



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ Unsharp-Mask based Tone Mapping Operator

ชื่อนิสิต นางสาวธิมาพร ลีละสุนทรี่ เลขประจำตัว 5932615523

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อ Unsharp-Mask based Tone Mapping Operator
นิสิตผู้ดำเนินโครงการ นางสาวธิมาพร ลีละสุนตรี
ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อ.ดร.จักรินทร์ สิงห์หนู

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยอมรับรายงานโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

พิชญดา เกตุเมฆ หัวหน้าภาควิชา
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

จักรินทร์ สิงห์หนู อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
(อ.ดร.จักรินทร์ สิงห์หนู)

นิสิตผู้ดำเนินโครงการ นางสาวธิดาพร ลีละสุนทร รหัสนิสิต 5932615523

ชื่อเรื่อง Unsharp-Mask based Tone Mapping Operator

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร.จักรินทร์ สิงห์หนู

บทคัดย่อ: เทคโนโลยีการถ่ายภาพ High Dynamic Range (HDR) เป็นการถ่ายภาพในช่วงไดนามิกของแสงกว้าง สามารถเก็บรายละเอียดได้ครบถ้วนทั้งบริเวณสว่างและมืด แต่การแสดงผลภาพที่ถ่ายได้นั้นไม่สามารถแสดงผลบนอุปกรณ์แสดงผลทั่วไปได้ เนื่องจากอุปกรณ์แสดงผลทั่วไปมีความสามารถในการแสดงค่าความสว่างในช่วงไดนามิกของแสงที่แคบกว่า ดังนั้นจึงต้องอาศัย Tone Mapping Operator (TMO) ในการบีบช่วงความสว่างของภาพ HDR ให้พอดีกับช่วงไดนามิกที่อุปกรณ์แสดงผลทั่วไปสามารถแสดงผลได้ แต่อย่างไรก็ตามภาพที่ได้นั้นก็มักมีขาดความคมชัด และต้องทำการเพิ่มความคมชัด เช่นการเพิ่มความคมชัดโดย Unsharp Masking ในภายหลัง งานวิจัยนี้จึงเสนอ TMO ที่นำเอา Unsharp Masking มาประยุกต์ใช้ร่วมกับขั้นตอนการทำ Tone Mapping โดยตรง พบว่าภาพผลลัพธ์นั้นมีรายละเอียดครบถ้วน และมีความคมชัดเพิ่มขึ้น โดยที่ TMO นี้ไม่จำเป็นต้องทำการเพิ่มความคมชัดในภายหลังอีก จึงส่งผลให้การประมวลผลเร็วขึ้นอีกด้วย

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน.....^๘ธิดาพร ^๘ลีละสุนทร^๘
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... จักรินทร์ สิงห์หนู.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.ดร.จักรินทร์ สิงห์หนู อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความรู้อันมีคุณค่ายิ่งนอกเหนือจากตำราเรียน และแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย อีกทั้งยังให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรมในการวิจัยนี้เป็นอย่างดี และให้ความกรุณาในการตรวจแก้ไขเนื้อหาในเล่มวิจัยโดยละเอียด จนสำเร็จ ลุล่วงเป็นเล่มที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ อาจารย์หัวหน้าวิชาโครงการ วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาที่คอยช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุกด้าน ทั้งด้านความรู้ และเอกสารต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณแม่ ที่สนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ๆ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคน รวมถึงผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึงข้างต้น ที่คอยสนับสนุน ให้กำลังใจ และถามไถ่ถึงความก้าวหน้ามาโดยตลอดจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธีมาพร ลีละสุนตรี

พฤษภาคม 2563

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญ | จ |
| สารบัญภาพ | ช |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 แนวคิดและทฤษฎี | 3 |
| 2.1.1 High Dynamic Range (HDR) | 3 |
| 2.1.1.1 Dynamic Range | 3 |
| 2.1.1.2 High Dynamic Range (HDR) | 3 |
| 2.1.2 แผนผังการแสดงผลภาพ HDR (HDR Pipeline) | 5 |
| 2.1.3 Tone Mapping Operator (TMO) | 6 |
| 2.1.4 Post Processing | 7 |
| 2.1.4.1) Unsharp Masking | 8 |
| 2.1.4.2 Gaussian Filter | 9 |
| 2.1.4.3 Gamma Encoding | 11 |
| 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 13 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | |
| 3.1 อุปกรณ์ | 14 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย | 14 |
| 3.2.1 ขั้นตอนการเลือกใช้โปรแกรมในการออกแบบและพัฒนา | 14 |
| 3.2.1.1 โปรแกรม Matlab | 14 |
| 3.2.1.2 โปรแกรม Luminance HDR | 15 |
| 3.2.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม | 15 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.2.2.1 ออกแบบการทำงานของเครื่องมือเพิ่มความคมชัด Unsharp Masking | 15 |
| 3.2.2.2 ออกแบบการทำงานของ TMO | 17 |
| 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ | 20 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง | |
| 4.1 เปรียบเทียบความแตกต่างด้านความคมชัด | 21 |
| 4.2 เปรียบเทียบความแตกต่างด้านความเร็วในการประมวลผล | 25 |
| 4.3 ตัวอย่างภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ของงานวิจัย | 26 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 27 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 27 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 27 |
| เอกสารอ้างอิง | 29 |

สารบัญภาพ

| | หน้า | |
|-------------|--|----|
| ภาพที่ 2.1 | เปรียบเทียบ Dynamic Range ของสายตามนุษย์ (บน), กล้องบันทึกภาพ LDR (กลาง), และกล้องบันทึกภาพ HDR (ล่าง) | 4 |
| ภาพที่ 2.2 | เปรียบเทียบ Dynamic Range ของ visible spectrum, สายตามนุษย์, ภาพ HDR, และจอ LDR | 4 |
| ภาพที่ 2.3 | แผนผังการแสดงผลภาพ HDR (HDR Pipeline) | 5 |
| ภาพที่ 2.4 | ภาพ Normal (ซ้าย), ภาพ Overexposed (กลาง), ภาพ Underexposed (ขวา) | 5 |
| ภาพที่ 2.5 | เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างจอ Low Dynamic Range และจอ High Dynamic Range | 6 |
| ภาพที่ 2.6 | เปรียบเทียบการแสดงผลภาพ HDR บนจอ LDR ระหว่างภาพที่ไม่ผ่านการทำ Tone Mapping (ซ้าย) และภาพที่ผ่านการทำ Tone Mapping (ขวา) | 7 |
| ภาพที่ 2.7 | ขั้นตอนการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking | 8 |
| ภาพที่ 2.8 | ผลลัพธ์ของการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking | 8 |
| ภาพที่ 2.9 | ผลลัพธ์ของการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในระดับที่เหมาะสมจนถึง ระดับที่เพิ่มความคมชัดสูงเกินไป | 9 |
| ภาพที่ 2.10 | Gaussian filter 3 มิติ ขนาด 50×50 ที่มีค่า $\sigma = 3$ (ซ้าย) และ $\sigma = 9$ (ขวา) | 10 |
| ภาพที่ 2.11 | ผลลัพธ์ของการใช้ Gaussian filter ที่ต่างกัน | 11 |
| ภาพที่ 2.12 | เปรียบเทียบการรับรู้ค่าความสว่างของดวงตามนุษย์ (ซ้าย) และกล้องถ่ายภาพ (ขวา) | 11 |
| ภาพที่ 2.13 | เปรียบเทียบ Linear Encoded และ Gamma Encoded ที่ใช้ค่า $\gamma = 2.2$ | 12 |
| ภาพที่ 2.14 | เปรียบเทียบ Display Gamma ที่ใช้ค่า γ ที่ระดับ 1.0 , 1.8 , 2.2 , 4.0 | 12 |
| ภาพที่ 3.1 | แผนผังการทำงานของเครื่องมือเพิ่มความคมชัด Unsharp Masking | 16 |
| ภาพที่ 3.2 | ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสร้าง Unsharp-mask filter ด้วยโปรแกรม Matlab | 17 |
| ภาพที่ 3.3 | ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฟังก์ชันสำหรับแปลงภาพที่แสดงผลในรูปแบบค่าความสว่าง กลับเป็นภาพที่แสดงผลเป็นค่าสี | 18 |
| ภาพที่ 3.4 | ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฟังก์ชัน TMO จากสมการที่ (3.8) โดยฟังก์ชันชื่อว่า Dragotmosharp ที่มีการกำหนดค่า default ของตัวแปร size, sigma และ k | 19 |
| ภาพที่ 4.1 | ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผลตาม สมการที่ (3.8) (ขวา) | 21 |
| ภาพที่ 4.2 | ภาพขยายของภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผล ตามสมการที่ (3.8) (ขวา) | 21 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | | หน้า |
|------------|---|------|
| ภาพที่ 4.3 | ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา) | 22 |
| ภาพที่ 4.4 | ภาพขยายของภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา) | 22 |
| ภาพที่ 4.5 | (a) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Ashikhmin, (b) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Mantiuk'08, (c) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Reinhard และ (d) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.8) ในงานวิจัยนี้ | 23 |
| ภาพที่ 4.6 | (a) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Reinhard [16], (b) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรงกับ TMO ในงานวิจัยของ Reinhard [16], (c) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7), ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.8) | 24 |
| ภาพที่ 4.6 | ตัวอย่างภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ของงานวิจัย | 26 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 ตัวแปรในซอฟต์แวร์แก้ไขภาพที่สามารถปรับค่าได้ของ Unsharp Masking | 9 |
| ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบความเร็วในการประมวลผลระหว่างภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลังกับภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) | 25 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ในปัจจุบันการถ่ายภาพนั้นสามารถเข้าถึงได้ง่ายมากขึ้น มีหลายเหตุผลที่ผู้คนใช้งานกล้องถ่ายภาพ เหตุผลหนึ่งคือการเก็บภาพแห่งความประทับใจและบันทึกความทรงจำที่สวยงามของสถานที่นั้น ๆ ซึ่งหากภาพมีความสมจริงมากเท่าไร ความทรงจำอาจยิ่งชัดเจนมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นผู้ผลิตเทคโนโลยีด้านการถ่ายภาพจึงต่างสร้างสรรค์เทคโนโลยีใหม่ ๆ ตลอดเวลาเพื่อตอบสนองพฤติกรรมของผู้ใช้งานมากที่สุด รวมถึงสร้างสรรค์เทคโนโลยีที่ช่วยให้ได้ภาพที่สมจริง ซึ่งเทคโนโลยีการถ่ายภาพ High Dynamic Range (HDR) ก็นับเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าสนใจ และยังเป็นที่ยู้งักกันอย่างกว้างขวางจนที่ผู้ใช้งานหลายคนคุ้นเคย

เทคโนโลยีการถ่ายภาพ High Dynamic Range (HDR) เป็นเทคโนโลยีสำหรับถ่ายภาพที่มีช่วงไดนามิกของแสงกว้าง โดยหมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของความเข้มแสงที่สามารถถ่ายได้ ซึ่งเป็นการทำงานเช่นเดียวกับสายตาของมนุษย์ เนื่องจากสายตาของมนุษย์มีช่วงไดนามิกของแสงกว้าง สามารถมองเห็นรายละเอียดของวัตถุทั้งบริเวณสว่างและมืดได้ ดังนั้นกล้องถ่ายภาพที่มีช่วงไดนามิกของแสงกว้างจะสามารถเก็บรายละเอียดของวัตถุได้มากกว่า ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงบริเวณสว่างและมืด ทำให้ได้ภาพที่มีความสว่างและรายละเอียดครบถ้วน ในทางตรงข้ามกล้องถ่ายภาพที่มีช่วงไดนามิกของแสงแคบจะเกิดปัญหาบางส่วนของภาพมืดไปหรือสว่างไปจนมองไม่ชัด หรือเกิดการสูญเสียรายละเอียดและความคมชัดของภาพบริเวณนั้นไป

อย่างไรก็ตาม แม้การถ่ายภาพ HDR จะสามารถเก็บค่าแสงได้ทั้งหมด แต่ยังมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์แสดงผล เนื่องจากอุปกรณ์แสดงผลสามารถแสดงค่าแสงได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ไม่ครอบคลุมค่าแสงที่ถ่ายได้จากการถ่ายภาพ HDR ดังนั้นกระบวนการสร้างภาพสุดท้ายบนอุปกรณ์แสดงผลจากข้อมูลภาพ HDR จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ส่งผลต่อความสวยงามของภาพบนอุปกรณ์แสดงผล และต้องอาศัย Tone Mapping Operator (TMO) ในการบีบข้อมูลภาพ HDR ให้พอดีกับช่วงไดนามิกที่อุปกรณ์แสดงผลทั่วไปสามารถแสดงผลได้

การทำ Tone Mapping ของภาพ HDR ที่เหมาะสมจะช่วยให้ภาพที่ได้มีรายละเอียดครบถ้วนทั้งบริเวณสว่างและมืด แต่อย่างไรก็ตามภาพที่ได้นั้นมักขาดความคมชัด จึงต้องทำการเพิ่มความคมชัดในภายหลัง ในกระบวนการ Post Processing เช่น การเพิ่มความคมชัดโดย Unsharp Masking ทำให้การแสดงผลภาพ HDR มีความซับซ้อน ด้วยเหตุที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นปัญหาและสนใจที่จะพัฒนาเทคโนโลยีการแสดงผลภาพ HDR ให้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงเสนออัลกอริทึมใหม่ หรือ TMO ที่มีการประยุกต์ใช้การเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking รวมกับขั้นตอนการทำ Tone Mapping โดยตรง โดยหวังว่างานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อวงการถ่ายภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ประยุกต์ใช้ Unsharp Masking ร่วมกับการทำ Tone Mapping
2. พัฒนาอัลกอริทึมโดยการใช้ Unsharp Masking ร่วมกับการทำ Tone Mapping

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้ Unsharp Masking ร่วมกับ TMO ของ Drago ซึ่งเป็น TMO ที่ใช้หลักการการบีบอัดค่าความสว่างโดยการใช้ฟังก์ชันลอการิทึมกระทำกับข้อมูลภาพ HDR เลียนแบบระบบการมองเห็นของมนุษย์

2. ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพ HDR จากอินเทอร์เน็ตซึ่งยังไม่ผ่านการทำ Tone Mapping หรือกระบวนการปรับแต่งภาพใด ๆ และเป็นภาพที่มีการใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับภาพ HDR อย่างแพร่หลาย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้าง Tone Mapping Operator ที่มีการประยุกต์ใช้ Unsharp Masking
2. ได้อัลกอริทึมของการประยุกต์ใช้ Unsharp Masking ร่วมกับการทำ Tone Mapping

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 High Dynamic Range (HDR)

2.1.1.1 Dynamic Range

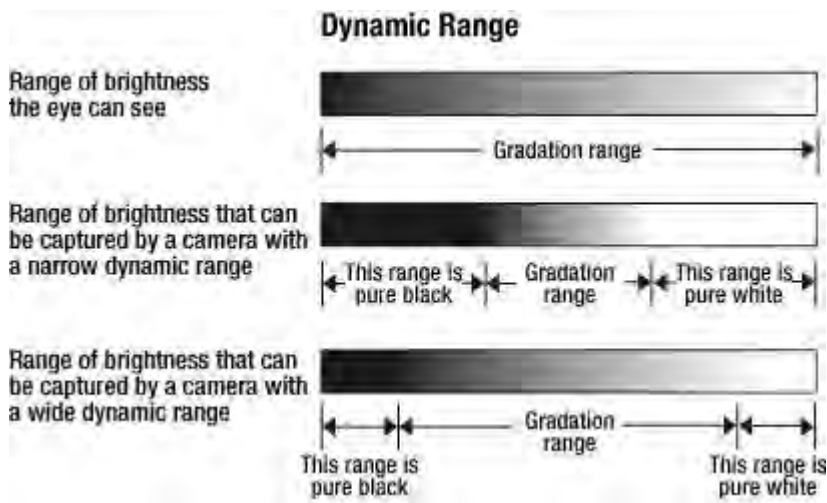
ช่วงไดนามิก (Dynamic Range) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุด โดยมีอยู่ในบริบทของสัญญาณเสียง และสัญญาณภาพ

ช่วงไดนามิกในบริบทของสัญญาณภาพ หมายถึง ช่วงความสว่างของฉากที่กล้องดิจิทัลสามารถบันทึกได้ หรืออัตราส่วนของแสง (ความสว่างสูงสุดที่วัดได้) ต่อความมืด (ความสว่างต่ำสุดที่วัดได้) ที่แสดงบนภาพซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับความสามารถในการมองเห็นของมนุษย์ เนื่องจากดวงตาของมนุษย์สามารถมองเห็นรายละเอียดของวัตถุในบริเวณที่มีแสงสว่างได้ แต่เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีแสงสว่างจ้า ดวงตาจะปรับม่านตาให้เล็กลงเพื่อให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ชัดขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้เกิดการสูญเสียการมองเห็นรายละเอียดของวัตถุบริเวณโดยรอบที่มีแสงสว่างมืดกว่า ลักษณะเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีแสงสว่างน้อย ดวงตาจะปรับม่านตาให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถมองเห็นวัตถุชัดขึ้น ในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดการสูญเสียการมองเห็นรายละเอียดของวัตถุบริเวณโดยรอบที่มีแสงสว่างมากกว่า นั่นคือดวงตาของมนุษย์สามารถมองเห็นรายละเอียดของวัตถุได้ในช่วงไดนามิกของแสงที่จำกัด ไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดของวัตถุบริเวณสว่างและมืดพร้อมกันได้ เช่นเดียวกับกล้องถ่ายภาพที่สามารถบันทึกภาพได้ในช่วงแสงที่จำกัด ไม่สามารถบันทึกรายละเอียดของวัตถุในบริเวณสว่างและมืดพร้อมกันได้ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้กล้องถ่ายภาพและดวงตาของมนุษย์จะมีลักษณะของช่วงไดนามิกที่จำกัดเช่นเดียวกัน แต่ดวงตาของมนุษย์ก็มีช่วงไดนามิกที่สูงกว่ากล้องถ่ายภาพมาก

2.1.1.2 High Dynamic Range (HDR)

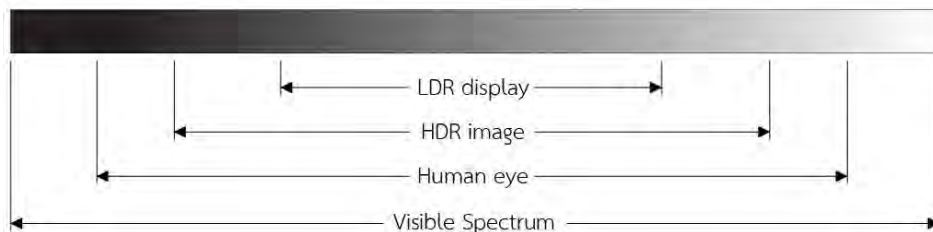
High Dynamic Range (HDR) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการถ่ายภาพเพื่อสร้างช่วงไดนามิกที่สูงกว่าการถ่ายภาพทั่วไป โดยการถ่ายภาพทั่วไบนั้นจะสามารถสร้างความแตกต่างของระดับความสว่างได้ในช่วงไดนามิกที่จำกัด ไม่สามารถสร้างความแตกต่างของค่าความสว่างที่อยู่นอกเหนือช่วงไดนามิกได้ เรียกว่า Low Dynamic Range (LDR) จึงแสดงผลในรูปแบบของสีทึบล้วนในบริเวณที่มีค่าความสว่างมากกว่า เกิดการสูญเสียรายละเอียดในบริเวณสว่างมาก และแสดงผลในรูปแบบของสีดำล้วนในบริเวณที่มีค่าความสว่างต่ำกว่า เกิดการสูญเสียรายละเอียดในบริเวณมืดมาก ภาพ HDR

จึงเป็นภาพที่สามารถบันทึกและแสดงช่วงความแตกต่างของระดับความสว่างได้มากกว่าภาพถ่ายทั่วไป โดยสามารถแสดงรายละเอียดในบริเวณสว่างจนถึงบริเวณมืดได้



ภาพที่ 2.1 เปรียบเทียบ Dynamic Range ของสายตามนุษย์ (บน), กล้องบันทึกภาพ LDR (กลาง), และกล้องบันทึกภาพ HDR (ล่าง)

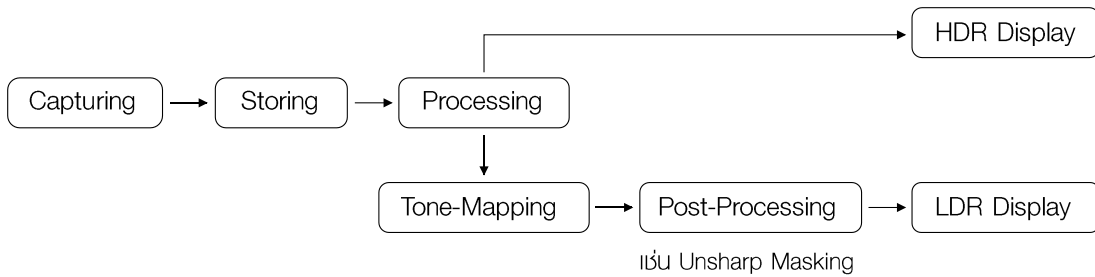
ข้อมูลภาพ HDR ที่บันทึกได้จะสอดคล้องกับค่าความสว่างจริงของฉาก โดยแตกต่างกับภาพถ่ายทั่วไปที่แสดงสีและความสว่างตามความสามารถในการแสดงผลบนจอภาพหรือกระดาษ สำหรับการพิมพ์ ดังนั้นรูปแบบภาพ HDR จึงมักเรียกว่าภาพอ้างอิง (scene-referred) และรูปแบบภาพถ่ายทั่วไป หรือภาพ LDR มักเรียกว่าภาพส่งออก (output-referred)



ภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบ Dynamic Range ของ visible spectrum, สายตามนุษย์, ภาพ HDR, และจอ LDR

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านการพิมพ์ และด้านความสามารถในการแสดงผลบนจอภาพ ข้อมูลภาพ HDR จึงจำเป็นต้องถูกบีบอัดเพื่อให้แสดงผลได้ โดยวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพ HDR เรียกว่า Tone Mapping ซึ่งจะทำให้การบีบอัดข้อมูลภาพ HDR ที่บันทึกค่าความสว่างในช่วง High Dynamic Range ให้อยู่ในช่วง Low Dynamic Range เพื่อแสดงผลบนอุปกรณ์แสดงผล หรืองานพิมพ์ที่มีช่วงไดนามิกต่ำกว่า แต่วิธีนี้จะส่งผลให้ความคมชัดโดยรวมของภาพ HDR ลดลง

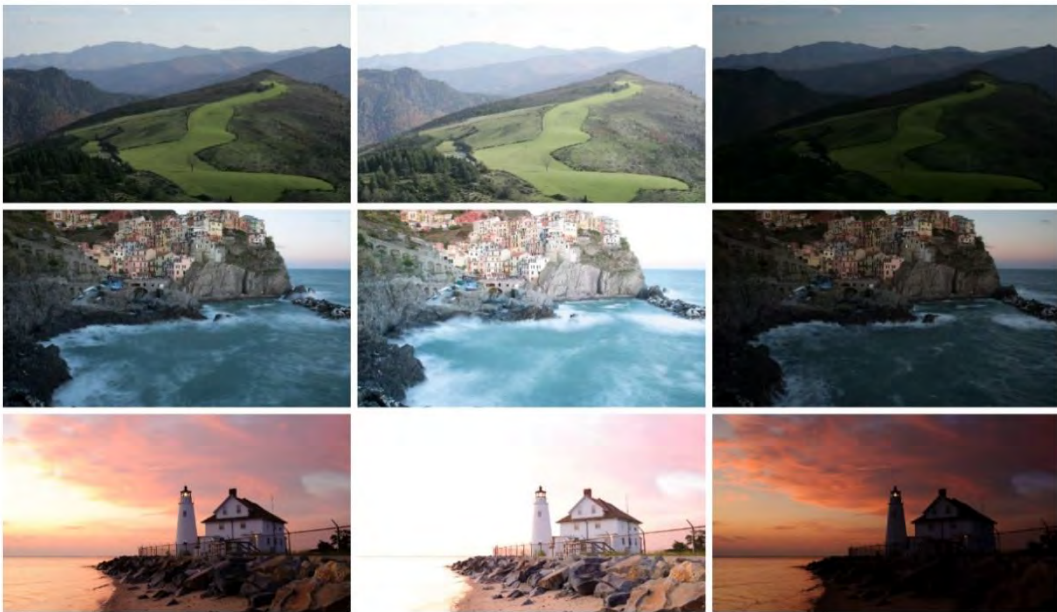
2.1.2 แผนผังการแสดงผลภาพ HDR (HDR Pipeline)



ภาพที่ 2.3 แผนผังการแสดงผลภาพ HDR (HDR Pipeline)

HDR Pipeline ใช้เพื่ออธิบายกระบวนการระหว่างการได้มาซึ่งภาพ กับการผลิตภาพ HDR โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การบันทึกภาพ (Capturing), การจัดเก็บ (Storing), การประมวลผล (Processing), และการแสดงผล

ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการสร้างข้อมูลภาพ HDR ด้วยการบันทึกภาพ โดยสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่พบบมากที่สุดคือการเปิดรับช่วงแสงที่แตกต่างกัน (เช่น Overexposed , Underexposed) และทำการรวมช่วงแสงที่แตกต่างกันเข้าด้วยกัน

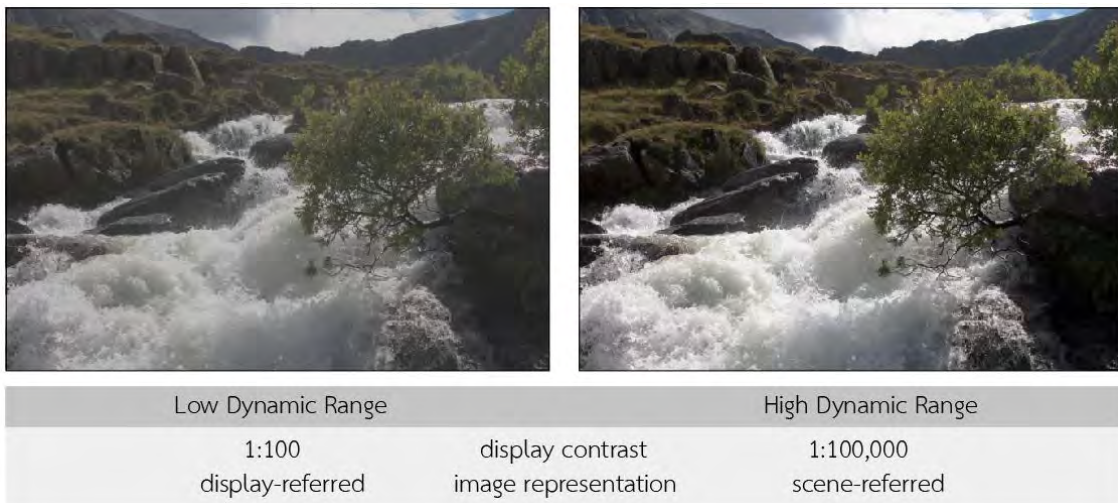


ภาพที่ 2.4 ภาพ Normal (ซ้าย), ภาพ Overexposed (กลาง), ภาพ Underexposed (ขวา)

ภาพที่ได้จะมีขอบเขตของช่วงไดนามิกถึง 16 บิตหรือมากกว่าตามความสามารถในการบันทึกภาพของอุปกรณ์นั้น ๆ และเนื่องจากภาพถ่าย HDR มีช่วงไดนามิกสูง ทำให้ข้อมูลภาพ HDR ใหญ่กว่าข้อมูลภาพ LDR มาก เพื่อให้สามารถจัดการกับข้อมูลภาพ HDR ได้จึงต้องใช้วิธีในการจัดเก็บ

ข้อมูลภาพที่สามารถถ่ายโอนและประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลของภาพ HDR จะแตกต่างกับภาพ LDR

รูปแบบภาพ LDR ที่ใช้กันทั่วไป (เช่น JPEG, PNG, TIFF และอื่น ๆ) ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้รองรับความสามารถของจอแสดงผล Low Dynamic Range (LDR) โดยไม่ต้องกังวลกับข้อมูลภาพที่ไม่สามารถแสดงผลได้ เรียกว่า display-referred แต่รูปแบบภาพ HDR เป็นข้อมูลภาพที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ จึงต้องอาศัยจอแสดงผล High Dynamic Range (HDR) ที่รองรับและแสดงผลข้อมูลภาพ HDR ได้ เรียกว่า scene-referred แต่จอแสดงผล HDR ยังมีการใช้งานไม่หลากหลายเท่าจอแสดงผล LDR ที่มีความสามารถในการแสดงผลในช่วงไดนามิกต่ำกว่าข้อมูลภาพ HDR ดังนั้นจึงสามารถแก้ไขได้ 2 วิธี คือ การพัฒนาฮาร์ดแวร์แสดงผลให้รับเข้ากับช่วงไดนามิกสูง และการบีบช่วงไดนามิกของภาพ HDR ให้พอดีกับช่วงไดนามิกที่จอแสดงผล LDR สามารถแสดงผลได้ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า "Tone Mapping"

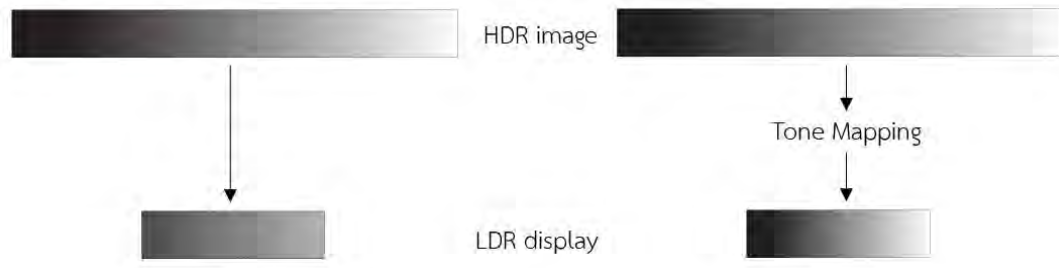


ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างจอ Low Dynamic Range และจอ High Dynamic Range

2.1.3 Tone Mapping Operator (TMO)

Tone Mapping คือ เทคนิคที่ใช้ในการแปลงหรือบีบอัดข้อมูลภาพ HDR ที่มีการบันทึกค่าแสงในช่วงไดนามิกสูงให้มีช่วงไดนามิกที่จำกัดมากขึ้น สามารถแสดงผลบนจอแสดงผลทั่วไปได้และยังคงรักษารายละเอียดของภาพไว้

TMO ส่วนใหญ่จะดำเนินการกับข้อมูลความสว่างของภาพเท่านั้น โดยเน้นการรักษารายละเอียดของภาพให้มากที่สุดหรือเพิ่มความคมชัดของภาพ เป้าหมายของการทำ Tone Mapping คือการคงความสมจริงของฉากจริงที่บันทึกได้ แม้ว่าจอแสดงผลจะไม่สามารถสร้างความแตกต่างของระดับความสว่างอย่างเต็มรูปแบบของฉากจริงได้



ภาพที่ 2.6 เปรียบเทียบการแสดงผลภาพ HDR บนจอ LDR ระหว่างภาพที่ไม่ผ่านการทำ Tone Mapping (ซ้าย) และภาพที่ผ่านการทำ Tone Mapping (ขวา)

TMO ได้รับการพัฒนาอย่างแพร่หลายในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักดังนี้

1. Global TMO

เป็น TMO ที่กระทำกับค่าความสว่างของแต่ละพิกเซลเท่า ๆ กัน ไม่ขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่โดยรอบของพิกเซลนั้น global TMO จึงทำได้ง่ายและรวดเร็ว แต่อาจทำให้เกิดการสูญเสียความคมชัดของภาพได้

2. Local TMO

เป็น TMO ที่กระทำกับค่าความสว่างของแต่ละพิกเซลไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่โดยรอบของพิกเซลนั้น local TMO มีขั้นตอนที่ซับซ้อนกว่า global TMO และสามารถส่งผลให้เกิดแสงหลอน (Halos) ได้ ทำให้ภาพที่ได้ไม่สมจริง แต่หากใช้อย่างถูกวิธีจะให้ภาพที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

การทำ Tone Mapping เป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากสามารถสร้างลักษณะที่โดดเด่นเป็นเอกลักษณ์ หรือสร้างภาพที่ใกล้เคียงกับฉากจริงได้ แต่ในการทำ Tone Mapping มักทำให้เกิดการสูญเสียความคมชัดของภาพ ดังนั้นจึงมีการชดเชยแสงเงา และความคมชัดในขั้นตอน Post Processing เช่นการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking เพื่อให้สอดคล้องกับการมองเห็นของสายตามนุษย์ นอกจากนี้ยังมีการทำ Gamma encoding เพื่อให้ค่าความสว่างของภาพที่แสดงบนจอขึ้นสัมพันธ์กับค่าความสว่างที่สายตามนุษย์มองเห็นอีกด้วย

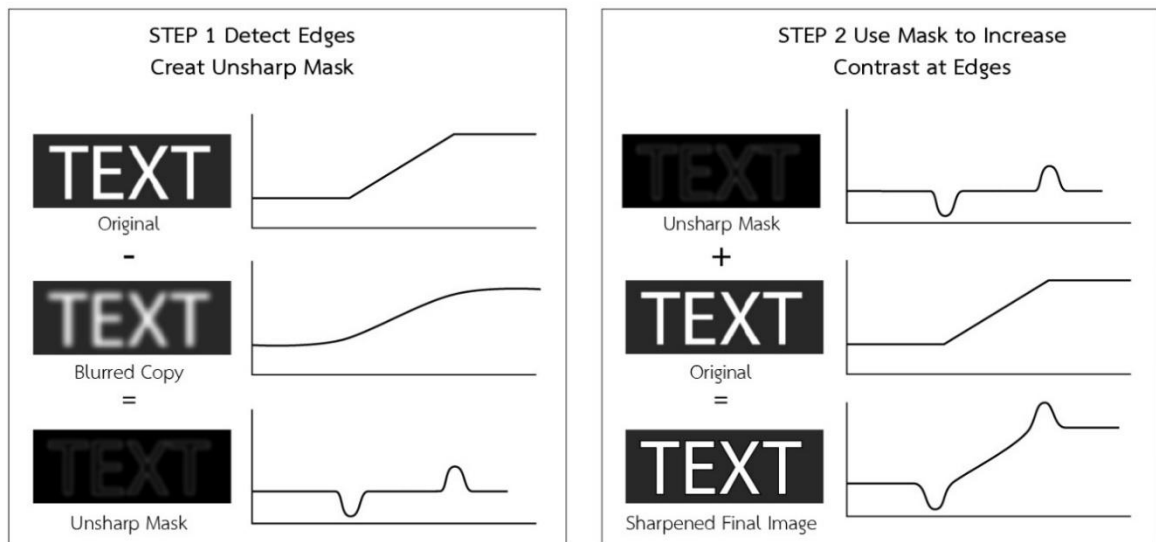
2.1.4 Post Processing

Post Processing เป็นขั้นตอนสำหรับการปรับปรุงคุณภาพการประมวลผลภาพให้ดียิ่งขึ้น เช่น การปรับ White balance, การลด Noise, การเพิ่มความคมชัด, Gamma encoding เป็นต้น

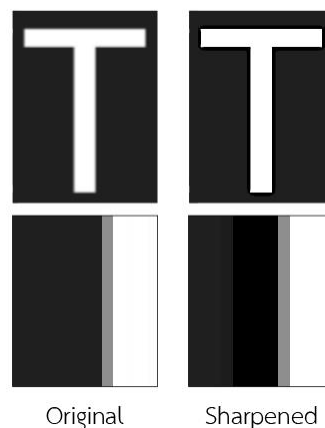
2.1.4.1 Unsharp Masking

Unsharp Masking เป็นเทคนิคในการเพิ่มความคมชัดให้แก่ภาพ มีการใช้งานกับภาพดิจิทัลเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ให้ความคมชัดมากที่สุดและสามารถใช้งานได้กับซอฟต์แวร์แก้ไขภาพเกือบทุกชนิด Unsharp Masking ใช้การเพิ่มความเปรียบต่างบริเวณขอบภาพให้สูงขึ้นด้วย Unsharp filter ส่งผลให้บริเวณขอบของภาพมีความเปรียบต่างสูงขึ้น พื้นผิวและรายละเอียดของภาพดูโดดเด่นขึ้น และให้ภาพที่ใกล้เคียงกับการมองเห็นของมนุษย์มากขึ้น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้าง Unsharp filter โดยการนำภาพต้นฉบับมาลบกับภาพเบลอ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ Gaussian filter ในการสร้างภาพเบลอจากภาพต้นฉบับ
2. นำภาพต้นฉบับมาใส่ Unsharp filter จะได้ภาพที่มีความเปรียบต่างบริเวณขอบเพิ่มขึ้น หรือภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น



ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking



ภาพที่ 2.8 ผลลัพธ์ของการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking

การเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking สามารถให้ภาพที่คมชัดขึ้นแต่ยังคง resolution ของภาพไว้ดังเดิม ไม่ส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนภาพ หรือเกิด Noise เนื่องจากการเพิ่มความเปรียบต่างบริเวณขอบภาพ เป็นการกระทำกับบางพิกเซลของภาพเท่านั้น แต่หากมีการเพิ่มความเปรียบต่างบริเวณของภาพสูงเกินจะทำให้เกิดแสงหลอน (Halos) บริเวณขอบของวัตถุได้ ส่งผลให้ได้ภาพที่ไม่สมจริง



ภาพที่ 2.9 ผลลัพธ์ของการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในระดับที่เหมาะสมจนถึงระดับที่เพิ่มความคมชัดสูงเกินไป

ในซอฟต์แวร์แก้ไขภาพสามารถปรับค่าตัวแปรของ Unsharp Masking ได้ทั้งหมด 3 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวแปรในซอฟต์แวร์แก้ไขภาพที่สามารถปรับค่าได้ของ Unsharp Masking

| | |
|------------------------|--|
| Amount | ควบคุมความน้ำหนักของความเปรียบต่าง |
| Radius | ควบคุมขนาดของขอบที่ต้องการเพิ่มความเปรียบต่าง |
| Threshold (Masking) | ควบคุมบริเวณที่จะทำการเพิ่มความเปรียบต่าง โดยค่า Threshold มากจะทำการเพิ่มความเปรียบต่างบริเวณขอบที่มีความต่างกันมาก ค่า Threshold น้อยจะทำการเพิ่มความเปรียบต่างแม้ในบริเวณขอบที่มีความต่างกันเพียงเล็กน้อย |

2.1.4.2 Gaussian Filter

ในการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ต้องอาศัยการสร้างภาพเบลอด้วย Gaussian filter ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความคมชัดของภาพ โดยที่ Gaussian filter เป็นผลมาจากการเบลอภาพโดยฟังก์ชัน Gaussian มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในซอฟต์แวร์แก้ไขภาพ โดยทั่วไปเป็นที่ใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวนภาพและลดรายละเอียดภาพ

Gaussian filter เป็นหนึ่งในประเภทของ Image-Blurring filters ที่ใช้ฟังก์ชัน Gaussian สำหรับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพิกเซล ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$G(x,y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.1)$$

โดยที่ x คือ ระยะห่างจากจุดกำเนิดในแกนนอน

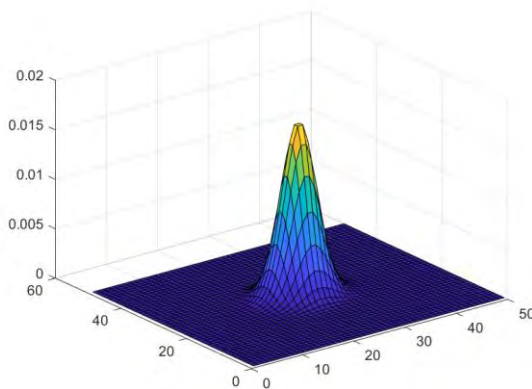
y คือ ระยะห่างจากจุดกำเนิดในแกนตั้ง

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงแบบ Gaussian

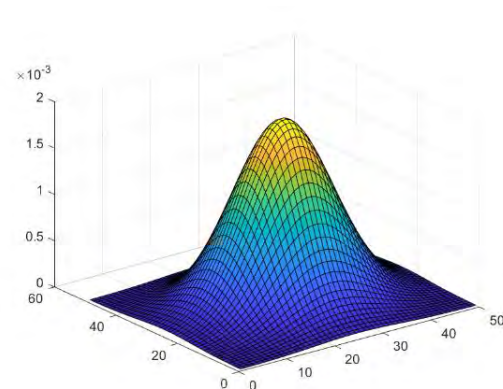
ค่าการกระจายจากสมการ Gaussian นี้จะใช้ในการสร้างเมทริกซ์หรือฟิลเตอร์ที่ใช้กับภาพต้นฉบับในแต่ละพิกเซล โดยมีการถ่วงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักสำหรับพิกเซลที่อยู่ติดกัน ตัวอย่าง เมทริกซ์ของ Gaussian filter ขนาด 7×7 , $\sigma = 0.8$ เช่น

$$\begin{bmatrix} 0.00000067 & 0.00002292 & \mathbf{0.00019117} & 0.00038771 & \mathbf{0.00019117} & 0.00002292 & 0.00000067 \\ 0.00002292 & 0.00078633 & 0.00655965 & 0.01330373 & 0.00655965 & 0.00078633 & 0.00002292 \\ \mathbf{0.00019117} & 0.00655965 & 0.05472157 & 0.11098164 & 0.05472157 & 0.00655965 & \mathbf{0.00019117} \\ 0.00038771 & 0.01330373 & 0.11098164 & \mathbf{0.22508352} & 0.11098164 & 0.01330373 & 0.00038771 \\ \mathbf{0.00019117} & 0.00655965 & 0.05472157 & 0.11098164 & 0.05472157 & 0.00655965 & \mathbf{0.00019117} \\ 0.00002292 & 0.00078633 & 0.00655965 & 0.01330373 & 0.00655965 & 0.00078633 & 0.00002292 \\ 0.00000067 & 0.00002292 & \mathbf{0.00019117} & 0.00038771 & \mathbf{0.00019117} & 0.00002292 & 0.00000067 \end{bmatrix}$$

โดยที่หากค่า σ มากจะให้ฟิลเตอร์ที่แบนกว่า และส่งผลต่อความเบลอของภาพ รวมถึงขนาดของฟิลเตอร์ก็ส่งผลต่อความเบลอของภาพด้วยเช่นกัน

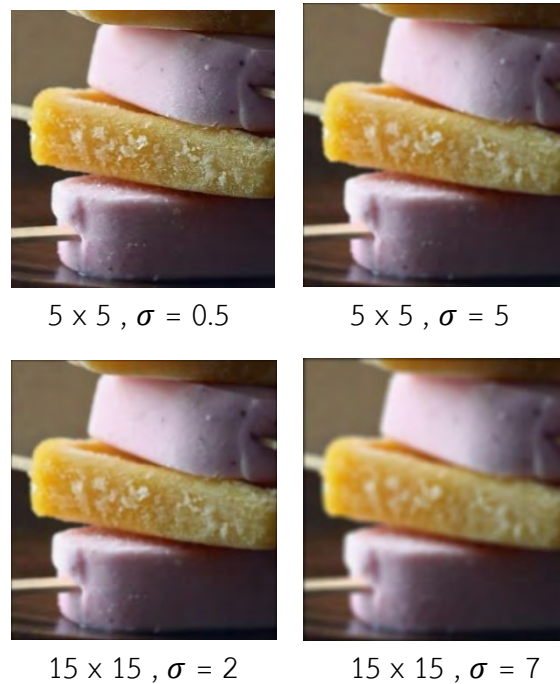


50×50 , $\sigma = 3$



50×50 , $\sigma = 9$

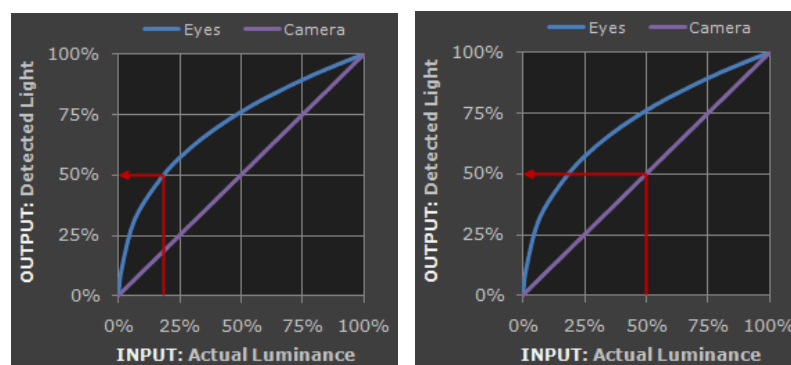
ภาพที่ 2.10 Gaussian filter 3 มิติ ขนาด 50×50 ที่มีค่า $\sigma = 3$ (ซ้าย) และ $\sigma = 9$ (ขวา)



ภาพที่ 2.11 ผลลัพธ์ของการใช้ Gaussian filter ที่ต่างกัน

2.1.4.3 Gamma Encoding

Gamma encoding ใช้เพื่อปรับค่าความสว่างของภาพที่แสดงบนจอให้สัมพันธ์กับค่าความสว่างที่สายตามนุษย์มองเห็น โดยค่า Gamma (γ) จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขในพิกเซลกับค่าความส่องสว่างของพิกเซลนั้น ๆ เนื่องจากการรับรู้ค่าความสว่างของดวงตามนุษย์กับกล้องถ่ายภาพนั้นไม่เท่ากัน ดวงตาของมนุษย์จะรับรู้ค่าความสว่างในรูปแบบฟังก์ชัน non-linear แต่กล้องถ่ายภาพจะรับรู้ค่าความสว่างในรูปแบบฟังก์ชัน linear



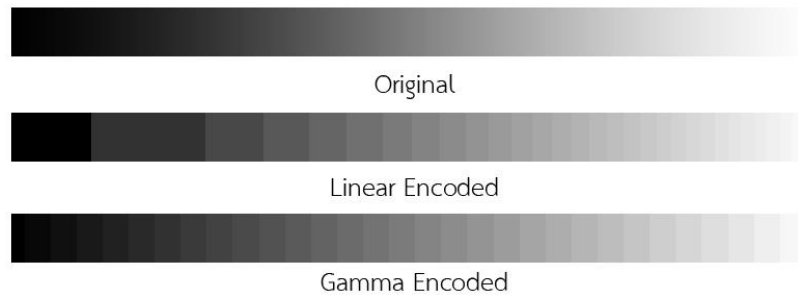
ภาพที่ 2.12 เปรียบเทียบการรับรู้ค่าความสว่างของดวงตามนุษย์ (ซ้าย) และกล้องถ่ายภาพ (ขวา)

จากภาพที่ 2.12 การตอบสนองต่อความเข้มแสงในโตนมิตของมนุษย์นั้นไวกว่ากล้องถ่ายภาพ เนื่องจากที่ระดับความสว่างจริงเพียงไม่ถึง 25% มนุษย์ก็สามารถรับรู้ค่าความสว่างได้มากถึง 50% แต่สำหรับกล้องถ่ายภาพจะสามารถรับรู้ค่าความสว่างได้ 50% ก็ต่อเมื่อระดับความสว่างจริงอยู่ที่

50% ดังนั้น Gamma encoding จึงเป็นการแปรค่าการรับรู้ความสว่างของกล้องถ่ายภาพให้พอดีกับการรับรู้ความสว่างในดวงตาของมนุษย์ โดยสามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังแสดงในสมการที่ 2.2 หากไม่ผ่าน Gamma encoding จะทำให้มนุษย์มองเห็นภาพในโทนมืดสว่างกว่าความเป็นจริง

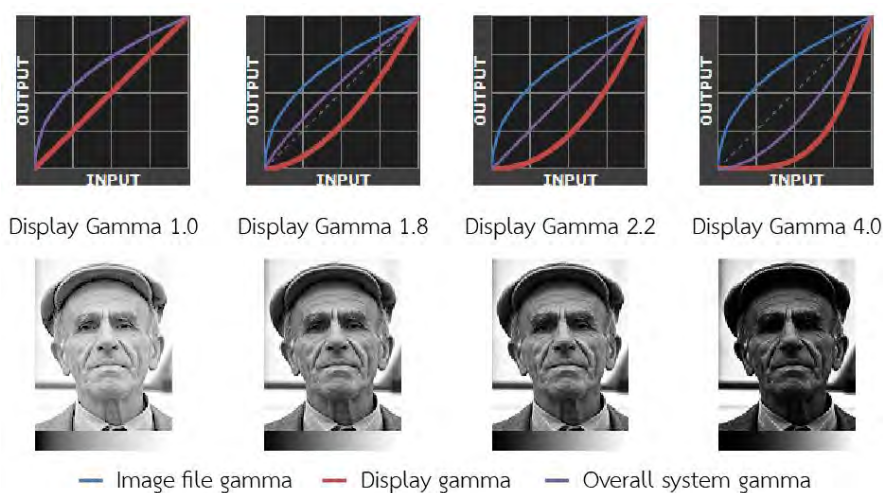
$$V_{out} = AV_{in}^{\gamma} \quad (2.2)$$

โดยที่ V_{in} คือ ค่าความสว่างจริง และ V_{out} คือ ค่าความสว่างตามการรับรู้ความสว่างในดวงตาของมนุษย์



ภาพที่ 2.13 เปรียบเทียบ Linear Encoded และ Gamma Encoded ที่ใช้ค่า $\gamma = 2.2$

จากภาพที่ 2.13 จะเห็นได้ว่า linear encoded นั้นไม่สามารถแสดงผลการไล่ระดับความสว่างได้มากพอในส่วนมืด แต่ gamma encoded นั้นแสดงผลการไล่ระดับความสว่างได้เสมอกันมากกว่า นอกจากนี้การทำ gamma encode ยังมีความแม่นยำในการนำไปปรับแต่งสีได้ดีกว่า โดยสีมักไม่เพี้ยนเมื่อนำไปทำ color correction เนื่องจากหากมีการปรับ gamma ได้อย่างเหมาะสมจะสามารถแปลงฟังก์ชัน non-linear ของสายตามนุษย์ ให้เป็นฟังก์ชัน linear ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 เปรียบเทียบ Display Gamma ที่ใช้ค่า γ ที่ระดับ 1.0 , 1.8 , 2.2 , 4.0

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kim Cerda-Company, C. Alejandro Parraga และ Xavier Otazu [10] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของ Tone Mapping Operator ทั้งหมด 15 วิธี โดยใช้การทดลอง Psychophysic 2 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบและจัดอันดับประสิทธิภาพภาพถ่าย HDR ที่ผ่าน Tone-mapped ด้วย TMO ทั้ง 15 วิธี โดยดำเนินการทดลองภายใต้ห้องควบคุม และจัดให้ฉากสำหรับดำเนินการทดลองมีช่วงไดนามิกของแสงที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติของภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองแรกเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสีเทาของภาพ local TMOs เปรียบเทียบกับระดับสีเทาของฉากจริง จากนั้นคำนวณหา Euclidean Distance และ ANOVAs ส่วนการทดลองที่สองเป็นการจัดอันดับภาพ global TMOs ที่ให้ภาพใกล้เคียงกับฉากจริงมากที่สุดเมื่อแสดงภาพเปรียบเทียบกับฉากจริงจากนั้น โดยให้ผู้สังเกตทำการเปรียบเทียบและเลือกภาพที่ใกล้เคียงฉากจริงมากที่สุด จากนั้นนำความถี่ของภาพที่ถูกเลือกมาคำนวณหา Thurstone's Law of comparative judgment, case V และช่วงความเชื่อมั่น 95% ผลการทดลองทั้ง 2 รูปแบบพบว่า local TMO มีประสิทธิภาพดีกว่า global TMO และไม่มี TMO วิธีใดที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่นอย่างชัดเจน แต่วิธีของ KimKautz และ Krawczyk ก็ถือได้ว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen และ N. Chiba [11] ได้นำเสนอวิธีการทำ Tone mapping ของภาพ HDR โดยวิธีการใช้ฟังก์ชันลอการิทึมกระทำกับข้อมูลภาพ HDR เลียนแบบระบบการมองเห็นของมนุษย์ โดยแนวคิดหลักที่สำคัญคือการปรับฐานลอการิทึมตามความสว่างในแต่ละพิกเซล และใช้ฟังก์ชัน bias เพื่อปรับฐานลอการิทึม ส่งผลให้สามารถรักษารายละเอียดและความคมชัดของภาพได้ดี ในส่วนของการปรับปรุงความคมชัดบริเวณมืดจะใช้การปรับค่า gamma โดยวิธีการทำ Tone mapping นี้ได้สาธิตการประยุกต์ใช้ที่ประสบความสำเร็จกับวิดีโอ HDR ซึ่งสามารถปรับสภาพการมองเห็นได้ดี สามารถปรับในส่วน brightness, ความคมชัดจากการบีบอัด และรายละเอียดของวิดีโอได้

Jakkarin Singnoo [12] ได้นำเสนอวิธีการทำ Tone mapping ที่มีประสิทธิภาพ, รวดเร็ว และปราศจากแสงหลอน (Halos) โดยนำ Unsharp Masking ประยุกต์ใช้ร่วมกับ TMO มีแนวคิดหลักคือการแบ่งแยกภาพ HDR ออกเป็นกลุ่มและใช้ Unsharp masking ในบริเวณที่มีความคมชัดไม่เพียงพอเพื่อทำให้ภาพมีมิติมากยิ่งขึ้น ภาพผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าภาพ HDR มีการบีบอัดข้อมูลภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและปราศจากแสงหลอน จากนั้นนำภาพผลลัพธ์มาทำการทดลอง Psychophysics เปรียบเทียบกับ TMOs อื่น 4 วิธี เพื่อเปรียบเทียบทั้งด้านความสมจริงและด้านความพึงพอใจต่อภาพของผู้ทำสังเกต ผลการทดลองพบว่าภาพที่ Tone-mapped โดยวิธีของผู้วิจัยมีทั้งความสมจริงและเป็นที่ยอมรับต่อผู้ทำสังเกต จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความสมจริง, ปราศจากแสงหลอน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พกพา ASUS รุ่น TUF Gaming FX505DU_FX505DU
 - CPU รุ่น AMD Ryzen 7 3750H
 - การ์ดจอ NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti
 - จอ LED-backlit 120Hz ขนาด 15.6”
 - ความละเอียด 1920x1080 Full HD (32 bit) (120Hz)
2. ภาพไฟล์ .hdr
3. โปรแกรม MATLAB R2018a
4. โปรแกรม Luminance HDR v.2.6.0

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

3.2.1 ขั้นตอนการเลือกใช้โปรแกรมในการออกแบบและพัฒนา

3.2.1.1 โปรแกรม Matlab

Matlab เป็นโปรแกรมสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข และ Visualization ที่มีประสิทธิภาพสูง ชื่อของโปรแกรม “Matlab” ย่อมาจากคำว่า MATrix LABoratory และเป็นเครื่องหมายการค้าของบริษัท MathWorks ซึ่งการทำงานภายในโปรแกรม Matlab อยู่บนพื้นฐานของการคำนวณทางเมตริกซ์ (Matrix Manipulation and Computation) สามารถทำงานแบบโต้ตอบ (interactive) และสามารถใช้เป็นเสมือนเครื่องคิดเลข ทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ โดยสามารถสรุปความสามารถของโปรแกรม Matlab เบื้องต้น ได้ดังนี้

- Matlab เป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลข และรูปภาพซึ่งมีประสิทธิภาพสูง สามารถทำการเขียนกราฟทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ได้อย่างง่ายดายและมีประสิทธิภาพ
- สามารถควบคุมการทำงานของ Matlab ด้วยชุดคำสั่ง (command line) และยังสามารถรวบรวมชุดคำสั่ง เป็นโปรแกรม (script file) ได้ด้วย

- ลักษณะการเขียนโปรแกรมใน Matlab จะใกล้เคียงการเขียนสมการคณิตศาสตร์ จึงง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาชั้นสูง เช่น ภาษา C, Pascal, Fortran และอื่น ๆ
- Matlab มีฟังก์ชันสำเร็จรูป (built-in function) เพื่อทำงานเฉพาะทางมากมาย นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถเขียนฟังก์ชันขึ้นมาใหม่โดยใช้ประโยชน์จากฟังก์ชันที่มีอยู่เดิมได้ เพื่อให้เหมาะสมกับงานของผู้ใช้แต่ละกลุ่ม สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการใช้งานเฉพาะทาง เช่น งานด้าน Control, Image Processing, Artificial Neural Network หรืออื่น ๆ Matlab ก็มี toolbox หรือชุดฟังก์ชันพิเศษ เพื่อทำงานเฉพาะทางนั้น ๆ ด้วย

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติ และความสามารถในการนำมาใช้พัฒนาของโปรแกรมข้างต้นแล้ว จึงเลือกโปรแกรม Matlab ในการวิจัย

3.2.1.2 โปรแกรม Luminance HDR

โปรแกรม Luminance HDR เป็นโปรแกรมสำหรับการสร้างและจัดการภาพ HDR ผู้ใช้สามารถผสมภาพต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อสร้างภาพ HDR ได้ โดยโปรแกรมนี้สนับสนุนรูปแบบไฟล์ High Dynamic Range (HDR) หลายรูปแบบ รวมถึง Low Dynamic Range (LDR) ด้วย ทั้งไฟล์ JPEG, PNG, PBM, และ TIFF และยังเป็นโปรแกรมที่รวบรวม TMO จากงานวิจัยต่าง ๆ ซึ่ง TMO แต่ละตัวยังสามารถปรับค่าตัวแปร ได้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้กับภาพ HDR ในการแปลงเป็นรูปแบบภาพ LDR ที่แสดงได้บนอุปกรณ์แสดงผล

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติ และความสามารถของโปรแกรมข้างต้นแล้ว จึงเลือกโปรแกรม Luminance HDR ในการวิจัย

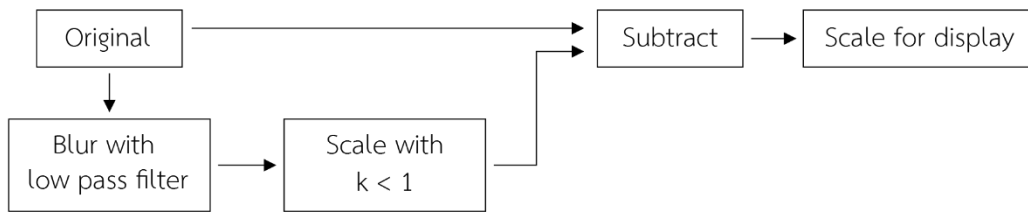
3.2.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

3.2.2.1 ออกแบบการทำงานของเครื่องมือเพิ่มความคมชัด Unsharp Masking

การออกแบบการทำงานของเครื่องมือเพิ่มความคมชัด Unsharp Masking นี้ เลือกใช้โปรแกรม Matlab ในการออกแบบ โดยมีขั้นตอนเพื่อการเขียนชุดคำสั่ง ดังนี้

1) ศึกษาแผนผังการทำงานของเครื่องมือเพิ่มความคมชัด Unsharp Masking

ในทางปฏิบัติสามารถเพิ่มความคมชัดด้วยวิธี Unsharp Masking ได้โดยการนำภาพในฉบับเบลอ (Unsharped) มาลบออกจากภาพต้นฉบับ



ภาพที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องมือเพิ่มความคมชัด Unsharp Masking

จากแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.1 สามารถสร้างเป็นฟิลเตอร์ Unsharp Mask ได้ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{usm} = s(\text{id} - \frac{1}{k}(\text{img}_{\text{blur}})) \quad (3.1)$$

โดยที่ s คือ Scalefactor ใช้เพื่อทำให้ภาพผลลัพธ์มีค่าความสว่างเท่าเดิมกับภาพต้นฉบับ นั่นคือ

$$s\left(1 - \frac{1}{k}\right) = 1 \quad \text{หรือ} \quad s = \frac{k}{k-1} \quad (3.2)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (3.2) ในสมการที่ (3.1) จะได้ดังสมการที่ (3.3)

$$\text{usm} = \frac{k}{k-1} \text{id} - \frac{1}{k-1} (\text{img}_{\text{blur}}) \quad (3.3)$$

id คือ Identity filter ที่เมื่อนำมาใช้กับภาพต้นฉบับแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังคงสภาพตามภาพต้นฉบับดั้งเดิม เช่น id ขนาด 3×3

$$\text{id} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

img_{blur} คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการทำให้เบลอด้วย Gaussian filter

2) เขียนชุดคำสั่งของเครื่องมือเพิ่มความคมชัด Unsharp Masking

ใช้โปรแกรม Matlab ในการเขียนชุดคำสั่ง โดยใช้ฟังก์ชันใน Image Processing Toolbox ดังนี้

```
gauss = fspecial('gaussian',hsize,sigma);
```

เป็นคำสั่งที่ใช้สร้าง Gaussian filter (gauss) โดยสามารถทำการกำหนดขนาดของฟิลเตอร์ (hsize) และ Standard deviation (sigma) ได้ โดยนำมาสร้างเป็น Unsharp-mask filter ตามสมการที่ (3.3) ได้ดังนี้

```

function usm = usmfilter(hsize,sigma,k)
    id = zeros(hsize);
    t = ceil(hsize/2);
    id(t,t) = 1;
    gauss = fspecial('gaussian',hsize,sigma);
    usm = ((k/(k-1))*id) - ((1/(k-1))*gauss);
end

```

ภาพที่ 3.2 ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสร้าง Unsharp-mask filter ด้วยโปรแกรม Matlab

3.2.2.2 ออกแบบการทำงานของ TMO

การออกแบบการทำงานของ TMO ของ Drago นี้ เลือกใช้โปรแกรม Matlab ในการออกแบบ โดยมีขั้นตอนเพื่อการเขียนชุดคำสั่ง ดังนี้

1.) ศึกษาการทำงานของ TMO ของ Drago

TMO ของ Drago อาศัยหลักการการบีบอัดค่าความสว่างโดยการใช้ฟังก์ชันลอการิทึม กระทำกับข้อมูลภาพ HDR โดยมีการปรับฐานลอการิทึมตั้งแต่ $\log_2(L_w)$ ถึง $\log_{10}(L_w)$ ตามค่าความสว่างในแต่ละพิกเซล ดังสมการที่ (3.4)

$$\log_{\text{base}}(L_w) = \frac{\log(L_w)}{\log(\text{base})} \quad (3.4)$$

โดยที่ L_w คือ world luminance (ค่าความสว่างจริงของฉากที่ถ่ายได้) และมีการอาศัยฟังก์ชัน bias ของ Perlin และ Hoffert [14] ดังสมการที่ (3.5)

$$\text{bias}_b(t) = t^{\frac{\log(b)}{\log(0.5)}} \quad (3.5)$$

สมการ bias นี้มีการใช้งานที่หลากหลายมากมายในคอมพิวเตอร์กราฟิก โดยที่ b คือ ตัวแปรที่แทนที่ค่าของข้อมูลภาพที่นำเข้าไปให้มีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลง ส่งผลต่อการบีบอัดค่าความสว่างสูงและการมองเห็นของรายละเอียดในพื้นที่มืด นอกจากนี้ยังพบว่าค่า $\text{bias}_{0.73}$ ให้ค่าความสว่างที่เหมาะสมเทียบเท่ากับ $\gamma = 2.2$

$$L_d = \frac{L_{dmax} \cdot 0.01}{\log_{10}(L_{dmax} + 1)} \cdot \frac{\log(L_w + 1)}{\log\left(2 + \left(\frac{L_w}{L_{wmax}}\right)^{\frac{\log(b)}{\log(0.5)}} \cdot 8\right)} \quad (3.6)$$

สมการที่ (3.6) เป็นฟังก์ชัน TMO ที่มีการรวมสมการที่ (3.4) และสมการที่ (3.5) เข้าด้วยกัน โดยที่ L_d คือ displayed luminance (ค่าความสว่างบนจอแสดงผล)

L_{dmax} คือ ความสามารถในการแสดงค่าความสว่างสูงสุดของจอแสดงผล

L_{wmax} คือ ค่าความสว่างจริงสูงสุดของฉากที่ถ่ายได้

โดยใช้ค่า $L_{dmax} = 100 \text{ cd/m}^2$ ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงของจอแสดงผลทั่วไป และใช้ค่า $b = 0.73$

$$L_d = L_w^{1/\gamma} \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.7) เป็นสมการฟังก์ชันของ Gamma encoding กระทำกับภาพภายหลังสมการที่ (3.6) เพื่อให้ค่าความสว่างของภาพที่แสดงบนจอขึ้นสัมพันธ์กับค่าความสว่างที่สายตามนุษย์มองเห็น

การดำเนินข้างต้นทั้งหมดนี้เป็นขั้นตอนการ TMO ของ Drago [11]

ในงานวิจัยนี้ได้นำสมการที่ (3.6) มาทำการดัดแปลง โดยการแทนที่ค่าความสว่าง L_w ด้วยค่าความสว่างที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking (L_{sharp}) ดังแสดงในสมการที่ (3.7)

$$L_d = \frac{L_{dmax} \cdot 0.01}{\log_{10}(L_{max} + 1)} \cdot \frac{\log(L_{sharp} + 1)}{\log\left(2 + \left(\frac{L_{sharp}}{L_{wmax}}\right)^{\frac{\log(b)}{\log(0.5)}} \cdot 8\right)} \quad (3.8)$$

2.) เขียนชุดคำสั่งการทำงานของ TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง

ใช้โปรแกรม Matlab ในการเขียนชุดคำสั่ง โดยใช้ฟังก์ชันใน Image Processing Toolbox ดังนี้

```
Lw = lum(img);
```

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการแปลงข้อมูลภาพนำเข้าที่แสดงผลในรูปแบบค่าสีเป็นภาพที่แสดงผลในรูปแบบค่าความสว่าง โดยสามารถเขียนชุดคำสั่งในการแปลงกลับเป็นภาพที่แสดงผลเป็นค่าสีได้ดังนี้

```
function Ldcolor = lumtocolour(img, Lw, Ld)
    Ldcolor(:, :, 1) = (img(:, :, 1) .* Ld) ./ Lw ;
    Ldcolor(:, :, 2) = (img(:, :, 2) .* Ld) ./ Lw ;
    Ldcolor(:, :, 3) = (img(:, :, 3) .* Ld) ./ Lw ;
end
```

ภาพที่ 3.3 ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฟังก์ชันสำหรับแปลงภาพที่แสดงผลในรูปแบบค่าความสว่างกลับเป็นภาพที่แสดงผลเป็นค่าสี

```
Lsharp = imfilter(Lw, usmfilter(size, sigma, A));
```

เป็นคำสั่งที่ใช้ unsharp-mask filter กับค่าความสว่าง L_w ได้ผลลัพธ์เป็นค่าความ

สว่างที่คมชัดขึ้น (L_{sharp}) โดยสามารถทำการกำหนดขนาดของฟิลเตอร์ (size) และ standard deviation (sigma) ได้

$$L_d = ((L_{d\text{max}} * 0.01) ./ \log_{10}(L_{w\text{max}} + 1)) * (\log_{10}(L_{\text{sharp}} + 1) ./ \log_{10}(2 + (\text{bias} * 8)));$$

เป็นคำสั่งที่แปลงมาจากสมการที่ (3.8)

```
function Ldcolor = Dragotmosharp(img, hsize, sigma, k)
if (~exist('hsize', 'var'))
    hsize = 13;
end
if (~exist('sigma', 'var'))
    sigma = 3;
end
if (~exist('k', 'var'))
    k = 13;
end
Lw = lum(img);
Lwmax = max(max(Lw));
Lsharp = imfilter(Lw, usmfilter(hsize, sigma, k));
b = 0.73;
bias = (Lsharp ./ Lwmax) .^(log10(b) / log10(0.5));
Ldmax = 100;
Ld = ((Ldmax * 0.01) ./ log10(Lwmax + 1)) * (log10(Lsharp + 1) ./ log10(2 + (bias * 8)));
Ldcolor = lumtocolour(img, Lw, Ld);
Ldcolor = Ldcolor .^(1/2.2);
Ldcolor = abs(Ldcolor);
end
```

ภาพที่ 3.4 ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฟังก์ชัน TMO จากสมการที่ (3.8) โดยฟังก์ชันชื่อว่า Dragotmosharp ที่มีการกำหนดค่า default ของตัวแปร size, sigma และ k

ฟังก์ชัน Dragotmosharp ตามภาพที่ 3.4 เป็นฟังก์ชัน TMO ที่มีการแปลงภาพที่นำเข้าจากภาพที่แสดงผลเป็นค่าสีให้แสดงผลในรูปแบบของค่าความสว่าง (L_w) และนำไปเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking กับชุดคำสั่งตามภาพที่ 3.2 ด้วยฟังก์ชัน imfilter โดยที่กำหนดให้ค่า default ของ hsize = 13, sigma = 13 และ k = 13 จากนั้นดำเนินการตามชุดคำสั่งที่แปลงมาจากสมการที่ (3.8) และทำการแปลงกลับเป็นภาพที่แสดงผลเป็นค่าสี ด้วยชุดคำสั่งตามภาพที่ 3.3 สุดท้ายจึงทำ Gamma encoding ตามชุดคำสั่งที่แปลงมาจากสมการที่ (3.7)

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ

3.1 นำภาพไฟล์ HDR มาทดลองประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรงเรียบร้อยแล้ว ตามชุดคำสั่งดังแสดงในภาพที่ 3.4 โดยใช้ค่า default ของชุดคำสั่งที่ $hsize = 13$, $\sigma = 13$ และ $k = 13$

3.2 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลความแตกต่างด้านความคมชัด

3.2.1) เปรียบเทียบระหว่าง

- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7)
- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7) แล้วนำมาเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง

3.2.1) เปรียบเทียบระหว่าง

- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7) แล้วนำมาเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง
- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8)

3.2.2) เปรียบเทียบระหว่าง

- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8) ของงานวิจัยนี้
- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ของงานวิจัยอื่นจำนวน 3 งานวิจัย

3.2.3) เปรียบเทียบระหว่าง

- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8) ของงานวิจัยนี้
- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ทำการประยุกต์รวม Unsharp Masking กับ TMO ของงานวิจัยอื่นโดยตรง

3.3 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลความแตกต่างด้านความเร็วในการประมวลผลระหว่าง

- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7) แล้วจึงนำมาเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง
- ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสร้าง TMO ที่มีการประยุกต์ใช้การเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ร่วมกับขั้นตอนการทำ Tone Mapping โดยตรง ตามชุดคำสั่งดังแสดงในภาพที่ 3.4 โดยใช้ค่า default ของชุดคำสั่งที่ $hsize = 13$, $sigma = 13$ และ $k = 13$ จากนั้นนำมาทดลองประมวลผลกับภาพ HDR โดยนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลความแตกต่างด้านความคมชัด และความเร็วในการประมวลผล แบ่งการอภิปรายผลตามหัวข้อได้ดังนี้

4.1 เปรียบเทียบความแตกต่างด้านความคมชัด

4.1.1 ทำการเปรียบเทียบระหว่าง

1. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7)
2. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8)

ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา)



ภาพที่ 4.2 ภาพขยายของภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา)

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 พบว่าภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา) สามารถให้ความคมชัดที่สูงกว่าภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) (ซ้าย) อย่างเห็นได้ชัด

4.1.2 ทำการเปรียบเทียบระหว่าง

1. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7) แล้วจึงนำมาเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง
2. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8)

ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา)

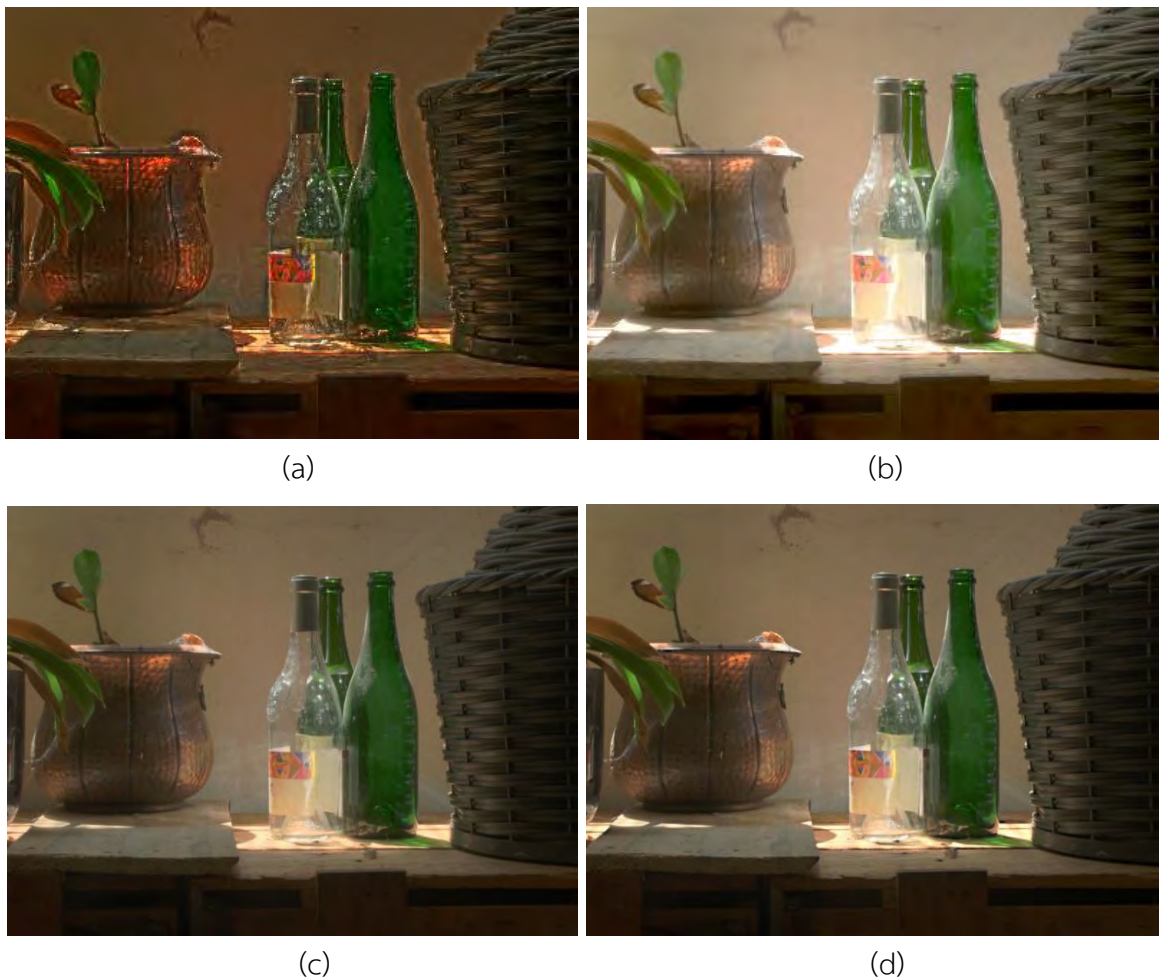


ภาพที่ 4.4 ภาพขยายของภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง (ซ้าย), ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา)

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 พบว่าภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (ขวา) สามารถให้ความคมชัดที่สูงกว่าภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง (ซ้าย) เล็กน้อย

3.2.1 ทำการเปรียบเทียบระหว่าง

1. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8) ของงานวิจัยนี้
2. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ของงานวิจัยอื่น ๆ จำนวน 3 งานวิจัย
3. ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 4.5



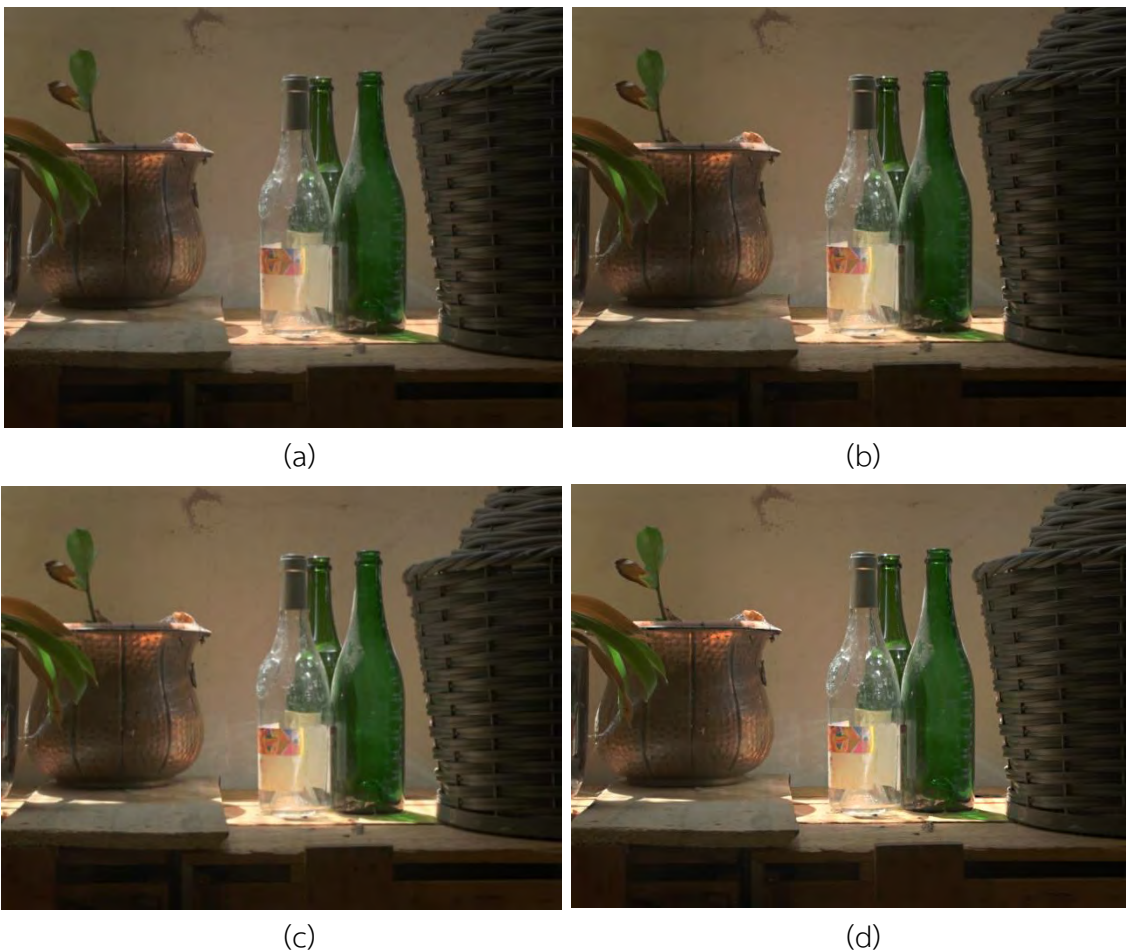
ภาพที่ 4.5 (a) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Ashikhmin, (b) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Mantiuk'08, (c) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Reinhard และ (d) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.8) ในงานวิจัยนี้

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.5 พบว่าภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) (d) สามารถให้ความคมชัดที่สมจริงตามการมองเห็นของมนุษย์ ปราศจากแสงหลอน (Halos) ซึ่งเป็นผลจากการเร่งค่าความเปรียบต่างให้สูงขึ้นมากกว่าภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Ashikhmin (a) และสามารถให้ความคมชัดที่สูงกว่าภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Mantiuk'08 (b) และภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Reinhard (c)

3.2.2 ทำการเปรียบเทียบระหว่าง

1. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8) ของงานวิจัยนี้
2. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ทำการประยุกต์รวม Unsharp Masking กับ TMO ของงานวิจัยอื่นโดยตรง

ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 (a) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ในงานวิจัยของ Reinhard [16], (b) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรงกับ TMO ในงานวิจัยของ Reinhard [16], (c) ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7), ภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.8)

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.6 พบว่าภาพที่มีการประมวลผลด้วย TMO ที่ทำการประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรงทั้ง 2 ภาพ ตามภาพ (b) และ ภาพ (d) ให้ความคมชัดที่ใกล้เคียงกัน และสามารถให้ความคมชัดที่สูงกว่าภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ปกติ ตามภาพ (a) และ ภาพ (c) ดังนั้นแสดงว่าการประยุกต์ใช้ Unsharp Masking รวมกับ TMO โดยตรงสามารถให้ภาพที่มีความคมชัดเพิ่มขึ้นได้

4.2 เปรียบเทียบความแตกต่างด้านความเร็วในการประมวลผล

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความเร็วในการประมวลผลระหว่าง

1. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ตามสมการที่ (3.7) แล้วจึงนำมาเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง
2. ภาพ HDR ที่ประมวลผลด้วย TMO ที่ประยุกต์รวมกับ Unsharp Masking โดยตรง ตามสมการที่ (3.8)

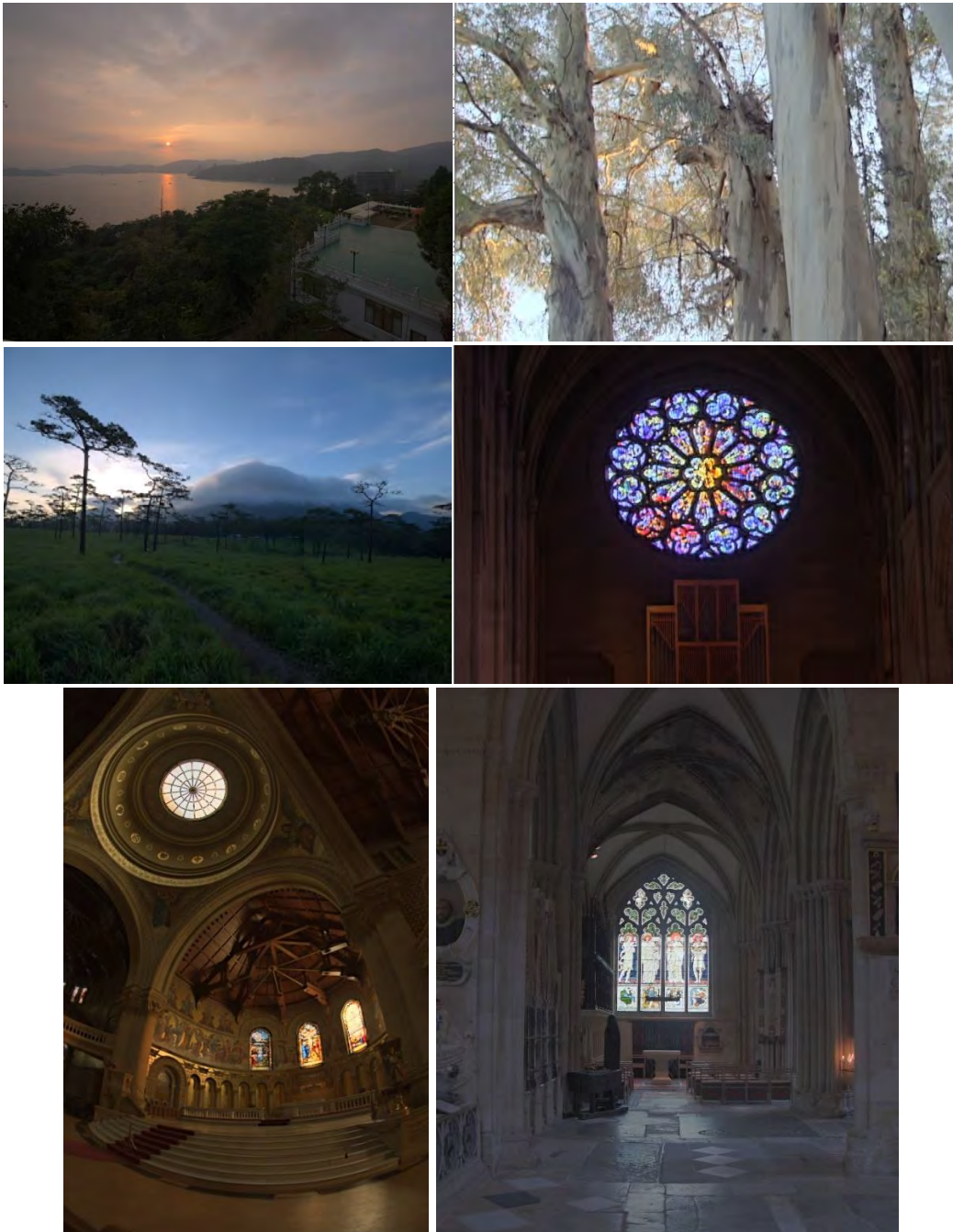
ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบความเร็วในการประมวลผลระหว่างภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง กับภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8)

| ครั้งที่ | เวลาในการประมวลผลภาพ (วินาที) | |
|----------|--|---------------------------------|
| | ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง | ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) |
| 1 | 0.293535 | 0.245033 |
| 2 | 0.289295 | 0.238325 |
| 3 | 0.26508 | 0.245338 |
| 4 | 0.266392 | 0.240456 |
| 5 | 0.280902 | 0.225212 |
| 6 | 0.268728 | 0.234628 |
| 7 | 0.281581 | 0.236382 |
| 8 | 0.267132 | 0.239046 |
| 9 | 0.266825 | 0.241491 |
| 10 | 0.255526 | 0.229847 |
| เฉลี่ย | 0.2735 | 0.2376 |

เมื่อพิจารณาผลความแตกต่างด้านความเร็วในการประมวลผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.8) มีความเร็วในการประมวลผลเร็วกว่าภาพที่ประมวลผลตามสมการที่ (3.7) แล้วเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง เฉลี่ย 0.0359 วินาที หรือคิดเป็น 13% เนื่องจากมีความซับซ้อนของการแสดงผลภาพ HDR น้อยลง จึงสามารถประมวลผลได้เร็วยิ่งขึ้น

4.3 ตัวอย่างภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ของงานวิจัย



ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างภาพที่ประมวลผลด้วย TMO ของงานวิจัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การจัดการภาพ HDR ที่เหมาะสมก่อนการแสดงผลบนอุปกรณ์แสดงผลทั่วไป ส่งผลต่อความสวยงามของภาพโดยตรง โดยภาพ HDR จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการบีบอัดข้อมูลภาพก่อนการแสดงผลบนอุปกรณ์แสดงผลทั่วไป ผ่าน Tone Mapping Operator งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและนำเสนอการประยุกต์ใช้การเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ร่วมกับขั้นตอนการทำ Tone Mapping โดยตรง เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ลดความซับซ้อนของการจัดการภาพ HDR ก่อนแสดงผลบนอุปกรณ์แสดงผลทั่วไป หรือจอภาพ LDR โดยให้ความสนใจกับการแสดงผลภาพที่มีความสมจริงตามการมองเห็นของมนุษย์ ด้วยการสร้างอัลกอริทึมขึ้นมาเป็น TMO ที่รวมกับ Unsharp Masking โดยตรงในงานวิจัยนี้ ผ่านการเขียนชุดคำสั่งในโปรแกรม Matlab และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลความแตกต่างด้านความคมชัดของภาพผลลัพธ์ และความเร็วในการประมวลผล ได้บทสรุปจากการศึกษาดังต่อไปนี้

1. สามารถประยุกต์ใช้ Unsharp Masking รวมกับการทำ Tone Mapping ของภาพ HDR โดยตรงได้ และสามารถนำมาประมวลผลกับภาพ HDR ได้
2. การประมวลผลภาพ HDR ด้วย TMO นี้ สามารถบีบอัดค่าแสงในช่วง High dynamic range ให้สามารถแสดงผลบนอุปกรณ์แสดงผล Low dynamic range ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแสดงรายละเอียดได้ทั้งบริเวณสว่างและมีมืด รวมทั้งยังให้ความคมชัดมากขึ้นอีกด้วย
3. การประมวลผลภาพ HDR ด้วย TMO นี้ ให้ภาพที่มีความสมจริงตามการมองเห็นของมนุษย์ ปราศจากแสงหลอน (Halo) ซึ่งเป็นผลจากการเร่งค่าความเปรียบต่างให้สูงขึ้น
4. การประมวลผลภาพ HDR ด้วย TMO ที่ประยุกต์รวม Unsharp Masking โดยตรงสามารถประมวลผลได้ไวกว่าการเพิ่มความคมชัดด้วย Unsharp Masking ในภายหลัง
5. สามารถประมวลผลภาพ HDR ด้วย TMO นี้ ได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ได้ นำ TMO มาทำการประมวลผลกับภาพ HDR จากอินเทอร์เน็ตเท่านั้น ควรทำการทดลองกับภาพ HDR ที่ไม่ใช่ภาพมาตรฐานหรือภาพ HDR ที่ทำการถ่ายด้วยตนเองด้วย
2. ในงานวิจัยนี้ได้ นำ TMO มาทำการประมวลผลกับภาพ HDR และนำมาทำการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพของภาพเพียงภาพเดียว ควรนำมาประมวลผลและทำการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพของภาพกับภาพ HDR ที่หลากหลายเพื่อทำการทดลองว่า TMO นี้สามารถใช้งานได้ดีกับภาพที่หลากหลาย หรือเหมาะกับการใช้งานกับภาพในลักษณะใด

3. ควรทำการทดลองด้านจิตฟิสิกส์ (Psychophysics) ในการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพของภาพที่ได้ ทั้งด้านความสมจริงของภาพ โดยแบ่งเป็นภาพที่ผู้ทดลองไม่เคยเห็นฉากจริง และภาพที่ผู้ทดลองเคยเห็นฉากจริง และด้านความชอบส่วนตัว

เอกสารอ้างอิง

- [1] การใช้ Matlab ในการคำนวณทางวิศวกรรม.
<https://pirun.ku.ac.th/~fengslj/02212471/doc54a/chap01.pdf>. (2011). (วันที่สืบค้น: 20 พฤษภาคม 2563)
- [2] Alasdair McAndrew. (2016). *A Computational Introduction To Digital Image Processing*. New York: CRC Press.
- [3] Cambridge in Colour. Cameras vs. The Human Eye.
<https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/cameras-vs-human-eye.htm>. (Accessed May 20, 2020)
- [4] Cambridge in Colour. Guide to Image Sharpening.
<https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/image-sharpening.htm>. (Accessed May 20, 2020)
- [5] Cambridge in Colour. Local Contrast Enhancement.
<https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/local-contrast-enhancement.htm>. (Accessed May 20, 2020)
- [6] Cambridge in Colour. Sharpening Using an Unsharp Mask.
<https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/unsharp-mask.htm>. (Accessed May 20, 2020)
- [7] Cambridge in Colour. Tutorials – Sharpness.
<https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/sharpness.htm>. (Accessed May 20, 2020)
- [8] Cambridge in Colour. Understanding Dynamic Range in Digital Photography.
<https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/dynamic-range.htm>. (Accessed May 20, 2020)
- [9] Cambridge in Colour. Understanding Gamma Correction.
<https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/gamma-correction.htm>. (Accessed May 20, 2020)
- [10] Cerda-Company, X., Parraga, C., & Otazu, X. (2016). *Which Tone-Mapping Operator Is the Best? A Comparative Study of Perceptual Quality*. Computer Vision Center, Computer Science Department, Autonomous University of Barcelona, Spain.

- [11] Drago, F.¹, Myszkowski, K.², Annen, T.², & Chiba, N.¹ (2003). *Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes*. ¹Iwate University, Morioka, Japan. ² MPI for Informatics, Germany.
- [12] Jakkarin Singnoo. (2017). *Fast Segmentation-based Tone Mapping Operator*. University of the Thai Chamber of Commerce, THAILAND.
- [13] John C. Russ., Kenneth R. Spring., Matthew Parry-Hill., Thomas J. Fellers., & Michael W. Davidson. Unsharp Mask Filtering. <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/java/digitalimaging/processing/unsharpmask/>. (Accessed May 20, 2020)
- [14] K. Perlin and E.M. Hoffert. Hypertexture. *Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 89)*, ACM, 23, 253–262, 1989.
- [15] Rafał K. Mantiuk., Karol Myszkowski., Hans-Peter Seidel. (2016). High Dynamic Range Imaging. <https://www.cl.cam.ac.uk/~rkm38/pdfs/mantiuk15hdri.pdf>.
- [16] Reinhard E., Stark M., Shirley P. & Ferwerda J. 2002. Photographic tone reproduction for digital images. *ACM transactions on image processing*.
- [17] Ricoh-Imaging Company. Inside Story / Digital Cameras. http://www.ricoh-imaging.co.jp/english/r_dc/cx/cx1/story/02/index.html. (Accessed May 20, 2020)