color effect. For daring image,  $SSIMMap_{BBG}$  creates the shade of pink tone by (6) - (8). In intense feeling, we calculate the output image by using (9) - (11).

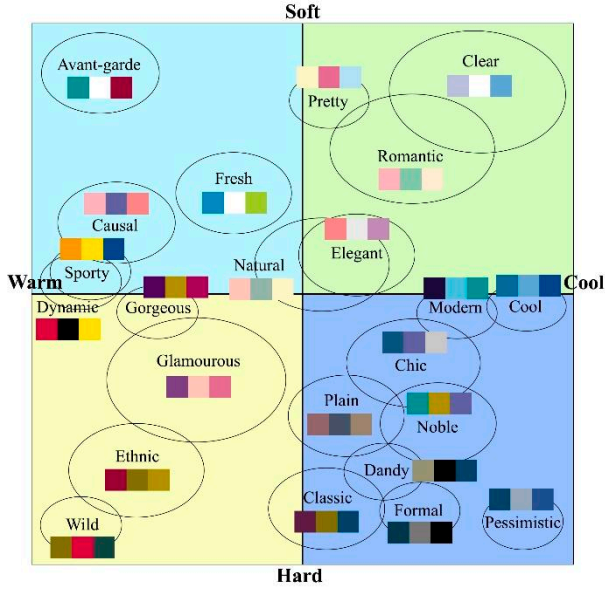


Figure 2 Color image chart.

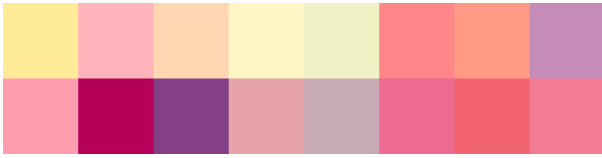


Figure 3 Color combination for key image word of cute.

Daring image

$$R = 209 - \text{SSIMMap}_{BBG} \quad (6)$$

$$G = 107 - (2 \times \text{SSIMMap}_{BBG}) \quad (7)$$

$$B = 144 - \text{SSIMMap}_{BBG} \quad (8)$$

Intense image

$$R = 255 - (3 \times \text{SSIMMap}_{BBG}) \quad (9)$$

$$G = 0 \quad (10)$$

$$B = 255 - \text{SSIMMap}_{BBG} \quad (11)$$

Where  $R$ ,  $G$ , and  $B$  are the red, green, and blue channels of output image, respectively.

The other two emotions of light color background are classic and stylish feelings. In this case, we reverse the value of  $\text{SSIMMap}_{ch}$  and subtract it from the setting background color shown in (12) - (13). The

calculation for each color channel can be described in (14) - (15).

$$[R_{bc} \ G_{bc} \ B_{bc}]_{classic} = [240 \ 246 \ 218] \quad (12)$$

$$[R_{bc} \ G_{bc} \ B_{bc}]_{stylish} = [209 \ 201 \ 223] \quad (13)$$

Where  $R_{bc}$ ,  $G_{bc}$ , and  $B_{bc}$  are the setting background color in red, green, and blue channels, respectively.

$$R = R_{bc} - (1 - \text{SSIMMap}_{ch}) \quad (14)$$

$$G = G_{bc} - (1 - \text{SSIMMap}_{ch}) \quad (15)$$

$$B = B_{bc} - (1 - \text{SSIMMap}_{ch}) \quad (16)$$

Where  $R$ ,  $G$ , and  $B$  are the red, green, and blue channels of output image, respectively.

With the proposed method, it is possible to create natural charcoal drawings of children faces and color effects of daring, intense, classic and stylish images automatically.

For the evaluation, we select the conventional tools that can generate charcoal drawings by one or few clicks and compare the results with the proposed method. These tools consist of apps, website and software which are My sketch, Photo to sketch, Sketch master, Photoshop filter and Photo funny. Ten images are tested and the respondents will be asked to select the best charcoal drawing from 6 tools with the reason by using online questionnaire.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

We did the experiment to verify the proposed method with 80 children face pictures of various sizes. Due to the copyright of image, only some results can be shown. Figure 4 shows the original images and charcoal drawings which consist of high, medium, and low details. The pixel resolution of each picture is illustrated in Table 1.





Original image: My Good Images/Shutterstock.com



Charcoal drawing

kid1.jpg (high detail)



Original image: Anna Om/Shutterstock.com



Charcoal drawing

kid2.jpg (medium detail)



Original image: Kiselev Andrey Valerevich/Shutterstock.com



Charcoal drawing

kid3.jpg (low detail)

Figure 4 Example results of charcoal drawings.

Table 1 The pixel resolution of images in Figure 4

Image name	Dimensions (width × height)
kid1.jpg	1300 × 876
kid2.jpg	1300 × 1300
kid3.jpg	1300 × 868

We can see that the algorithm will automatically adjust for any image details and image sizes to reach or near the average SSIM value of image detail for charcoal drawing ( $SSIM_{d_{ch}}$ ). The results show the natural charcoal drawing, particularly in eye part. Rich shading of grayscale makes the image an interesting and attractive look.

Figure 5 shows the comparison result between 5 conventional tools and the proposed method from 35 respondents. The numbers of respondents who select the image result of each tool for each image as the best charcoal drawing are described. The image results of the proposed method are most selected as the best charcoal drawing which is about 70% of tested images. The second rank is the image results of “My sketch” app which is selected about 50% of tested image. For other tools, they are selected as the best charcoal drawing about 0-20% of tested image. The results are summarized in Table 2. In some images, the most selected results of drawing tools are equal so 2-3 tools are considered to produce the best charcoal drawing in these images. The reasons that the respondents select the charcoal drawing of the proposed method are proper line gradation, appropriate image detail, impression of charcoal drawing style. Figure 6 shows the example result of each tool for tested image number 7 which the proposed method gives the highest number of selected respondents. The proposed method performs quite well in low texture image because of the delicate gray gradation of apparent detail. Figure 7 shows the example results for tested image number 4 which the proposed method is ranked

third among others. From our discussion with the respondents, it might be because some respondents prefer sharp line as their favorites. When the image detail is high as in the tested image number 4, the line sharpness effects more to the personal preference. In this case, the other tools can make more impressed for them. However, an art expert suggests that the natural charcoal drawing should not be artifactual or the line is not too sharp. Therefore, our algorithm tries to preserve the natural line gradation.

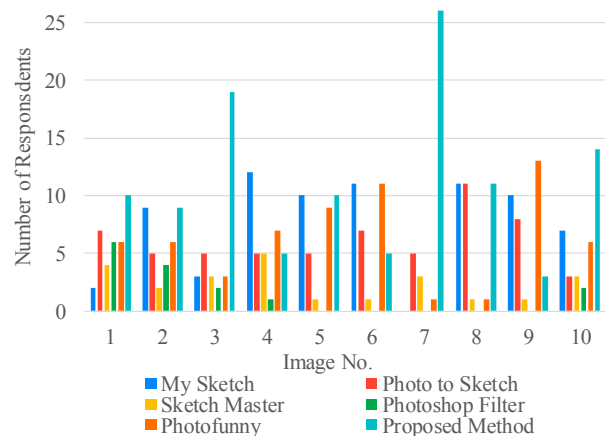


Figure 5 The comparison result of the numbers of respondents who select the image result of each tool as the best charcoal drawing.

Table 2 The percentage of tested images for each tool that the image result is selected as the best charcoal drawing

Tool	Selected Image Result as the Best Charcoal Drawing in Percentage
My Sketch	50%
Photo to Sketch	10%
Sketch Master	0%
Photoshop Filter	0%
Photofunny	20%
Proposed Method	70%



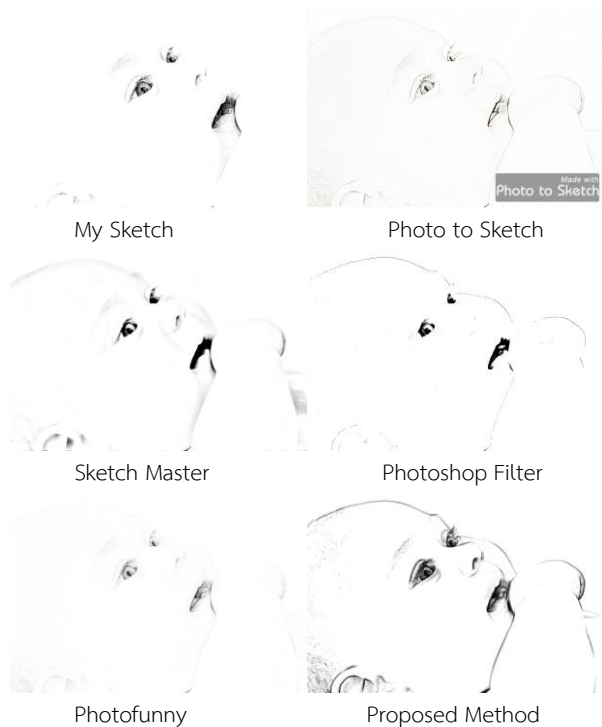


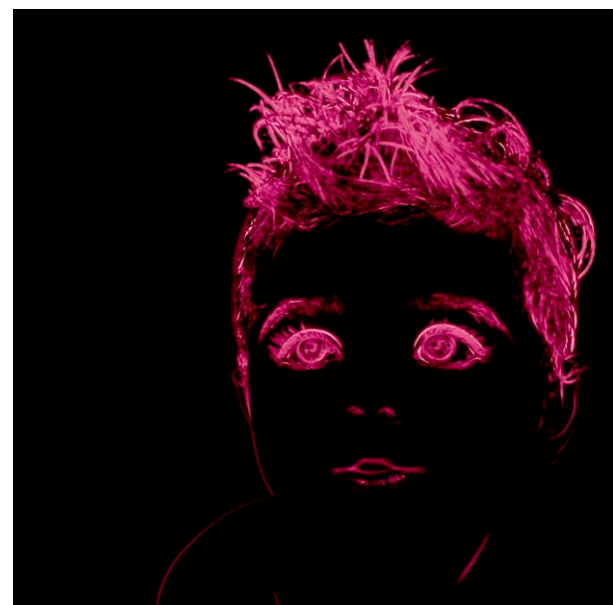
Figure 6 The image result of each tool for tested image no. 7.



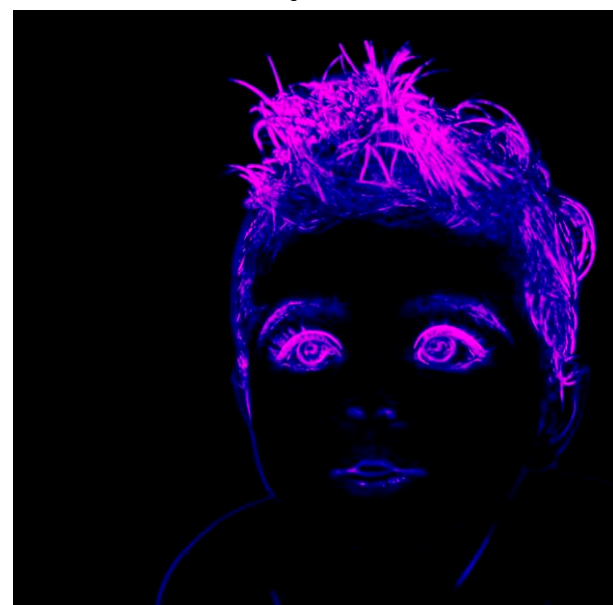
Figure 7 The image result of each tool for tested image no. 4.

The example results for color effect of daring and intense feelings are shown in Figure 8. In the case of

black background,  $SSIMMap_{BGG}$ , which is the local SSIM values of  $Grayscale_{blur_{\sigma=\sigma_{ch}}}$  compared to



Daring emotion

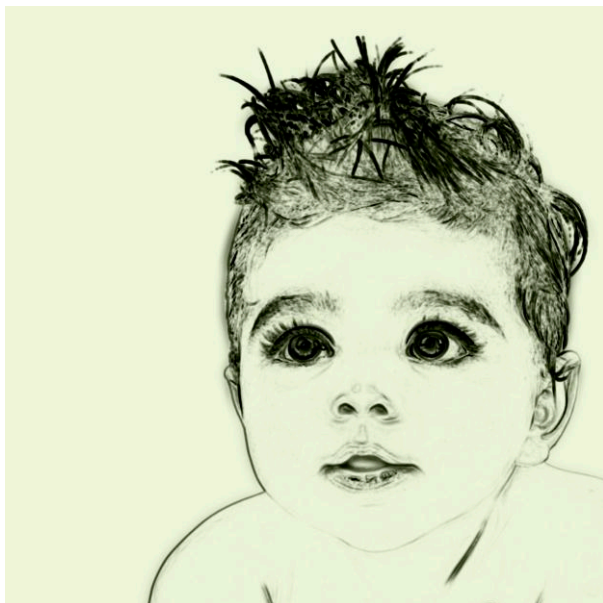


Intense emotion

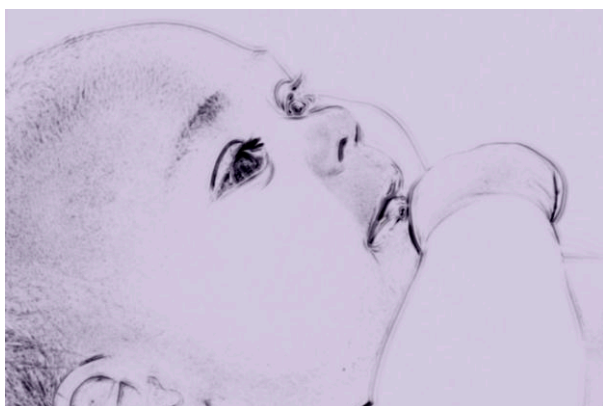
Figure 8 Example results for color effect of black background of kid2.jpg.

$Grayscale_{org}$ , is selected. This is because it can produce more sophisticated detail which is good for appealing exhibit on dark tone background. Black and pink shade colors are used to present daring

expression. The pink shades appear in relative to the image detail. For intense emotion, black and two tones of blue and purple are used. The shading between two color tones is naturally proportional to the image detail. From the comments of an art expert to the color effect of black background, the color appearances are definitely transferred into the detail of image so the color tone and its gradation extremely touch the feeling of viewer. However, an art expert also suggests that the algorithm should adaptively keep the main outline of subject in image that might be sometimes difficult to see on the black background.



Classic emotion



Stylish emotion

Figure 9 Example results for color effect of light color background.

Table 3 The pixel resolution of images in Figure 9

Image name	Dimensions (width × height)
kid4.jpg	3077 × 3077
kid5.jpg	5900 × 3938

The example results of light color background are shown in Figure 9. In Figure 9, we try some images of Figure 4 with larger size described in Table 3. Because of the light color, the image is sensitive to noise or undesired detail. Therefore, the  $SSIMMap_{ch}$ , which is the local SSIM values of  $Grayscale_{blur_{\sigma=\sigma_{ch}}}$  compared to  $Grayscale_{blur_{\sigma=1}}$ , is used and changes the background to the selected color. The use of small blur ( $\sigma=1$ ) instead of original grayscale helps in reducing noise on the smooth area. In this case, from the color image scale in [19]-[21], the light green background is used for classic feeling and the light purple background is used for stylish feeling. The applying of SSIM map makes a smooth transition between charcoal drawing and light color background. For light color background, an art expert comments that the gray shading can be easily and comfortably seen. Therefore, additional adaptive algorithm might not be required in this case.

The results of charcoal drawing and color effect shown in Figure 4, 8, and 9 can be viewed at <http://tiny.cc/c5e3lz>. It is recommended to view the picture in full image size for the best perception. From the experimental results, we also recommend to use the good quality of lightness of input image with at least 800 pixels of minimum image size for the good result. Front light, which evenly illuminates the subject from behind the camera or from the camera itself with no or little shadow, are most suggested. According to the results of four emotions, the user can further apply the concept of using SSIM map to other colors or color combinations or more creative color effects. Figure 10 shows some practical applications of the proposed charcoal drawing and color effect on T-shirt and grocery

bag. However, any originaive ideas are welcome to broaden the practical use and experience of these impressive charcoal drawings.



Grocery bag



T-shirt

Figure 10 Examples of practical applications for the proposed charcoal drawing and color effect.

#### IV. CONCLUSION

This paper proposes a photograph based charcoal drawing method and color effect for children face images. The method is based on local structural similarity index (SSIM) values of blurred image at charcoal drawing level compared with small blurred image or original image. The SSIM map presents which elements of the image carry high detail and reflects in delicate gradation from black to gray to white for visual attention. The charcoal drawings are produced automatically and naturally without any required skill or artistic knowledge. For color effect, the picture is

filled with black background and color shading lines or using the selected light color background. Rich tonal values of SSIM map convey sort of intensity to explore smooth and delicate expression. The applying of SSIM map with color image scale can produce emotional color effect impressively with minimal colors and it could be further developed for more creative and appreciative designs and applications. The fine adaptive algorithm to SSIM map is our future challenge to enhance the color appearance of charcoal drawing on dark tone background. Moreover, landscape, cityscape, fine-art photography and close-up shot are very interesting to apply with our method in the future to fulfill the creative vision and expression for video production, multimedia and printing media.

#### REFERENCES

- [1] Blue Lightning TV Photoshop. Photoshop Tutorial: How To Transform Photos into Gorgeous, Pencil Drawings. (May 11, 2013). Accessed: Mar. 28, 2020. [Online Video]. Available: [https://youtu.be/K43-\\_zhQZiM](https://youtu.be/K43-_zhQZiM)
- [2] Photoshopessentials. "Photo to color pencil sketch with photoshop CC." PHOTOSHOPESSENTIALS.com. <https://www.photoshopessentials.com/photo-effects/photo-to-color-pencil-sketch-with-photoshop-cc/> (accessed Mar. 28, 2020).
- [3] Photofunny. "Online pencil drawing effect for your photo." PHOTOFUNNY.net. <https://www.photofunny.net/cat-image-processing/convert-picture-drawing-a-pencil> (accessed Mar. 28, 2020).
- [4] Rojdark. "Charcoal art - realistic charcoal photoshop action." GRAPHICRIVER.net. <https://graphicriver.net/item/charcoal-art-realistic-charcoal-photoshop-action/17808412> (accessed Mar. 28, 2020).
- [5] M. Nieves. "How to create a charcoal drawing from a photo (with a Photoshop Action)." PHOTOGRAPHY.TUTSPLUS.com. <https://photography.tutsplus.com/articles/how-to-create-a-charcoal-effect-using-a-photoshop-action--cms-28671>. (accessed Mar. 28, 2020).

- [6] Adobe. "Sketch filters." HELPX.ADOBE.com. <https://helpx.adobe.com/photoshop-elements/using/sketch-filters.html> (accessed Mar. 28, 2020).
- [7] P. Tresset and F. F. Leymarie, "Generative portrait sketching," in *Proc. VSMM'05*, Oct. 2005, pp. 1-10.
- [8] D. R. Martin, C. C. Fowlkes, and J. Malik, "Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 5, pp. 530-549, May 2004.
- [9] Miinu Limited. "My sketch." APPS.APPLE.com. <https://apps.apple.com/th/app/my-sketch-pencil-drawing-sketches/id448162988> (accessed May 8, 2020).
- [10] Pixel Force Private Limited. "Photo to sketch." APPS.APPLE.com. <https://apps.apple.com/th/app/photo-to-sketch-drawing-book/id421785759> (accessed May 8, 2020).
- [11] L. Zhang. "Sketch master." APPS.APPLE.com. <https://apps.apple.com/us/app/sketch-master-my-cartoon-photo-filter-avatar-pad/id547157012>. (accessed May 8, 2020).
- [12] U. Sara, M. Akter, and M. S. Uddin, "Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A comparative study," *Journal of Computer and Communications*, vol. 7, pp. 8-18, 2019.
- [13] G. P. Renieblas, A. T. Nogués, A. M. González, N. G. Leon, and E. G. D. Castillo, "Structural similarity index family for image quality assessment in radiological images," *Journal of Medical Imaging*, vol. 4, no. 3, pp. 1-11, Jul. 2017, doi: 10.1117/1.JMI.4.3.035501.
- [14] J. Snell, K. Ridgeway, R. Liao, B. D. Roads, M. C. Mozer, and R. S. Zemel, "Learning to generate images with perceptual similarity metrics," in *2017 IEEE International Conf. on Image Processing (ICIP)*, Sep. 2017, pp. 4277-4281.
- [15] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.
- [16] The MathWorks, Inc. "SSIM." MATHWORKS.com. <https://www.mathworks.com/help/images/ref/ssim.html> (accessed May 8, 2020).
- [17] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.
- [18] S. L. Bangare, A. Dubal, P. S. Bangare, and S. T. Patil, "Reviewing otsu's method for image thresholding," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10 no. 9, pp. 21777-21783, 2015.
- [19] S. Kobayashi, *Color Image Scale*. Tokyo, Japan: Kodansha, 1990.
- [20] S. Kobayashi, *Colorist*. Tokyo, Japan: Kodansha, 1997.
- [21] H. Nagumo, *New Color Image Chart*. Tokyo, Japan: Graphic-sha, 2016.
- [22] S. Kobayashi, "The aim and method of the Color Image Scale," *Color Research & Application*, vol. 6, pp. 93-107, 2009.

# Development of A Food Categories and Calories Estimation Full Stack System Based on Multi-CNNs Structures

Kanjanapan Sukvichai<sup>1\*</sup> Warayut Muknumporn<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand*

\*Corresponding Author. fengkpsc@ku.ac.th, warayut.m@ku.th

Received: 5 December 2019; Revised: 27 April 2020; Accepted: 10 June 2020

Published online: 25 June 2020

## **Abstract**

Humans require different food amounts and nutrition depended on age, gender and health. Amount of food intake can create health problems especially for infants, elderly or diabetics. Tradition nutrition booklet is not suitable for most people since it is hard to understand. Thai-foods are hard to extract the nutrition and most of the Thai dishes are not in the book since it focused on Western dishes. This research focused on development on a full stack AI system that categorizes Thai-food dishes, classifies and localizes the ingredients in each dish and estimate nutrition and calories. Multi-Convolutional Neural Networks (CNNs) are used to achieve these categorize, classify and localize tasks. The designed system is separated into AI backend and Mobile application frontend based on OpenCV in an Android smartphone. MobileNet is used as a food categorizer while You-Only-Look-Once (YOLO) network works as the ingredient's classifier and localizer. Then, ingredients in the pictures are cropped and passed through traditional image processing algorithm with predetermined parameters to calculate and transformed pixel into real-dimension area referenced by Thai coins. Pixel area of non-uniform shape ingredients are segmented and the nutrition and calories can be estimated via a standard reference lookup table. Full stack system is developed in this research based on RESTful protocol with JSON format that used to communicate between a smartphone and AI server. The designed CNNs and full stack system are trained, tested, verified and deployed then the food image captured from a smartphone application can be used to estimated nutrition and calories. Finally, useful information is display on a smartphone screen.

**Keywords:** Convolutional Neural Networks, YOLO, image processing, full stack, RESTful.

## I. INTRODUCTION

Human health is directly related to the food that they consume. The phrase “You Are What You Ate” reflexes the importance of food to human lives. In this present day, Thai people suffer from overweight and diseases caused by food consumption such as arthritis, diabetes, and heart disease. It easily happens to humans who ate too much food or bad ingredients. This situation will lead to economic problems because the demand for medical care will increase. Therefore, the food nutrition information is always important in order to make human has a good health and prevent diseases especially for elderly who need to focus on the calories and the diversity of nutrients in each meal. According to Wardle, Parmenter and Waller [1], the relationship between nutrition knowledge and food intake had been investigated from 750 men and 750 women. The result of this research shows that people who have more knowledge in nutrition, they tend to have 25 times better-eating behavior on a healthy diet than others who have low knowledge. The easy way to educate people about nutrition knowledge is by using the foods they ate every day as examples. This approach is also can be applied to Thai people especially for the young generation since they are more concerned about the healthy diet than the previous generation [2]. The normal way to estimate nutrition in each food dish is by looking from a nutrition guild booklet or asking the nutritionists. Nutrition guild booklet is the simplest way to estimate nutrition but it is not easy to read, understand and calculate and not all Thai food dishes were included in the booklet. Nutritionists can provide information about food nutrition and correct amount intake for every age but patients cannot give precise information about their meals to nutritionists thus the estimation is not correct. Moreover, most people believe that going to talk with nutritionists is a waste of time. Thanks to the

development of the image processing techniques and Convolutional Neural Networks (CNNs), the food categories and ingredients nutrition and calories can be determined.

The aim of this research is to develop an easy way for people to get information about nutrition and calories in Thai fast food dishes. The food categorization and nutrition estimation system are developed to extract food information from Thai fast food dish images such as Krapaw rice, Thai omelet rice and Kuey-teow or Thai noodle soup. In this research, a full stack AI system is developed and separated into two parts which are an AI server worked as a backend and application (App) in a mobile phone worked as a frontend. These parts exchange their information using RESTful protocol. First, food image is taken by a mobile phone App based on OpenCV library and sent that image to AI server. Food picture is received by AI server and fed into a MobileNet Convolutional Neural Networks (CNNs) to categorize the food dishes without extract any nutrition. Then, the food image is fed to the second CNNs to extract the ingredients classes and locations by using the specific YOLO CNNs network corresponding to the food categories obtained from the MobileNet. Finally, useful food information is calculated by using image processing approaches. CNNs are easily to be implemented to the variety of hardware because of its flexibility. It can also achieve good performance for pattern recognition and localization application. New food categories networks can simply be added into the existing networks without alter the whole networks structure because they are independent. Finally, the AI server sends result and estimated nutrition and calories to display on the mobile phone screen.



## II. CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Convolutional Neural Networks (CNNs) is a popular tool for modern image recognition application since it is easy to be used by assigning an input image data set with output set to CNNs network and let it learns until the error is small enough. This approach achieves by using deep-learning techniques. The problem of patterns, objects or faces recognition can be solved by using CNNs. There are success network developed in the past few years such as GoogLeNet [3], Inception V3[4] and AlexNet[5]. MobileNets, the CNNs that select in this research as the food categorize network, is one of the most popular networks developed by Google that used in many researches because this network can be implemented into mobile applications [3] easily without consumes a large amount of calculation power and resources. Unlike other networks, the image classification using MobileNets is fast and the network weights variables are smaller than others which is suitable for limited resources system such as a server without any Graphic Processing Unit (GPU). MobileNets have a fast classification performance and have a small network size, but with a trade-off on its advantages, the accuracy of this network is less than other networks. The main difference between the MobileNet architecture and other traditional CNNs is instead of a single 3x3 convolutional layer followed by the batch norm and ReLU activation function, MobileNets split the convolution into a 3x3 depth-wise convolution and a 1x1 point-wise convolution yield a better calculation speed. MobileNets is run based on TensorFlow [6]. TensorFlow is an open-source library released by Google to build and design deep learning models. Although MobileNets doesn't provide the highest accuracy but it is good enough to categorize the food dishes in order to be used to select suitable correspondence ingredients extractor networks in the second layer CNNs in this multi-CNNs structure. There

are six food categories focused on this research which are Krapaw rice, Mooping (Thai grilled pork on a stick), Thai stewed pork rice, Chicken rice, Roast duck noodle and Kuey-teow because these foods are the most popular fast food dishes consumed by Thai people. Example of Thai foods are shown in Figure 1.



Figure 1 Popular Thai food dishes

Second Convolutional Neural Networks used in the second layer of multi-CNNs structure is the You Only Look Once or YOLO [7] networks. This network is used as the ingredients extractor and localizer which is used to extract ingredients specifically to the food category obtained from the food categorizer network in the first layer with ingredient localization. YOLO network is very similar to region proposal classification networks or RCNNs which perform detection on various region proposals and also performing prediction multiple times for various regions in an image in order to perform location and classification on an image. YOLO uses a single CNN network for both classification and localizing the object using bounding boxes therefore YOLO is faster than other RCNNs or Fast-RCNNs. In this research, YOLO v3 tiny network is used because it is light weight, fast calculation and easy to be taught in a short period of time. YOLO v3 tiny network architecture [8] is a combination of 24 layers consisted of convolution, max pooling, full-connected, up-sample and decision layers. This network is considered as a shallow network

because it has only around 3 million parameters. YOLO is originally implemented in C language using Darknet platform. Thus, in this research, YOLO will be wrapped by Python language using CDLL library in order to make it easier to be combined with the server program which based on python language. There are many YOLO networks used in this research because ingredients in each type of Thai food dish are differences and the network must distinguish those ingredients separately. Moreover, YOLO networks are required for each category since many ingredients in Thai food dishes share the same properties such as shape and size but different in nutrition and calories for example a hard-boiled egg in Kuey-teow, chicken rice, and stewed pork rice. Thus, one YOLO network must be used for one food category. Thanks to this approach, the network can be shrunk into a small network for one dish and the designed structure is easy to add new food dish categories into the network without altering existing structure since all YOLO networks are independent. For example, the YOLO network for Kuey-teow will focus on determine the location and size of the porkball and shrimpball as shown in Figure 2 while YOLO network for stewed pork rice will focus on stewed pork and hard-boiled egg.

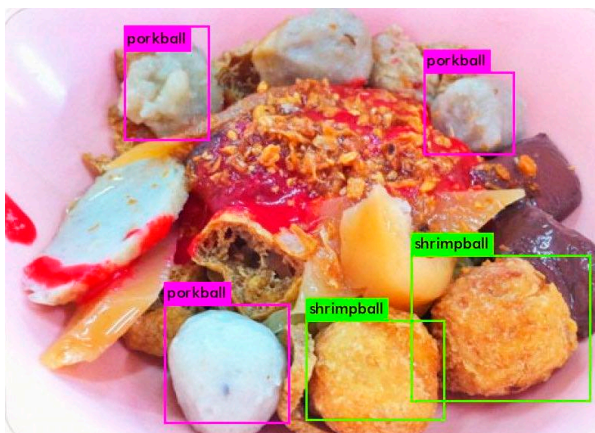


Figure 2 Pork and shrimp ball from Kuey-teow network

The overall multi-CNNs structure in this research is displayed in Figure 3. The focused ingredients for each dish are displayed in Table 1. The total classes of ingredients for each Thai food dish are differences after food categories and ingredients are recognized, localized and classified by using CNNs via MobileNet CNNs and YOLO CNNs, then, the ingredients are cropped and passed through series of image processing algorithms in order to determine areas of the interested ingredients for estimating calories and nutrition. For example, a stewed pork rice bowl has two main ingredients which are stewed pork and vegetable. The shapeless ingredient can be segmented from the food dish image by using 4 image processing steps. First, the food image is blurred using a box blur filter. Then, the food image's color space is transformed from RGB into HSV color space.

Table 1 Food Ingredients for each Thai dish

Food Dish	Ingredients	
	details	classes
Krapaw rice	Basil Pork, Fried Egg	2
Mooping	Pork	1
Roast Duck noodle soup	Wonton, Grilled Duck, Crispy pork	3
Stewed pork rice	Thai stews pork, Boiled Egg	2
Chicken rice	Boiled chicken, Fried chicken, Boiled Pork Blood, Boiled Pork Liver	4
Kuey-teow	Shrimp ball, Pork ball, Fish ball, Boiled pork blood, Fried tofu, Wonton fish, Chinese roll fish	7

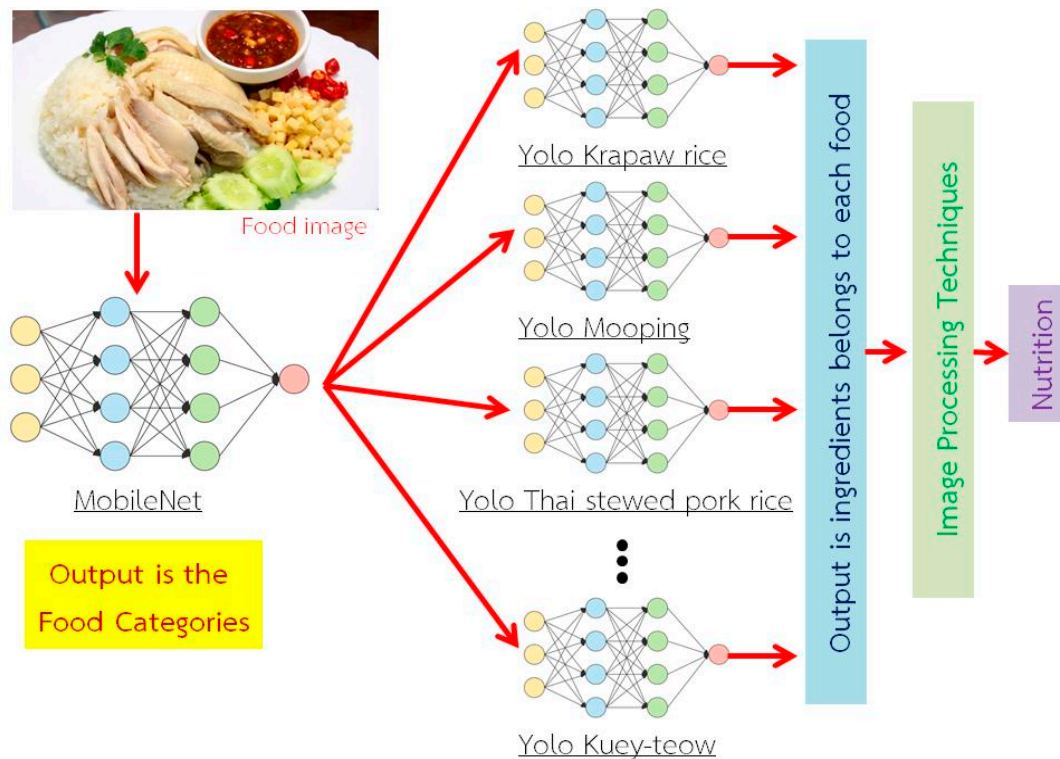


Figure 3 Overall multi-CNNs structure

Finally, dilation and erosion techniques are used to filter noise and get a better segmented result. In the stewed pork rice case, the vegetable and stewed pork can be segmented out from the food image. The predetermined color segmentation parameters are specifically defined for particular ingredients from specific Thai dish which are selected correctly based on corresponding YOLO networks for each Thai dish category. The output from the segmented process is shown in Figure 4. In order to transform the pixel area into the real dimension area, the ground truth must be provided. In this research, Thai coins are selected as the standard ground truth because it has a fixed size and it is easy to find and detect. Moreover, most people carry coins around while they order food. YOLO network detects 1, 5 and 10 baths coins. The coins detection result is shown in Figure 5.



Figure 4 Stewed pork rice dish (top) and segmented ingredients (bottom)

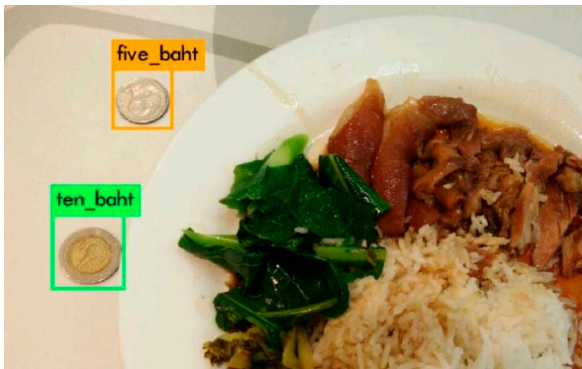


Figure 5 Coin detection using YOLO CNNs network

Thai coins are found and categorized but the area of the coin is in the unit of pixel and it is required to transform into the area in metric unit. Normally, coins in the picture are not perpendicular to the camera then they have eclipse shapes. Therefore, it will be simply transformed into a circular shape by using projection relation as shown in Figure 6. The radius of the circular coin can be estimated by determining the half of the longest line between the left and right points of the eclipse coin image as shown in Figure 7. Finally, the area in pixel square unit can simply calculate by  $A = \pi r^2$  then compared with real coin dimension in meter square unit to obtain ration value for translate pixel area to metric area unit.

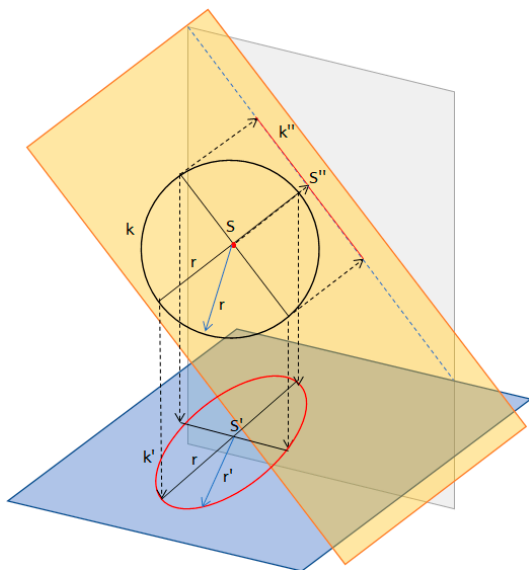


Figure 6 Relationship between circular and eclipse coin shape

### III. FULL STACK SYSTEM

This topic explains a designed full stack system for the food categories and calories estimation system based on RESTful protocol. The designed system is separated into frontend and backend parts. App in mobile phone works as the frontend that has a duty to capture food image with Thai coin via smartphone camera and sent it via the internet to AI server and display the result from AI server for users. Backend is an AI server that receives food images from frontend and process image using Multi-CNNs structures and image processing in order to obtain ingredients and calories of the interested food image. The small phone that is used in this research is Samsung A9 with the Android operating system. The App is developed by using Android studio with OpenCV library.

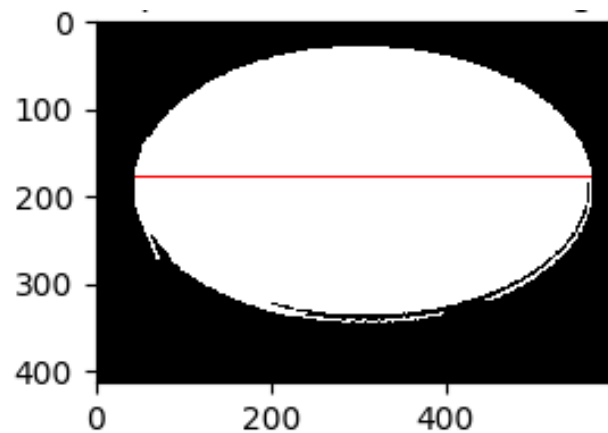


Figure 7 Diameter of eclipse coin shape

AI server consists of an i-5 CPU gen 4, 8 GBytes of DDR4 ram, 1 Tbytes of HDD and GT1030 with 2 GBytes of DDR5 ram graphic card. Server runs on Ubuntu 16.04 LTS environment with cuDNN 7.5 and CUDA 9.0 libraries. Flask is used to generate RESTful server and written in Python language. Mobile Application (App) in smartphone communicates with an AI server using JavaScript Object Notation or JSON which is a lightweight data-interchange format. Food image is



capture and coded into raw format in order to be packed into JSON image package since JSON is not support the RGB image format. POST method is used to transfer JSON image package to the AI server. AI server gets the JSON image package and unpack into the original RGB image format. The food image is now ready to be processed by CNNs and image processing

algorithms. Thai coins are localized, categorized, separated and selected in order to transform into real dimension by calculation. Then, calories and nutrition can be estimated using a lookup table from nutritionists. Finally, the result is sent back to App in smartphone. The system flow is shown in Figure 8.

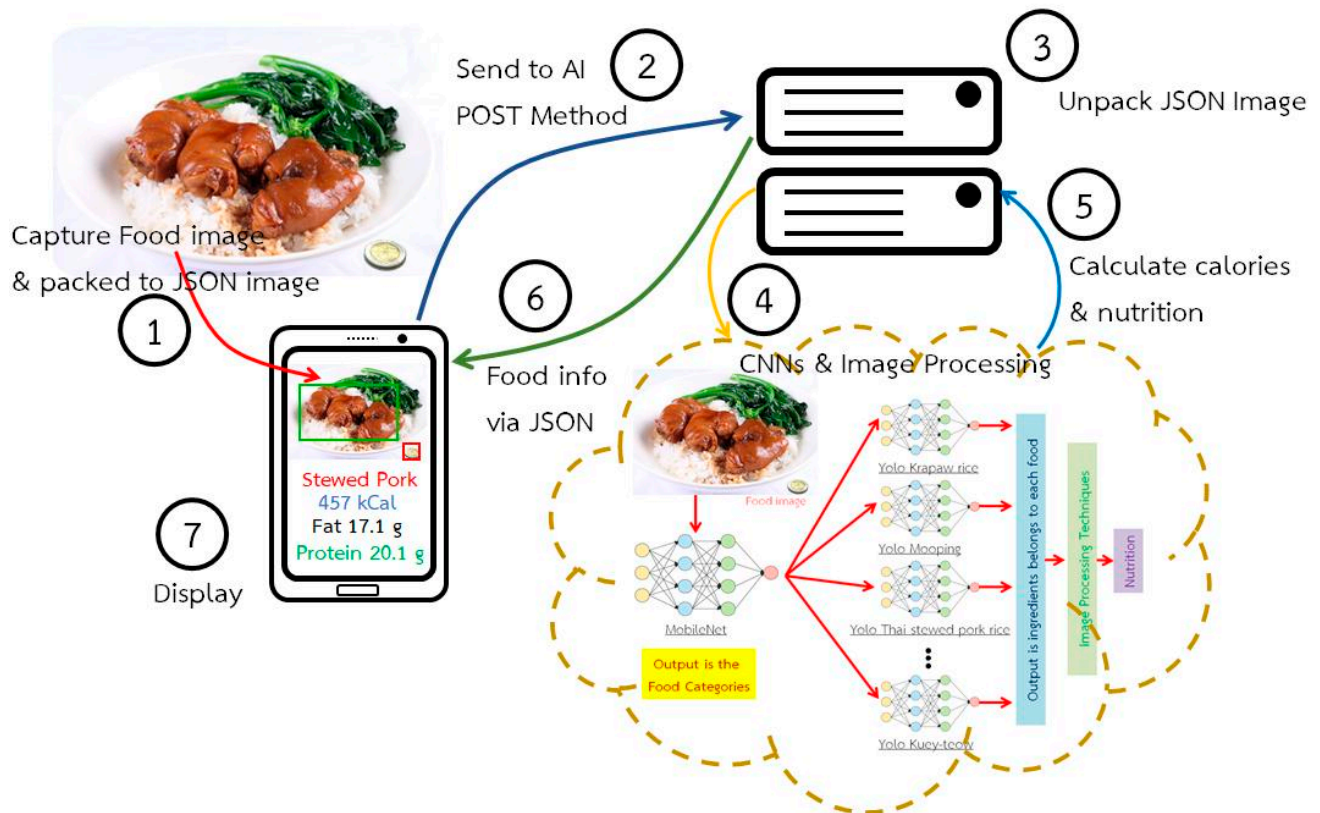


Figure 8 Flow of the designed full stack AI system



Figure 9 Example of prepared training data set

#### IV. RESULTS AND DISCUSSION

The food pictures were prepared for both food categorization and ingredients localization in the experiments. Food images are gathered from the internet and also taken by researchers. Five hundred pictures of each Thai fast food dish were prepared as a training data set for MobileNet network without labeling as shown in Figure 9. MobileNet learns on these food pictures and adapted its weights in every layer by using a back-propagation algorithm on the desired loss function. Then the trained network is validated by test images. The error of MobileNet happens when the network predicts the wrong food category.

Food images data set are trained for 10,000 iterations for MobileNet CNNs in AI server with the help of GPU from Nvidia graphic card. MobileNet network requires 5 hours to train on the dataset for food categorization. Each food dish is tested by 100 test images and the result is shown in Table 2. The average output accuracy is around 92.83% which calculated from the ratio between the number of wrong and total test images.

Table 2 Result from MobileNet for each Thai dish

Thai Dish	Test Images	Correct	Wrong
Krapaw rice	100	96	4
Mooping	100	99	1
Roast Duck noodle soup	100	92	8
Stewed pork rice	100	89	11
Chicken rice	100	85	15
Kuey-teow	100	96	4

Next, six YOLO networks are trained separately according to corresponding food categories. In this step, interested ingredients of each food pictures are labeled and converted the labeled bounding boxes into YOLO boxes format using YOLO labeling software as shown in Figure 10. Then, each YOLO is trained separately. The training as done on the server with GPU speed up. Each YOLO CNNs requires 4 days to learn from the dataset before the loss function value down to 0.2 and the multiple ingredients can be identified and localized with good accuracy. Roast Duck noodle soup and Kuey-teow dish ingredient classification and localization results are shown in Figure 11 and Figure 12



respectively. Each food YOLO trained network is validated and tested by using 100 test images and the result shown in Table 3.



Figure 10 YOLO labeling software

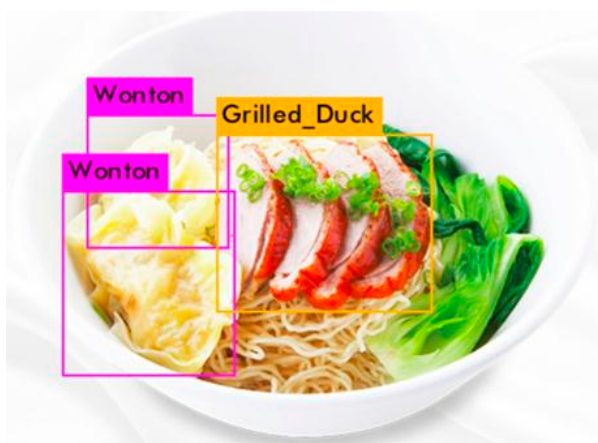


Figure 11 Result from a Roast Duck noodle soup YOLO

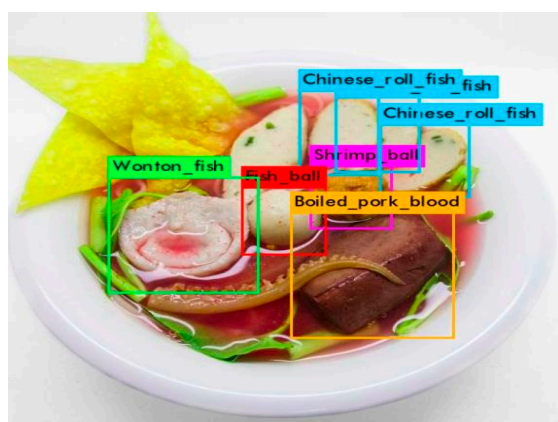


Figure 12 Result from a Kuey-teow YOLO

There are three errors in this experiment which are the wrong food categories (MobileNet), detected with wrong ingredient (YOLO) and missing ingredients (YOLO). Therefore, accuracy in Table 3 reflects overall accuracy since it combined both error from the designed multi-CNNs structures (MobileNet and YOLOs). The average accuracy of the multi-CNNs structures is 72%. The wrong and missing ingredient error is shown in Figure 13.

Table 3 Overall result from Multi-CNNs structures

Thai Dish	Test Images	Correct	Wrong
Krapaw rice	100	81	19
Mooping	100	80	20
Roast Duck noodle soup	100	85	15
Stewed pork rice	100	89	11
Chicken rice	100	81	19
Kuey-teow	100	88	12



Figure 13 Wrong output from YOLO networks

After ingredients are identified and localized, each ingredient is cropped and processed through a series of image processing techniques with filter and color thresholding predetermined parameters. Finally, the non-uniform shape ingredients are extracted from the rest and the calories and nutrition are estimated. The example of segmented shapeless ingredients is shown in Figure 14. Standard Thai coin is used as the real-world reference standard object size. A coin is identified and located along with the food dishes by using coin

YOLO. The area of the coin can easily be calculated by comparing counted coin pixels to the real coin dimension and create the pixel area to square meter area ratio. Then, this ratio is used to calculate the areas of the ingredients. After ingredient areas are estimated, then, the calories can be estimated. There are several kinds of nutrition and calorie lookup booklets in Thailand and most of them give different nutrition and calorie values for the same Thai food dish. Therefore, in this research, Nutritive Values of Thai Foods from the Department of Health Ministry of Public Health is selected as the main referenced lookup table [9].

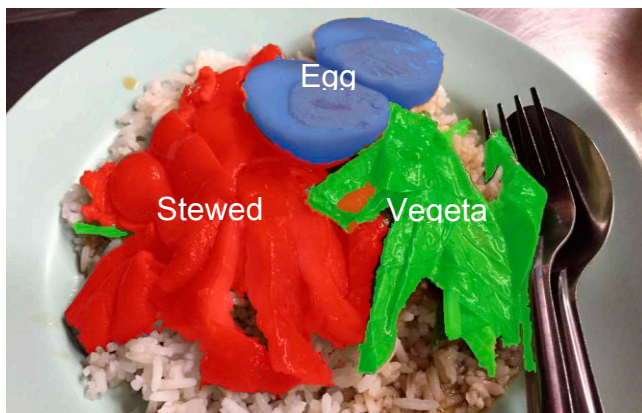


Figure 14 Stewed pork rice dish segmentation

After CNNs and image processing parameters are learned and calibrated then they are transferred into the AI server in order to perform full system experiments. In this step, Application (App) is deployed into Samsung Android smartphone and AI server is setup. The smartphone and AI server are connected by the same router with the same subnet mark. Smartphone is used to capture a stewed pork rice along with 10 bath coin. This food picture is packed into JSON image format and submitted to the server via RESTful POST method. Then, AI server unpacks JSON image format to regular image format and passes to the MobileNet network to categorize food dish. Corresponding YOLO network is used to find and

localize interested food ingredients. Non-uniform shape ingredients are processed via image processing with predetermined parameters for each ingredient in specific Thai dish. The coin image region is cropped from the food image and transform into a circular shape. The relationship between coins pixel area and the real coins dimension area is found and used to calculate the area of the non-uniform shape ingredients. Next, the nutrition and calories are estimated via a standard lookup table and all information is packed into JSON format and sent back to App in smartphone. Finally, App displays all information as shown in Figure 15 on the smartphone screen. Calories of the stewed pork rice dishes can be estimated to 506 kcal compared to the standard calories of 456 kcal from the Nutritive Values of Thai Foods booklet. From the experiment, the error happens because of the 2D to 3D estimation technique using Thai coins and also the lookup table. There is the limit of the referenced lookup table since it is no information about the shape, size, weight, and ration of each ingredient shown in the food nutrition table in the Department of Health Ministry of Public Health booklet. Therefore, in order to overcome this limitation, nutrition consultation is required for better estimation. The error of 3D estimation is also can be solved by using multiple view images or videos with advanced 3D point-cloud estimation techniques such as the optical flow algorithm or AI-based approaches. These issues will be the main focus in further research.

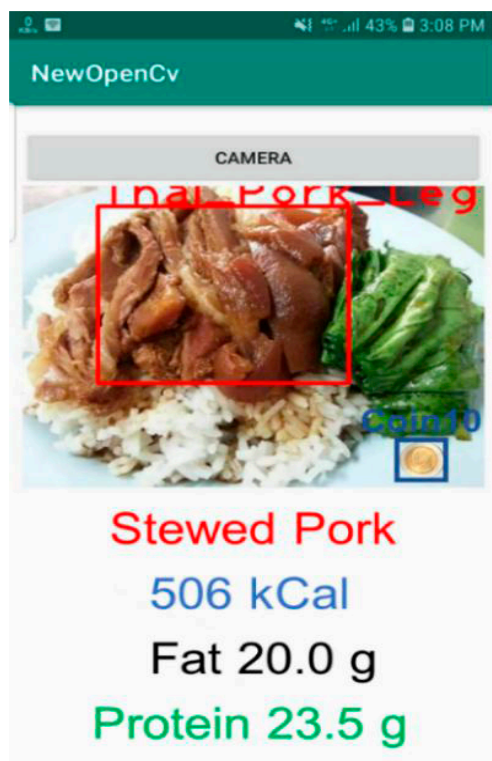


Figure 15 Output from full stack system displayed on the mobile screen.

## V. CONCLUSION

Food is one of the most important things for human life but traditional nutrition estimation via comparison booklet has limitations and hard to understand for normal people. Nutrition and calories in Thai food are important especially for the elderly or diabetic persons. This research proposed the easy way for people to obtain useful information from intake food pictures via the designed full stack system to determine nutrition and calories by using Convolutional Neural Networks (CNNs) and image processing techniques. In this research, full stack system is constructed by the AI server and mobile application (App) in a smartphone. RESTful protocol and JSON format are used for communication and data transfer between the App and server. AI server consists of multi-CNNs structure and image processing layers. Mobile Net network is selected as a food categorization network and YOLO v3 tiny network is selected as the ingredient's classifier and

localizer. Thai fast food dishes images are used to train the networks in server environment and used in full-stack system. Image processing parameters are predetermined specifically for individual Thai food categories. The designed networks can categorize food and identify and localize ingredients with accuracy of 72%. Networks computation time is not fast but good enough thanks to GPU from Nvidia graphic card. The application is designed and deployed into the Android smartphone. Application captures food image, packs and sends JSON image package to the server via POST method. The estimated nutrition and calories then send back from the AI server and displayed on the smartphone screen. There are errors that happen in this research caused by the technical complexity and limitation of referenced nutrition lookup table. The best way to profit users such as elderly and/or diabetes from this research is to display a range of nutrition instead of a number. For example, a stewed pork dish output will show 356kCal – 643kCal, fat about 18g – 20 g and 20 g – 30 g of protein on the screen then users can self-calculate the maximum intake per day. Other problems will be considered in future research. The main focus of the next step is an exploration in the Mask R-CNNs [10], YOLACT [11], and custom 3D AI-based regression neural network in order to improve the accuracy of the estimated nutrition and calories.

## REFERENCES

- [1] J. Wardle, K. Parmenter, and J. Waller, "Nutrition knowledge and food intake," *Appetite*, vol. 34, no. 3, pp. 269–275, Jun. 2000, doi: 10.1006/appe.1999.0311.
- [2] T. Waratornpaibul, "Consumption behavior: consumerism food and health-conscious food," *Panyapiwat Journal*, vol. 5 no. 2, pp. 255-264, Oct. 2015.
- [3] C. Szegedy *et al.*, "Going deeper with convolutions," in *2015 IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Boston, MA, Oct. 2015, pp. 1-9.

- [4] X. Xia, C. Xu, and B. Nan, "Inception-v3 for flower classification," in *2017 2<sup>nd</sup> International Conf. on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, Chengdu, Jun. 2017, pp. 783-787.
- [5] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," in *Proc. 25<sup>th</sup> International Conf. on Neural Information Processing Systems (NIPS'12)*, Tahoe, NV, USA, 2012, pp. 1097-1105.
- [6] M. Abadi, *et al.*, "TensorFlow: A system for large-scale machine learning," in *Proc. 12<sup>th</sup> USENIX conference on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'16)*, Savannah, GA, USA, Nov. 2016, pp. 265-283.
- [7] R. Joseph, D. Santosh, G. Ross, and F. Ali., "You only look once: Unified, real-time object detection," in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 779-788.
- [8] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An incremental improvement," Apr. 2018. [Online]. Available: arXiv:1804.02767.
- [9] S. Boonvisut, *Nutritive values of Thai foods*, Bangkok, Thailand: Nutrition Division, the Department of Health Ministry of Public Health (in Thai), 2001.
- [10] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, and R. Girshick, "Mask R-CNN," in *2017 IEEE International Conf. on Computer Vision (ICCV)*, Venice, Italy, Oct. 2017, pp. 2980-2988.
- [11] D. Bolya, C. Zhou, F. Xiao, and Y. J. Lee, "YOLACT: Real-time instance segmentation," Oct. 2019. [Online]. Available: arXiv:1904.02689.

# Performance of Electroplated Copper Coating on Graphite Electrode in EDM Process

Nattawut Chindaladdha<sup>1\*</sup> Don Kaewdook<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>*Master Program in Engineering Technology, Graduate School, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 10250*

<sup>2</sup>*Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 10250*

\*Corresponding Author. E-mail address: ch.nattawut\_st@tni.ac.th

Received: 12 May 2020; Revised: 14 May 2020; Accepted: 21 May 2020

Published online: 25 June 2020

## **Abstract**

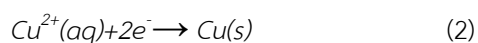
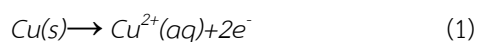
Electrical Discharge Machining (EDM) is a nonconventional manufacturing process whereby a desired shape is obtained by using electrical discharges. Material is removed from the workpiece by current discharges between tool-electrode and workpiece, separated by a dielectric liquid. Copper electroplating is the process to produce a layer of copper on the surface of the substrate in this research was used graphite which is the tool-electrode. The study aims to investigate the performance of EDM product which used graphite coated with the copper layer. The experiment designed by using Taguchi-grey relational approach based multi-response optimization to find the optimal electroplating parameters. The considered electroplating parameters including 3 parameters 2 levels, current density 3.7 A/dm<sup>2</sup> and 5.4 A/dm<sup>2</sup>, electrolyte concentration 0.1 mol and 1.0 mol, plating time 3 hours and 5 hours. The electrode's machining performance of the surface roughness (SR) of workpiece, tool wear rate (TWR) and material removal rate (MRR) will be investigated and compared with the conventional copper electrode.

**Keywords:** Copper electroplating, graphite electrode, EDM process, surface quality, wear rate



## I. INTRODUCTION

Electrical Discharge Machining (EDM) is a non-traditional machining process which using electrical discharges or spark erosion through the electrode to remove material from work piece under the dielectric fluid [1]. When considering tool-electrode for using in EDM, there are various material properties of tool-electrode to be considered such as electric conductivity, thermal expansion, particle size etc. The mostly used material for tool-electrode is copper and graphite. For copper, due to its electric conductivity is high, it mostly be used in rough and finishing surface, also it can be finished mirror like surface as well. However due to its thermal expansion is also high as well, it least used in more complex work piece. For graphite, due to its electric conductivity is almost at the same level as copper, it can be used as alternative material for copper. More over its thermal expansion is also low, its mostly be used to produce more complex work piece [2]. However it cannot achieve the true mirror like finish surface just like copper. In order to obtain tool-electrode which had low thermal expansion and high electric conductivity and can be used in finishing complex work piece. The composite material of copper and graphite is selected. However, method of powder metallurgy for graphite and copper is expensive. The affordable and easier method such as copper electroplating is selected. The copper electroplating method is a process for coating copper onto the desired surface or work piece. By using electrochemical reaction of copper and copper (II) sulfate was shown in (1) and (2) for anode and cathode respectively.



The good performance of tool-electrode is to having high material removal rate (MRR) and low tool wear rate (TWR) and low Surface roughness (SR) [3]-[4]. In this study aim to optimize the performance of tool-electrode through the copper electroplating process using Taguchi Grey relational analysis.

## II. MATERIALS AND METHODS

### A. Materials and tools

Copper and graphite used in this study are pure copper 99% and graphite's specification was POCO EDM3 and the electrolyte for electroplating was copper(II) sulfate supplied by Chemipan store (Chemical products and tools store) and power supply for electroplating was UNI-T regulated DC power supply 30V 3A and was using XFK magnetic mixer while electroplating as shown in Figure 1.

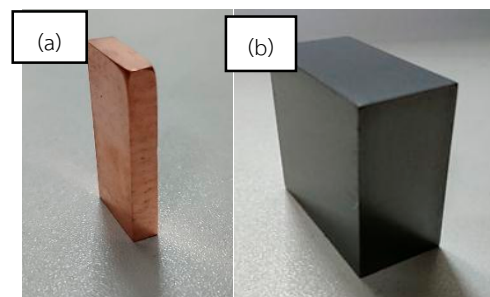


Figure 1 EDM tool electrode, (a) Copper electrode and (b) Graphite before preparation

The EDM machine was Mitsubishi's EA8 and Surface roughness testing machine was Mitutoyo's surface roughness testing machine.



## B. Methods

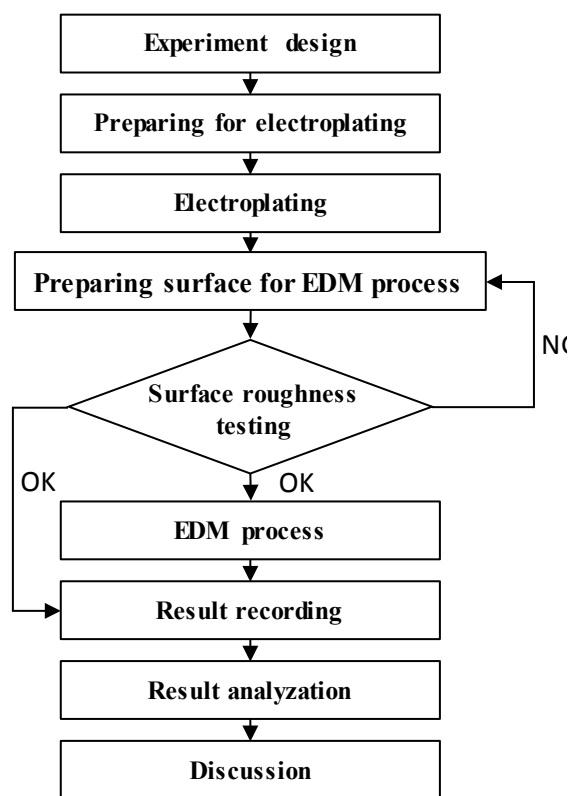


Figure 2 Diagram of the experiment

In this study, the concerned parameters for electroplating are current density (A/dm<sup>2</sup>), electrolyte concentration (Mol) and electroplating time (hours). Dues to nature of EDM process, TGRA is also a good choice for experiment with the uncertain nature of result or reducing experiment number [5]-[10]. The experiment will be conducted with 2-levels 3-parameters of electroplating from the mentioned parameters as shown in Table 1.

Table 1 Electroplating parameters

Plating parameters	Levels	
	1	2
Plating time (hours)	3	5
Electrolyte concentration (Mol)	0.5	1
Current density (A/dm <sup>2</sup> )	3.7	5.4

The graphite electrode specimens were prepared for each conditions by cutting into the dimension of

32x17x5 mm and sanding the surfaces. After surfaces were prepared, performing the electroplating process by each condition with the electroplating setup (As shown in Figure 3).



Figure 3 Electroplating setup

After copper electroplated graphite electrode (As shown in Figure 4), all specimen's copper surfaces were sanded for preparing the capable surface for using in glossy mirror EDM process. Then the dimension, weight before EDM for each specimen will be recorded for comparison with after EDM. Then, all sample will be used in EDM by testing with EDM machine in the same machining condition of EDM input for the S50C workpiece within the ESPER program for searching E-conditions pack in the Mitsubishi's EDM EA-8 as shown in Table 2.



Figure 4 Sample of copper electroplated graphite electrode

Table 2 ESPER input setting for search condition in EDM machine

Condition	Parameters
Machining type	Cavity
Material	Cu-St, Gr-St
Surface roughness(Ra)	0.6
Finishing Process	Glossy mirror
Fluid	Emission
Contact area (mm <sup>2</sup> )	75
Initial Machining	ON
Undersize	0.12
Orbital pattern	200
Priority	wear rate

After obtains the Workpiece's surface roughness will be recorded by Mitutoyo's SV-3100 surface testing machine (Shown in Figure 5),



Figure 5 Mitutoyo's surface testing machine

Workpiece's weight and electrode's dimension and weight after tested was recorded and be used to analyze with TGRA for the electrode performance of SR,MMR and TWR respectively.

After analyzed with TGRA the optimal electroplating condition and predicted result could be obtained, the confirmation for the optimal condition was conducted and the result was recorded for compared with predicted result and used in discussion for performance when comparing with copper electrode.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### A. Experiment results

The result of EDM process from all the electroplating condition was recorded and can be summarized as shown in Table 3 and the workpiece surfaces can be shown as Figure 6.

Table 3 EDM process experiment result

Condition	Surface roughness ( $\mu\text{m}$ )	Material Removal Rate (mm <sup>3</sup> /min)	Tool Wear Rate (mm <sup>3</sup> /min)
1	0.171	$8.012 \times 10^{-08}$	0.770
2	0.257	$5.383 \times 10^{-07}$	0.792
3	0.277	$4.451 \times 10^{-07}$	0.783
4	0.203	$1.322 \times 10^{-07}$	0.785

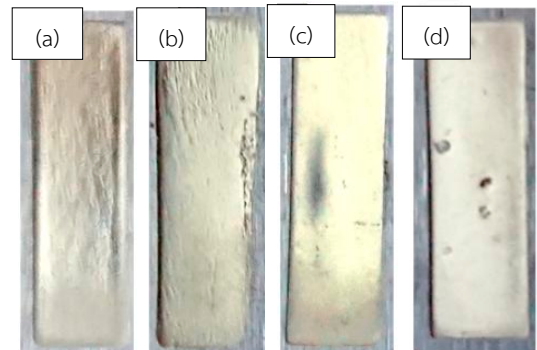


Figure 6 Workpieces surfaces after EDM process by using copper plated graphite electrode with a). Condition 1, b). Condition 2, c). Condition 3, d). Condition 4.

For each condition, surface profile has a mirror like reflection. The surface roughness is low and causing the mirror like reflection, however the profile of the surface is not uniformly flat. The reason for this might be from copper's layer changed its surface profile due to thermal expansion. For condition 4, there's a hole on the surface which it might has air bubble in the copper layer when electroplating.

### B. Taguchi-Grey relational analysis

Using Taguchi method to find Signal-Noise ratio (S/N ratio) on the EDM process results by using (3) for Smaller-the-better analysis of SR, TWR and (4) for Larger-the-better analysis of MMR [11].

$$\frac{S}{N} = -10 * \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{Y_i^2} \right) \right) \quad (3)$$

$$\frac{S}{N} = -10 * \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^2) \right) \quad (4)$$

Where  $Y_i$  is the response result for each experiment condition and  $n$  is the number of experiment. Signal-Noise ratio for each condition results are as shown in Table 4.

Table 4 S/N ratio

Condition	Surface roughness (dB)	Material Removal Rate (dB)	Tool Wear Rate (dB)
1	15.340	-2.275	138.345
2	11.801	-2.030	122.643
3	11.150	-2.120	124.317
4	13.850	-2.104	133.965

The S/N ratio result will be normalized for being use in the grey relational analysis by using (5) and (6) for smaller-the-better of SR,TWR analysis and larger-the-better of MMR analysis respectively.

$$x_i^*(k) = \frac{\max y_i(k) - y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (5)$$

$$x_i^*(k) = \frac{y_i(k) - \min y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (6)$$

Where  $x_i^*(k)$ , is normalized S/N ratio,  $y_i(k)$  is the S/N ratio obtained from the Taguchi analysis. The  $\min y_i(k)$  and  $\max y_i(k)$  are minimum and maximum values of S/N

ratio respectively. The normalized S/N ratio is shown in Table 5.

Table 5 Normalized S/N ratio

Condition	Surface roughness	Material Removal Rate	Tool Wear Rate
1	0.000	0.000	0.000
2	0.845	1.000	1.000
3	1.000	0.893	0.636
4	0.356	0.279	0.698

The normalized S/N ratio will then be used to determined deviation sequence using (7)

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \quad (7)$$

Where  $\Delta_{0i}(k)$ ,  $x_0^*(k)$ ,  $x_i^*(k)$ , are the deviation, reference and comparability sequences respectively. The determined deviation sequences are shown in Table 6.

Table 6 Deviation sequence

Condition	Surface roughness	Material Removal Rate	Tool Wear Rate
1	1.000	1.000	1.000
2	0.155	0.000	0.000
3	0.000	0.107	0.364
4	0.644	0.721	0.302

The grey relational coefficient (GRC) is determined using (8)

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (8)$$

Where  $\xi_i(k)$  represents the GRC of individual response variables computed as a function of  $\Delta_{\min}$  and  $\Delta_{\max}$ , the minimum and maximum deviations of each response variable and  $\xi$  is the distinguishing or

identification coefficient, defined in the range from 0 to 1, it is generally set at 0.5 to allocate equal weights to every parameter. The GRC for each condition's response are shown in Table 7.

Table 7 Grey Relational Coefficient

Condition	Surface roughness	Material Removal Rate	Tool Wear Rate
1	0.333	0.333	0.333
2	0.763	1.000	1.000
3	1.000	0.824	0.578
4	0.437	0.409	0.624

Grey relational grade (GRG), is then computed by averaging the GRC of each response variable using (9)

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (9)$$

Where  $\gamma_i$  represents the value of GRG determined for the  $i$ th experiment,  $n$  being the aggregate count of performance characteristics. The rank for each parameter and condition could be determined. By using the GRG ranking from the highest to lowest. The determined GRG, condition ranking are shown in Table 8.

Table 8 Grey Relational Grade & Rank

Condition	GRG	Rank
1	0.333	4
2	0.921	1
3	0.801	2
4	0.490	3

### C. Optimal parameter and confirmation

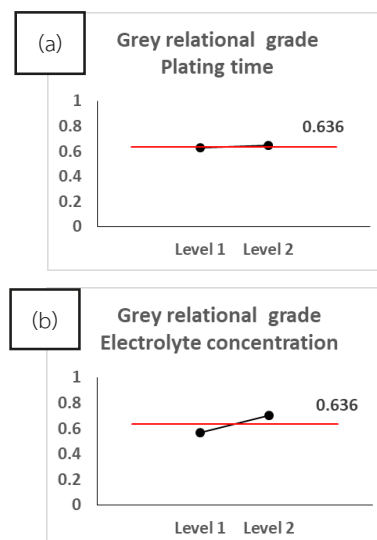
The optimal parameter will then be determined by using (10)

$$L_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_i \quad (10)$$

Where  $L_i$  is the average of GRG for the  $i$ th level of those parameters. The main effect for each parameter can be determine by using the difference of maximum and minimum of those parameters average GRG and can be ranking from the highest to lowest. The average of GRG for each level of parameters, the optimal level of parameter for the copper electroplating and the main effect with ranking can be summarised as shown in Table 9 and Figure 6.

Table 9 Average GRG

Parameters	GRG Main Effect			Rank
	Level 1	Level 2	(Max-Min)	
Plating time	0.627	0.646	0.018	3
Electrolyte concentration	0.567	0.706	0.138	2
Current density	0.412	0.861	0.449	1



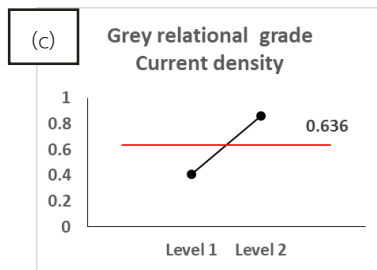


Figure 6 GRG plot for each level of a). Plating time, b). Electrolyte concentration, c). Current density

After optimal condition of copper electroplating was obtained, which is plating time level2 (5 hours), electrolyte concentration level2 (1 Mol) and current density level2 (5.4 A/dm<sup>2</sup>). The predicted GRG can be calculated by using (11)

$$Y_{\text{predicted}} = Y_m + \sum_{i=1}^q Y_o - Y_m \quad (11)$$

Where  $Y_{\text{predicted}}$  is the predicted GRG,  $Y_m$  is the mean GRG,  $Y_o$  is the maximum of average GRG and  $q$  is number of factors affecting response values. Then the confirmation of the predicted optimal parameter was conducted and compared with the condition that given the best result in the experiment. The confirmation test result is as shown in Table 10.

Table 10 Predicted GRG & confirmation test result

	Best of experiments	Predict	Difference
	Level 2-1-2	Level 2-2-2	
GRG	0.819	0.904	10.46%
SR	0.277	0.191	31.05%
TWR	1.322x10 <sup>-7</sup>	2.126 x10 <sup>-7</sup>	-60.82%
MRR	0.783	0.78	-0.45%

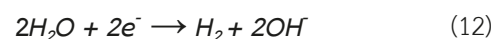
From the confirmation testing result, the predict condition of plating time level 2 (5 hours), electrolyte concentration level 2 (1 Mol) and current density level2 (5.4 A/dm<sup>2</sup>) given the better result of surface roughness

than the best result of the experiment from the condition of plating time level 2 (5 hours), electrolyte concentration level 1 (0.5 Mol) and current density level 2 (5.4 A/dm<sup>2</sup>), even though the result of TWR and MMR still inferior than the best result of experiment. The difference in the TWR and MMR's results are small and can be negligible. In order to confirm the result the optimal condition copper electroplating graphite electrode. The testing with the same EDM condition by using copper electrode was conducted and the result was compared with the optimal condition as shown in Table 11.

Table 11 Performance comparison

Mean	Optimal	Cu 100%
SR(μm)	0.191	0.197
TWR(mm3/min)	2.126x10 <sup>-7</sup>	1.580 x10 <sup>-7</sup>
MRR(mm3/min)	0.780	0.85

From the result of performance for the optimal condition when comparing with copper electrode. It can be said that the performance in surface roughness of copper electroplating graphite electrode is on the same level as the copper electrode, however the tool wear rate and material removal rate is still inferior to the copper which the reason might be from the electrolyte using in the electroplating process which contain H<sub>2</sub>O. While electroplating, H<sub>2</sub>O receiving electrons producing H<sub>2</sub> and OH as shown in (12) [12], causing air gap in the copper layer, resulted in poor electric conductivity and structure for the electrode.



#### IV. CONCLUSION

The optimal condition of 5 hours in electroplating time, 1 mol of electrolyte concentration and current density of 5.4 A/dm<sup>2</sup>. The optimal condition's copper

electroplating graphite electrodes were successfully in producing workpiece's surface roughness of  $0.191 \mu\text{m}$  in the same level as copper electrode of  $0.197 \mu\text{m}$  in glossy mirror EDM process. However there's still the room for the improvement in the tool wear rate and material removal rate which in this experiment result can be consider inferior from the level of copper electrode. The author suggests in changing copper electroplating method from using copper (II) sulfate which contain 5 atoms of  $\text{H}_2\text{O}$  to other solution of copper which doesn't contain  $\text{H}_2\text{O}$  or the substance that could be resulted in the increasing of electric resistivity or causing the irregularity in the electroplating process. Furthermore, considering the alternate electrode quality check process such as testing electrical conductivity due to material conductivity's affect the quality of electrode in the EDM process.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The authors thanks TNI for providing copper and graphite material for preparing electrode and electroplating process and helping with EDM machine and surface roughness testing machine.

#### REFERENCES

- [1] D. Kaewdook. *et al.* (2020). EDM machine operation [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/1cehl2t6aGFzmDT0VlfSxdeCVul990UA/>
- [2] P. Kumar, A. Tiwari, A. Kumari, and A. Majumder, "Compatibility of copper graphite as an electrode in sinking EDM accordance of electro thermal and mechanical properties," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 4, no. 4, pp. 1219-1222, Apr. 2015.
- [3] A. Ali Khan, M. Yeakub Ali, and M. Haque, "A study of electrode shape configuration on the performance of die sinking EDM," *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 19-23, Jun. 2009.
- [4] M. Darsin, Y. Hermawan, and A. Rachmat, "Variation of surface roughness on electrical discharge machining die sinking caused of different electrode material, current, and on Time," in *12<sup>th</sup> International Conf. on Quality in Research*, Bali, Indonesia, Jul. 2011, pp. 956-961.
- [5] M. Hourmand, S. Farahany, A. A. D. Sarhan, and M. Y. Nordin, "Investigating the electrical discharge machining (EDM) parameter effects on Al-Mg<sub>2</sub>Si metal matrix composite (MMC) for high material removal rate (MRR) and less EWR-RSM approach," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 77, no. 5, pp. 831-838, Mar. 2015.
- [6] P. M. Lonardo and A. A. Bruzzone, "Effect of Flushing and Electrode Material on Die Sinking EDM," *CIRP Annals*, vol. 48, no. 1, pp. 123-126, Jan. 1999.
- [7] V. V. Reddy, P. V. Krishna, M. Jawahar, and B. S. Kumar, "Optimization of process parameters during EDM of SS304 using taguchi - grey relational analysis," *Materials Today*, vol. 5, no. 13, pp. 27065-27071, Dec. 2018.
- [8] P. A. Sylajakumari, R. Ramakrishnasamy, and G. Palaniappan, "Taguchi grey relational analysis for multi-response optimization of wear in co-continuous composite," *Materials*, vol. 11, no. 9, pp. 1-17, Sep. 2018.
- [9] M. Kumar and H. Singh, "Multi response optimization in wire electrical discharge machining of Inconel X750 using Taguchi's technique and grey relational analysis," *Cogent Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1-14, Nov. 2016.
- [10] T. Muthuramalingam and B. Mohan, "Taguchi-grey relational based multi response optimization of electrical process parameters in electrical discharge machining," *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, vol. 20, no. 6, pp. 471-475, Dec. 2013.
- [11] B. Suksawadi. (2019). Taguchi Method for Optimization Problems [PowerPoint slides]. Available: <https://drive.google.com/file/d/1eZMQGloOkxmYYiep184NkH8Yo4-FAi-7/>
- [12] N. N. Le *et al.*, "Optimization of copper electroplating process applied for microfabrication on flexible polyethylene terephthalate substrate," *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 6, no. 3, pp. 1-6, May 2015.



# Power Consumption and Surface Quality Optimization of Cutting Condition for S50C Material in Turning Process using Means Utility Concept and Taguchi Method

Akaranun Asavarutpokin<sup>1\*</sup> Jinjutha Sae-Lee<sup>2</sup> Don Kaewdook<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>*Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University,  
Thon Buri, Bangkok, Thailand, 10600*

<sup>2</sup>*Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology, Suanluang, Bangkok, Thailand, 10250*

\*Corresponding Author. E-mail address: akaranun@bsru.ac.th

Received: 12 May 2020; Revised: 22 May 2020; Accepted: 16 June 2020

Published online: 25 June 2020

## Abstract

This paper aims to study the effects of cutting condition to the power consumption and surface quality in turning process on mild steel S50C. The machine was used in this study is CNC turning and carbide cutting tool. The optimize process parameters by means utility concept and Taguchi technique applied to identify the machinability and energy efficiency. The three types of process parameters with five different levels including, cutting speed, feed rate, and depth of cut have been used in this work. The selection of these parameters was based on literature review, and tool manufacturing recommendations. The Taguchi orthogonal array  $L_{25}(5^3)$  have been used for conducting the experiments. The results shown that most significant factor for power consumption is depth of cut (60.58%) followed by feed rate (30.27%) and cutting speed (4.36%). For surface roughness, the most significant factor is feed rate (98.49%) followed by depth of cut (0.99%), and cutting speed (0.02%). Nevertheless, the minimum power consumption of machine condition is in contrast to the surface roughness quality. Therefore, this technique can be applied for production planning to control the product quality and machining cost.

**Keywords:** Power consumption, cutting condition, Turning process, S50C, Taguchi method, Surface roughness

## I. INTRODUCTION

Manufactured products require machining at some stage of their production sequence. Machining process is the removal of unwanted materials (machining allowance) from the workpiece so as to obtain a finished product of the desired size, shape, and surface quality [1]. The energy consumption in machining contributes a significant part of manufacturing cost and produces a great environmental impact. The turning CNC machine working principle is similar to general machinery, but different in the control systems of the driven mechanism its use computer numerical control the motors instead of the manual command [2]. The characteristic of product is depending on cutting parameters i.e. cutting speed, feed, depth of cut. The carbon steel JIS S50C is widely used in machinery manufacturing, good mechanical properties. Generally, S50C use to make mechanical parts, like spring, gear, tension bar, the roller, the axis, the load spindle etc. Design of experiment is the method, which is used to study the experimentations of industrial processes for finding statistical significance, relationships and optimize machining processes parameters [3].

Therefore, the objectives of this experiment aim to demonstrate the difference in the values of the cutting parameters for characterize power consumption in machining process. In addition, the relationship between cutting parameters, energy consumption and surface roughness were analyzed.

## II. LITERATURE REVIEW

In machining process studies investigations, statistical design of experiments is used quite extensively.

Aman et al. [4] have studied the power consumption on CNC machine using response surface methodology and Taguchi's technique. The most

significant factor in minimizing power consumption is cutting speed following by depth of cut.

Carmita et al. [5] research machining condition on material AISI 6061 T6, the result showed that feed rate is the most significant factor for minimizing energy consumption and surface roughness.

Salem et al. [6] using multi-objective optimization technique on dry machining of SUS 316. The most significant factor onto surface roughness was feed rate followed by cutting speed.

Jagannatha et al. [7] used the utility concept identify the factor for multi-response optimization problems. It found that is good agreement between the predicted values and experimental values of optimization.

## III. RESEARCH METHODOLOGY

The machine was use in this study is CNC turning Mori Seiki Dura Turn 2030 with the Sandvik cutting tool model CNMG 120408 QM 4325 [8]. The material is plain carbon steel S50C in JIS standard. The experiment condition use CNMG 120408 QM 4325 Idemitsu coolant fluid during the cutting process. All the experiments were repeated five times and average values of all experimental. We use Taguchi Method, orthogonal array L25 and S/N ratio analysis in order to find out the optimal values of cutting parameters that minimize the response variable. The design of experiment is 25 sample with 3 factors and 5 levels The process parameters and design methodology to 3 factor 5 level including cutting speed; 258 m/min, 315 m/min, 345 m/min, 375 m/min, 405 m/min feed rate; 0.2 mm/rev, 0.275 mm/rev, 0.35 mm/rev, 0.425 mm/rev ,0.5 mm/rev and dept of cut; 1 mm, 2.25 mm, 3.5 mm, 4.75 mm, 6 mm. manufacturing recommendations as shown in Table 1 and Table 2.

Table 1 Parameters level

Level	Velocity (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth of Cut (mm)
1	285	0.2	1
2	315	0.275	2.25
3	345	0.35	3.5
4	375	0.425	4.75
5	405	0.5	6

Table 2 Experiment Details

No. of Experiment	Velocity (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth of Cut (mm)
1	285	0.2	1
2	285	0.275	2.25
3	285	0.35	3.5
4	285	0.425	4.75
5	285	0.5	6
6	315	0.2	2.25
7	315	0.275	3.5
8	315	0.35	4.75
9	315	0.425	6
10	315	0.5	1
11	345	0.2	3.5
12	345	0.275	4.75
13	345	0.35	6
14	345	0.425	1
15	345	0.5	2.25
16	375	0.2	4.75
17	375	0.275	6
18	375	0.35	1
19	375	0.425	2.25
20	375	0.5	3.5
21	405	0.2	6
22	405	0.275	1
23	405	0.35	2.25
24	405	0.425	3.5
25	405	0.5	4.75

The specimen size diameter 48 mm x 72 mm in length, running experiment following all condition on Table 2. The power meter Fluke 438-II were use in this

study for correct the power consumed of each batch and analysis with software Power log 430-II. The surface quality was use Mitutoyo surface testing machine model SV-3100 to finding arithmetical mean roughness value ( $R_a$ ) and average maximum peak ( $R_z$ ) as shown in Figure 1.

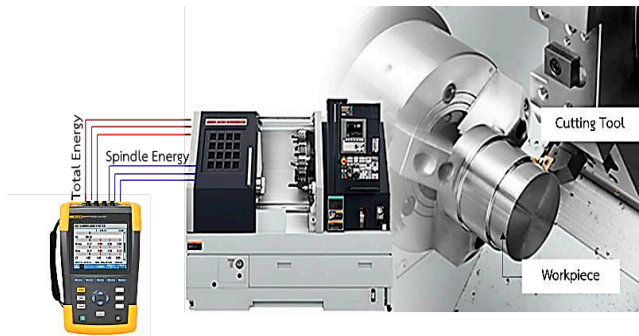


Figure 1 Experimental setup of power measurement

#### IV. RESULTS AND DISCUSSION

##### *Influence of power consumption*

The experimental results of power consumption all motors of machine in the average from 5 times experiment are presented in Table 3.

Table 3 Average power consumption

No.	Power Usage (kW)
1	3.54
2	8.34
3	11.34
4	14.7
5	17.28
6	7.86
7	10.2
8	12.06
9	15.48
10	6.6
11	8.04
12	9.78
13	13.14
14	7.38
15	10.38

Table 3 Average power consumption (Cont.)

No.	Power Usage (kW)
16	7.44
17	10.68
18	5.22
19	8.46
20	12.78
21	8.88
22	3.96
23	7.38
24	11.4
25	15.9

Table 4 Average surface roughness (Cont.)

No. of Experiment	Ra (um)	Rz (um)
23	3.661	14.269
24	4.456	17.899
25	6.245	24.565

### Surface roughness

The experimental results of surface roughness in  $R_a$  and  $R_z$  are presented in Table 4.

Table 4 Average surface roughness

No. of Experiment	Ra (um)	Rz (um)
1	1.505	6.018
2	2.565	10.809
3	3.323	13.581
4	4.63	18.003
5	6.056	24.793
6	1.456	6.837
7	2.283	9.96
8	3.389	13.904
9	5.199	22.813
10	5.702	21.678
11	1.459	6.526
12	2.263	9.487
13	3.761	15.099
14	4.464	17.196
15	6.086	23.628
16	1.489	6.894
17	2.626	11.118
18	3.28	13.051
19	4.832	18.94
20	5.674	22.372
21	1.599	6.771
22	2.252	9.156

### ANOVA Analysis Result

The Main effects which influence the 5 cutting conditions that affect power consumption are presented in Figure 2

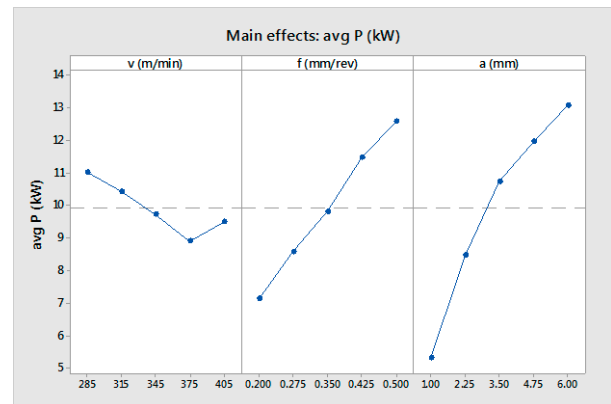


Figure 2 The main effects of the average power consumption (avg P, kW).

The Main effects which influence the 5 cutting conditions that affect surface smoothness are presented in Figure 3.

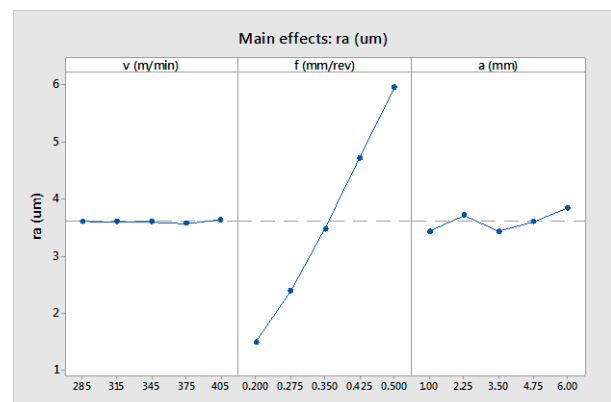


Figure 3 The main effects of surface smoothness (ra, um).



## V. CONCLUSION

The results of turning process for S50C confirmed with mean utility concept and Taguchi's technique shown that, for minimizing of total energy consumed, dept of cut is the most significant factor (60.58%) followed by feed rate (30.27%) and cutting speed (4.36%). The minimize of power consumption is 3.54 kW at the cutting parameters as  $V=285$  m/mm,  $f=0.2$  mm/rev and  $a=1$  mm. The most optimal parameter effective to surface roughness is feed rate (98.49%), The height quality of surface roughness  $R_a=1.456$  at the condition as  $V=315$  m/mm,  $f=0.2$  mm/rev and  $a=2.25$  mm at the increasing of feed rate the surface quality will be significantly reduced.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the faculty of engineering Thai Nichi Institute of Technology (TNI), Sandvik Thailand Co., Ltd. We thank our colleagues from production engineering department who provided insight and expertise that greatly assisted the research.

## REFERENCES

- [1] A. Hassan and E. H. Gawad, "Cutting cylindrical Surfaces," in *Fundamentals of Machining Processes-Conventional and Nonconventional Processes*, 2nd ed. New York, NY, USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2014, ch. 5, pp. 112-158.
- [2] G. Y. Zhao, Y. B. Guo, Z. Y. Liu, Y. He, and H. J. Cao, "Energy Consumption in Machining: Classification, Prediction, and Reduction Strategy," *Energy*, vol. 133, pp. 142-157, Aug. 2017.
- [3] R. C. V. Nostrand, "Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement," *Technometrics*, vol. 44, no. 3, pp. 289-289, Aug. 2002.
- [4] A. Aggarwal, H. Singh, P. Kumar, and M. Singh, "Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's technique—A comparative analysis," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 200, no. 1, pp. 373-384, May 2008.
- [5] C. C. Negrete, "Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA," *Journal of Cleaner Production*, vol. 53, pp. 195-203, Aug. 2013.
- [6] S. A. Bagaber and A. R. Yusoff, "Multi-objective optimization of cutting parameters to minimize power consumption in dry turning of stainless steel 316," *Journal of Cleaner Production*, vol. 157, pp. 30-46, Jul. 2017.
- [7] N. Jagannatha, S. S. Hiremath, and K. Sadashivappa, "Analysis and Parametric Optimization of Abrasive Hot Air Jet Machining for Glass using Taguchi Method and Utility Concept," *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*, vol. 7, no. 1, pp. 9-15, 2012.
- [8] Sandvik, "CNMG 12 04 08-QM 4325," SANDVIK. COROMANT.com <https://www.sandvik.coromant.com/en-b/products/pages/productdetails.aspx?c=CNMG+12+04+08-M+4325> (accessed Feb. 18, 2020).



# Study on The Color Feature of Harajuku-type Kawaii Fashion Comparison with Street Snap Images Using Colorfulness

Peeraya Sripian<sup>\*1</sup> Keiko Miyatake<sup>2</sup> Michiko Ohkura<sup>3</sup>

<sup>\*1</sup>*College of Engineering, Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan*

<sup>2</sup>*Faculty of Home Economics, Kyoritsu Women's University, Tokyo, Japan*

<sup>3</sup>*SIT Research Laboratories, Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan*

\*Corresponding Author. E-mail address: peeraya@shibaura-it.ac.jp

Received: 17 March 2020; Revised: 8 May 2020; Accepted: 16 June 2020

Published online: 25 June 2020

## **Abstract**

This research focuses on Harajuku-type Kawaii fashion style. Based on the fashion experience of the second author, we made the hypothesis that Harajuku-type Kawaii fashion contains high saturation and a large variety of color. In this work, we objectively tested these hypotheses by preparing original data sets of 3 styles: Harajuku-type Kawaii fashion, Harajuku Street snaps, and Shibuya Street snaps. We calculate saturation and employ colorfulness to quantify the variety of colors. The data sets were selected and properly modified based on heuristic rules according to the fashion experience so that each data set contains only images with typical features of its style. From the data analysis, we found that the saturation and colorfulness of Harajuku-type Kawaii fashion is statistically higher than the other two data sets. As a result, we successfully verified that Harajuku-type Kawaii fashion is very distinct in its saturation and colorfulness with statistical evidence.

**Keywords:** Harajuku-type Kawaii fashion, Fashion images, Colorfulness

## I. INTRODUCTION

Since Japan's Ministry of Foreign Affairs (MOFA) appointed "Kawaii Ambassadors" in 2009 to promote the understanding and propagation of Japanese pop culture around the world, "Kawaii" was officially recognized and used as a foreign policy tool. Kawaii concept attracts attention and has made a large impact around the world, not only in aesthetic [1] or entertainment but also in areas like system design and engineering [2], affective engineering [3] and so on. Although Kawaii research in various fields of study has been increasing, little attention has been paid to fashion. This is contradicting to the recent fashion industry trend. In this study, our target is the fashion for adult female in Tokyo aiming at the contribution to the fashion industry. The second author has investigated the transition of Kawaii fashion trends in Japan. She found that the current "Kawaii" fashion in Japan that is well known both domestically and internationally is found to originate from the street fashion at Harajuku [4].

The fashion at Harajuku is well known for Harajuku Kawaii, which was originally termed and spread internationally by Masuda Sebastian [5]. Masuda is an artist and a producer of a Japanese pop singer, Kyary Pamyu Pamyu, one of Japan's biggest pop stars and an eccentric princess of Harajuku fashion. Kyary's Kawaii style is characterized by the presence of something a little weird or a little grotesque, the mix of disparate elements which at first glance may seem contradictory, but in reality, are not [6]. Pigtails, oversized ribbons, colorful items, gothic fantasy elements-imagery like skulls and crossbones, eyeballs, blood, and studded clothing are often used in her fashion decoration or music videos [7]-[8].

As for examples including similar expression of the fashion at Harajuku, we can observe the work by Japanese finalist in the 2016 international fashion

contest [9] or the award-winning work from international and practical contest [10]. Those works contain combinations of colors and design which we had never seen before. Also, according to the book about the worldwide view on Kawaii fashion by Sakurai [11], the evaluation of "KAWAII" value must include "Japanese-like, Tokyo-like nuance, and Harajuku fashion is known as Kawaii for girls worldwide.

Given these backgrounds, the second author began her research on Kawaii fashion at Harajuku. She investigated Harajuku street fashion and found that the fashion at Harajuku can be further classified into two types; the Lolita fashion and the otherwise [4]. The Lolita fashion was developed with the motif of European Baroque style and Rococo style, often feature clothing with frills and laces, decorated with many girly accessories [12]. Apart from the Lolita fashion is a kind of fashion that create somehow an impression of disorganized Pop-style by destroying all fashion rules. This style was named as Harajuku-type Kawaii fashion [13]. Harajuku-type Kawaii fashion style does not include only clothing in consideration but also accessories, hairstyle or makeups. An example of Harajuku-type Kawaii fashion style is shown in figure 1.



Figure 1 *Harajuku-type Kawaii fashion style*. The photo is a derivative of "IMG\_2680" by Dennis A. Amith (source <https://www.flickr.com/photos/kndynt2099/16563647067/>), JI-ENT, used under CC BY-NC 2.0 / Cropped from original.



Figure 2 Example of images in Harajuku Street snaps and Shibuya Street snaps data sets.

We collected fashion images that represent Harajuku-type Kawaii fashion and analyzed the images. The analysis results were summarized based on individual fashion items including hairstyles and overall look in [13]. As for individual fashion items, we found that hair colors were often characterized by unusual and flashy impressions. Their clothes, accessories, bags, socks, and shoes all had unique designs. Clothing colors were vivid, fluorescent, or multi colors. Materials were translucent and glittery laminated. Since colors and materials were individually unique, avant-garde and weird items could be observed. Kitsch and Surreal impressions which people hesitate to use in general were adopted. On the other hand, from the overall look, we observed the “mixed style” created by multiple or unique colors, materials, items, and impressions. Even employing bad taste elements, Harajuku-type Kawaii fashion could be sublimated as more creative and different from the ordinary fashion style.

The above analysis was made by the second author, who has a rich experience in fashion. Although there are many elements of fashion such as colors, materials, items, we focus only on color in this paper. To statistically verify these results, we made the following hypotheses regarding Harajuku-type Kawaii fashion.

- Harajuku-type Kawaii fashion contains high saturation clothing [14].

- Harajuku-type Kawaii fashion contains large variety of color combinations.

In this paper, we will statistically prove these hypotheses by data collection, data preprocessing, and then analysis using saturation and colorfulness. Colorfulness [15] is a perceptually based metric obtained by fitting the calculation parameters to the results of psychophysical category scaling experiment. It is used for image quality assessment, such as quality evaluation after image compression [16]-[18]. To prove the second hypothesis, we used colorfulness as an image quantitative feature to represent a variety of colors. No research has used it for this purpose before.

## II. DATA PREPARATION

### A. Data Collection

Fashion images were collected for the following data sets:

- Harajuku-type Kawaii fashion
- Harajuku Street snaps
- Shibuya Street snaps.

Image collection for each data sets was carried out by Japanese female students enrolled in the Department of Textile and Clothing, Faculty of Home Economics, Kyoritsu Women’s University. These students were educated on fashion design and had extensive knowledge and personal interest in fashion. They also have part-time jobs in the fashion industry.



















	Top 3			Middle 3			Bottom 3		
Harajuku Street snaps									
Colorfulness	84.14	78.57	72.61	31.14	29.00	28.44	18.69	17.56	16.33
Shibuya Street snaps									
Colorfulness	60.84	57.93	44.16	25.03	24.20	23.45	18.81	18.25	17.32

Figure 3 Preprocessed images from original images in Harajuku and Shibuya Street snaps data sets shown in figure 4, with colorfulness values. The table shows images with top three, middle three, and bottom three colorfulness within the data set accordingly. Images collected for Harajuku-type Kawaii fashion cannot be included in the publication due to Instagram copyright.

They have studied the second author's research and understand Harajuku-type Kawaii fashion with their own sense. The selected images were verified their appropriateness according to the second author's experience. Therefore, the data set contains only the images that represent each style's characteristic. The characteristics of Harajuku-type Kawaii fashion are vivid, fluorescent and multicolor, with a mixture of Kitsch and Surreal impressions [13] as described in the introduction (Section 1).

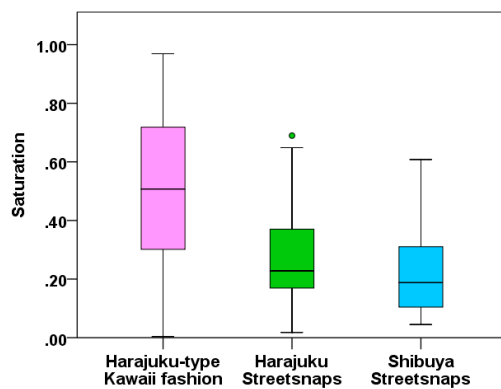


Figure 4 The boxplot comparison of saturation values of the 1st dominant color for each fashion styles [14].

Images for Harajuku-type Kawaii fashion data set were selected from influencer's Instagram™ account. Due to the copyright restriction of Instagram™, the example of Harajuku-type Kawaii fashion data sets cannot be shown in this manuscript. We can only introduce figure 1 and figure 5 to show information related to Harajuku-type Kawaii fashion data set instead. We chose the images for each data set of Harajuku Street snaps and Shibuya Street snaps from the website of Style-arena.jp. However, to choose the data set of those two street snaps can possibly ambiguous because Harajuku and Shibuya are close to each other. Figure 2 shows an example of collected images for Harajuku and Shibuya Street snaps data set.

#### B. Data Preprocessing

The collected images have various backgrounds, which could interfere with the analysis, as seen in figure 2. Therefore, it is necessary to remove the background before proceeding to data analysis.

A regular RGB image contains 24 bits value pixel information (R, G, B channel). To discard all pixels that represent background. We employ 32 bits image that





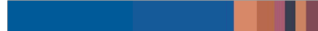









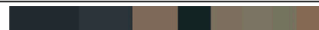












Harajuku-type Kawaii fashion (N=61)		Harajuku Street snaps (N=41)		Shibuya Street snaps (N=20)	
Order	Top 8 <sup>th</sup> Dominant colors	Order	Top 8 <sup>th</sup> Dominant colors	Order	Top 8 <sup>th</sup> Dominant colors
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
30		19		9	
31		20		10	
32		21		11	
59		39		18	
60		40		19	
61		41		20	

Figure 5 Example of top 8<sup>th</sup> dominant colors extracted from nine example images in Harajuku-type Kawaii fashion, Harajuku Street snaps, and Shibuya Street snaps data set [14]. The table shows the image's order number, sorted from the highest saturation value to the lowest saturation value of the 1<sup>st</sup> dominant color, with the top 8<sup>th</sup> dominant colors shown in a color bar of that image respectively. The different color width in the color bar represents the ratio.

can represent the pixel value as 4 channels; RGBA, where A represents an Alpha value. An alpha channel contains a pixel's transparency information.

For data preprocessing, we semi-automatically segment each image using Photoshop™. The image data was re-written in 32-bits .PNG file format to contain an alpha channel. The alpha channel contains only 1 or 0 as the indication for foreground or background region in the image. Figure 3 shows the preprocessed images from the collected images for Harajuku and Shibuya Street snaps in figure 2.

### III. FIRST HYPOTHESIS

Regarding the first hypothesis, we introduce our previous work [14], which was done around 6 months before proving the second hypothesis. We employed the method consisting of data collection, data preprocessing, and data analysis. We collect images for data set as follows;

- Harajuku-type Kawaii fashion (N=61)
- Harajuku Street snaps (N=41)
- Shibuya Street snaps (N=20).

For data analysis, we extract the saturation from each image in the data set. Saturation defines the brilliance and intensity of a color. High saturation colors look rich and full while low saturation colors look dull and grayish. For each image, we performed a conversion from RGB to HSV representation. Then, we performed color quantization to reduce the number of colors to 72 and created a histogram with 72 bins. The values of the histogram were normalized in each image. After that, we sorted the histogram in the decreasing order. The colors in the first eight bins were the eight dominant colors of that image. Figure 4 shows the boxplot comparison of the saturation value of the 1<sup>st</sup> dominant color for each data set. We further show eight dominant colors from images that have the top three, middle three and bottom three saturation value of the 1<sup>st</sup> dominant color in figure 5. The eight dominant

Table 1 Min and max saturation values of the 1<sup>st</sup> dominant color for all images.

	Harajuku Kawaii	Harajuku Streetsnap	Shibuya Streetsnap
Min	0.0039	0.0177	0.045
Max	0.9691	0.6896	0.6079



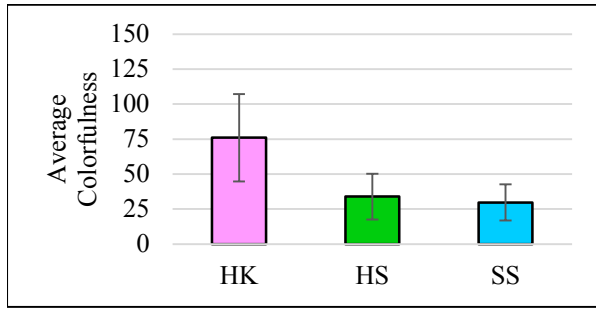


Figure 6 The comparison of the average colorfulness for Harajuku-type Kawaii fashion (HK), Harajuku Street snaps (HS), and Shibuya Street snaps (SS)

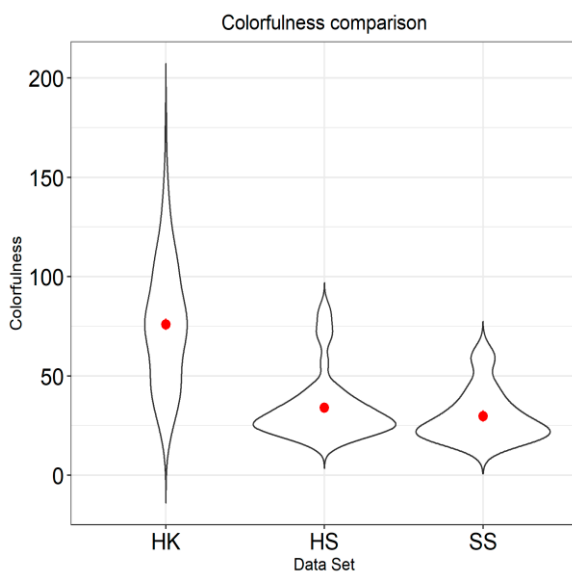


Figure 7 Violin plot for comparison of the distributions of colorfulness between data sets

Table 2 Min and max colorfulness values for all images.

	Harajuku Kawaii	Harajuku Streetsnap	Shibuya Streetsnap
Min	18.89	16.33	17.32
Max	174.50	84.14	60.84

colors are shown in color bars with interval width as a ratio. Also, the min-max saturation values of the 1<sup>st</sup> dominant color for each data set are shown in table 1. From the analysis, we found that Harajuku-type Kawaii fashion contains significantly highest saturation, followed by the Harajuku Street snaps and Shibuya Street snaps accordingly.

#### IV. SECOND HYPOTHESIS

Table 3 The correspondence between the colorfulness attributes and the value of C [9].

No.	Attribute	Value of C
1	Not colorful	>0
2	Slightly colorful	>15
3	Moderately colorful	>33
4	Averagely colorful	>45
5	Quite colorful	>59
6	Highly colorful	>82
7	Extremely colorful	>109

Table 4 The ratio of images in each data set classified into each colorfulness attribute.

No.	Ratio of images in the data set (%)		
	Harajuku-type Kawaii fashion	Harajuku Street Snaps	Shibuya Street Snaps
1	0.0	0.0	0.0
2	6.2	65.9	70.0
3	14.2	22.0	20.0
4	12.4	2.4	5.0
5	27.4	7.3	5.0
6	24.8	2.4	0.0
7	15.0	0.0	0.0

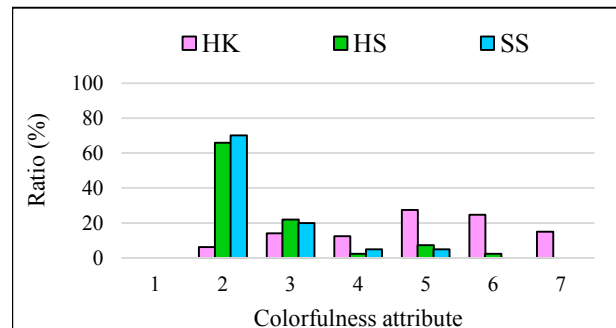


Figure 8 The chart shows ratio (%) of images classified into each colorfulness attribute.

##### A. Background

To prove the second hypothesis, we employ the colorfulness proposed by Hasler and Ssstrunk [15]. The colorfulness can be calculated by defining the opponent color values using Equations 1 and 2 with  $R_p$ ,  $G_p$ , and  $B_p$  are the value in the Red, Green, and Blue channel accordingly. For each image, we calculate Equations (1) and (2) of each pixel. The results of  $u$  and  $v$  for all pixels are stored in one dimensional array accordingly.

$$u_p = R_p - G_p \quad (1)$$

$$v_p = \frac{1}{2}(R_p + G_p) - B_p \quad (2)$$

Then,  $\mu_{uv}$  and  $\sigma_{uv}$  are computed using Equations (3) and (4). In the equations,  $\mu_u$  and  $\sigma_u$  are the mean and the standard deviation of  $u_p$ , while,  $\mu_v$  and  $\sigma_v$  are the mean and the standard deviation of  $v_p$ . Equation (5) shows the calculation of the final colorfulness:  $C$ .

$$\mu_{uv} = \sqrt{\mu_u^2 + \mu_v^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{uv} = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \quad (4)$$

$$C = \sigma_{uv} + \alpha \cdot \mu_{uv} \quad (5)$$

We use  $\alpha = 0.3$  in our work similar to Hasler and Süssstrunk [15].

### B. Data Analysis

We employ data collection and data preparation as described above in Section II (Data Preparation). The number of the images for Harajuku-Kawaii type fashion used in the study to test the second hypothesis was larger than that used in the study to test the first hypothesis because the former study was performed 6 months later than the latter, and we continued to collect images during that. Therefore, we increased the number of images that represent Harajuku-Kawaii type fashion to N=113. Harajuku Street snaps and Shibuya Street snaps data sets are the same as before.

We computed the colorfulness,  $C$ , for every preprocessed fashion image in each data set. The high colorfulness value indicates that the fashion image contains a variety of colors.

Figure 3 shows the preprocessed images of Harajuku and Shibuya Street snaps data set and the corresponding colorfulness. The min-max colorfulness values for each data set are shown in table 2.

A one-way ANOVA was conducted to determine if the colorfulness was different across data sets. There were no outliers, and the data were normally distributed for all data sets. A significant main effect was found (Welch's  $F(2, 68.758)=77.787$ ,  $p<0.001$ ).

Figure 6 shows the averages and standard deviation for Harajuku-type Kawaii fashion (HK,  $\mu_{HK}=75.99$ ,  $\sigma_{HK}=31.3$ ), Harajuku Street snaps (HS,  $\mu_{HS}=33.98$ ,  $\sigma_{HS}=16.33$ ) and Shibuya Street snaps (SS,  $\mu_{SS}=29.76$ ,  $\sigma_{SS}=12.94$ ). From the graph, HK has the highest colorfulness among all data sets, followed by HS and SS accordingly.

Games-Howell post hoc analysis revealed the main significant difference between HK and HS ( $p<0.001$ ), and between HK and SS ( $p<0.001$ ). However, there is no significant difference between HS and SS. These analysis results showed that although HK and HS can be observed in Harajuku, the colorfulness of HK is significantly higher than that of HS. Meanwhile, the colorfulness of HS and SS are similar.

Figure 7 shows density or violin plots of colorfulness of each data set. The red dots show the mean of colorfulness. The width of the area at each level of colorfulness shows the ratio of images in each data set. It can be seen from the figure that the colorfulness of HS and SS gathers around the averages, whereas the colorfulness of HK spreads in a wide range and the thickest section is not as large as the others. From the figure, the distribution of colorfulness in HK is totally different from HS and SS, while HS and SS are similar.

Hasler and Süssstrunk defined the correspondence between the value of  $C$  and the colorfulness attributes in [15], and we show them in table 3. We show the ratios of images for each colorfulness attribute in table 4 and figure 8, where the ratio was employed due to the difference in the total number of images in each data set. It can be seen from the figure that most images in HK are classified as “Quite colorful,” “Highly



colorful,” and “Extremely colorful” accordingly. Meanwhile, the colorfulness of images in HS and SS are mostly classified as “Slightly colorful.” Images in HK are apparently categorized in higher categories compared to images in HS and SS, while images in HS and SS are similarly categorized.

## V. DISCUSSION

In our research, there are novelties in data collection and data analysis described as follows:

The second author, an expert of fashion, selected only images of typical Harajuku-type kawaii fashion to build the data set. This data set is new because there are no Harajuku-type kawaii fashion data set with similar quality before. Inputting “Harajuku-type Kawaii fashion” as a word in a search engine, many images should be shown. However, if we employ those images for analysis, no significant result will be obtained because of the low quality of the data set as Harajuku-type kawaii fashion data set.

The comparison of colorfulness values showed that HK contain high variety, while HS and SS is similar. This finding is also supported by the distribution shape observed from figure 8. This is a new finding because no one statistically verified that Harajuku-type kawaii and Harajuku Street Snap are very different even they are in the same location.

The colorfulness value could result from all cases as follows

- An independent fashion item has each different color.
- Mix and match of different single-color fashion items.
- The combination of both.

High colorfulness is caused by any cases, which case does not matter because Harajuku-type Kawaii fashion includes all of the above cases [4], [13]. Hence, the

colorfulness value shows the difference between Harajuku-type Kawaii fashion from other fashion styles.

Besides, if the simple colorfulness value of a fashion image is high, there is a possibility that the fashion might be messy. However, our data set contains only the images of typical Harajuku-type Kawaii fashion, so there are no messy clothes.

In this research, we compared Harajuku-type Kawaii fashion to only Harajuku Street snaps, and Shibuya Street snaps because the fashion at other locations, such as Ginza, Omote Sando and Daikanyama are apparently different from those three, as they are classified as luxurious, modern and high-end [19]-[20], which are far from Harajuku-type Kawaii fashion.

Our proposed methods can be applied to other fashion styles as well. For example, to objectively define the distinctiveness of colorful scarf patterns of Hermes and Emilio Pucci from other high-end brands. Moreover, the colorfulness range could be used as a reference when designing a new pattern for those particular brands.

## VI. CONCLUSION

Kawaii concept is used to promote the understanding and propagation of Japanese pop culture around the world. Although there is much research on Kawaii in various field, little research has been conducted regarding Kawaii fashion. The second author investigated the transition of Kawaii fashion trends in Japan and found that they were originated from the street fashion at Harajuku, which can be grouped into the Lolita fashion and the Harajuku-type Kawaii fashion [4].

We made two hypotheses that Harajuku-type Kawaii fashion contains high saturation and large variety of color combinations. We successfully verified them with our proposed method of data collection, data

preparation, and statistical data analysis using saturation and colorfulness.

Our proposed method can be applied not only for Harajuku-type Kawaii fashion analysis but also to other fashion styles, or other purposes as well. This study focused only color and found an interesting feature of Harajuku-type Kawaii Fashion. In future, data collection could be more systematic to contain more images.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We thank the website style-arena.jp for the permission to use street snaps photographs for making Harajuku and Shibuya Street Snaps data sets in our study.

#### REFERENCES

- [1] S. Ngai, *Our aesthetic categories: Zany, cute, interesting*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 2012.
- [2] A. D. Cheok, "Kawaii/Cute interactive media," in *Art and Technology of Entertainment Computing and Communication: Advances in Interactive New Media for Entertainment Computing*, London, U.K.: Springer London, 2010, ch.9, pp. 223-254.
- [3] M. Ohkura, T. Komatsu, and T. Aoto, "Kawaii rules: Increasing affective value of industrial products," in *Industrial Applications of Affective Engineering*, Switzerland: Springer Cham, 2014, pp. 97-110.
- [4] K. Miyatake, "Japanese Kawaii fashion-historic changes in trends and styles," (in Japanese), presented at the *Proc. 13<sup>th</sup> Spring Conf. of Japan Society of Kansei Engineering*, Nagoya, Japan, Mar. 2018.
- [5] M. Sebastian. "Matsuda Sebastian's Official Website." M-SEBAS.ASOBISYSTEM.com. <http://m-sebas.asobisystem.com> (accessed Mar 28, 2020).
- [6] S. Waka. "Kyary Pamyu Pamyu." WAKAPEDIA.it. <http://www.wakapedia.it/en/kyary-pamyu-pamyu/> (accessed Mar 28, 2020).
- [7] Nippon. "Kyary Pamyu Pamyu's J-Pop "Kawaii" in Paris," NIPPON.com. <https://www.nippon.com/en/views/b00113/kyary-pamyu-pamyu-s-j-pop-kawaii-in-paris.html> (accessed Mar 28, 2020).
- [8] P. S. Michel. "How J-Pop stars gain from the west's obsession with 'Weird' Japan." THEATLANTIC.com. <https://www.theatlantic.com/entertainment/archive/2012/06/how-j-pop-stars-gain-from-the-west-s-obsession-with-weird-japan/258565/> (accessed Mar 28, 2020).
- [9] Itsweb. "International Talent Support." ITSWEB.org. <https://www.itsweb.org/jsp/en/about/index.jsp> (accessed Mar 28, 2020).
- [10] Kobefashion. "Kobe Fashion Contest." KOBEFASHION.jp. <http://kobefashion.jp/about/> (accessed Mar 28, 2020).
- [11] S. Takamasa, *The revolution of Kawaii worldwide*, Japan: PHP SHINSHO (in Japanese), 2009.
- [12] M. Yahata, and A. Watanabe, "The roots of Lolita fashion - focus on street fashion after the 1980s," (in Japanese), *Annual Bulletin of Department of the Science and Living*, vol. 56, pp. 11-31, 2013.
- [13] K. Miyatake, P. Sripian, and M. Ohkura, "Study on style of Harajuku kawaii fashion (1st Report) - Design Features," (in Japanese), presented at the *20<sup>th</sup> Annual Meeting of Japan Society of Kansei Engineering*, Tokyo, Japan, Sep. 4-6, 2018.
- [14] P. Sripian, K. Miyatake, and M. Ohkura, "Study on style of Harajuku kawaii fashion (2nd Report). color features," presented at the *20<sup>th</sup> Annual Meeting of Japan Society of Kansei Engineering*, Tokyo, Japan, Sep 4-6, 2018.
- [15] D. Hasler, and S. E. Suesstrunk, "Measuring colorfulness in natural images," in *Proc. Vol. 5007, Human vision and electronic imaging VIII*, Santa Clara, CA, USA, Jun. 2003, pp. 87-96.
- [16] A. Medda and V. DeBrunner, "Color image quality index based on the UIQI," in *Proc. IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, Denver, CO, USA, Mar. 2006, pp. 213-217, doi: 10.1109/SSIAI.2006.1633753.
- [17] T. Y. Park, K. W. Ko, and Y. H. Ha, "Analysis of relationship between image compression and Gamut variation: JPEG and JPEG2000," *Journal of Imaging Science on Technology*, vol. 53, no. 6, pp. 60402-1-60402-12, Nov. 2009, doi:10.2352/J.ImagingSci.Technol.2009.53.6.060402.
- [18] M. Frackiewicz, and H. Palus, "New image quality metric used for the assessment of color quantization algorithms," in *Proc. Vol. 10341, Ninth International Conference on Machine Vision (ICMV 2016)*, Nice, France, 2017, pp. 1-5.



- [19] Z. Jiang, S. Y. Nagasawa, and J. Watada, "Luxury fashion brand image building: The role of store design in Bally and Tod's Japan," *Management Decision*, vol. 52, no. 7, pp. 1288-1301, 2014.
- [20] M. Chevalier and G. Mazzalovo, *Luxury brand management: A world of privilege*, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2012.



## คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความเพื่อลงตีพิมพ์

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น บทความที่นำเสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามรูปแบบที่กำหนด และพร้อมที่จะนำไปตีพิมพ์ได้ทันที การเสนอบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร มีรายละเอียดดังนี้

### 1. หลักเกณฑ์การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์

1.1 เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ หรือไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่นๆ และไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการใดมาก่อนทั้งในประเทศและต่างประเทศ หากตรวจสอบพบว่ามีการตีพิมพ์ซ้ำซ้อน ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.2 เป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีคุณค่าทางวิชาการ มีความสมบูรณ์ของเนื้อหา และมีความถูกต้องตามหลักวิชาการ

1.3 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewer) อย่างน้อย 2 ท่าน ต่อบทความ ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิอาจให้ผู้เขียนแก้ไขเพิ่มเติมหรือปรับปรุงบทความให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.4 กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามที่เห็นสมควร

1.5 บทความ ข้อความ ภาพประกอบ และตารางประกอบ ที่ตีพิมพ์ลงวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.6 ต้องเป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ ไม่ลอกเลียน หรือดัดทอนข้อความของผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

1.7 หากเป็นงานแปลหรือเรียบเรียงจากภาษาต่างประเทศ ต้องมีหลักฐานการอนุญาตให้ตีพิมพ์เป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์

1.8 ต้องมีการอ้างอิงที่ถูกต้อง เหมาะสมก่อนการตีพิมพ์ ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน

1.9 บทความที่ส่งถึงกองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่ส่งคืนผู้เขียน

### 2. รูปแบบการกลั่นกรองบทความก่อนลงตีพิมพ์ (Peer-review)

ในการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิเป็นการประเมินแบบ Double-blind peer review คือ ผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อและรายละเอียดของผู้เขียนบทความ และผู้เขียนบทความไม่ทราบชื่อและรายละเอียดของผู้ทรงคุณวุฒิ

### 3. ประเภทของบทความที่รับพิจารณาตีพิมพ์

นิพนธ์ต้นฉบับต้องเป็นบทความวิจัย ประกอบด้วย บทคัดย่อ บทนำ วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผล และเอกสารอ้างอิง

หมายเหตุ : บทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้หน้าบทคัดย่อภาษาไทยอยู่ก่อนหน้าบทคัดย่อภาษาอังกฤษ สำหรับบทความภาษาอังกฤษไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย

\* เอกสารอ้างอิง เป็นการบอกรายการแหล่งอ้างอิงที่มีการอ้างอิงในเนื้อหาของงานเขียน

## วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

### ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

#### 4. จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ได้คำนึงถึงจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ โดยจริยธรรมและบทบาทหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้อง มีดังนี้

##### จริยธรรมและหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผู้เขียนต้องเขียนบทความให้เป็นไปตามรูปแบบที่วารสารกำหนดไว้ในคำแนะนำสำหรับผู้เขียน
2. หากมีการนำข้อมูลของผู้อื่นหรือข้อมูลของผู้เขียนที่เคยตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาใช้ ผู้เขียนต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูลนั้น โดยไม่ทำให้ผู้อื่นเข้าใจผิดว่าข้อมูลนั้นเป็นผลงานใหม่ของผู้เขียน
3. ผู้เขียนต้องไม่ดัดแปลงหรือบิดเบือนข้อมูล
4. ผู้เขียนต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัย (ถ้ามี)
5. ผู้เขียนต้องเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับผลประโยชน์ทับซ้อนอย่างชัดเจน (ถ้ามี)

##### จริยธรรมและหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการต้องดำเนินการเผยแพร่วารสารให้ตรงตามเวลา
2. บรรณาธิการต้องคัดเลือกบทความ โดยพิจารณาจากคุณภาพและความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับขอบเขตของวารสาร
3. บรรณาธิการต้องดำเนินการประเมินบทความอย่างเป็นธรรม ไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความโดยใช้อคติ
4. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนบทความ และผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง
5. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน และผู้ประเมินบทความ
6. บรรณาธิการต้องใช้โปรแกรมในการตรวจสอบการคัดลอกผลงาน เพื่อป้องกันการตีพิมพ์ผลงานซึ่งคัดลอกมาจากผลงานผู้อื่น หากพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการพิจารณาบทความทันที และติดต่อผู้เขียนเพื่อขอคำชี้แจง

##### จริยธรรมและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความ ควรพิจารณาตอบรับการประเมินเฉพาะบทความที่สอดคล้องกับความเชี่ยวชาญของตนเองเท่านั้น เพื่อให้บทความที่ตีพิมพ์มีคุณภาพ
2. ผู้ประเมินบทความควรประเมินบทความให้แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อไม่ให้บทความที่ผ่านการพิจารณาตีพิมพ์ล่าช้า
3. ผู้ประเมินควรประเมินบทความโดยให้ข้อเสนอแนะตามหลักวิชาการเท่านั้น ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีเหตุผลหรือไม่มีข้อมูลรองรับ
4. ผู้ประเมินควรปฏิเสธการประเมินบทความ หากเห็นว่าตนเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน
5. ผู้ประเมินต้องไม่เปิดเผยเนื้อหาภายในบทความให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทราบ
6. หากผู้ประเมินเห็นว่ามีความเห็นที่ผู้เขียนไม่ได้กล่าวอ้างถึง แต่เป็นบทความที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับบทความ ผู้ประเมินควรแจ้งให้ผู้เขียนกล่าวอ้างถึงบทความนั้น

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี  
ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

5. ข้อกำหนดการจัดพิมพ์ต้นฉบับบทความ

ผู้เขียนต้องจัดพิมพ์บทความตามข้อกำหนดเพื่อให้มีรูปแบบการตีพิมพ์เป็นมาตรฐานแบบเดียวกัน ดังนี้

5.1 ขนาดของกระดาษ ให้ใช้ขนาด A4

5.2 กรอบของข้อความ ระยะห่างของขอบกระดาษ

ด้านบน 2.5 ซม. (0.98")

ด้านล่าง 2 ซม. (0.79")

ด้านซ้าย 2 ซม. (0.79")

ด้านขวา 2 ซม. (0.79")

5.3 ระยะห่างระหว่างบรรทัด หนึ่งช่วงบรรทัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Single)

5.4 ตัวอักษร รูปแบบของตัวอักษรให้ใช้ TH Sarabun New

5.5 รายละเอียดต่างๆ ของบทความ กำหนดดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ขนาด 22 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง

ชื่อผู้เขียน (Author) ขนาด 14 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง ไม่ต้องใส่คำนำหน้า

ที่ติดต่อผู้เขียน ขนาด 14 ตัวเอน กำหนดกึ่งกลาง

E-mail ผู้นิพนธ์ประสาน ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง

บทคัดย่อ (Abstract) จัดรูปแบบการพิมพ์เป็นแบบ 1 คอลัมน์ ชื่อหัวข้อ ขนาด 14 ตัวหนาและเอน กำหนดกึ่งกลาง ข้อความในบทคัดย่อ ขนาด 14 ตัวธรรมดา

คำสำคัญ (Keywords) ให้ใส่คำสำคัญ 4-5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ได้ บทคัดย่อ ขนาด 12 ตัวหนาและเอน กำหนดชิดซ้าย ข้อความในคำสำคัญ ขนาด 12 ตัวธรรมดา

รูปแบบการพิมพ์เนื้อหาของบทความ

- รูปแบบการพิมพ์เป็นแบบ 2 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ กว้าง 8.2 ซม. (3.23") ระยะห่างระหว่างคอลัมน์ 0.6 ซม. (0.24")

- หัวข้อหลัก ประกอบด้วย บทนำ (Introduction) วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Objectives) วิธีดำเนินการวิจัย (Methods) ผลการวิจัย (Results) สรุปและอภิปรายผล (Conclusions and Discussion) เอกสารอ้างอิง (References) ขนาด 14 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และมีเลขกำกับ เช่น 1) บทนำ และ I. Introduction เป็นต้น

- หัวข้อรอง ระดับที่ 1 ขนาด 14 ตัวเอน กำหนดชิดซ้าย

- หัวข้อรอง ระดับที่ 2 ขนาด 14 ตัวเอน กำหนดชิดซ้ายและเลื่อนเข้ามา 0.5 cm

- เนื้อเรื่อง ขนาด 14 ตัวธรรมดา

- ชื่อตาราง ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อเหนือตาราง

- หัวข้อในตาราง ขนาด 12 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง เนื้อหาในตาราง ขนาด 12 ตัวธรรมดา

- ชื่อภาพประกอบ ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อใต้ภาพ

- เนื้อหาในภาพประกอบ ขนาด 12 ตัวธรรมดา

5.6 เอกสารอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหาบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามมาตรฐานสากล โดยใช้หมายเลขในเครื่องหมายก้ามปู [ ] และเรียงลำดับการอ้างอิงตามเนื้อหา โดยมีตัวอย่างการเขียน เช่น [1] หรือ [2] หรือ [1], [2] หรือ [1], [3]-[8] หรือ [9], [10], [15], [16] หากมีการอ้างอิงซ้ำบทความเดิมให้ใช้หมายเลขเดิม ตัวอย่างเช่น by Brown [4], [5]; as mentioned earlier [2], [4]-[7], [9]; Smith [4] and Brown and Jones [5]; Wood *et al.* [7]

**วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี**  
**ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563**

2. รูปแบบของชื่อหัวข้อใช้รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun New ขนาด 14 ตัวธรรมดา ในเนื้อหาขนาด 12 ตัวธรรมดา
3. การอ้างอิงท้ายบทความ จะต้องเรียงตามลำดับบทความที่เขียนอ้างอิงในเนื้อเรื่อง และใช้การอ้างอิงตามรูปแบบการอ้างอิง IEEE ซึ่งผู้เขียนสามารถศึกษาวิธีการเขียนเอกสารอ้างอิงตามรูปแบบที่กำหนดได้ที่ <http://journals.ieeeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/sites/7/IEEE-Reference-Guide.pdf> โดยจะต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น หากบทความอ้างอิงมาจากบทความภาษาไทย ต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษให้ถูกต้อง
4. กรณีที่เอกสารที่นำมาอ้างอิงเขียนเป็นภาษาไทยให้เติมคำว่า “(in Thai)” เข้าไปในเอกสารอ้างอิงดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ**

**ตัวอย่างที่ 1 การอ้างอิงจากหนังสือ (Books)**

**Basic Format:**

[Number] J. K. Author, *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher, (only U.S. State), Country: Abbrev. of Publisher, year.

[Number] J. K. Author, “Title of chapter in the book,” in *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher, (only U.S. State), Country: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx-xxx.

**Examples:**

[1] V. Rijiravanich, *Work study: principles and case studies*, 4th ed. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press (in Thai), 2005.

[1] วันชัย ริจิรวนิช, *การศึกษาการทำงาน: หลักการและกรณีศึกษา*, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

**ตัวอย่างที่ 2 การอ้างอิงวารสาร (Periodicals)**

**Basic Format:**

[Number] J. K. Author, “Name of paper,” *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, Abbrev. Month, year.

**Examples:**

[2] N. Dechampai and K. Sethanan, “An application of lean manufacturing system in the textile of lean manufacturing system in the textile and garment industry case study: Wacoal Kabinburi Co., Ltd,” (in Thai), *MBA-KKU Journal*, vol. 7 no. 2, pp. 13-27, 2014.

[2] นิวัฒน์ เดชอำไพ และกาญจนา เศรษฐนันท์, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชุดชั้นในสตรีโดยประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน,” *วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษากิจการมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ปีที่7, ฉบับที่2, หน้า 13-27, 2557.

# วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

## ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

### ตัวอย่างที่ 3 การอ้างอิงจากการประชุมทางวิชาการ (Conferences and Conference Proceedings)

#### Basic Format:

[Number] J. K. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, City, State, Country, Month and day(s), year, Paper number.

#### Examples:

- [3] N. Kriengkarakot, P. Kriengkarakot, S. Duan P. Thung, and W. Piromsuk, "Repair work reduction in sewing process of the apparel factory," (in Thai), in Proc. of (10th UBRC) Ubon Ratchathani University National Research Conf., Ubon Ratchathani, Thailand, Jul. 7-8, 2016, pp. 87-96.
- [3] นุชสรุา เกรียงกรกฎ, ปรีชา เกรียงกรกฎ, สกาวเดือน พรหมทุ่ง และวิจิตร ภิรมย์สุข, "งานวิจัยการลดชิ้นส่วนงานซ่อมในขั้นตอนการเย็บของโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป," *การประชุมวิชาการระดับชาติ มอ. วิจัยครั้งที่ 10*, อุบลราชธานี, ประเทศไทย, 7-8 กรกฎาคม, 2559, หน้า 87-96.

### 6. วิธีการจัดส่งบทความ

ผู้เขียนส่งบทความออนไลน์ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal>

เมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความจะดำเนินการส่งบทความเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความและแจ้งผลการพิจารณาให้ผู้เขียนบทความทราบ สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิแล้วจะได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารเพื่อเผยแพร่ต่อไป

#### หมายเหตุ

1. ตามประกาศสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ฉบับที่ 004/2563 เรื่อง ยกเลิกการตีพิมพ์วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นแบบรูปเล่ม ปี 2563 มีรายละเอียดให้วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ยกเลิกการตีพิมพ์วารสารแบบรูปเล่ม ISSN 2351-0056 (Print) โดยให้เผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ ISSN 2672-9989 (Online) เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ให้มีผลตั้งแต่วันที่ 20 มกราคม 2563 เป็นต้นไป

2. ตามประกาศสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ฉบับที่ 005/2563 เรื่อง การเก็บค่าอ่านประเมินค่าอ่านประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น พ.ศ. 2563 มีรายละเอียดให้ ยกเลิกประกาศฉบับที่ 080/2561 เรื่อง การเก็บค่าธรรมเนียมสมาชิกรายปี ค่าอ่านประเมินบทความวิจัยโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และค่าตีพิมพ์บทความวิชาการลงในวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

โดยกำหนดให้เก็บค่าอ่านประเมินบทความวิจัยโดยผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จากผู้ส่งบทความ เมื่อบทความผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ อัตรา 2,500 บาท ต่อ บทความ 1 เรื่อง ทั้งนี้ให้มีผลตั้งแต่วันที่ 20 มกราคม 2563 เป็นต้นไป



วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี  
ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

"สร้างนักคิด ผลิตนักปฏิบัติ สร้างนักประดิษฐ์ ผลิตนักบริหาร"

คณะวิศวกรรมศาสตร์

หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ (Automotive Engineering, B.Eng. : AE)
- หลักสูตรวิศวกรรมการผลิต (Production Engineering, B.Eng. : PE)
- หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (Computer Engineering, B.Eng. : CE)
- หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหกรรม (Industrial Engineering, B.Eng. : IE)
- หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering, B.Eng. : EE)
- International Program (Digital Engineering, B.Eng. : DGE)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรเทคโนโลยีวิศวกรรม (Engineering Technology, M.Eng. : MET)

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology, B.Sc. : IT)
- หลักสูตรเทคโนโลยีมัลติมีเดีย (Multimedia Technology, B.Sc. : MT)
- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ (Business Information Technology, B.Sc. : BI)
- หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัลทางสื่อสารมวลชน (Digital Technology in Mass Communication, B.Sc. : DC)
- International Program (Data Science and Analytics, B.Sc. : DSA)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology, M.Sc. : MIT)

คณะบริหารธุรกิจ

หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิต (Management of Production Technology and Innovation, B.B.A. : MI)
- หลักสูตรบริหารธุรกิจญี่ปุ่น (Japanese Business Administration, B.B.A. : BJ)
- หลักสูตรการจัดการธุรกิจระหว่างประเทศ (International Business Management, B.B.A. : IB)
- หลักสูตรการบัญชี (Accountancy, B.Acc. : AC)
- หลักสูตรการจัดการทรัพยากรมนุษย์แบบญี่ปุ่น (Japanese Human Resources Management, B.B.A. : HR)
- หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistics and Supply Chain Management, B.B.A. : LM)
- หลักสูตรการตลาดเชิงสร้างสรรค์ (Creative Marketing, B.B.A. : CM)
- หลักสูตรการจัดการการท่องเที่ยวและการบริการเชิงนวัตกรรม (Innovative Tourism and Hospitality Management, B.B.A. : TH)
- International Program (International Business Management, B.B.A. : IBM)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรนวัตกรรมจัดการธุรกิจและอุตสาหกรรม (Innovation of Business and Industrial Management, M.B.A. : MBI)
- หลักสูตรบริหารธุรกิจญี่ปุ่น (Japanese Business Administration, M.B.A. : MBJ)
- หลักสูตรการจัดการระบบการผลิตและโลจิสติกส์แบบลีน (Lean Manufacturing System and Logistics Management, M.B.A. : LMS)

☼	Study on the Color Feature of Harajuku-Type Kawaii Fashion Comparison with Street Snap Images Using Colorfulness	63
	Peeraya Sripian, Keiko Miyatake, Michiko Ohkura	