

การแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย



อดิพร ชัยน

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

การแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล

สำนักบริหารและพัฒนาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย

อติพร ชัยน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณ เชื้อนแก้ว)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ปราโมกษ์ชน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ โอสถานันต์กุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(อาจารย์ ดร.กิตติกร หาญตระกูล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย
ชื่อผู้เขียน	นางสาวดิพร ขยัน
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณ เชื้อนแก้ว

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย โดยใช้วิธีโซเบล และการลดสัญญาณรบกวนบนพื้นผิว โดยใช้การกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเกาส์ โดยมีการปรับขนาดตามคุณลักษณะวรรณสีโทนของภาพถ่าย ในการศึกษานี้ได้สุ่มคัดเลือกภาพถ่ายตัวอย่างจำนวน 35 ภาพ และดำเนินการจัดแบ่งวรรณสีโทนออกเป็น 3 กลุ่มตามค่ามัธยฐานในแต่ละภาพ ประกอบด้วย วรรณสีโทนดำ, วรรณสีโทนกลาง และ วรรณสีโทนขาว เมื่อนำภาพถ่ายทิวทัศน์มาแปรเพื่อหาขอบโครงร่างของเส้น จะปรากฏสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นจุดรบกวนในภาพ ซึ่งเกิดจากแสงสภาพแวดล้อม หรือลักษณะพื้นผิวของวัตถุในภาพถ่าย โดยการเพิ่มปริมาณการหาขอบเส้นเพื่อให้วัตถุในภาพเด่นชัดมากขึ้น จะส่งผลให้สัญญาณรบกวนปรากฏมากขึ้นตามการเพิ่มปริมาณความคมชัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับภาพให้มีความราบรื่นมากขึ้นก่อนการหาเส้นของภาพ ในการศึกษาได้ทำการใช้การกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเกาส์เขียน เพื่อลดทอนรายละเอียดภาพจากการหาค่าที่เหมาะสม สำหรับการหาเส้นขอบของภาพที่มีค่ามัธยฐานที่แตกต่างกันออกไปและจากการศึกษาผู้วิจัยได้ทำการนำผลการศึกษาไปประเมินผลลัพธ์ผ่านระบบออนไลน์เพื่อหาผลที่เหมาะสมที่สุดจากผู้ประเมินที่มีความรู้ด้านศิลปะและภาพถ่าย จากการทดลองพบว่า มีความถูกต้องในการจำแนกวรรณสีโทนได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 84 และมีค่าความพึงพอใจในการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่ายที่เฉลี่ยร้อยละ 72.01

คำสำคัญ : ภาพลายเส้นดินสอ, การประมวลผลภาพเสมือน, วรรณสีโทน, การหาเส้นขอบภาพ, การกรองความถี่ต่ำ, การประมวลผลภาพ

Title	AUTOMATIC PENCIL SKETCH LANDSCAPE IMAGE GENERATION FROM PHOTOGRAPH
Author	Miss Atiporn Khayan
Degree	Master of Science in Digital Technology Innovation
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Paween Khoenkaw

ABSTRACT

This research presents an automatic pencil sketch landscape image generation from the photograph. The proposed algorithm is based on the Sobel operator, the Gaussian low-pass filter is used as the texture-noise reduction method. The automatic Gaussian kernel size adjustment algorithm based on image color tone is proposed. The 35 sample images were randomly selected as the dataset, the color tones are classified into 3 groups based on its median value. The dataset is consisting of Black-tone, Mid-tone, and White-tone. The light surrounding or the image texture can result in noise at the Sobel operator, the more image sharpness results in more noise. This problem is eliminating by using the optimal kernel size of the Gaussian low-pass filter determined by our proposed algorithm. The evaluation was done using the online questionnaire participated by the expert in the field of Arts and Photography. The results have shown the accuracy of our color-tone classification 84 percent, and the stultification result of the final sketched result is 72.01 percent.

Keywords : pencil drawing, non-photorealistic rendering, image tone, edge detection, adaptive low-pass filter, image processing

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาชี้แนะ คำปรึกษาและคอยให้ความรู้ ความเข้าใจอย่างดียิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณ เชื้อนแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ปราโมกษ์ชน อาจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ โอสถำนันต์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณทุกท่านช่วยสนับสนุนและให้ข้อมูลสำหรับการดำเนินงานวิจัย สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการเรียนมาตลอด รวมทั้งคนในครอบครัวที่ได้คอยเป็นแรงผลักดันจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อติพร ชัยน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร.....	4
2.1 ลายเส้นและภาพ.....	4
2.2 เส้น.....	5
2.3 วรรณะสีโทนแสงเงา.....	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	9
3.1 การปรับภาพ.....	9
3.2 การหาเส้นขอบ.....	11
3.3 วรรณะสีโทนของภาพและลายเส้น.....	12
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์.....	18
4.1 การปรับภาพและการหาเส้นขอบ.....	59

4.2 การประเมินผลลัพธ์ของภาพร่างดินสอ..... 68

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 70

 5.1 สรุปผล..... 70

 5.2 ข้อเสนอแนะ 71

ภาคผนวก..... 72

บรรณานุกรม..... 74

ประวัติผู้วิจัย..... 76



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ระยะเวลาดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพในการจำแนกวรรณะสีโทนภาพ	17
ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ Black Tone.....	54
ตารางที่ 4 แสดงการแบ่งกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ Black Tone.....	55
ตารางที่ 5 แสดงการแบ่งกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ White Tone.....	56
ตารางที่ 6 แสดงประเภทประสบการณ์และจำนวนผู้ประเมินภาพ.....	57
ตารางที่ 7 แสดงเพศและอายุกลุ่มผู้ประเมินภาพ	57
ตารางที่ 8 แสดงการประเมินภาพ กลุ่ม Black Tone	58
ตารางที่ 9 แสดงการประเมินภาพ กลุ่ม Mid Tone	58
ตารางที่ 10 แสดงการประเมินภาพ กลุ่ม White Tone	59
ตารางที่ 11 แสดงระดับคะแนนรวมความพึงพอใจการหาเส้นขอบ	65
ตารางที่ 12 การประเมินค่าร้อยละ.....	67
ตารางที่ 13 ค่าเหมาะสมของขนาดตัวกรองที่ได้จากการทดลอง.....	67

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ภาพวาดทิวทัศน์ ชื่อภาพ Rivierdal ของศิลปิน Hercules Segers.....	2
ภาพที่ 2 กระบวนการหาขอบภาพของ Sobel operator.....	5
ภาพที่ 3 กระบวนการหาขอบภาพ การ Linking และ Curve ภาพ	6
ภาพที่ 4 กระบวนการหาขอบและการ Random Texture	6
ภาพที่ 5 ลักษณะกราฟฮิสโทแกรม	7
ภาพที่ 6 เปรียบเทียบฮิสโทแกรมของภาพถ่ายและภาพวาดโดยศิลปิน	8
ภาพที่ 7 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ	9
ภาพที่ 8 ภาพแปรจากคำสั่ง Fine Edge ของ Photoshop.....	10
ภาพที่ 9 ภาพแปรจากคำสั่ง Glowing Edge ของ Photoshop	10
ภาพที่ 10 ตัวอย่างภาพที่หาเส้นขอบโดยใช้ Sobel operator.....	13
ภาพที่ 11 การจำแนกวรรณะสีโทน.....	14
ภาพที่ 12 การจำแนกวรรณะสีโทนตัวอย่างภาพ Black-tone Mid-tone และ White-tone.....	16
ภาพที่ 13 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 1	19
ภาพที่ 14 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 2	20
ภาพที่ 15 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 3	21
ภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 4	22
ภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 5	23
ภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 6	24
ภาพที่ 19 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 7	25
ภาพที่ 20 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 8	26
ภาพที่ 21 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 9	27

ภาพที่ 22 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 10	28
ภาพที่ 23 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 11	29
ภาพที่ 24 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 12	30
ภาพที่ 25 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 13	31
ภาพที่ 26 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 14	32
ภาพที่ 27 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 15	33
ภาพที่ 28 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 16	34
ภาพที่ 29 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 17	35
ภาพที่ 30 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 18	36
ภาพที่ 31 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 19	37
ภาพที่ 32 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 20	38
ภาพที่ 33 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 21	39
ภาพที่ 34 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 22	40
ภาพที่ 35 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 23	41
ภาพที่ 36 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 24	42
ภาพที่ 37 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 25	43
ภาพที่ 38 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 26	44
ภาพที่ 39 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 27	45
ภาพที่ 40 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 28	46
ภาพที่ 41 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 29	47
ภาพที่ 42 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 30	48
ภาพที่ 43 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 31	49
ภาพที่ 44 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 32	50
ภาพที่ 45 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 33	51

ภาพที่ 46 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 34	52
ภาพที่ 47 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 35	53
ภาพที่ 48 ตัวอย่างกลุ่ม Black Tone หมายเลข 10	61
ภาพที่ 49 ตัวอย่างกลุ่ม Black Tone หมายเลข 16	61
ภาพที่ 50 ตัวอย่างกลุ่ม Mid Tone หมายเลข 14	62
ภาพที่ 51 ตัวอย่างกลุ่ม Mid Tone หมายเลข 32	62
ภาพที่ 52 ตัวอย่างกลุ่ม White Tone หมายเลข 11	62
ภาพที่ 53 ตัวอย่างกลุ่ม White Tone หมายเลข 18	63
ภาพที่ 54 ตัวอย่างภาพที่มีความกำกวม	68
ภาพที่ 55 ค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง	69
ภาพที่ 56 ตัวอย่างแบบสอบถาม	72
ภาพที่ 57 การเผยแพร่ผลงาน	73



บทที่ 1 บทนำ

การวาดภาพลายเส้นของมนุษย์ เกิดขึ้นมานานแล้วตั้งแต่ยุคโบราณ การวาดภาพลายเส้นเป็นการสื่อถึงความรู้สึก ความคิด จินตนาการ ประสบการณ์ ออกมาเป็นรูปร่าง รูปภาพ รวมไปถึงเป็นการบันทึกเหตุการณ์ หรือสิ่งที่พบเห็น เป็นภาพลายเส้นในการถ่ายทอดเรื่องราวต่าง ๆ ประวัติศาสตร์ในยุคแรก ๆ มนุษย์เราได้ขีดเขียนภาพลายเส้นเพื่อสะท้อนเรื่องต่าง ๆ เพื่อแสดงถึงความรู้ วิธีการดำรงชีพ การต่อสู้ เหตุการณ์หรือภัยธรรมชาติอาเภทที่เกิดขึ้น ความเชื่อ จากหลักฐานของนักโบราณคดีที่ค้นพบตามผนังถ้ำ เพดานถ้ำ หินผา การวาดภาพจะวาดเป็นลายเส้นก่อนแล้วจึงค่อยใช้สีระบาย ซึ่งได้สีมาจากผงหิน ดิน ถ้ำถ่าน ยางไม้ เปลือกไม้ แล้วใช้ขนนกเป็นแปรงระบายสีตามภาพลายเส้นที่ขีดเขียนไว้ ในยุคปัจจุบัน การวาดเส้นนอกจากจะเน้นอยู่ที่ทักษะหรือความชำนาญในการลากเส้น ผู้วาดเส้นจะต้องฝึกฝนกันเป็นเวลานานเพื่อให้ได้ลายเส้นที่ตรงกับความต้องการ เพราะการวาดเส้นนั้น เป็นพื้นฐานของการวาดภาพไม่ว่าจะเป็นภาพจากจินตนาการ ภาพเสมือนจริง โดยเฉพาะการออกแบบ การวาดเส้นจึงมีบทบาทที่จำเป็นในการสร้างภาพ หรือรูปร่างเบื้องต้นในการที่จะถ่ายทอดความคิดออกมาให้ปรากฏชัดแจ้งมากที่สุด

การสร้างภาพงานร่างลายเส้นดินสอจากแบบภาพถ่ายทิวทัศน์จำเป็นต้องใช้ฝีมือและความเชี่ยวชาญในการวาดเพื่อสร้างลายเส้น เพื่อหาทางแก้ปัญหาที่เจอ จึงได้เสนอขั้นตอนเพื่อแปรภาพเป็นลายเส้นดินสอ สิ่งนี้จะช่วยให้ภาพงานร่างลายเส้นดินสอมี 2 ประเภท ได้แก่รูปแบบภาพระดับเทา และ รูปแบบดินสอสี colored pencil drawing (CPD) ลักษณะของลายเส้นดินสอจะเป็นอ่อนโยนต่อสายตามนุษย์และพละกำลัง โดยมักเกิดมาจากความไม่สม่ำเสมอและเม็ดสีของภาพ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การสร้างสรรคผลงานทางศิลปะ มีหลายรูปแบบ การวาดถือเป็นการสร้างสรรค์ศิลปะอีกรูปแบบหนึ่ง การวาดมีทั้งการวาดโดยใช้ดินสอ พู่กัน การขีดด้วยวัตถุตามธรรมชาติในการขีดเขียนขึ้นมา การวาดมีทั้งการวาดแบบเสมือนจริง (Realistic), แบบตัดทอน (Distortion) และ แบบตามความรู้สึก (Abstraction) โดยการวาดแบบเสมือนจริงในอดีตก่อนที่จะมีกล้องถ่ายรูป ใช้ในการบันทึกภาพหรือบรรยากาศที่เห็นไว้ และในปัจจุบันที่กล้องถ่ายรูปมีอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบส่วนเสริมของโทรศัพท์มือถือ, กล้องดิจิทัล และ กล้อง DSLR ในการจดจำภาพ งานศิลปะจึงกลายเป็นสิ่งที่สนใจหรือความชื่นชอบของหลายคนและชื่นชอบการเสพสื่อ บรรดาประเภทรูปภาพต่าง ๆ ภาพทิวทัศน์ (Landscape) เป็นภาพที่ได้รับความนิยมในหมู่การถ่ายรูปเนื่องจากภาพมีตัวแปรหลายอย่างเช่นองค์ประกอบโดยรอบ, มุมของภาพ, แสงและเงาของสถานที่ถ่าย, ความชัด ลึก ตื้น

ของภาพในการโฟกัสภาพให้มีความคมชัด อีกทั้งภาพทิวทัศน์นอกจากการถ่ายเพื่อเก็บเรื่องราวหรือบรรยากาศของสถานที่เอาไว้ยังสามารถนำไปแปรใช้ในด้านสื่อต่าง ๆ ในการประกอบภาพสื่อสิ่งพิมพ์, สตอรี่บอร์ด, ตกแต่งภาพ เป็นต้น

การสร้างลายเส้นดินสอโดยใช้แม่แบบจากภาพถ่ายจำเป็นต้องใช้ฝีมือและความเชี่ยวชาญในการวาดเพื่อสร้างลายเส้น แต่ปัจจุบันโปรแกรมตกแต่งภาพมีชุดคำสั่งการแปรภาพเป็นลายเส้นดินสอในการอำนวยความสะดวกและเข้าถึงผู้คนได้มากขึ้นโดยไม่ต้องคำนึงถึงฝีมือการวาดรูป ภาพทิวทัศน์ถือเป็นภาพวาดและภาพถ่ายรูปแบบหนึ่งที่พบเห็นได้มาก ภาพไม่มีความซับซ้อน มุ่งเน้นไปที่บรรยากาศภายในภาพ



ภาพที่ 1 ภาพวาดทิวทัศน์ ชื่อภาพ Rivierdal ของศิลปิน Hercules Segers
ที่มา พิพิธภัณฑน์ Rijksmuseum

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอโดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เพื่อผลลัพธ์และปรับปรุงให้ดีขึ้น

1.2.2 เพื่อศึกษาและลดผลของปัญหาที่พบจากการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอให้น้อยลง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 แนวทางการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอโดยลดสิ่งรบกวนต่อภาพและปรับภาพให้เหมาะสมมากที่สุด

1.3.2 ทราบถึงผลความพึงพอใจและเหมาะสมของการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอเพื่อการนำไปใช้ต่อ

บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจสอบเอกสาร

2.1 ลายเส้นและภาพ

(Takagi et al., 1999) ให้ความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงรูปให้อยู่ในรูปแบบลายเส้นดินสอสี colored pencil drawing (CPD) โดยได้นำไปใช้ในการศึกษาการวาดภาพร่างและยังถูกนำไปใช้ในการประกอบภาพหนังสือและสื่อต่างๆ พบว่าภาพวาดลายเส้นดินสอมีจุดเด่นคือละเอียดต่อสายตา มนุษย์และยังบ่งบอกเอกลักษณ์ทั้งความอ่อน แข็งกร้าว และ หม่นหมอง ของลายเส้น

การวาดเส้น (Drawing) คือหลักการสำคัญในการออกแบบ การวาดเส้นช่วยบ่งบอกรูปแบบของโครงสร้าง รูปลักษณะของวัตถุหรือบรรยากาศ ระยะของสายตาที่มองไปยังที่ภาพ รวมไปถึงแสงงานที่แสดงถึงน้ำหนักความชัดเจนของวัตถุและจุดแสงที่ตกกระทบต่อวัตถุ ลายเส้นสามารถสื่อถึงเอกลักษณ์ของผู้วาดหรือสื่ออารมณ์ต่อสิ่งที่ต้องการถ่ายทอดออกมา งานศิลปะหลายแขนงล้วนมีพื้นฐานมาจากการวาดเส้น เช่น งานภาพจิตรกรรม การออกแบบเชิงสถาปัตยกรรม การร่างประติมากรรมหรือภาพพิมพ์ งานออกแบบบางประเภทต้องใช้ความแม่นยำและความชำนาญในการวาดลายเส้น งานร่างคือ ลักษณะการวาดเส้นแบบหยาบๆ ใช้สำหรับในการกำหนดรูปร่างหรือโครงร่างของวัตถุอย่างคร่าวๆ เป็นแม่แบบสำหรับก่อนการนำไปใช้วาดจริง โดยจะเก็บรายละเอียดที่สำคัญของวัตถุ จุดที่ให้ความสำคัญ นำไปสู่การเขียนรายละเอียดที่ถูกต้องและสมบูรณ์ในที่สุด ประเภทของภาพแบ่งตามลักษณะขององค์ประกอบและลักษณะเด่นของภาพที่สื่อออกมา

2.1.1 ภาพคน (Figure Painting) คือ ภาพที่ถ่ายทอดลักษณะ การแสดงท่าทางกิริยาของมนุษย์ มุ่งเน้นไปที่ลักษณะท่าทางการแสดงออกมามากกว่า

2.1.2 ภาพคนเหมือน (Portrait Painting) คือ ภาพที่มุ่งเน้นรายละเอียดของใบหน้า โดยให้ใกล้เคียงผู้ที่เป็นแบบมากที่สุด

2.1.3 ภาพสัตว์ (Animals Figure Painting) คือ ภาพที่ถ่ายทอดลักษณะและท่าทางกิริยาของสัตว์

2.1.4 ภาพหุ่นนิ่ง (Still Painting) คือ ภาพสื่อถึงวัตถุหรือแบบที่ไม่มีการเคลื่อนไหว

2.1.5 ภาพประกอบเรื่อง (Illustration Painting) คือ ภาพที่มุ่งเน้นถ่ายทอดเรื่องราว หรือบรรยายเหตุการณ์ผ่านภาพ โดยถ่ายทอดให้ผู้ดูโฟกัสถึงเหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่กำลังเกิดขึ้น

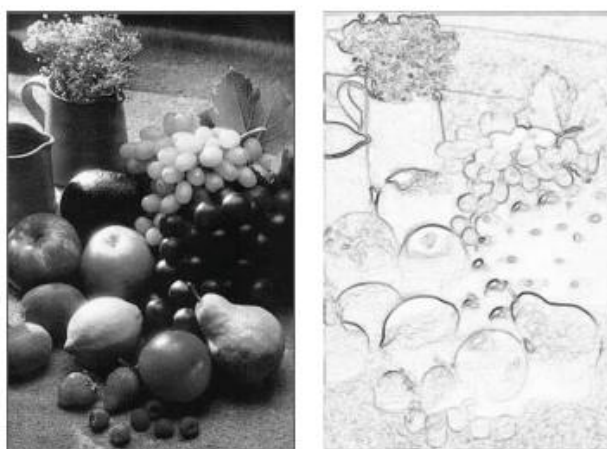
2.1.6 ภาพจิตรกรรมฝาผนัง (Mural Painting) คือ งานภาพเขียนที่ถ่ายทอดตามโบราณสถาน วิหาร โบสถ์ หรือ สถานที่สำคัญ ใช้เล่าเหตุการณ์หรือใช้ในการประดับตกแต่งสถานที่

2.1.7 ภาพทิวทัศน์ (Landscape Painting) คือ ภาพมุ่งเน้นเอกลักษณ์ธรรมชาติและลักษณะของสภาพแวดล้อมที่ภาพต้องการถ่ายทอดออกมา

(Kenneth, 1949) อธิบายภาพทิวทัศน์มีหลากหลายความหมายตามแต่ลักษณะสถานที่และลักษณะภาพทิวทัศน์ที่ปรากฏ เช่น ภาพทิวทัศน์ผืนดิน (Landscape) แสดงถึงทิวทัศน์ของป่าหรือพื้นดิน, ภาพทิวทัศน์ผืนน้ำ (Seascape) แสดงถึงทิวทัศน์ของทะเลหรือชายหาด, ภาพทิวทัศน์เมฆ (Cloudscape) แสดงถึงผืนภาพเมฆ หรือลักษณะของเมฆในมุมกว้าง, ภาพทิวทัศน์เมือง (Cityscape) แสดงถึงทิวทัศน์ของเมืองหรือหมู่บ้าน

2.2 เส้น

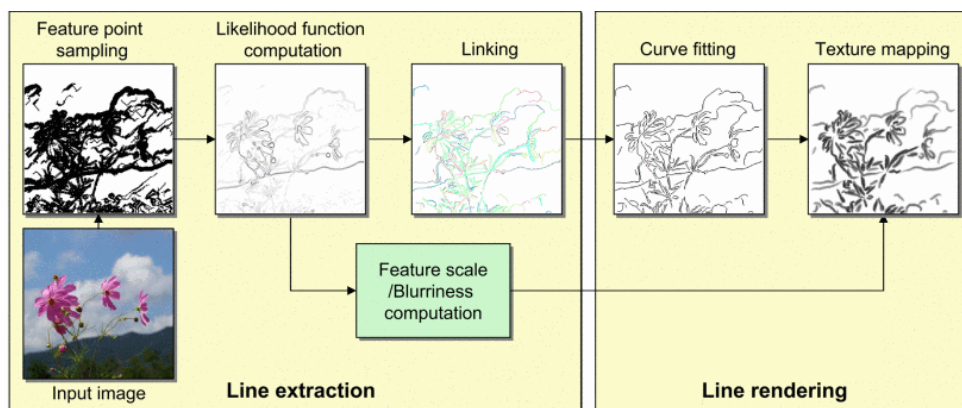
การหาเส้นของภาพช่วยในการบ่งบอกลักษณะรูปร่างโดยรอบของวัตถุให้ชัดเจนขึ้นและแสดงรายละเอียดของวัตถุ (Gao et al., 2010) ใช้การหาขอบเส้นของภาพโดยใช้วิธี Sobel operator เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากกว่าวิธีอื่นเช่น Prewitt operator, Canny edge detector และการหาขอบภาพโดยการใช้ Sobel operator มีลักษณะลายเส้นขอบใกล้เคียงกับลายเส้นดินสอดและเก็บรายละเอียดส่วนใหญ่ของภาพค่อนข้างมากนอกจากนี้ยังปรากฏสัญญาณรบกวนภาพที่ปรากฏก็มากเช่นกัน จากการศึกษางานวิจัย Sobel operator ถูกนำมาใช้ในการหาเส้นขอบของทั้งภาพประเภทหุ่นนิ่ง, ภาพคน, ภาพสัตว์ และภาพทิวทัศน์ เป็นต้น



ภาพที่ 2 กระบวนการหาขอบภาพของ Sobel operator

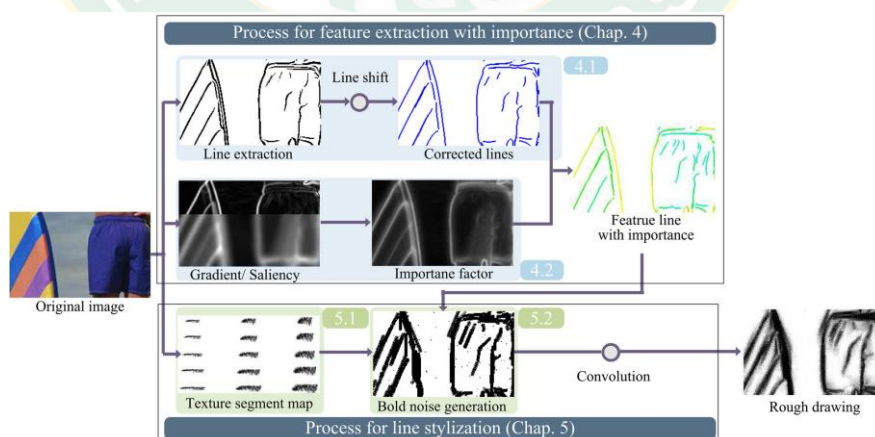
ที่มา Xingyu Gao, Jingye Zhou, Zhenyu Chen¹, Yiqiang Chen (2010)

(Son et al., 2007) ปัญหาของการหาเส้นจากวัตถุ 3 มิติ จะถูกรบกวนโดยแสงและเงาของภาพส่งผลทำให้ภาพพร่ามัวไม่ชัดเจน ส่งผลให้รายละเอียดของลายเส้นที่ได้จากภาพขาดหายไป จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าเพื่อต้องการให้เส้นของภาพออกมาชัดเจนกว่าเดิมและการซ่อมแซมเชื่อมต่อเส้นที่ขอบของภาพที่ขาดหายไป



ภาพที่ 3 กระบวนการหาขอบภาพ การ Linking และ Curve ภาพ
ที่มา Minjung Son, Henry Kang, Yunjin Lee, Seungyong Lee (2007)

(Yang and Min, 2019) การศึกษาและวิเคราะห์การเลียนแบบเส้นวาดของศิลปิน โดยจากคุณลักษณะเด่นของเส้นโค้ง เจดแสงเงาที่เหมาะสมของภาพและพบว่าลายเส้นโครงร่างมีความสำคัญต่อการวาดของศิลปิน จึงมีการศึกษาโดยใช้วิธี flow-based DoG (FDoG) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์แยกแวกเตอร์เส้นออกจากภาพ ซึ่งได้พบข้อจำกัดของการใช้วิธีนี้ด้วยความแม่นยำในการแยกเส้นแวกเตอร์ จึงทำการต่อยอดให้วิธีหาเส้นขอบให้มีความแม่นยำมากขึ้นและมีเส้นรบกวนให้น้อยลงมากที่สุด โดยใช้วิธี flow-based DoG เพื่อเส้นออกพสานกับการหาเจดเงา (Gradient/Saliency) การสุ่มตัวอย่าง Texture ของลายเส้นเพื่อให้เกิดเอกลักษณ์ของภาพ โดย Texture ที่ถูกนำมาใช้จะใช้ลายเส้นของพื้นผิวดินสอความเข้มระดับ H และ B จำแนกความหนาใหญ่ของลายเส้น

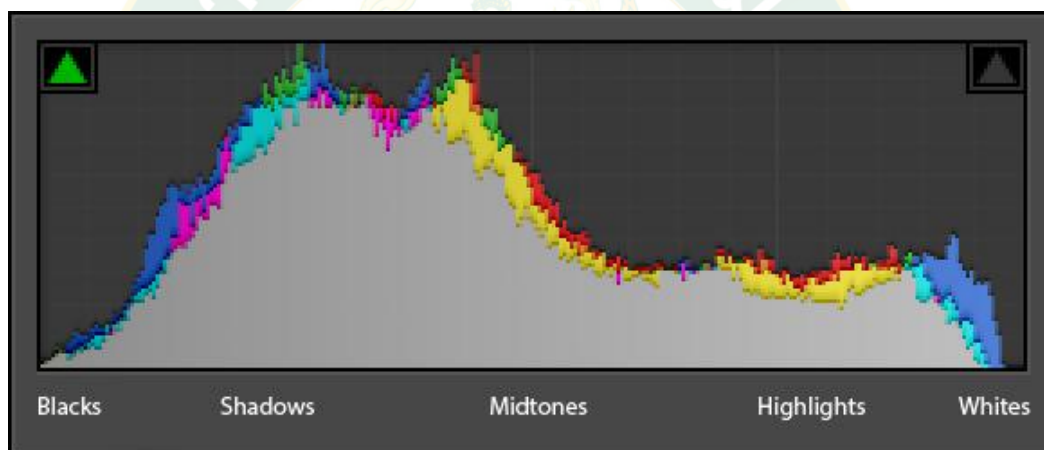


ภาพที่ 4 กระบวนการหาขอบและการ Random Texture
ที่มา Heekyung Yang and Kyungha Min (2018)

(Wang et al., 2010) การปรับปรุงการหาขอบภาพในการดูผลลัพธ์ของสีของตัวภาพให้เกิดความเหมาะสมและรักษารายละเอียดของลายเส้นรายละเอียดของภาพ (Zhou and Li, 2005) การใช้กรองความถี่ต่ำในการลดจุดรบกวนของภาพเพื่อช่วยในการหาเส้นขอบของภาพ ตัวอย่างเช่นภาพธรรมชาติที่มีรายละเอียดค่อนข้างยุ่งเหยิงซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของภาพ การปรับกรองความถี่ต่ำให้เหมาะสม (Song et al., 2004) เพื่อรักษารายละเอียดของภาพที่สำคัญเอาไว้

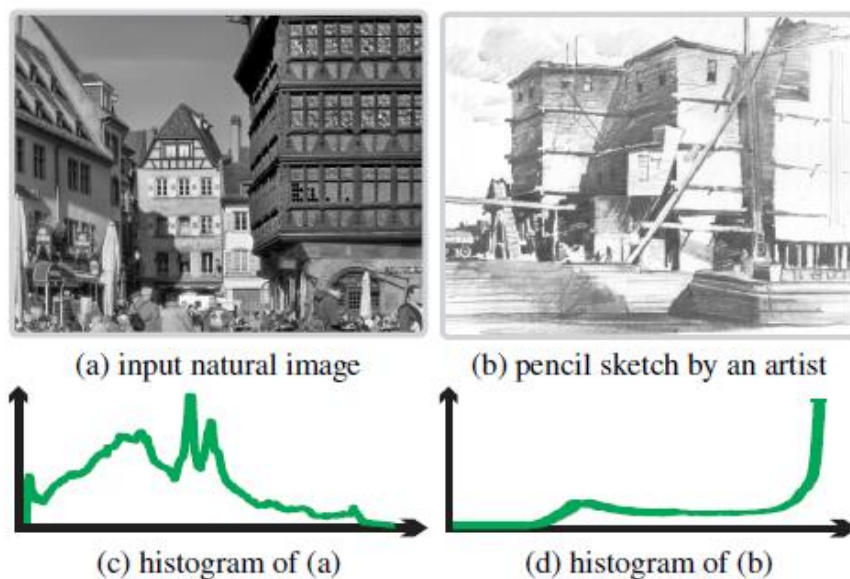
2.3 วรรณะสีโทนแสงเงา

วรรณะสีโทนแสงเงาของภาพจะถูกกำหนดด้วยค่าฮิสโทแกรมโดยจะแสดงออกมาในรูปแบบกราฟที่บ่งบอกถึงปริมาณแสงและความดำมืดของภาพ หากค่าบางช่วงของฮิสโทแกรมมีค่าสูงจะแสดงวรรณะสีโทนความเข้มของเงาดำและแสงขาวที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 5 ลักษณะกราฟฮิสโทแกรม
ที่มา Romanas Naryškin (2013)

(Lu et al., 2012) ศึกษาลายเส้นดินสอในภาพวาดโดยใช้การผสมระหว่างวรรณะสีโทนและลายเส้นภาพมาสร้างเป็นลายเส้นดินสอ โดยให้ความสำคัญว่าวรรณะสีโทนนั้นสำคัญที่สุด ใช้ความเป็นธรรมชาติของแสงเงาที่เกิดจากรวรรณะสีโทนและจัดการสิ่งรบกวนเช่น สัญญาณรบกวน, พื้นผิว, แสงของภาพ สังเกตรายละเอียดของภาพโดยเปรียบเทียบฮิสโทแกรมของภาพถ่ายและภาพที่ถูกวาดโดยศิลปิน เพื่อนำมาจำลองพารามิเตอร์ของภาพ ระดับวรรณะสีโทนให้ดูเป็นธรรมชาติ ผลการเปรียบเทียบฮิสโทแกรมความใกล้เคียงของวรรณะสีโทนภาพทำให้คงแสงและเงาของภาพไว้ได้ ผลที่ได้โดยเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์อื่น ๆ จะพบว่าสามารถคงรายละเอียดเส้นของภาพ ทั้งแสงสว่างและเงาของภาพ

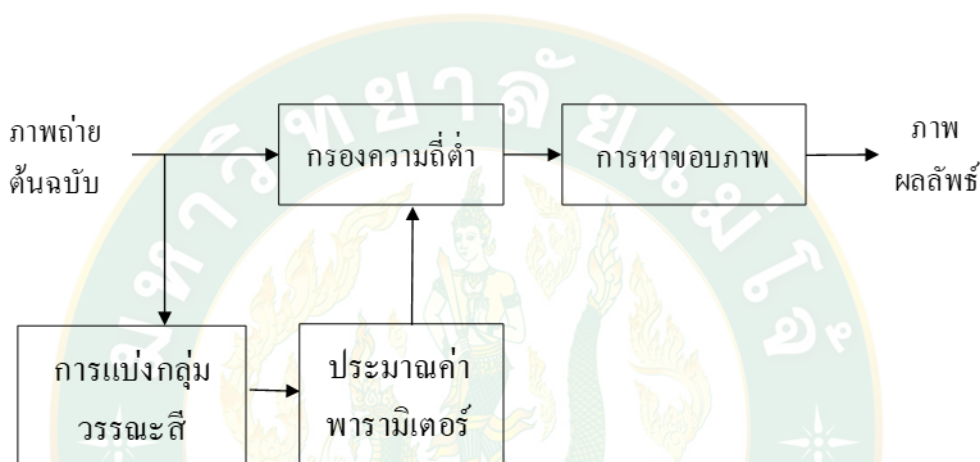


ภาพที่ 6 เปรียบเทียบฮิสโตแกรมของภาพถ่ายและภาพวาดโดยศิลปิน
ที่มา Cewu Lu, Li Xu, Jiaya Jia (2012)

ลักษณะของวรรณะสีโทนใช้ในการบอกแสงเงาที่ปรากฏภายในภาพ ระบุว่าภาพนั้นมีแสงตกกระทบหรือเงามากน้อยเพียงใดในการสังเกตองค์ประกอบของภาพ ในการวาดรูปโดยใช้ฝีมือของศิลปินจะมีความแตกต่างในด้านลงน้ำหนักของดินสอ ดินสอสี หรือ ปากกา ในการระบุถึงแสงเงาและความลึกของภาพ ทำให้เห็นได้ว่าวรรณะสีโทนมีผลต่อการบ่งบอกลักษณะของภาพ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

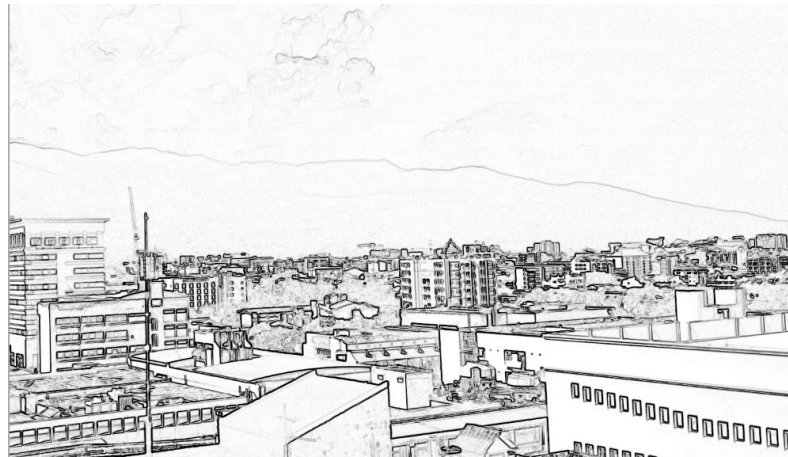
แนวคิดลำดับขั้นกระบวนการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอ ลำดับขั้นตอนเพื่อแก้จุดปัญหาให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีจุดบกพร่องน้อยที่สุด โดยได้ทำการศึกษากระบวนการจากเอกสารงานวิจัยจะพบว่า การแปรภาพเป็นทิวทัศน์นั้นมีกระบวนการกรองความถี่ต่ำและต่อไปยังการหาขอบภาพ และเพื่อแก้ไขและศึกษาปรับปรุงกระบวนการจึงได้ทำการแบ่งกลุ่มวรรณคดีและมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการกรองความถี่ต่ำเพื่อประเมินผลลัพธ์



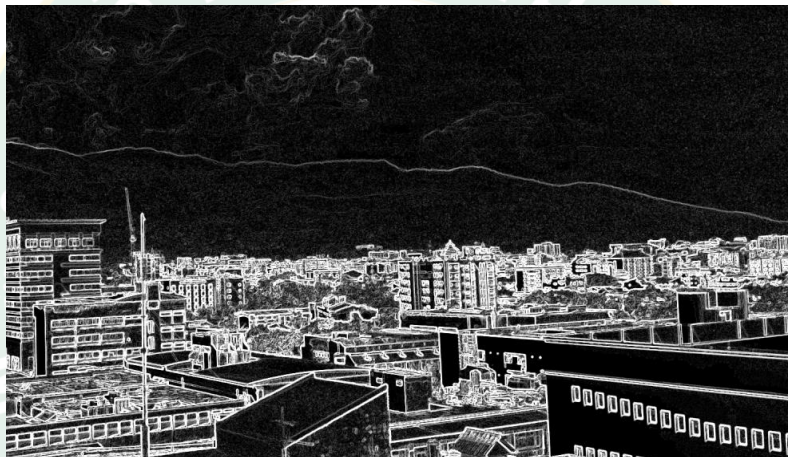
ภาพที่ 7 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

3.1 การปรับภาพ

เนื่องจากภาพถ่ายเมื่อทำการแปรเพื่อหาขอบโครงร่างของเส้นจะปรากฏสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นจุดรบกวนในภาพซึ่งอาจเกิดจากแสง สภาพแวดล้อม หรือ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุในภาพถ่าย ยังมีการเพิ่มปริมาณการหาขอบเส้นเพื่อให้วัตถุในภาพเด่นชัดมากเท่าไร สัญญาณรบกวนก็ยิ่งจะปรากฏมากขึ้นตามการเพิ่มปริมาณความคมชัดมากขึ้น



ภาพที่ 8 ภาพแปรจากคำสั่ง Fine Edge ของ Photoshop



ภาพที่ 9 ภาพแปรจากคำสั่ง Glowing Edge ของ Photoshop

เนื่องจากภาพส่วนใหญ่หากเข้ากระบวนการหาเส้นของภาพ (Edge) จะมีสัญญาณรบกวนหรือแสงภาพแวดล้อมรบกวนจึงจำเป็นต้องทำการปรับภาพให้มีความความราบรื่น (Smooth) มากขึ้นก่อนการหาเส้นของภาพ โดยการใช้ Gaussian blur ตัวกรองเพื่อปรับภาพ กระบวนการ Gaussian blur จะช่วยในการลดสัญญาณรบกวน และ รายละเอียดที่ไม่จำเป็นออกไป สมการ Gaussian แบบมิติเดียว สมการ Gaussian blur แบบมิติเดียว (1) และ สมการ Gaussian แบบ 2 มิติ (2)

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

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

x = ค่าตำแหน่งในแกนแนวนอน

y = ค่าตำแหน่งในแกนแนวตั้ง

σ = ค่าเบี่ยงเบนของ Gaussian

3.2 การหาเส้นขอบ

การหาเส้นขอบภาพโดยใช้ Sobel operator ในการแยกขอบและภาพจะมีลักษณะที่คล้ายกับเส้นดินสอ สมการดังนี้ การใช้ Sobel จะเก็บรายละเอียดของภาพที่สำคัญส่วนใหญ่ไว้

$$\begin{aligned} S(i, j) &= |S_x| + |S_y| \\ &= |f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1) \\ &\quad - (f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1))| \\ &\quad + |f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1) \\ &\quad - (f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1))| \end{aligned}$$

กำหนด Kernel ของแกน X และ แกน Y

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

$S(i, j)$ = ค่าความสว่างของจุดภาพ (Pixel) ของภาพ

S_x = ค่าตำแหน่งในแกนแนวนอน

S_y = ค่าตำแหน่งในแกนแนวตั้ง

3.3 วรรณะสีโทของภาพและลายเส้น

การปรับวรรณะสีโทของภาพโดยอิงกราฟให้ใกล้เคียงกับฮิสโทแกรมขาวดำของภาพมากที่สุด เนื่องจากรูปแบบของภาพวาดลายเส้นดินสอส่วนใหญ่จะมีกราฟความถี่ของฮิสโทแกรมใกล้เคียงกัน โดยจะอยู่ในความถี่สูงระหว่างช่วงของ Highlight และ Whites การใช้วรรณะสีโทดั้งเดิมของภาพ ปรับให้เข้ากับ Texture ลายเส้นดินสอ โดยลายเส้นดินสอใช้ Line Integral Convolution (LIC) ซึ่งเป็นเทคนิคการเปลี่ยนแปลงเส้นเวกเตอร์ให้บิดเบี้ยวลักษณะคล้ายกับ ลมหมุน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการสร้างเฉดเงาไปในทิศทางเหมือนกับลายเส้นวาด

เส้น คือ ส่วนสำคัญของงานศิลปะ เกิดจากการเคลื่อนที่ของจุด หรือ และรวมไปถึงการนำจุดมาวางเรียงต่อ ๆ จนเกิดเป็นเส้น เส้นจะมี 2 ลักษณะ คือ เส้นตรง (Straight Line) และเส้นโค้ง (Curve Line) เมื่อนำมาเปลี่ยนแปลงหรือจัดวางในรูปแบบต่าง ๆ ก็เกิดความหมายที่แตกต่างกันออกไป และสามารถใช้อธิบายได้ทั้งขอบเขตของที่ว่าง รูปร่าง รูปทรง น้ำหนัก สี ตลอดจนรูปทรงต่าง ๆ รวมทั้งเป็นแกนหรือโครงสร้างของรูปร่างทรง ทำให้สามารถสื่อบอกความหมายต่าง ๆ ได้ รวมไปถึงอารมณ์และความรู้สึก (Rungrueang, 2016)

ลักษณะของเส้น

3.4.1 เส้นแนวตั้ง หรือเส้นตั้ง ให้ความรู้สึกทางความสูง สง่า มั่นคง แข็งแรง หนักแน่น เป็นสัญลักษณ์ของความซื่อตรง

3.4.2 เส้นนอน ให้ความรู้สึกทางความกว้าง สงบ ราบเรียบ นิ่ง ผ่อนคลาย

3.4.3 เส้นเฉียง หรือเส้นทแยงมุม ให้ความรู้สึกเคลื่อนไหว รวดเร็ว ไม่มั่นคง

3.4.4 เส้นหยัก หรือเส้นซิกแซก แบบฟันปลา ให้ความรู้สึกเคลื่อนไหวอย่างเป็นจังหวะ มีระเบียบ ไม่ราบเรียบ น่ากลัว อันตราย ขัดแย้ง ความรุนแรง

3.4.5 เส้นโค้ง แบบคลื่น ให้ความรู้สึกเคลื่อนไหวอย่างช้า ๆ ลื่นไหล ต่อเนื่อง สุภาพ อ่อนโยน นุ่มนวล

3.4.6 เส้นโค้งแบบก้นหอย ให้ความรู้สึกเคลื่อนไหว คลื่นคลาย หรือเติบโตในทิศทางที่หมุนวนออกมา ถ้ามองเข้าไปจะเห็นพลังความเคลื่อนไหวที่ไม่สิ้นสุด

3.4.7 เส้นโค้งวงแคบ ให้ความรู้สึกถึงพลังความเคลื่อนไหวที่รุนแรง การเปลี่ยนทิศทางที่รวดเร็ว ไม่หยุดนิ่ง

ความสำคัญของเส้นใช้ในการแบ่งที่ว่างออกเป็นส่วน ๆ กำหนดขอบเขตของที่ว่าง หมายถึงทำให้เกิดเป็นรูปร่าง (Shape) ขึ้นมา กำหนดเส้นรอบนอกของรูปทรง ทำให้มองเห็นรูปทรง (Form) ชัดขึ้น ทำหน้าที่เป็นน้ำหนักอ่อนแก่ของแสงและเงา หมายถึง การแรงงด้วยเส้น ให้ความรู้สึกด้วยการเป็นแกนหรือโครงสร้างของรูป และโครงสร้างของภาพ

การหาเส้นขอบจากภาพถ่ายเพื่อแปรเป็นภาพลายเส้นดินสอ (Gao et al., 2010) โดยใช้ Sobel operator ในการรักษาขอบของภาพและโครงสร้างของภาพต้นฉบับและเข้าสู่กระบวนการวาดงานร่าง แต่จากการหาเส้นขอบ (Lu et al., 2012) โดยสาเหตุที่เลือกใช้วิธีนี้ในการหาเส้นขอบภาพเนื่องจากเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันและมีทดลองหาเส้นขอบวิธีการอื่นๆ ทั้งนี้การเลือกใช้ Sobel operator ในการหาเส้นขอบภาพจากภาพถ่ายโดยเฉพาะเจาะจงภาพถ่ายทิวทัศน์ เพราะภาพถ่ายทิวทัศน์มีองค์ประกอบของภาพที่แตกต่างจากภาพประเภทอื่นๆ และทั้งนี้ยังพบปัญหาเนื่องจากวิธี Sobel operator ไวต่อการถูกรบกวน การถูกรบกวนของการหาขอบจาก texture noise (Wang et al., 2010) ตัวอย่างเช่น รายละเอียดภาพที่ค่อนข้างยุ่งเหยิง อย่างต้นหญ้า หรือ ใบไม้ เลยจัดการปัญหาด้วยการใช้ กรองความถี่ต่ำมาทำการลด ทั้งนี้การลด texture noise โดยใช้ กรองความถี่ต่ำ ยังต้องใช้ความเหมาะสมเพื่อคงรายละเอียดที่สำคัญของภาพเอาไว้ (Zhou and Li, 2005) ข้อเสียของการใช้ กรองความถี่ต่ำจะทำให้รายละเอียดของภาพหายไปหากใช้พารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยการพิจารณาภาพ ฮิสโทแกรม peak (Song et al., 2004) งานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาถึงการเลือกตัวกรองอัตโนมัติของวิธีการสร้างภาพลายเส้นดินสอโดยใช้วรรณะสีโทนภาพและจำแนกขนาดของตัวกรองอย่างเหมาะสม

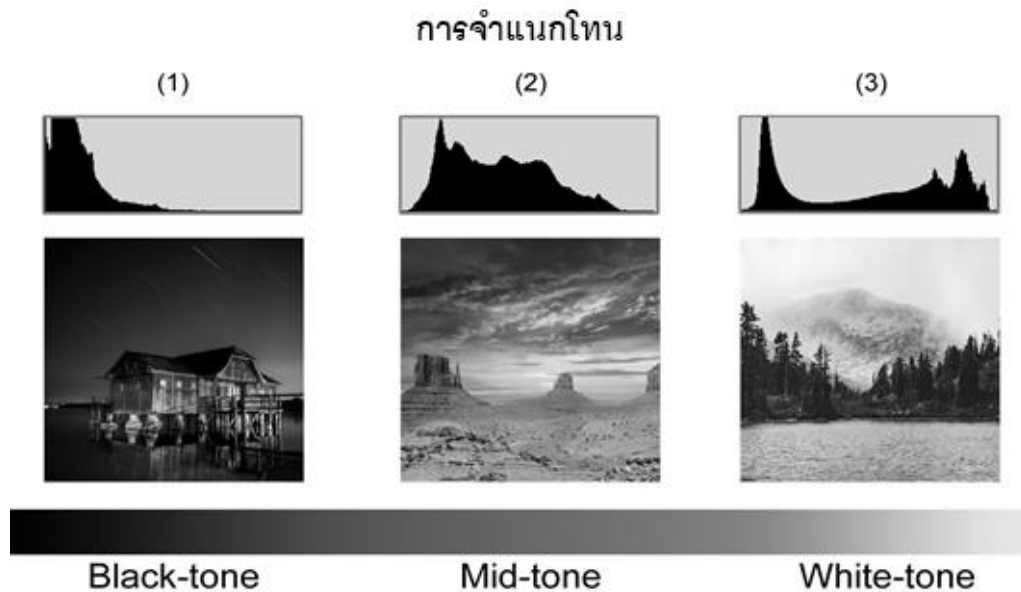
วิธีที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 4 ส่วน นั่นก็คือ การจำแนกวรรณะสีโทน, การจำแนกพารามิเตอร์, การกรองความถี่ต่ำและการหาเส้นขอบ



ภาพที่ 10 ตัวอย่างภาพที่หาเส้นขอบโดยใช้ Sobel operator

วรรณะสี (Tone) คือความแตกต่างของสีแต่ละกลุ่มในวงจรรสี โดยจะมีการแบ่งตามลักษณะของการแสดงของสีที่สีอ่อน ร้อน เย็น หรือ ความสว่างที่ปรากฏในภาพ ทั้งในภาพในรูปแบบภาพระดับเทา ซึ่งประกอบด้วยสีหลักคือ สีดำ, เทา, ขาว

การจำแนกวรรณะสีโทน จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) Black Tone 2) Mid Tone 3) White Tone



ภาพที่ 11 การจำแนกวรรณะสีโทน

โดยวรรณะสีโทนภาพจะจำแนกตามค่าความสว่างของจุดภาพ (pixel) (1). โดยภาพจะถูกแบ่งไปอยู่ตามกลุ่มที่กำหนดค่าไว้แล้วใน (2). โดย Img คือภาพระดับเทา, m คือค่าความสว่างของจุดภาพ, θ ค่าของกลุ่มที่กำหนดไว้, และ $tone$ ก็คือกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ โดยค่า θ จะกำหนดตามค่ามัธยฐานของจุดภาพจากชุดข้อมูลภาพ

$$m = \frac{1}{\|Img\|} \sum Img \quad (1)$$

$$tone = \begin{cases} 1 & \text{where } m \leq \theta_1 \\ 2 & \text{where } \theta_1 < m \leq \theta_2 \\ 3 & \text{where } m \geq \theta_2 \end{cases} \quad (2)$$

การจำแนกพารามิเตอร์เพื่อประเมินขั้นตอนวิธีการ กรองความถี่ต่ำที่เหมาะสม โดยการกำหนดขนาดของตัวกรองของแต่ละภาพ (3) กำหนด w_1, w_2, w_3 คือขนาดของตัวกรอง

$$k = \begin{cases} w_1 & \text{where tone} = 1 \\ w_2 & \text{where tone} = 2 \\ w_3 & \text{where tone} = 3 \end{cases} \quad (3)$$

เพื่อประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการสร้างภาพร่างที่เหมาะสม จึงขอความร่วมมือจากผู้ร่วมประเมินในการร่วมการทดลองเพื่อหาผลและตัวกรองที่เหมาะสม

การกรองความถี่ต่ำเพื่อลด texture noise ที่เกิดขึ้นจากภาพ ในการวิจัยได้ทำการใช้ Gaussian blur เพื่อลดทอนรายละเอียดภาพจากการหาค่าที่เหมาะสมจากชุดข้อมูลที่ได้จาก k (4) หลังจากนั้นนำภาพมาทำการปรับลดทอนรายละเอียดโดยยังคงรักษารายละเอียดของภาพที่สำคัญไว้ โดยใช้ (5)

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

$$Img_{smooth} = Img * G \quad (5)$$

การหาเส้นขอบภาพหลังจากการลดทอนรายละเอียดภาพแล้ว จึงทำการหาเส้นขอบโดยการใช้เส้นขอบแนวตั้งและเส้นขอบแนวนอน มารวมกันเพื่อสร้างเป็นลายเส้นดินสอ การใช้ Sobel operator ในการหาเส้นขอบแนวตั้ง (6) และหาเส้นขอบแนวนอน (7) และนำมารวมกันในท้ายที่สุด (8)

$$Edge_v = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * Img_{smooth} \quad (6)$$

$$Edge_h = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * Img_{smooth} \quad (7)$$

$$Img_{sketch} = \sqrt{Edge_v^2 + Edge_h^2} \quad (8)$$

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การเตรียมชุดข้อมูล, การกรองความถี่ต่ำและการประเมินผลลัพธ์ของภาพร่างดินสอ

การเตรียมชุดข้อมูลภาพและการจำแนกวรรณะสีโทนโดยชุดข้อมูลภาพจัดทำโดยการสุ่มคัดเลือกภาพถ่ายทิวทัศน์มา 35 ภาพ โดยเป็นภาพถ่ายทิวทัศน์จาก <https://pixabay.com> โดยความละเอียดของภาพจะเริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 255 และจะมีการแบ่งวรรณะสีโทนภาพเป็น 12 ภาพเป็น Black-tone, 11 ภาพเป็น Mid-tone และ 12 ภาพเป็น White-tone

โดยกำหนดค่า มัชยฐาน (median) โดยค่าน้อยกว่า 81 เป็น Black-tone(θ_1), ค่าไม่เกิน 129 เป็น Mid-tone(θ_2), และมากกว่า 129 เป็น White-tone(θ_3)

(1) Black-tone



(2) Mid-tone



(3) White-tone



ภาพที่ 12 การจำแนกวรรณะสีโทนตัวอย่างภาพ Black-tone Mid-tone และ White-tone

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพในการจำแนกวรรณะสีโทนภาพ

	Black-Tone	Mid-Tone	White-Tone
True Positive	8	6	12
True Negative	22	21	19
False Positive	1	4	4
False Negative	4	4	0
Precision	0.89	0.60	0.75
Recall	0.67	0.60	1.00
Accuracy	0.86	0.77	0.89

การกรองความถี่ต่ำ การคัดเลือกกลุ่ม 3 ภาพ โดยเลือกจากแต่ละกลุ่ม (จากทั้งหมด 9 ภาพ) โดยจะถูกนำมาลดทอนรายละเอียดโดยการใช้ Gaussian blur ทั้งหมด 3 ขนาด คือ $k=3$, $k=5$, $k=7$. การแปรภาพทีวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย เป็นงานที่ศึกษาวิธีการเพื่อประมวลผลภาพโดยมีการกำหนดกลุ่มวรรณะสีโทนของภาพอย่าง Black, Mid, และ White และการปรับ กรองความถี่ต่ำให้เกิดความเหมาะสมต่อขนาดภาพและลดทอน texture noise และ สุดท้ายงานวิจัยนี้ได้ประเมินผลการยอมรับจากกลุ่มผู้ประเมินที่มีความรู้ศิลปะและ ด้านการถ่ายภาพ จำนวน 55 ราย

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์

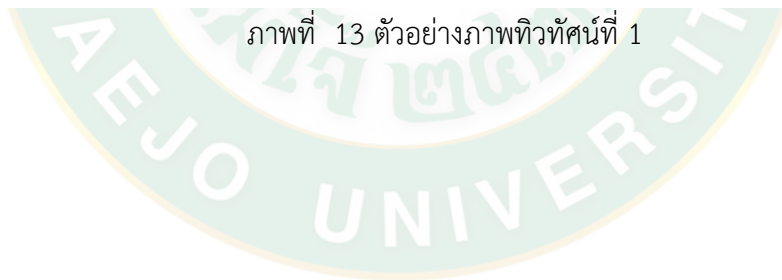
การศึกษาวิจัยเรื่อง การแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอโดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์ต่างๆ เพื่อผลลัพธ์และปรับปรุงให้ดีขึ้น รวมทั้งศึกษาและลดผลของปัญหาที่พบจากการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอให้น้อยลง ซึ่งจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยคาดว่าจะได้รับแนวทางการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอ โดยลดสิ่งรบกวนต่อภาพและปรับภาพให้เหมาะสมมากที่สุด และได้ทราบถึงผลความพึงพอใจและเหมาะสมของการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอ เพื่อการนำไปใช้ต่อ ของกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษาทดสอบ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลและตัวอย่างภาพสำหรับการศึกษการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสุ่มคัดเลือกตัวอย่างภาพประเภทภาพทิวทัศน์ สำหรับการศึกษานี้จำนวน 35 ภาพ ในแต่ละภาพจะมีค่าความละเอียด (resolution) ของภาพแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้การศึกษหาเส้นขอบในการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอมีความคมชัดที่แตกต่างกัน และมีขอบพร่องในการแปรภาพทิวทัศน์ในแต่ละภาพที่มีความละเอียดแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นแนวทางในการนำขอบพร่องไปแก้ไข โดยผู้วิจัยได้สุ่มภาพตัวอย่าง และแปรเป็นภาพระดับเทา ในการศึกษาเพื่อกำหนดค่าวรรณสีโทนภาพสำหรับการแปรภาพเป็นลายเส้นดินสอ ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 138.77 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 62.33
ค่ามัธยฐาน (Median) = 150



ภาพที่ 13 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 1



ตัวอย่างที่ 2 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 96.44 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 59.33
ค่ามัธยฐาน (Median) = 80



ภาพที่ 14 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 2

ตัวอย่างที่ 3 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 73.52 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 43.34
ค่ามัธยฐาน (Median) = 68



ภาพที่ 15 ตัวอย่างภาพทวิทัศน์ที่ 3

ตัวอย่างที่ 4 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 84.12 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 52.36
ค่ามัธยฐาน (Median) = 80



ภาพที่ 16 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 4

ตัวอย่างที่ 5 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 68.29 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 37.38
ค่ามัธยฐาน (Median) = 61



ภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 5

ตัวอย่างที่ 6 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 125.43 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 77.29
ค่ามัธยฐาน (Median) = 139



ภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 6

ตัวอย่างที่ 7 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 57.01 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 42.18
ค่ามัธยฐาน (Median) = 42



ภาพที่ 19 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 7

ตัวอย่างที่ 8 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 110.34 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 58.57
ค่ามัธยฐาน (Median) = 106



ภาพที่ 20 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 8

ตัวอย่างที่ 9 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 83.70 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 62.93
ค่ามัธยฐาน (Median) = 61



ภาพที่ 21 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 9

ตัวอย่างที่ 10 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 31.48 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 29.05
ค่ามัธยฐาน (Median) = 24



ภาพที่ 22 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 10

ตัวอย่างที่ 11 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 129.36 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 77.79
ค่ามัธยฐาน (Median) = 143



ภาพที่ 23 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 11

ตัวอย่างที่ 12 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 120.17 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 53.31
ค่ามัธยฐาน (Median) = 113



ภาพที่ 24 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 12

ตัวอย่างที่ 13 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 101.57 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 48.83
ค่ามัธยฐาน (Median) = 100



ภาพที่ 25 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 13

ตัวอย่างที่ 14 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 160.70 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 42.44
ค่ามัธยฐาน (Median) = 167



ภาพที่ 26 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 14

ตัวอย่างที่ 15 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 96.00 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 46.73
ค่ามัธยฐาน (Median) = 93



ภาพที่ 27 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 15

ตัวอย่างที่ 16 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 56.7 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 37.65
ค่ามัธยฐาน (Median) = 49



ภาพที่ 28 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 16

ตัวอย่างที่ 17 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 153.87 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 69.25
ค่ามัธยฐาน (Median) = 167



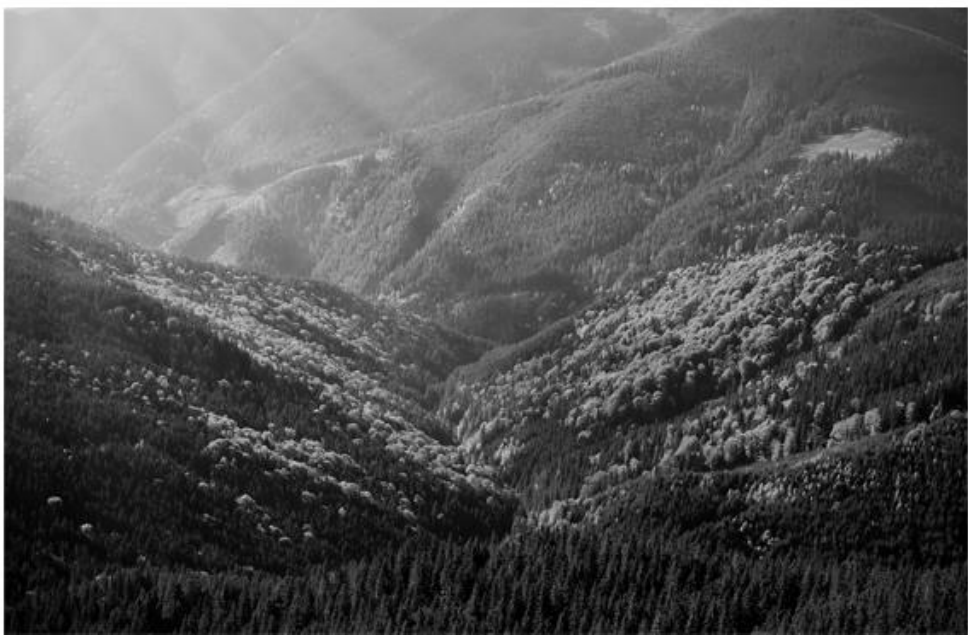
ภาพที่ 29 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 17

ตัวอย่างที่ 18 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 122.41 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 60.59
ค่ามัธยฐาน (Median) = 134



ภาพที่ 30 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 18

ตัวอย่างที่ 19 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 70.30 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 48.92
ค่ามัธยฐาน (Median) = 59



ภาพที่ 31 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 19

ตัวอย่างที่ 20 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 143.07 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 65.85
ค่ามัธยฐาน (Median) = 147



ภาพที่ 32 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 20

ตัวอย่างที่ 21 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 134.48 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 59.57
ค่ามัธยฐาน (Median) = 147



ภาพที่ 33 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 21

ตัวอย่างที่ 22 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 104.61 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 61.98
ค่ามัธยฐาน (Median) = 91



ภาพที่ 34 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 22

ตัวอย่างที่ 23 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 51.40 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 42.57
ค่ามัธยฐาน (Median) = 41



ภาพที่ 35 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 23

ตัวอย่างที่ 24 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 164.76 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 45.14
ค่ามัธยฐาน (Median) = 174



ภาพที่ 36 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 24

ตัวอย่างที่ 25 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 125.86 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 37.55
ค่ามัธยฐาน (Median) = 135



ภาพที่ 37 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 25

ตัวอย่างที่ 26 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 146.71 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 68.20
ค่ามัธยฐาน (Median) = 153



ภาพที่ 38 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 26

ตัวอย่างที่ 27 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 90.69 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 47.55
ค่ามัธยฐาน (Median) = 85



ภาพที่ 39 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 27

ตัวอย่างที่ 28 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 110.25 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 64.72
ค่ามัธยฐาน (Median) = 96



ภาพที่ 40 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 28

ตัวอย่างที่ 29 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 137.40 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 59.64
ค่ามัธยฐาน (Median) = 137



ภาพที่ 41 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 29

ตัวอย่างที่ 30 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 90.04 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 52.47
ค่ามัธยฐาน (Median) = 79



ภาพที่ 42 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 30

ตัวอย่างที่ 31 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 97.20 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 50.26
ค่ามัธยฐาน (Median) = 85



ภาพที่ 43 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 31

ตัวอย่างที่ 32 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 98.89 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 47.29
ค่ามัธยฐาน (Median) = 101



ภาพที่ 44 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 32

ตัวอย่างที่ 33 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 85.56 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 53.42
ค่ามัธยฐาน (Median) = 82



ภาพที่ 45 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 33

ตัวอย่างที่ 34 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 50.92 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 38.95
ค่ามัธยฐาน (Median) = 41



ภาพที่ 46 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 34

ตัวอย่างที่ 35 ค่าเฉลี่ย (Mean) = 95.68 ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) = 68.40
ค่ามัธยฐาน (Median) = 81



ภาพที่ 47 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ที่ 35

จากภาพตัวอย่างที่ทำการศึกษาและแปรเป็นภาพสีเทา ผู้วิจัย ได้ดำเนินการจัดกลุ่มวรรณะสีโทนภาพเพื่อดำเนินการทดสอบการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย โดยใช้ Sobel operator การแบ่งกลุ่มวรรณะสีโทน ได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ตามค่ามัธยฐาน (Median) ดังนี้

ภาพถ่ายที่มีค่ามัธยฐาน ต่ำกว่า 81 จัดอยู่ในกลุ่ม Black Tone

ภาพถ่ายที่มีค่ามัธยฐาน ตั้งแต่ 81 ถึง 129 จัดอยู่ในกลุ่ม Mid Tone

ภาพถ่ายที่มีค่ามัธยฐาน มากกว่า 129 ขึ้นไป จัดอยู่ในกลุ่ม White Tone

ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ Black Tone

หมายเลข	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation)	ค่ามัธยฐาน (Median)
2	96.44	59.33	80
3	73.52	43.34	68
4	84.12	52.36	80
5	68.29	37.38	61
7	57.01	42.18	42
9	83.70	62.93	61
10	31.48	29.05	24
16	56.70	37.65	49
19	70.30	48.92	59
23	51.40	42.57	41
30	90.04	52.47	79
34	50.92	38.95	41

ตารางที่ 4 แสดงการแบ่งกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ Black Tone

หมายเลข	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation)	ค่ามัธยฐาน (Median)
8	110.34	58.57	106
12	120.17	53.31	113
13	101.57	48.83	100
15	96.00	46.73	93
22	104.61	61.98	91
27	90.69	47.55	85
28	110.25	64.72	96
31	97.20	50.26	85
32	98.89	47.29	101
33	85.56	53.42	82
35	95.68	68.40	81

ตารางที่ 5 แสดงการแบ่งกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ White Tone

หมายเลข	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation)	ค่ามัธยฐาน (Median)
1	138.77	62.33	150
6	125.43	77.29	139
11	129.36	77.79	143
14	160.7	42.44	167
17	153.82	69.25	167
18	122.41	60.59	134
20	143.07	65.85	147
21	134.48	59.57	147
24	164.75	45.14	174
25	125.81	37.55	135
26	146.71	68.19	153
29	137.4	59.64	137

หลังจากได้จัดกลุ่มวรรณะสีโทนภาพแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดทำแบบสำรวจเพื่อประเมินการมองเห็นและการจัดประเภทของวรรณะสีโทนภาพด้วยสายตาของผู้ที่มีประสบการณ์ด้านต่าง ๆ ซึ่งมีผู้ประเมินการมองเห็นผ่านระบบสารสนเทศ จำนวน 55 คน ประกอบด้วยผู้ที่มีประสบการณ์ด้านงานศิลปะ เช่น นักวาดภาพ นักวาดภาพกราฟฟิก เป็นต้น ผู้มีประสบการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอ เช่น นักถ่ายภาพมืออาชีพ นักถ่ายภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น และผู้ที่มีประสบการณ์ด้านอื่น ๆ ที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับงานด้านศิลปะ การถ่ายภาพ/วิดีโอ

ตารางที่ 6 แสดงประเภทประสบการณ์และจำนวนผู้ประเมินภาพ

ประสบการณ์	จำนวนผู้ประเมิน	อัตราร้อยละ
ประสบการณ์ด้านงานศิลปะ	16	29.09
ประสบการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอ	15	27.27
ประสบการณ์ทั้งด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอหรือด้านศิลปะ	3	5.45
ไม่มีประสบการณ์ด้านศิลปะและด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอ	27	49.09
รวม	55	100

จากตาราง ผู้ประเมินส่วนใหญ่มีประสบการณ์ด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากประสบการณ์งานศิลปะ การถ่ายภาพ/วิดีโอ คิดเป็นอัตราร้อยละ 49.09 ของจำนวนผู้ประเมินทั้งหมด รองลงมา มีประสบการณ์ด้านงานศิลปะ คิดเป็นอัตราร้อยละ 29.09 ประสบการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอ คิดเป็นอัตราร้อยละ 27.27 และมีประสบการณ์เฉพาะด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอหรือด้านศิลปะ อัตราร้อยละ 5.45 โดยจะรวมอยู่ในผู้มีประสบการณ์ด้านงานศิลปะและด้านการถ่ายภาพ / วิดีโอ

ตารางที่ 7 แสดงเพศและอายุกลุ่มผู้ประเมินภาพ

อายุ	เพศชาย	เพศหญิง	รวม	ร้อยละ
น้อยกว่า 15 ปี	1	2	3	5.45
ระหว่าง 15 – 30 ปี	5	13	18	32.73
ระหว่าง 31 – 45 ปี	2	9	11	20.00
มากกว่า 45 ปี ขึ้นไป	5	18	23	41.82
รวม	13	42	55	100.00

จากตารางพบว่ากลุ่มผู้ประเมินภาพส่วนใหญ่มีอายุมากกว่า 45 ปีขึ้นไป คิดเป็นอัตราร้อยละ 41.82 ของกลุ่มผู้ประเมินทั้งหมด รองลงมา มีอายุระหว่าง 15 ถึง 30 ปี คิดเป็นอัตราร้อยละ 32.73 อายุระหว่าง 31 ถึง 45 ปี คิดเป็นอัตราร้อยละ 20 อายุต่ำกว่า 15 ปี คิดเป็นอัตราร้อยละ 5.45 ตามลำดับ และกลุ่มผู้ประเมินภาพส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นอัตราร้อยละ 76.36

ตารางที่ 8 แสดงการประเมินภาพ กลุ่ม Black Tone

ประสบการณ์ของผู้ประเมิน	ผลการประเมิน						
	Black Tone		Mid Tone		White Tone		
	รวม	ร้อยละ	รวม	ร้อยละ	รวม	ร้อยละ	รวม
ด้านการศิลปะ	135	75.00	45	25.00	0		180
ด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอทัศน์	134	69.80	53	27.60	5	2.60	192
ทั่วไป	208	72.22	70	24.31	10	3.47	288
รวม	477		168		15		660
ร้อยละ	72.27		25.45		2.27		

จากตารางการประเมินภาพในกลุ่ม Black Tone พบว่าการการประเมินภาพด้วยสายตาส่วนใหญ่ประเมินภาพอยู่ในกลุ่ม Black Tone คิดเป็นอัตราร้อยละ 72.27 รองลงมาประเมินอยู่ในกลุ่ม Mid Tone ร้อยละ 25.45 และกลุ่ม White Tone ร้อยละ 2.27 ซึ่งผลการประเมินภาพ กลุ่ม Black Tone มีผลคลาดเคลื่อนจากการประเมินการเห็นด้วยสายตาเป็นภาพกลุ่ม Mid Tone นั้น ถือได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนของผู้ประเมินการเห็นภาพเป็นกลุ่ม Black Tone ถึงร้อยละ 46.82 อันอาจเกิดจากค่ามัธยฐานในกลุ่ม Tone ที่ใกล้เคียงกัน การประเมินด้วยสายตาจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

ตารางที่ 9 แสดงการประเมินภาพ กลุ่ม Mid Tone

ประสบการณ์ของผู้ประเมิน	ผลการประเมิน						
	Black Tone		Mid Tone		White Tone		
	รวม	ร้อยละ	รวม	ร้อยละ	รวม	ร้อยละ	รวม
ด้านการศิลปะ	0	0.00	180	70.59	75	29.41	255
ด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอทัศน์	0	0.00	185	55.88	87	44.12	272
ทั่วไป	32	7.84	257	62.99	119	29.17	408
รวม	32		622		281		935
ร้อยละ	3.42		66.52		30.05		

จากตารางประเมินภาพกลุ่ม Mid Tone พบว่า ร้อยละ 66.52 มองภาพเป็นกลุ่ม Mid Tone รองลงมา ร้อยละ 30.05 ประเมินภาพอยู่ในกลุ่ม White Tone และร้อยละ 3.42 ประเมินภาพอยู่ใน

กลุ่ม Black Tone ซึ่งแสดงว่าการประเมินด้วยสายตาของผู้มีประสบการณ์ทุกกลุ่มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและส่วนใหญ่ประเมินเช่นเดียวกับการจัดกลุ่มจากค่ามัธยฐาน

ตารางที่ 10 แสดงการประเมินภาพ กลุ่ม White Tone

ประสบการณ์ของผู้ประเมิน	ผลการประเมิน						
	Black Tone		Mid Tone		White Tone		
	รวม	ร้อยละ	รวม	ร้อยละ	รวม	ร้อยละ	รวม
ด้านการศิลปะ	0	0.00	0	0.00	90	100.00	90
ด้านการถ่ายภาพ/วิดิทัศน์	0	0.00	15	15.62	81	84.38	96
ทั่วไป	12	8.33	45	31.25	87	60.42	144
รวม	12		60		258		330
ร้อยละ	3.64		18.18		78.18		

จากตารางประเมินภาพกลุ่ม White Tone พบว่า ร้อยละ 78.18 ประเมินภาพอยู่ในกลุ่ม White Tone รองลงมาร้อยละ 18.18 ประเมินภาพอยู่ในกลุ่ม Mid Tone และร้อยละ 3.64 ประเมินภาพอยู่ในกลุ่ม Black Tone ส่วนมากมีการประเมินภาพตัวอย่างเป็นกลุ่ม White Tone ซึ่งเป็นการประเมินที่มีความสอดคล้องกับการจัดกลุ่มภาพจากค่ามัธยฐาน

ซึ่งจากการประเมินภาพของแต่ละกลุ่ม มีข้อสังเกตว่า กลุ่มผู้มีประสบการณ์ด้านการศิลปะ มีความคาดเคลื่อนในการประเมินกลุ่มภาพน้อยที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มผู้มีประสบการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดิทัศน์ และกลุ่มผู้มีประสบการณ์ทั่วไปตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะประสบการณ์หรือความเชี่ยวชาญการวิเคราะห์ภาพที่เป็นปัจจัยในการทำให้ประเมินภาพเกิดความคาดเคลื่อนมากน้อยต่างกันไป

4.1 การปรับภาพและการหาเส้นขอบ

เนื่องจากภาพถ่ายที่นำมาแปรเพื่อหาขอบโครงร่างของเส้น (Edge) จะปรากฏ สัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นจุดรบกวนในภาพ ซึ่งอาจเกิดจากแสง สภาพแวดล้อม หรือลักษณะพื้นผิวของวัตถุในภาพถ่าย ยิ่งมีการเพิ่มปริมาณการหาขอบเส้นเพื่อให้วัตถุในภาพเด่นชัดมากเท่าไร สัญญาณรบกวนก็ยิ่งจะปรากฏมากขึ้นตามการเพิ่มปริมาณความคมชัดดังนั้น ในการศึกษาจึงต้องทำการปรับภาพให้มีความราบรื่นขึ้นก่อนการหาเส้นของภาพ (Lu et al., 2012) ได้ศึกษาลายเส้นดินสอในภาพวาดโดยใช้การผสมระหว่างวรรณะสีโทนและลายเส้นภาพมาสร้างเป็นลายเส้นดินสอ โดยให้ความสำคัญว่า

วรรณะสีโทนนั้นสำคัญที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับภาพโดยใช้ Gaussian blur ตัวกรองเพื่อปรับภาพ กระบวนการ Gaussian blur จะช่วยในการลดสัญญาณรบกวนและรายละเอียดที่ไม่จำเป็นออกไป สมการ Gaussian แบบมิติเดียว (1) และสมการ Gaussian แบบ 2 มิติ (2) ตามสมการดังนี้

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

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

x = ตำแหน่งในแนวแกนนอน
 y = ตำแหน่งในแนวแกนตั้ง
 σ = ค่าเบี่ยงเบนของ Gaussian

ส่วนการหาเส้นขอบ ใช้โปรแกรม Sobel operator ในการแยกขอบและภาพจะมีลักษณะที่คล้ายกับเส้นดินสอ และจะเก็บรายละเอียดของภาพที่สำคัญส่วนใหญ่ไว้

$$\begin{aligned} S(i, j) &= |S_x| + |S_y| \\ &= |f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1) \\ &\quad - (f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1))| \\ &\quad + |f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1) \\ &\quad - (f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1))| \end{aligned}$$

กำหนด Kernel ของแกน X และ แกน Y

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

$S(i, j)$ = ค่าความสว่างของจุดภาพ (Pixel) ของภาพ

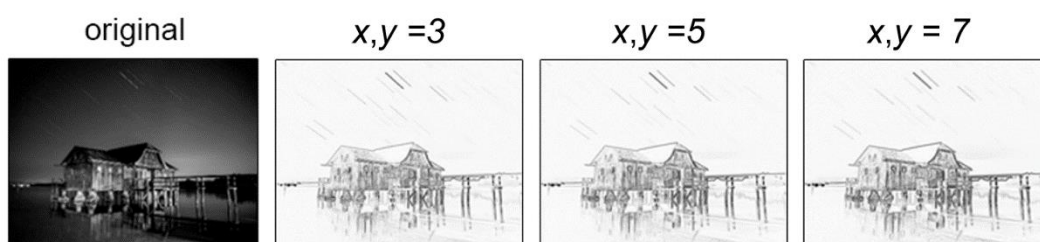
S_x = ตำแหน่งในแนวแกนนอน

S_y = ตำแหน่งในแนวแกนตั้ง

จากภาพตัวอย่างที่ทำการศึกษากลุ่มภาพ Black Tone, Mid Tone และ White Tone ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปรับภาพโดยใช้สมการ Gaussian blur กำหนดค่า x และ y เพื่อทำการศึกษาในการหาเส้นขอบ จำนวน 3 ระดับ โดยกำหนดค่า x และ ค่า $y = 3$ ซึ่งเป็นค่าที่ปรับภาพให้เลือนรางหรือพลา้มัว (blur) น้อยที่สุด กำหนดค่า x และ ค่า $y = 5$ ในระดับการเลือนรางหรือพลา้มัว (blur) ปานกลาง และ กำหนดค่า x และ ค่า $y = 7$ ระดับการเลือนรางหรือพลา้มัว (blur) มาก และ ดำเนินการทดสอบหาเส้นขอบจากภาพในระดับต่าง ๆ ของกลุ่มโทรภาพตัวอย่าง

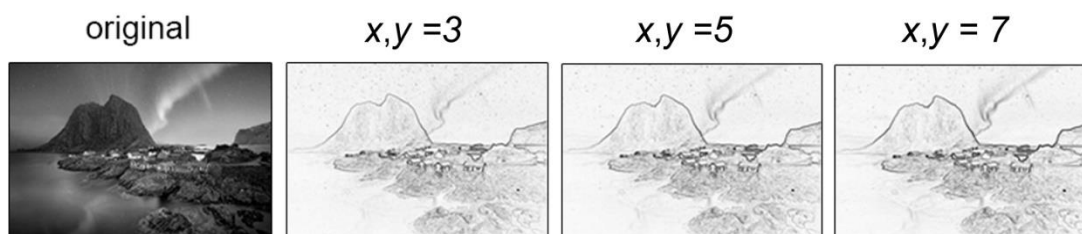
การศึกษหาเส้นขอบจากภาพตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม Tone โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการหาเส้นขอบภาพตัวอย่างทั้ง 35 ภาพ ในแต่ละภาพได้ดำเนินการศึกษาหาเส้นขอบโดยก่อนการดำเนินการ ผู้ศึกษาได้ดำเนินการปรับภาพโดยใช้สมการ Gaussian blur กำหนดค่า x, y ในทุกระดับ ทั้งกลุ่มภาพ Black Tone, Mid Tone และ White Tone เหมือนกัน เพื่อศึกษาหาความแตกต่างและข้อบกพร่องในแต่ละภาพที่มี Tone ภาพ และค่ามัธยฐาน (Median) ต่างกัน

การหาเส้นขอบจากภาพตัวอย่างที่มีค่ามัธยฐาน ต่ำ กลาง และสูงสุด ในแต่ละกลุ่ม Tone การศึกษาหาเส้นขอบ กลุ่ม Black Tone จากภาพศึกษา หมายเลข 10 ค่ามัธยฐาน (Median) = 24



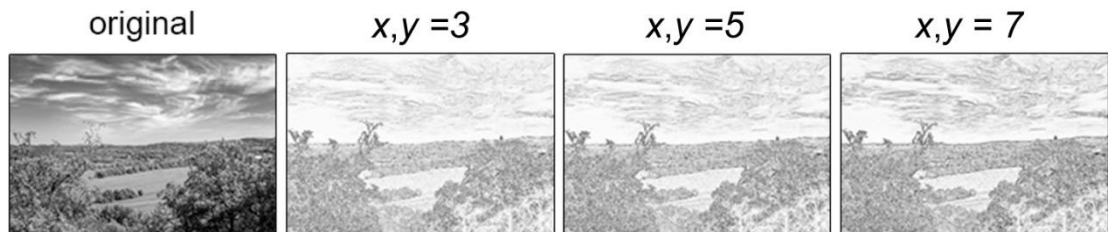
ภาพที่ 48 ตัวอย่างกลุ่ม Black Tone หมายเลข 10

การศึกษหาเส้นขอบ กลุ่ม Black Tone จากภาพศึกษา หมายเลข 16 ค่ามัธยฐาน (Median) = 49



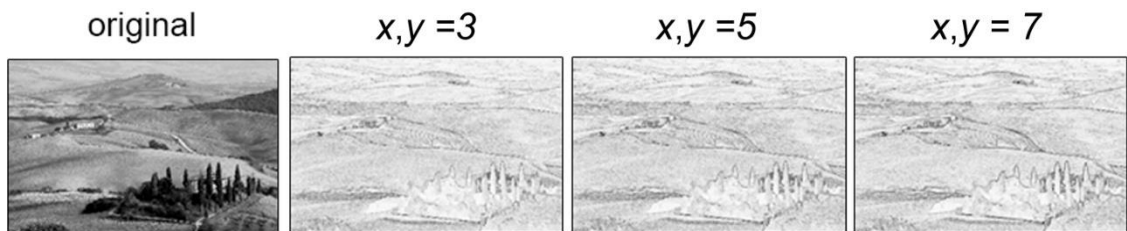
ภาพที่ 49 ตัวอย่างกลุ่ม Black Tone หมายเลข 16

การศึกษาหาเส้นขอบ กลุ่ม Mid Tone จากภาพศึกษา หมายเลข 14 ค่ามัธยฐาน
(Median) = 81



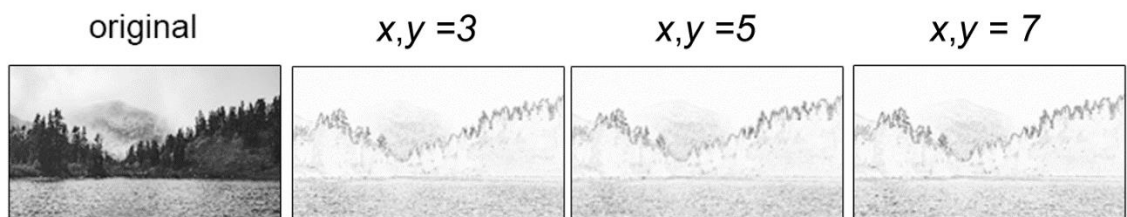
ภาพที่ 50 ตัวอย่างกลุ่ม Mid Tone หมายเลข 14

การศึกษาหาเส้นขอบ กลุ่ม Mid Tone จากภาพศึกษา หมายเลข 32 ค่ามัธยฐาน
(Median) = 101



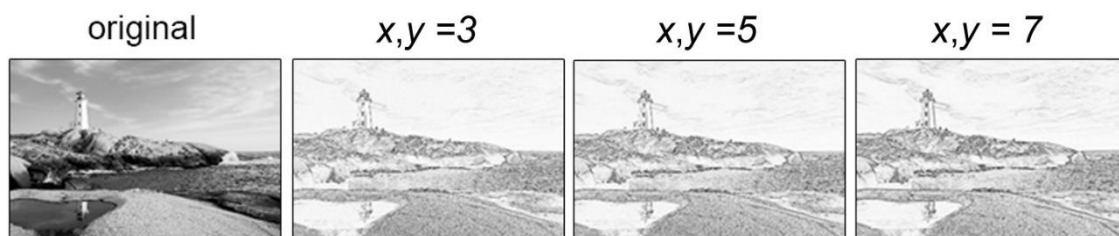
ภาพที่ 51 ตัวอย่างกลุ่ม Mid Tone หมายเลข 32

การศึกษาหาเส้นขอบ กลุ่ม White Tone จากภาพศึกษา หมายเลข 11 ค่ามัธยฐาน
(Median) = 143



ภาพที่ 52 ตัวอย่างกลุ่ม White Tone หมายเลข 11

การศึกษาหาเส้นขอบ กลุ่ม White Tone จากภาพศึกษา หมายเลข 18 ค่ามัธยฐาน (Median) = 134



ภาพที่ 53 ตัวอย่างกลุ่ม White Tone หมายเลข 18

จากการศึกษาหาเส้นขอบของภาพในแต่ละกลุ่ม Tone พบว่าในกลุ่มภาพ Black Tone ผู้วิจัยได้ดำเนินการ Gaussian blur ภาพจำนวน 3 ชุด ชุดแรกกำหนดค่า $x = 3, y = 3$ ชุดที่สองกำหนดค่า $x = 5, y = 5$ และชุดที่สามกำหนดค่า $x = 7, y = 7$ ก่อนการศึกษาหาเส้นขอบ โดยใช้สมการ Sobel ผลการศึกษาชุดภาพที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ $x = 3, y = 3$ จะมีความคมชัดและครบถ้วนมากกว่าการกำหนดค่า Gaussian blur ที่ $x = 5, y = 5$ และ $x = 7, y = 7$ ในกลุ่มภาพ Mid Tone ผู้วิจัยได้ดำเนินการ Gaussian blur ภาพจำนวน 3 ชุด ชุดแรกกำหนดค่า $x = 3, y = 3$ ชุดที่สองกำหนดค่า $x = 5, y = 5$ และชุดที่สามกำหนดค่า $x = 7, y = 7$ ก่อนการศึกษาหาเส้นขอบ โดยใช้สมการ Sobel ผลการศึกษาชุดภาพที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ $x = 5, y = 5$ จะมีความคมชัดและครบถ้วนมากกว่าการกำหนดค่า Gaussian blur ที่ $x = 3, y = 3$ และ $x = 7, y = 7$ และในกลุ่มภาพ White Tone ผู้วิจัยได้ดำเนินการ Gaussian blur ภาพจำนวน 3 ชุด ชุดแรกกำหนดค่า $x = 3, y = 3$ ชุดที่สองกำหนดค่า $x = 5, y = 5$ และชุดที่สามกำหนดค่า $x = 7, y = 7$ ก่อนการศึกษาหาเส้นขอบ โดยใช้สมการ Sobel ผลการศึกษาชุดภาพที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ $x = 7, y = 7$ จะมีความคมชัดและครบถ้วนมากกว่าการกำหนดค่า Gaussian blur ที่ $x = 3, y = 3$ และ $x = 5, y = 5$ จากการศึกษาการหาเส้นขอบภาพตัวอย่าง จำนวน 35 ภาพ รวม 3 ชุด พบว่ามีบางภาพในแต่ละกลุ่มที่ต้องกำหนดค่า Gaussian blur จากค่ามาตรฐานที่ใช้ส่วนใหญ่ขึ้นลง โดยเฉพาะค่ามัธยฐานของภาพที่มีความใกล้เคียงกันในแต่ละกลุ่มวรรณะสีโทน สอดคล้องกับ (Yang and Min, 2019) ได้ศึกษาและวิเคราะห์การเลียนแบบเส้นวาดของศิลปินโดยจากการดูลักษณะเด่นของเส้นโค้ง เหนือแสงเงาที่เหมาะสมของภาพและพบว่าลายเส้นโครงร่างมีความสำคัญต่อการวาดของศิลปิน จึงมีการศึกษาโดยใช้วิธี Flow-based DoG (FDoG) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์แยกแวกเตอร์เส้นออกจากภาพ ซึ่งได้พบข้อจำกัดของการใช้วิธีนี้ด้านความแม่นยำในการแยกเส้นแวกเตอร์จึงทำการต่อยอดให้วิธีการหาเส้นขอบให้มีความแม่นยำมากขึ้นและมีเส้นรบกวนให้น้อยลงมากที่สุด และในการศึกษาหาเส้นขอบในแต่ละภาพที่มีความคมชัดน้อยจนถึงไม่ปรากฏเส้นขอบนั้น อาจเป็นเพราะว่า

ระดับของแสง และความคมชัดของภาพต้นฉบับในภาพแต่ละภาพมีความแตกต่างกันในบางจุดอันเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาในการหาเส้นขอบ สอดคล้องกับ (Son et al., 2007) กล่าวว่า ปัญหาของการหาเส้นจากวัตถุ 3 มิติ จะถูกรบกวนโดยแสงและเงาของภาพ ส่งผลทำให้ภาพพร่ามัวไม่ชัดเจน ส่งผลให้รายละเอียดของลายเส้นที่ได้จากภาพขาดหายไป ซึ่งในการใช้สมการ Sobel หาเส้นขอบภาพถ่ายไม่สามารถดำเนินการเฉพาะจุดในแต่ละภาพได้ จากการศึกษาหาเส้นขอบภาพถ่ายอย่างนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดทำแบบประเมินความพึงพอใจในการหาเส้นขอบในแต่ละกลุ่มวรรณะสีโทนภาพ โดยกำหนดภาพตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ให้ผู้ประเมินทำการประเมินความพึงพอใจ จากจำนวนประชากร 55 ราย กำหนดระดับคะแนนความพึงพอใจในแต่ละภาพดังนี้

ระดับคะแนน	4	พึงพอใจมาก
ระดับคะแนน	3	พอใจค่อนข้างมาก
ระดับคะแนน	2	พอใจค่อนข้างน้อย
ระดับคะแนน	1	พึงพอใจน้อย

จากผลรวมคะแนนทั้ง 4 กลุ่ม ของประชากรผู้ทำการประเมิน จำนวน 55 ราย โดยทำการประเมินภาพตัวอย่างกลุ่มวรรณะสีโทนละ 4 ภาพ ผู้วิจัยได้ทำการสรุปคะแนนเป็นดังนี้

พึงพอใจมาก	ระดับคะแนนระหว่าง	661 – 880
พอใจค่อนข้างมาก	ระดับคะแนนระหว่าง	441 – 660
พอใจค่อนข้างน้อย	ระดับคะแนนระหว่าง	221 – 440
พึงพอใจน้อย	ระดับคะแนน	ต่ำกว่า 221

ตารางที่ 11 แสดงระดับคะแนนรวมความพึงพอใจการหาเส้นขอบ

ความรู้ และ ประสพ การณ์	กลุ่มภาพ Black Tone			กลุ่มภาพ Mid Tone			กลุ่มภาพ White Tone		
	Gaussian blur $k = 3$	Gaussian blur $k = 5$	Gaussian blur $k = 7$	Gaussian blur $k = 3$	Gaussian blur $k = 5$	Gaussian blur $k = 7$	Gaussian blur $k = 3$	Gaussian blur $k = 5$	Gaussian blur $k = 7$
ด้านการ ถ่ายภาพ /วิดิทัศน์	156	142	146	133	155	146	121	133	140
ด้าน ศิลปะ	141	148	160	151	161	155	151	150	156
ด้านการ ถ่ายภาพ /วิดิทัศน์ และด้าน ศิลปะ	31	32	33	33	38	34	40	26	32
ทั่วไป	334	310	304	336	257	315	334	318	295
รวม	652	632	643	653	611	650	646	627	623

จากตารางพบว่าในกลุ่มภาพ Black Tone ในภาพรวมกลุ่มผู้ประเมินมีความพึงพอใจสูงที่สุดในการหาเส้นขอบที่ระดับการกำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 3$ ที่ระดับความพึงพอใจค่อนข้างมากจำนวน 652 คะแนน รองลงมาเป็นภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 7$ และภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 5$ ตามลำดับ ส่วนผู้ที่มีประสพการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดิทัศน์ มีความพึงพอใจภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 3$ มากที่สุด ซึ่งต่างจากผู้ที่มีประสพการณ์ด้านศิลปะ ที่มีความพึงพอใจในภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 7$ ในกลุ่มภาพ Mid Tone ในภาพรวมกลุ่มผู้ประเมินมีความพึงพอใจสูงที่สุดในการหาเส้นขอบที่ระดับการกำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 3$ ที่ระดับความพึงพอใจค่อนข้างมากจำนวน 653 คะแนนรองลงมาเป็นภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 7$ และภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 5$ ด้วยคะแนน 650 คะแนน และ 611 คะแนนตามลำดับ ส่วนผู้ที่มีประสพการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดิทัศน์ และผู้ที่มีประสพการณ์ด้านศิลปะ มีความพึงพอใจภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่

ระดับค่า $k = 5$ สูงที่สุด ในกลุ่มภาพ White Tone ในภาพรวมกลุ่มผู้ประเมินมีความพึงพอใจสูงที่สุด ในการหาเส้นขอบที่ระดับการกำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 3$ ที่ระดับความพึงพอใจ ค่อนข้างมากจำนวน 646 คะแนนรองลงมาเป็นภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 5$ และภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 7$ ด้วยคะแนน 627 คะแนน และ 623 คะแนนตามลำดับ ส่วนผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอ และผู้ที่มีประสบการณ์ ด้านศิลปะ มีความพึงพอใจภาพเส้นขอบที่กำหนดค่า Gaussian blur ที่ระดับค่า $k = 7$ สูงที่สุด ซึ่ง จากผลการประเมินการหาเส้นขอบของภาพถ่ายทั้ง 3 กลุ่มวรรณะสีโทน ผู้ประเมินส่วนใหญ่มีความพึงพอใจค่อนข้างมาก ทั้งนี้เส้นขอบบางภาพมีความคมชัดและบางจุดไม่มีเส้นขอบแสดง จากการประเมิน กลุ่มผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการถ่ายภาพ/วิดีโอ และกลุ่มผู้ที่มีประสบการณ์ด้านศิลปะ มีความพึงพอใจ เป็นไปในแนวทางที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการ Gaussian blur ภาพที่ระดับค่า x, y ที่แตกต่างกันตาม ค่ามัธยฐานของแต่ละภาพในการหาเส้นขอบ ส่วนผู้ที่มีประสบการณ์ทั่วไปที่ไม่เกี่ยวข้องกับการ ถ่ายภาพ/วิดีโอ และด้านศิลปะ จะมีความพึงพอใจในภาพเส้นขอบจากการ Gaussian blur ภาพที่ ระดับค่า x, y ที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มวรรณะสีโทน $k = \text{kernel}$ ระดับของภาพแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 3, 5, 7

ตารางที่ 12 การประเมินค่าร้อยละ

ผู้ประเมิน	วรรณะสีโทน	$k=3$	$k=5$	$k=7$
ไม่มีความรู้ด้าน ศิลปะ และ ด้านการ ถ่ายภาพ (จำนวน 27)	Black-tone	76.54	70.68	69.14
	Mid-tone	77.78	72.84	72.53
	White-tone	78.09	72.22	67.59
มีความรู้ด้านศิลปะ (จำนวน 16)	Black-tone	68.23	71.35	73.96
	Mid-tone	70.31	71.88	75.52
	White-tone	73.44	72.92	69.79
มีความรู้ด้านการ ถ่ายภาพ (จำนวน 15)	Black-tone	69.44	72.22	75
	Mid-tone	69.44	71.11	75.56
	White tone	67.22	69.44	72.78
มีความรู้ทั้งด้าน ศิลปะและถ่ายภาพ (จำนวน 28)	Black-tone	69.05	72.02	75
	Mid-tone	70.54	70.83	75.89
	White-tone	69.35	71.13	71.73

ตารางที่ 13 ค่าเหมาะสมของขนาดตัวกรองที่ได้จากการทดลอง

Tone	k
Black-tone	7
Mid-tone	7
White-tone	3

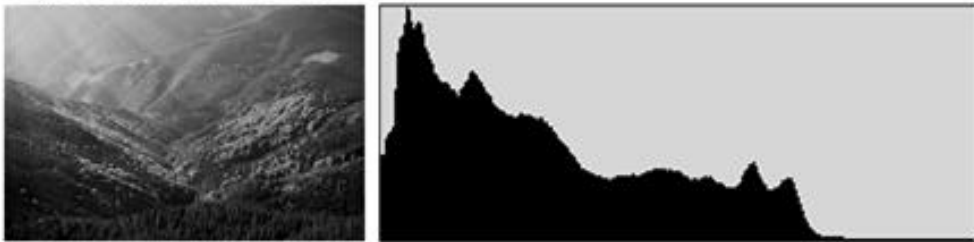
สรุปความพึงพอใจในภาพรวมของกลุ่มผู้ประเมินที่ไม่มีความรู้ด้านศิลปะและถ่ายภาพเลือก $k = 3$ มากที่สุดในกลุ่มในทุกวรรณะสีโทน ในขณะที่เดียวกันกลุ่มผู้ประเมินที่มีความรู้ด้านศิลปะเลือกเพียง White-tone เท่านั้น จากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของ White-tone $k = 3$ ร้อยละ 72.025 ซึ่งมากที่สุด

วาระอื่นอย่าง Black-tone และ Mid-tone ถูกเลือก $k=3$ มากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของ Black-tone $k=7$ คือร้อยละ 73.275 และ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของ Mid-tone $k=7$ คือร้อยละ 74.875

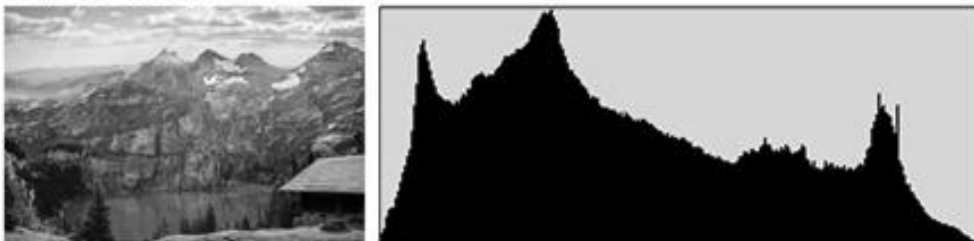
4.2 การประเมินผลลัพธ์ของภาพร่างดินสอ

ผลจากการประเมินวิธีการที่เหมาะสมจาก 12 ภาพ มี 3 ภาพจากกลุ่มที่คัดเลือกมานั้นพบความผิดพลาดซึ่งไม่อาจสรุปได้ว่า 3 ภาพ นี้ผู้ประเมินคัดเลือกให้อยู่ในกลุ่มวาระสีโทนไหน โดยภาพที่มีความกำกวมจะเกิดความผิดพลาดในการตัดสินวาระสีโทนและจะเกิดกับวาระสีโทนที่ใกล้เคียงกัน

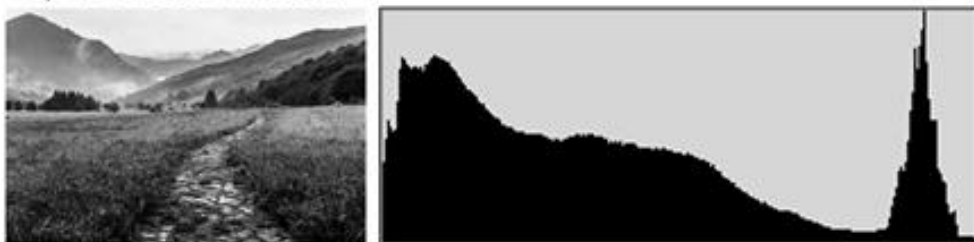
1) Black-tone and Mid-Tone.



2) Black-tone and Mid-Tone.



3) Mid-Tone and White-tone.



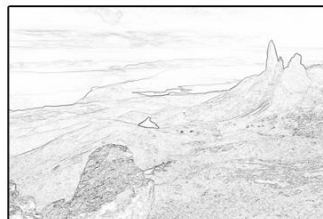
ภาพที่ 54 ตัวอย่างภาพที่มีความกำกวม

แต่จากผลการทดลองก็ได้ภาพร่างที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในฝึกการร่างภาพลายเส้นดินกับผู้ที่ต้องการศึกษาฝึกวาดภาพ

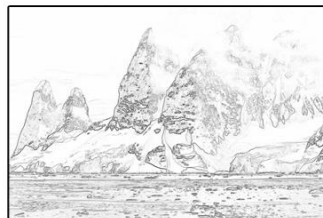
Black-tone
 $k=7$



Mid-tone
 $k=7$



White-tone
 $k=3$



ภาพที่ 55 ค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขั้นเบื้องต้นโดยเน้นเฉพาะวรรณสีโทนภาพ 3 ประเภทเท่านั้น อย่างไรก็ตามยังมีบางวรรณสีโทนที่เรายังไม่ได้ทำการศึกษาเช่น shadows tone และ highlights tone

การแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นสออัตโนมัติจากภาพถ่ายเป็นการศึกษาวิธีการประมวลผลภาพโดยมีการกำหนดกลุ่มวรรณสีโทนของภาพอย่าง Black, Mid, และ White และการปรับกรองความถี่ต่ำให้เกิดความเหมาะสมต่อขนาดภาพและลดทอน texture noise

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาเรื่อง การแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย มีวัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอโดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เพื่อดูผลลัพธ์และปรับปรุงให้ดีขึ้น
- 2) เพื่อศึกษาและลดผลของปัญหาที่พบจากการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอให้น้อยลง จากการศึกษาการแปรภาพทิวทัศน์ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากภาพถ่ายประเภทภาพทิวทัศน์โดยกำหนดภาพอยู่ในรูปแบบสีเทา ขาว ดำ ใช้ข้อมูลฮิสโทแกรมของภาพวาดอ้างอิงความถี่ของภาพ ดำเนินการปรับวรรณะสีโทนภาพโดยใช้โปรแกรม Gaussian blur ตัวกรองเพื่อศึกษาการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอในสมการที่แตกต่างกัน จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการสุ่มตัวอย่างภาพที่ทำการศึกษาเป็นลายเส้นดินสอ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาหาเส้นขอบของภาพตัวอย่างจำนวน 35 ภาพ ผู้วิจัยได้ทำการ Gaussian blur ก่อนการหาเส้นขอบ โดยกำหนดค่าสมการที่ $(x = 3, y = 3)$, $(x = 5, y = 5)$ และ $(x = 7, y = 7)$ ในแต่ละภาพตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่า ในกลุ่มภาพ Black Tone ที่ได้ดำเนินการ Gaussian blur ภาพมีค่ามัธยฐาน (Median) ไม่เกิน 81 กำหนดค่า $x = 3, y = 3$ เพื่อหาเส้นขอบ จะมีความคมชัดและครบถ้วนมากที่สุด ส่วนในกลุ่มภาพ Mid Tone ที่ได้ดำเนินการ Gaussian blur ภาพมีค่ามัธยฐาน (Median) ตั้งแต่ 81 แต่ไม่เกิน 129 กำหนดค่า $x = 5, y = 5$ เพื่อหาเส้นขอบ จะมีความคมชัดและครบถ้วนมากที่สุด และในกลุ่มภาพ White Tone ที่ได้ดำเนินการ Gaussian blur ภาพมีค่ามัธยฐาน (Median) ตั้งแต่ 129 ขึ้นไป กำหนดค่า $x = 7, y = 7$ เพื่อหาเส้นขอบ จะมีความคมชัดและครบถ้วนมากที่สุด ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาคือภาพตัวอย่างที่แบ่งกลุ่มวรรณะสีโทนภาพในแต่ละกลุ่ม บางภาพการดำเนินการ Gaussian blur กำหนดสมการค่า x, y ขึ้น หรือ ลงตามความเหมาะสม โดยเฉพาะภาพที่มีค่ามัธยฐาน (Median) ใกล้เคียงกันในแต่ละกลุ่ม และในการหาเส้นขอบจากภาพตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาพบว่า บางจุดในภาพถ่ายมีเส้นขอบที่ไม่เด่นชัด และบางจุดไม่ปรากฏเส้นขอบขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากภาพถ่ายบางภาพมีความชัดของวัตถุ มีความเข้ม ความสว่างของแสงที่แตกต่างกัน และข้อจำกัดของโปรแกรมสมการที่ใช้ในการหาเส้นขอบไม่สามารถดำเนินการได้ในแต่ละจุดบนภาพถ่าย ผลการประเมินความพึงพอใจการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย มีผู้ประเมินจำนวน 55 ราย พบว่าการแปรภาพเป็นลายเส้นดินสอในกลุ่มผู้ประเมินที่ไม่มีความรู้ด้านศิลปะและถ่ายภาพ เลือก Gaussian blur กำหนดค่า $k = 3$ ในทุควรรณะสีโทนมากที่สุด ในขณะที่กลุ่มผู้ประเมินอื่นๆเลือก $k = 7$ กันมากที่สุด จากผลรวมความพึงพอใจโดยรวมจากผู้

ประเมินทุกกลุ่ม ในกลุ่มภาพ White-tone จะเลือก $k = 3$ มากที่สุด และในกลุ่ม Black-tone กับ Mid-tone ถูกเลือกค่า $k = 7$

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสออัตโนมัติจากภาพถ่าย ผู้วิจัยพบว่าข้อจำกัดในการปรับวรรณะสีโทนภาพ Gaussian blur กำหนดค่า x, y เดียวกันตามค่ามัธยฐาน Median ที่จัดแบ่งตามกลุ่มวรรณะสีโทน ไม่ได้เสมอไป ขึ้นอยู่กับค่ามัธยฐานในแต่ละกลุ่มวรรณะสีโทนที่มีค่าสูง ต่ำ ในแต่ละกลุ่มวรรณะสีโทน และความชัดเจนของภาพถ่ายก่อนการดำเนินการ Gaussian blur ดังนั้นการศึกษาในเบื้องต้นจึงต้องดำเนินการปรับค่า x, y ให้มีความเหมาะสมกับค่ามัธยฐาน Median ในแต่ละวรรณะสีโทน เพื่อความชัดเจนของภาพถ่ายที่จะทำการแปรภาพเป็นลายเส้นดินสอ นอกจากนี้ยังมีปัญหาจากปัจจัยภายนอกเช่นลักษณะของภาพถ่ายว่าถ่ายจากอุปกรณ์ชนิดใด อย่างเช่น โทรศัพท์มือถือ หรือ กล้อง DSLR ซึ่งจะทำให้มีความละเอียดของภาพที่แตกต่างกัน

ผู้ที่สนใจสามารถนำเอาวิธีการนี้ไปใช้เพื่อลดผลของปัญหาที่พบจากการแปรภาพทิวทัศน์เป็นลายเส้นดินสอให้น้อยลงได้และความพึงพอใจต่อกลุ่มผู้ใช้ตัวอย่างบางกลุ่ม ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยควรจะทำการศึกษาถึงวิธีการปรับภาพถ่ายให้มีความความราบรื่นและลดสัญญาณรบกวน โดยอัตโนมัติเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการแปรภาพถ่ายเป็นลายเส้นดินสอออกมาชัดเจน และการซ่อมแซมเชื่อมต่อเส้นที่ขอบของภาพขาดหายไปโดยเฉพาะภาพถ่ายที่ไม่สามารถระบุค่ามัธยฐานได้

ภาคผนวก

ตัวอย่าง Google Form แบบสอบถามการประเมินความพึงพอใจของลายเส้น

แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจของภาพลายเส้น

แบบสอบถามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสอบถามความพึงพอใจของภาพลายเส้นเพื่อนำไปประกอบข้อมูลการวิจัย

เพศ

ชาย

หญิง

อายุ *

น้อยกว่า 15 ปี

ระหว่าง 15 - 30 ปี

ระหว่าง 31 - 45 ปี

46 ปี ขึ้นไป

มีความรู้ทางด้านใด (*ไม่บังคับตอบ)

ด้านศิลปะ

ด้านการถ่ายภาพ / วิดีโอ

โปรดจากส่วนนี้ 1 ไปยังส่วนถัดไป

ประเมินความพึงพอใจของภาพลายเส้น (1)

ข้อนี้จะมี 18 ข้อ (รวม 3 ข้อ) โดยข้อที่ 1-3 จะใช้ภาพจริงมาเทียบความพึงพอใจ, ข้อที่ 4-18 จะใช้ภาพลายเส้นมาเทียบความพึงพอใจ (รวมทั้งหมด 18 ข้อ)

1. ภาพจริง

2. ภาพลายเส้น

3. ภาพจริง

4. ภาพจริง

5. ภาพจริง

ภาพจริง 1 (รูป)

ภาพลายเส้น 1 *

1. มาก

2. มากน้อย

3. ปานกลาง

4. น้อย

5. น้อยที่สุด

ภาพจริง 2 *

1. มาก

2. มากน้อย

3. ปานกลาง

4. น้อย

5. น้อยที่สุด

ภาพจริง 3 *

1. มาก

2. มากน้อย

3. ปานกลาง

4. น้อย

5. น้อยที่สุด

ภาพที่ 56 ตัวอย่างแบบสอบถาม

ตัวอย่างการเผยแพร่ผลงาน (Khayan and Khoenkaw, 2021) ชื่อ Automatic Pencil Sketch Landscape Image Generation From Photograph งานประชุมวิชาการ ECTI DAMT & NCON 2021 จัดโดยหน่วยงาน IEEE

Automatic Pencil Sketch Landscape Image Generation From Photograph

Alipon Khayan¹
Digital Technology Innovation
Program
Faculty of Science, Majo University
Chiang Mai, Thailand
ajp10100003@mju.ac.th

Pavone Kheekas^{1*}
Digital Technology Innovation
Program
Faculty of Science, Majo University
Chiang Mai, Thailand
pavone.k@jgmu.ac.th

Abstract—This paper presents an automatic pencil sketch landscape image generation from photograph. The algorithm is generating the pencil sketch image based on the Sobel operator. The texture noise is eliminated using the Gaussian low-pass filter. The kernel of the low-pass filter is adaptive based on the tone of the input image. The evaluation of this algorithm was done using the online questionnaire, and the results are acceptable by the experts in art and photography.

Keywords—pencil drawing, non-photorealistic rendering, image tone, edge detection, adaptive low-pass filter, image processing

I. INTRODUCTION

The pencil sketch image generation of a landscape photograph is required the skilled expert drawing artist to create. In order to overcome this problem, the image processing algorithm for digital photograph to pencil sketch conversion have been proposed. These help users which do not have the skill and experience in art and drawing to create a sketch image from a photograph.

There are two types of pencil sketch image [1], the grayscale pencil drawing and colored pencil drawing (CPD). The important feature of the pencil drawing image is the gentle appearance to human eyes and almost misty representation. This effect is caused by the non-uniformity and non-smooth of the image pixels.

II. RELATED WORK

The edge detection algorithm is used to convert the digital photograph into the pencil drawing image [2]. The Sobel operator is commonly used in this structure, this method was preserving the shape and structure of the original image in the final sketch product.

The improved version is proposed by [3], the edge features are extract based on a combination of many different result of gradient detection kernel. This method produced the high detail sketch image.

However, the edge detection algorithm is very sensitive to noise especially a Sobel operator. To overcome this problem, the low-pass filter is applied to reduce the texture noise [4]. For example, the natural image often contains "a noisy texture" such as leaves and grass. This will have produced noise in the result sketch image. The low-pass filter [5] can eliminate this type of noise while preserving the important details.

The disadvantage of a low-pass filter is the detail of the sketch result can be lost if using the wrong filter parameter.

This automatic parameter estimation is proposed based on the distribution of histogram peak [6].

This paper presents an automatic filter size selection for an automatic pencil sketch generation algorithm based on image tone. The image tone classification and filter size selection algorithm were explaining as follows.

III. METHOD

The proposed algorithm is consists of 4 parts, image tone classification, low-pass filter parameter classification, low-pass filter, and edge detection. The overall proposed method is shown in Fig. 1.



Fig. 1. The overview of our proposed method.

A. Image Tone Classification

The image tone classification is used to classify the input image into 3 categories which are defined as follows.

- 1) Black-tone
- 2) Mid-tone
- 3) White-tone

The example images in different image tone are shown in Fig. 2.

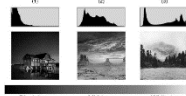


Fig. 2. The example of image is Black-tone(), Mid-tone(), White-tone().

The 6th International Conference on Digital Arts, Media and Technology (DAMT) and 4th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronic, Computer and Telecommunications Engineering (NCON)

The image tone is classified based on the image averaged pixel value using (1), then the category is applied to the image using the predefined threshold value (2). Where img is the grayscale input image, m is the averaged pixel value, θ is the predefined threshold value, and tone is the image tone category.

$$Edges = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * img_{smooth} \quad (7)$$

$$img_{smooth} = \sqrt{Edges^2 + Edges^2} \quad (8)$$

$$m = \frac{1}{img} \sum img \quad (1)$$

$$tone = \begin{cases} 1 & \text{where } m \leq \theta_1 \\ 2 & \text{where } \theta_1 < m \leq \theta_2 \\ 3 & \text{where } m \geq \theta_2 \end{cases} \quad (2)$$

The values of each threshold value (θ) are determined based on the median pixel value of each image tone obtained from the image dataset.

B. Parameter estimation

Parameter estimation is used to estimate the parameter of the low-pass filter algorithm that optimal for each input image. Where each filter size is applied for each type of image tone using (3) where w_1, w_2, w_3 are the predefined filter size, and k is the suitable filter size for the input image.

$$k = \begin{cases} w_1 & \text{where } tone = 1 \\ w_2 & \text{where } tone = 2 \\ w_3 & \text{where } tone = 3 \end{cases} \quad (3)$$

The performance of the sketch image generation algorithm is subjective to each individual artist. In order to determine the suitable parameter, the drawing artists are asked to participate in the experiments. The results using different parameter are presenting to the artist to select the best version of each category.

C. Low-pass Filter

The low-pass filter is used to eliminate a texture noise in the input image. In this research, the Gaussian blur smoothing filter is used. Where the Gaussian kernel is generated using (4) based on the size determine by k . Then the kernel is used to convolute with the input image to produce the noise-free smooth image which is still preserved the important details using (5).

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

$$img_{smooth} = img * G \quad (5)$$

D. Edge Detection

The edge detection is used to extract the edge feature from the smooth image. The vertical edge and horizontal edge are extracted and combined to produce the pencil sketch image. This operation is based on the Sobel operator where the vertical edge is extracted using (6), the horizontal edge is extracted using (7). Finally, both edge features are combined using (8) to produce the final pencil sketch result.

$$Edges_v = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * img_{smooth} \quad (6)$$

$$Edges_h = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -2 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} * img_{smooth} \quad (6)$$

IV. EXPERIMENT

The experiment in this research is divided into 3 parts, dataset preparation, the low-pass filter evaluation, and the pencil sketch result evaluation.

A. Image dataset preparation and tone classification

The image dataset was prepared by randomly select the 33 landscape images, a scenery photograph obtained from [7]. The resolution of the image is ranging from 0 to 255, and containing 12 images for Black-tone, 11 for Mid-tone, and 12 for White-tone. The example images of each category are shown in Fig. 3.



Fig. 3. The example of dataset images in each category.

The observation of the mean of each image; median value is 81 for Black-tone(9), 129 for Mid-tone(9), and 129 for White-tone(9). The evaluation of tone classification using these threshold values are shown in TABLE I.

978-1-788-30038-3/15/00 02021 IEEE

27

The 6th International Conference on Digital Arts, Media and Technology (DAMT) and 4th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronic, Computer and Telecommunications Engineering (NCON)

TABLE I. THE EVALUATION RESULT OF THE IMAGE TONE CLASSIFICATION.

	Black-tone	Mid-tone	White-tone
True Positive	5	6	12
True Negative	21	21	19
False Positive	1	4	4
False Negative	4	4	6
Precision	0.69	0.60	0.72
Recall	0.67	0.60	0.60
Accuracy	0.66	0.77	0.69

B. Low-pass filter evaluation

The 3 images randomly selected from each category (9 images in total) are applied with a Gaussian blur with 3 kernel sizes which are $k=3, k=5, k=7$. The result of each image is evaluated by 55 participants ($n=55$) including 27 non-artistic background persons, 16 artistic experts, 15 photography experts, and 28 experts in both art and photography. The results are shown in TABLE II, where the score is based on the 4 adjusted Likert-scale ranging from 0 to 100. The final selected filter parameters are shown in TABLE III.

TABLE II. THE QUESTIONNAIRE EVALUATION SCORE RESULT OF THE LOW-PASS FILTER EVALUATION.

Population	Tone	k		
		k=3	k=5	k=7
non-artistic background persons (n = 27)	Black-tone	76.54	70.68	69.14
	Mid-tone	77.78	73.84	73.13
	White-tone	78.89	72.22	67.79
artistic experts (n = 16)	Black-tone	68.23	71.35	73.96
	Mid-tone	70.31	71.88	75.82
	White-tone	73.44	72.92	69.79
photography experts (n = 15)	Black-tone	69.44	72.22	75
	Mid-tone	69.44	71.11	75.56
	White-tone	67.22	68.44	72.78
experts in both art and photography (n = 28)	Black-tone	69.05	72.62	78
	Mid-tone	70.54	70.83	75.89
	White-tone	69.35	71.13	73.73

TABLE III. THE SELECTED FILTER SIZE OF EACH TONE.

Tone	k
Black-tone	3
Mid-tone	4
White-tone	3

C. The pencil sketch evaluation

The pencil sketch images produced by this algorithm are evaluated using an online questionnaire. The 12 images were

used for the algorithm evaluation, 3 images for each tone category, and 3 ambiguous images that experts did not agree on the tone category. The ambiguous images are shown in Fig. 4. The example final results of our pencil sketch image generation using our proposed algorithm are shown in Fig. 5.

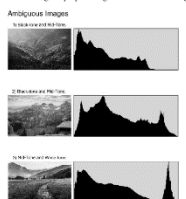


Fig. 4. The ambiguous images that experts did not agree on the tone category.

The proposed algorithm can be used in a variety of applications such as the rough-sketching image for art students to practice a drawing skill.

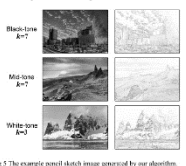


Fig. 5. The example pencil sketch image generated by our algorithm.

This research is the preliminary stage that only focus on 3 types of image tone. However, there are some tones that we do not yet investigate such as, shadow tone and highlights tone. Now we are currently developing a new algorithm that incorporated more tone and color as the features for pencil sketch generation and the preliminary result are promising.

V. CONCLUSION

An automatic pencil sketch landscape image generation from the photograph is proposed in this research. The algorithm is processing the input image by classifying the image into 3 category base on image tone, Black, Mid, and White. The input image is then processed with a low-pass

The 6th International Conference on Digital Arts, Media and Technology (DAMT) and 4th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronic, Computer and Telecommunications Engineering (NCON)

filter using a difference filter kernel for each scene to remove the texture noise. Finally, the image is converted into a pencil sketch image using the Sobel edge detection algorithm. The algorithm results are evaluated by experts in art and photography, the results are acceptable by the experts.

ACKNOWLEDGMENT

This research was partially supported by the Faculty of Science, Majo University. The authors would like to thank the colleagues at the Faculty of Information and Communication, Majo University for their support.

REFERENCES

- [1] S. Takai, I. Fujihira, and M. Nakajima, "Volumetric modeling of colored pencil drawing," in Proceedings, Seventh Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (Cat. No. FR9293), 1999, IEEE, pp. 290-295.

- [2] X. Sun, J. Pan, Z. Chen, and Y. Chen, "Automatic Generation of Pencil Sketch for 2D Images," in ISMIR, 2016, pp. 1004-1021.
- [3] C. L. Li, S. and J. Lu, "Combining sketch-like style for pencil drawing generation," in Proceedings of the Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, 2012, International Association for Computer Graphics and Signal Processing, 2010, vol. 4, IEEE, pp. 103-104.
- [4] J. Zhao and B. Li, "Automatic generation of pencil-sketch like drawings from general photos," in 2005 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2005, IEEE, pp. 1020-1023.
- [5] J. Song, Z. Ou, L. Liu, and H. Fu, "Automatic generation of pencil and drawing from photos," in 2004 International Conference on Image Processing, 2004, ICIP, 2004, vol. 2, IEEE, pp. 1100-1108.
- [6] photoshop (2015). Photo. Available: <https://photoshop.com/>

29

30

บรรณานุกรม

- Gao, X., Zhou, J., Chen, Z. & Chen, Y. 2010. **Automatic Generation of Pencil Sketch for 2D Images.**
- Kenneth, C. (1949). **Landscape into art:** Beacon Press, London.
- Khayan, A. & Khoenkaw, P. 2021. **Automatic Pencil Sketch Landscape Image Generation From Photograph.** IEEE.
- Lu, C., Xu, L. & Jia, J. 2012. **Combining sketch and tone for pencil drawing production.** Eurographics Association.
- Rungrueang, A. 2016. **The territory of a colorful fantasy world of happiness.** King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Son, M., Kang, H., Lee, Y. & Lee, S. 2007. **Abstract line drawings from 2D images.** IEEE.
- Song, J., Chi, Z., Liu, J. & Fu, H. 2004. **Automatic generation of pen-and-ink drawings from photos.** IEEE.
- Takagi, S., Fujishiro, I. & Nakajima, M. 1999. Volume graphics modeling of colored pencil drawing. **Journal of IPSJ**, 40(3), 1177-1187.
- Wang, Z., Wang, L., Peng, Y. & Shen, I.-f. 2010. **Edge-preserving based adaptive ICC method for image diffusion.** IEEE.
- Yang, H. & Min, K. 2019. Importance-based approach for rough drawings. **The Visual Computer**, 35(4), 609-622.
- Zhou, J. & Li, B. 2005. **Automatic generation of pencil-sketch like drawings from personal photos.** IEEE.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	อดิพร ชัยน
เกิดเมื่อ	16 ธันวาคม 2538
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2561 ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2557 ระดับปริญญาตรี สาขาการสื่อสารดิจิทัล คณะสารสนเทศและ การสื่อสารดิจิทัล มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2554 ระดับมัธยมปลาย ภาคศิลป์ภาษาญี่ปุ่น โรงเรียนดาราวิทยาลัย

