

การตรวจจับความคลาดเคลื่อนสีอัตโนมัติโดยใช้คุณสมบัติเฉพาะที่ Automatic Chromatic Aberration Detection using Local Properties

ณัฐชัย งามเสียม¹ สุวัจชัย กมลสันติโรจน์² และ สรร รัตนสัญญา³

^{1,2,3}ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*nattachaitcs@gmail.com

บทคัดย่อ

ความคลาดเคลื่อนสีหรือความผิดเพี้ยนสี (Chromatic Aberration) เกิดจากการหักเหของแสงจำนวนมากที่ผ่านเลนส์ (Lens) ไปตกกระทบบนเซ็นเซอร์ (Sensor) รับภาพในกล้องผิดจากที่ควรจะเป็น ทำให้เกิดสีเพี้ยนขึ้นภายในภาพ ส่งผลให้คุณภาพของภาพลดลง และยังมีผลทางด้านจิตใจอีกด้วย ความคลาดเคลื่อนสีนี้ ตรวจจับแบบอัตโนมัติได้ยากเนื่องจากความยากในการระบุแสงสีและจุดที่ตกกระทบบนเลนส์ทำให้ไม่สามารถระบุจุดที่เกิดความผิดพลาดได้ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจจับความคลาดเคลื่อนสีแบบอัตโนมัติ ซึ่งไม่เคยมีมาก่อนในงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมา บริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีถูกตรวจจับได้โดยนำเส้นขอบมาใช้ร่วมกับคุณสมบัติเฉพาะที่ เช่น ค่าคอนทราสต์ (Contrast) และค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อให้ได้บริเวณที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละส่วนของภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถแยกแยะบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีขึ้นจริงและบริเวณที่มีสีจริงในธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีความถูกต้องในการตรวจจับบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีขึ้นจริงได้ร้อยละ 90.11 โดยเฉลี่ย

คำสำคัญ: ความคลาดเคลื่อนสี, ค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะที่, การค้นหาความคลาดเคลื่อนสี, ขอบสี

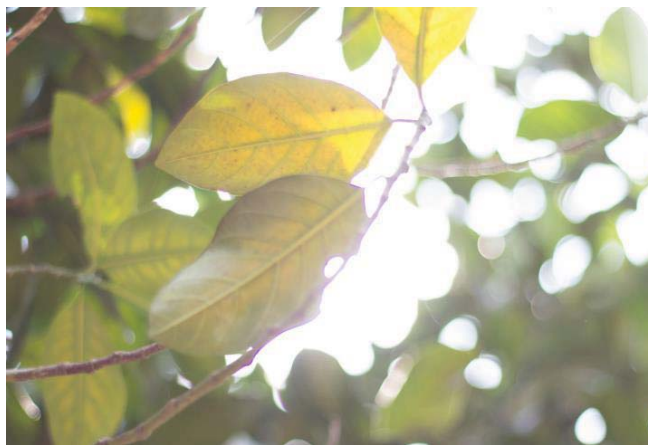
Abstract

Chromatic aberration is introduced by numerous rays of light travelling through lens out of convergence point onto image sensor in digital camera. It causes the colors to be blurred on the image. It decreases the quality of images and also has annoying effects as well. It is hard to automatically detect the color aberration. Therefore, the aberration area is hardly identified because it is hard to identify the incident point of each color on the lens. To the best of our knowledge, automatic detection method has not been proposed. This paper therefore proposes a method to automatically detect chromatic aberration in images. By incorporating edges with local properties, such as contrast and threshold, the aberration area can be detected with high proximity in each area of images. The experimental results show that the proposed method can positively discriminate natural color area and chromatic aberration area efficiently. Moreover, the accuracy of the proposed method is 90.11 percent by the average.

Keywords: chromatic aberration, local threshold, CA detection, color fringe

1. บทนำ

การถ่ายภาพนอกจากจะใช้บันทึกรูปธรรม วัตถุ สิ่งของ สภาพแวดล้อม แล้วยังสามารถใช้บันทึกนามธรรม ดังคำกล่าวที่ว่า “รูปหนึ่งรูปมีความหมายเท่าพันคำ” ปัจจุบันการถ่ายภาพทำได้สะดวกขึ้น ง่ายขึ้นด้วยกล้องดิจิทัลที่มีคุณภาพดีและราคาถูกลงแต่ทว่าปัญหาความคลาดเคลื่อนสีในการถ่ายภาพยังมีอยู่ ปัญหานี้เกิดจากธรรมชาติของแสง แต่ละสี (Spectrum) ซึ่งมีความยาวคลื่น (Wavelength) ที่แตกต่างกัน เมื่อแสงมีการเดินทางผ่านเลนส์จึงเกิดการหักเหขึ้นและทำให้แสงเดินทางไปที่กระทบบนเซ็นเซอร์ รับภาพในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งจะหักเหไปตกกระทบในพิกเซล (Pixel) ใกล้เคียงแทน (Mouroulis et al., 1997) ทำให้สีของภาพในบางตำแหน่งไม่ตรงกับความเป็นจริง ทำให้คุณค่าของภาพต่อจิตใจลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากรูปภาพเป็นสื่อบันทึกความทรงจำที่ยาวนาน การจะมีสิ่งผิดปกติในรูปย่อมเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ที่ผู้ถ่ายภาพและผู้ถูกถ่ายภาพไม่ต้องการให้มีอยู่ภายในภาพ ปัญหานี้จึงเป็นปัญหาอย่างมากในการถ่ายภาพในปัจจุบัน



รูปภาพที่ 1 ตัวอย่างการเกิดความคลาดเคลื่อนสี

ความคลาดเคลื่อนสีจะเกิดในบริเวณที่มีแสงสว่างมากจึงมักเกิดกับเลนส์ที่มีการเปิดรับแสงกว้างในขณะที่ทำการถ่ายภาพ และมักเกิดกับเลนส์ที่มีทางยาวโฟกัสมาก ๆ เนื่องจากแสงมีการเดินทางระยะทางมากทำให้เกิดการกระจายตัวของแสงมากขึ้นตามไปด้วย จากการที่ได้ศึกษางานวิจัยที่พบในปัจจุบันมีแนวทางการแก้ไขคือการแก้ปัญหาด้านกายภาพ (Physical) โดยวิธีการเพิ่มขึ้นเลนส์เข้าไปเพื่อหักเหแสงให้กลับมาในทิศทางเดิม แต่เนื่องจากราคาของเลนส์ที่ใช้หักเหแสงนี้มีราคาสูง จึงมีวิธีแก้ปัญห่อีกหนึ่งวิธีคือวิธีทางตรรกะ (Logical) โดยการใช้คอมพิวเตอร์ในการค้นหาและแก้ไขจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี ซึ่งการแก้ปัญหาด้านตรรกะเป็นการแก้ปัญหาที่มีความยืดหยุ่นและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่ามาก

การแก้ปัญหาด้านตรรกะที่ผ่านมานั้น เริ่มจากการแก้ไขการเกิดความคลาดเคลื่อนสีที่เป็นลักษณะของการเกิดขอบมวงก่อนแล้วจึงพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ จนถึงการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีที่มีลักษณะเป็นสีอื่น ๆ ด้วยไม่ใช่เพียงเฉพาะสีม่วงอย่างเดียวเท่านั้น และข้อสังเกตอีกหนึ่งอย่างคือ การค้นหาและแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีที่ผ่านมานั้นไม่ได้มีการแบ่งแยกระหว่างสีที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติกับสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนจึงทำให้การแก้ไขเป็นไปอย่างไม่ถูกต้อง ผู้วิจัยจึงได้นำการใช้ค่าคอนทราสต์เพื่อมาแยกแยะกรณีดังกล่าวนี้ ข้อสังเกตอีกหนึ่งข้อคือวิธีการในหาพื้นที่ส่วนที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีส่วนใหญ่ จะใช้ค่าขีดแบ่งเดียวกันกับทุกบริเวณในภาพ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วความเข้มข้นสีจากส่วนต่าง ๆ ในภาพความแตกต่างกันออกไป ผู้วิจัยจึงนำค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะที่ มาใช้เพื่อทำการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยคาดหวังว่าผลการวิจัยที่ออกมาจะสามารถแยกแยะระหว่างสีที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติกับสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนได้ และสามารถหาพื้นที่ที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้ถูกต้องแม่นยำขึ้นกว่างานวิจัยที่ผ่านมา ๆ มา ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาเริ่มต้นจาก Chung et al. (2010) มีการหาความคลาดเคลื่อนสีโดยใช้

วิธีการหาเส้นขอบโดยวิธีโซเบล (Sobel) จากนั้นทำการขยายจุดที่ได้เป็นบริเวณที่เรียกว่า Transition Region โดยทำในแนวแกนตั้งและแนวนอน ต่อมา Ju et al. (2012) ได้พัฒนางานวิจัยขึ้นมาโดยกระทำในสี่แกนคือ แนวตั้ง แนวนอน แนวทแยงมุม และแนวตรงข้ามแล้วทแยงมุม หลังจากนั้นในปีถัดมามีงานวิจัยใหม่ที่ใช้วิธีการใกล้เคียงแบบเดิมแต่ได้แก้ปัญหาในระบบสี YCbCr แทนระบบสีแบบในรูปแบบเดิม ๆ ซึ่งทำให้ได้ผลที่ดีเนื่องจากระบบสี YCbCr สามารถแยกความสว่างได้อย่างชัดเจน แต่ข้อเสียของวิธีที่กล่าวมาทั้งหมดคือไม่สามารถแยกแยะสีที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติกับสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนได้นั่นเอง

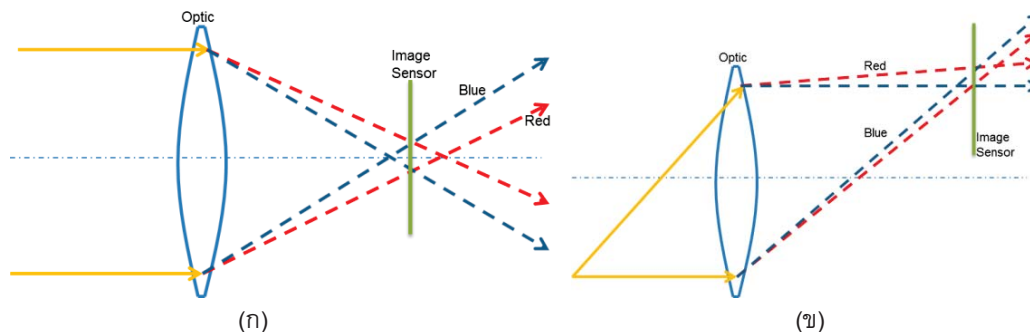
งานวิจัยนี้เสนอการตรวจจับความคลาดเคลื่อนสีอัตโนมัติโดยใช้คุณสมบัติเฉพาะที่ โดยการนำคุณสมบัติคือ ค่าคอนทราสต์และค่าขีดแบ่งในแต่ละส่วนของภาพมาทำการค้นหาความคลาดเคลื่อนสีให้มีความถูกต้องมากที่สุด และสามารถแยกแยะได้ว่าเป็นบริเวณเกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงหรือเป็นสีที่เกิดขึ้นในธรรมชาติได้

2. วัตถุประสงค์ในการทำการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นถึงปัญหาที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้คือการแยกแยะสีที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติกับสีที่เกิดความคลาดเคลื่อน และการค้นหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสียังไม่ถูกต้องมากพอ ผู้วิจัยจึงจัดทำงานวิจัยขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัย คือ เพื่อทำการค้นหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี โดยสามารถแยกสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นจริงกับสีที่เป็นจริงอยู่แล้วตามธรรมชาติ ด้วยการใช้ค่าคอนทราสต์ และเพื่อทำการค้นหาพื้นที่ที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

3. สมมติฐาน

ความคลาดเคลื่อนสีเกิดจากการที่แสงมีความเข้มมากและเดินทางเข้าหาเลนส์และเกิดการหักเหขึ้น ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วขณะที่ทำการถ่ายภาพแสงมีโอกาสดำเนินทางเข้าสู่เลนส์ได้ในหลากหลายทิศทาง ด้วยเหตุผลนี้ทำให้เกิดความผิดพลาดที่แตกต่างกันออก โดยความคลาดเคลื่อนสีเกิดจากขึ้นได้ในสองลักษณะโดยแบ่งตามลักษณะการรับแสงของเลนส์คือ Axial Chromatic Aberration คือการที่แสงเดินทางผ่านหน้าเลนส์โดยตรงแล้วเกิดการหักเห ทำให้เกิดการตกกระทบในบริเวณจุดที่ไม่ตรงกับจุดโฟกัสตั้งรูปภาพที่ 2(ก) และ Lateral Chromatic Aberration คือ การที่แสงเดินทางผ่านหน้าเลนส์ทางด้านข้างของส่วนที่นูนบริเวณหน้าเลนส์แล้วเกิดการหักเห ทำให้เกิดการตกกระทบในบริเวณจุดที่ไม่ตรงกับจุดโฟกัสตั้งรูปภาพที่ 2(ข) จึงเกิดสมมติฐานแรกขึ้นคือ การหักเหที่เกิดขึ้นมีผลทำให้ค่าคอนทราสต์ของสีแดงและสีน้ำเงินมีค่าน้อยกว่าสีเขียว เนื่องจากแสงสีเขียวอยู่ตรงกลางของคลื่นแสง แต่แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินอยู่บริเวณขอบของคลื่นแสง ทำให้ค่าคอนทราสต์มีค่าน้อยลง ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเกิดความคลาดเคลื่อนสี



รูปภาพที่ 2 การเกิด Chromatic Aberration ลักษณะต่าง ๆ (ก) Axial Chromatic Aberration

(ข) Lateral Chromatic Aberration

โดยธรรมชาติของภาพต่าง ๆ ความเข้มสีในแต่ละส่วนของภาพถ่ายส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เท่ากัน การที่ใช้ค่าขีดแบ่งค่าเดียวกันทั้งภาพย่อมทำให้ การค้นหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีทั้งภาพไม่ครอบคลุมบริเวณ

ที่ครบถ้วน ดังนั้นจึงเกิดสมมติฐานที่สองคือการใช้ค่าขีดแบ่งเฉพาะที่จะสามารถหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถใช้ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของสีในบริเวณนั้น ทำให้เกิดความยืดหยุ่นและค้นหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้ดียิ่งขึ้น

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อทำการตั้งสมมติฐานแล้ว ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนสีที่มีผลลัพธ์ที่ดีเป็นที่ยอมรับในหมู่นักวิจัย และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัยทางด้านนี้ โดยงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามาสามารถแยกได้ 2 กลุ่มคือ คื่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดขอบม่วง (Purple Fringe) เป็นงานวิจัยที่ค้นหาความคลาดเคลื่อนสีที่เฉพาะโทนสีม่วงเท่านั้น มีผู้วิจัยด้านนี้หลายท่านนำเสนอวิธีการวิจัยที่แตกต่างกันออกไป เช่น Kang (2009) เสนอวิธีการหา Near Saturated Regions (NSRs) ซึ่งเป็นการหาจุดในรูปภาพที่มีค่าความสว่างมากกว่าที่กำหนด (กำหนดค่าของสีอยู่ที่ 230 ขึ้นไป) และวิธีการหา Candidate Regions (CRs) ซึ่งเป็นการหาจากจุดที่มีค่าของค่าสีน้ำเงินมากกว่าสีแดงและสีเขียว (โทนสีม่วง) จากนั้นจึงทำการหาส่วนของ CRs ที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณรอบ ๆ NSRs แล้วจึงระบุว่าจุด ๆ นั้นมีการเกิดขอบม่วง ซึ่งสามารถทำการแก้ไขด้วยวิธีการทั้งหมด 3 วิธีคือ ใช้ค่าสีของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงมาแก้เป็นสีระดับเทา ทำให้ค่าสีทั้งสามสีเป็นค่าเดียวกันซึ่งจะเปลี่ยนเป็นโทนขาวดำ และวิธีสุดท้ายคือเปลี่ยนค่าสีแดงและสีน้ำเงินให้เท่ากับสีเขียว Kim et al. (2008) ได้เสนองานวิจัยโดยใช้วิธีที่ชื่อว่า Gradient based method ซึ่งได้พัฒนามาจากงานวิจัยของ Kang โดยทำการหาบริเวณที่เป็น NSRs และ CRs เช่นเดียวกันแต่จะแปลงเป็นรูปแบบของไบนารี (binary) และมีการหา Color Change Regions (CCRs) ซึ่งเป็นการหาเส้นขอบระหว่าง NSRs และ CRs หลังจากนั้นจึงนำค่าต่าง ๆ ที่ได้ไปคำนวณหาจุดที่เกิดขอบม่วง และทำการแก้ไขให้อยู่ในสีระดับเทา การใช้วิธีนี้ทำให้การค้นหาค่าจุดที่เกิดขอบม่วงแม่นยำขึ้นกว่าเก่า หลังจากนั้น Kim et al. (2010) ได้พัฒนางานวิจัยนี้โดยใช้ XY Chromaticity Diagram โดยเริ่มจากแปลงจากระบบสี RGB เป็น CIE XYZ จากนั้นทำการหาจุดผิดปกติ โดยหาบริเวณ NSR จากค่าความสว่างของสี (ค่า Y ในระบบสี CIE XYZ) โดยวัดจากค่าความสว่างที่มีค่าเกิน 0.9 จากนั้นทำการหาบริเวณ CR โดยการนำ CIE XYZ แปลงเป็นค่า xy เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสีที่คาดว่าจะเกิดขอบม่วงใน Chromaticity Diagram จากนั้นหา CCR โดยใช้ gradient magnitude แล้วจึงคำนวณหาจุดที่เกิดขอบม่วง จากนั้นทำการแก้ไขโดยใช้วิธีการที่เรียกว่า Desaturation และสุดท้ายจึงเปลี่ยนระบบสีกลับเป็น RGB วิธีนี้ทำให้การค้นหาค่าจุดที่มีการเกิดขอบม่วงได้แม่นยำมากขึ้น ข้อด้อยของงานวิจัยกลุ่มนี้มีข้อเสียตรงที่สามารถค้นหาเฉพาะส่วนที่เป็นโทนสีม่วง และไม่สามารถแยกแยะสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นจริงกับสีที่เป็นจริงอยู่แล้วตามธรรมชาติ

ต่อมาคืองานวิจัยในด้านของ ความคลาดเคลื่อนสี (Chromatic Aberration) เป็นการวิจัยที่มุ่งเน้นการค้นหาและแก้ไขสีที่มีความผิดปกติอื่น ๆ ไม่เฉพาะแต่โทนสีม่วงเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่โดดเด่นและมีผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ เริ่มจากงานวิจัยของ Chung et al. (2010) ได้นำเสนอการหาเส้นขอบโดยวิธีโซเบล (sobel) ในสองทิศทางคือทางแนวนอนและแนวตั้ง จากนั้นจึงหาจุดที่มีค่าของเส้นขอบสีเขียวมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ โดยการหาจุดนี้ทำในทุกพิกเซลบนภาพและตรวจสอบว่าค่าของเส้นขอบสีเขียวหนึ่งในสามสีมากกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่ถ้ามากกว่าให้กำหนดจุดนั้นเป็นจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี จากนั้นทำการคำนวณด้วยวิธีเดียวกันกับพิกเซลข้างเคียงที่อยู่บนแนวเดียวกันจะทำให้ได้กลุ่มของพิกเซลที่เรียกว่า Transition Region จากนั้นทำการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสี โดยใช้สีที่อยู่ใน Transition Region ที่มีค่ามากที่สุดและน้อยสุดเป็นตัวกำหนดสีที่แก้ไขภายใน Transition Region นั้น ๆ ข้อเสียของวิธีนี้คือไม่สามารถค้นหาความคลาดเคลื่อนสีในแนวทแยงมุมได้ ต่อมา Ju et al. (2012) จึงได้พัฒนางานวิจัยของ Chung โดยคำนวณใน 4 ทิศทางคือแนวตั้ง แนวนอน แนวทแยงมุม และแนวย้อนแนวทแยงมุม และเปลี่ยนวิธีการคำนวณหา Transition Region จากค่ามากที่สุดของเส้นขอบงานวิจัยนี้ยังมีการตรวจสอบทิศทางที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหา Transition Region เพิ่มอีกด้วย ในส่วนของการแก้ไขการเกิดความคลาดเคลื่อนสียังคงใช้วิธีการของ Chung หลังจากนั้น Ju et al. (2013) ได้พัฒนางานวิจัยเพิ่มโดยใช้วิธีการเปลี่ยนระบบสีให้เป็นระบบสี YCbCr [6] แทนการใช้ระบบสี RGB

แบบเดิม ซึ่งการเปลี่ยนระบบสีนี้ทำให้การหาความคลาดเคลื่อนสีแม่นยำขึ้น ขั้นตอนการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีที่ทำในระบบสี YCbCr ทำให้ได้สีที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น งานวิจัยในกลุ่มนี้สามารถหาความคลาดเคลื่อนสีอื่น ๆ นอกจากสีม่วงได้ แต่ก็ยังไม่สามารถแยกแยะสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีขึ้นจริงกับสีที่เป็นจริงอยู่แล้วตามธรรมชาติ

5. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยของการการค้นหและแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีโดยใช้ค่าคุณสมบัติเฉพาะที่เป็นการนำคุณสมบัติต่าง ๆ ในแต่ละบริเวณของรูปภาพ มาทำการคำนวณหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีและแก้ไขบริเวณเหล่านั้น วิธีการของผู้วิจัยประกอบไปด้วยการนำรูปภาพต้นฉบับเข้าสู่กระบวนการโดยเริ่มขั้นตอนการหา Near Saturated Regions เพื่อหาส่วนสว่างในภาพจากนั้นทำการหา Candidate Regions เพื่อหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี แล้วทำการขยายบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีโดยใช้การ Expand Transition Regions และสุดท้ายคือ การ Correction Chromatic Aberration ซึ่งเป็นขั้นตอนการแก้ไขส่วนที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี เมื่อได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นภาพที่แก้ไขเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการวัดผลการวิจัย ดังที่แสดงรายละเอียดในรูปภาพที่ 3 ซึ่งแสดงถึงลำดับขั้นตอนในวิธีการของผู้วิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปภาพที่ 3 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

5.1 Near saturated regions (NSRs)

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนสีจะเกิดขึ้นที่รอบบริเวณที่มีแสงมากดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องคำนวณหาบริเวณที่มีปริมาณแสงมากภายในภาพ ซึ่งบริเวณที่จะทำการหาเรียกว่า การหา NSRs โดยการที่จะหาจุดที่สว่างของภาพให้ได้ถูกต้องแม่นยำนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนระบบสีจากระบบเดิมที่เป็น RGB เป็น ระบบสี CIE XYZ ดังสมการที่ (1)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9503 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

โดยที่ X , Y และ Z หมายถึง ค่าของ สีในระบบสี CIE XYZ และ R_L , G_L , B_L หมายถึง ค่าเชิงเส้นของสี

และสีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับในระบบสี RGB ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าเชิงเส้นได้จากสมการที่ (2)

$$C_L = \begin{cases} \frac{C}{12.92} & C \leq 0.04045 \\ \frac{C+0.055}{1+0.055} & C > 0.04045 \end{cases} \quad (2)$$

โดยที่ C_L แทนค่าเชิงเส้นของสีต่าง ๆ และ C แทนค่าของสีปกติ

เนื่องจากระบบสี CIE XYZ นั้น จะสามารถแยกค่าของความสว่างภายในรูปภาพได้ถูกต้องแม่นยำ ค่าความสว่างจะแสดงโดยค่า Y ในการวิจัยนี้กำหนดให้ค่าของ Y ที่มากกว่า 0.9 เป็นส่วนของภาพที่มีความสว่างมาก จึงทำการกำหนดค่าขีดแบ่งซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ T ไว้ที่ 0.9 ซึ่งการหาบริเวณที่สว่างสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$NSR = \{ Y(i,j) \mid Y(i,j) > T \} \quad (3)$$

โดยที่ NSR หมายถึง บริเวณที่สว่างภายในภาพ, Y หมายถึง ค่าของแสงภายในภาพในระบบสี CIE XYZ

5.2 Candidate regions (CRs)

หลังการที่ได้ทำการค้นหาส่วนที่สว่างภายในภาพแล้วลำดับต่อมาคือการค้นหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีโดยการค้นหาจุดดังกล่าวจะนำค่าของคอนทราสต์ และค่าของเส้นขอบภายในภาพมาใช้ โดยวัดกับค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมดังสมการที่ (4)

$$CR = \{ Im(i,j) \mid Im(i,j) \in Edge_{ca}(i,j) \cap Contrast_{ca}(i,j) \} \quad (4)$$

โดยที่ CR หมายถึง จุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี, $Contrast_{ca}$ หมายถึง จุดที่น่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนสีที่ประเมินจากค่าคอนทราสต์ และ $Edge_{ca}$ หมายถึง จุดที่น่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนสีที่ประเมินจากค่าของเส้นขอบ

อย่างทีกล่าวข้างต้นว่าความคลาดเคลื่อนสีจะเกิดบริเวณขอบของบริเวณที่มีความสว่างมาก ดังนั้นการจะหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจึงจำเป็นต้องหาบริเวณเส้นขอบของรูปภาพก่อนโดยใช้วิธีการหาเส้นขอบโดยวิธีโซเบล โดยจะต้องหาเส้นขอบทั้ง 4 แกนเนื่องจากธรรมชาติของแสงจะสามารถเข้ามาจากทิศทางใดก็ได้ ซึ่งหาได้ดังสมการที่ (5)

$$E_c(i, j) = C(i-1, j-1) + 2C(i, j-1) + C(i+1, j-1) \\ - C(i-1, j+1) - 2C(i, j+1) - C(i+1, j+1) \quad (5)$$

โดยที่ E_c หมายถึง ค่าของเส้นขอบที่หาได้, C หมายถึง ค่าของสีต่าง ๆ ในระบบสี RGB ซึ่งสมการดังกล่าวนี้เป็นสมการในแนวแกนตั้ง วิธีการของผู้วิจัยจะกระทำในทั้ง 4 แกนคือแนวตั้ง แนวนอน แนวทแยงมุม และแนวตรงข้ามแนวทแยงมุม

จากนั้นนำค่าของเส้นขอบที่ได้มาคำนวณหาจุดที่น่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนสีที่ประเมินจากค่าของเส้นขอบ จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าค่าที่เหมาะสมที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนสี คือ ต้องมีค่าของค่าเส้นขอบสีแดงและค่าเส้นขอบสีน้ำเงินมากกว่าร้อยละ 90 ของค่าเส้นขอบสีเขียว จึงกำหนดค่าดังกล่าวซึ่งแทนด้วยแทนด้วยสัญลักษณ์ α ไว้ที่ 0.9 วิธีการคำนวณเขียนได้ดังสมการที่ (6)

$$Edge_{ca} = \{ x \mid E_R(x) < E_G \alpha(x) \text{ and } E_B(x) < E_G \alpha(x) \} \quad (6)$$

โดยที่ $Edge_{ca}$ หมายถึง จุดของเส้นขอบที่น่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนสีที่ประเมินจากค่าของเส้นขอบ, E_R หมายถึง ค่าของเส้นขอบสีแดงตั้ง E_G หมายถึง ค่าของเส้นขอบสีเขียว, E_{BV} หมายถึง ค่าของเส้นขอบสีน้ำเงิน โดยขั้นตอนนี้จะทำการหาทั้งสี่แกนคือ แกนแนวตั้ง แนวนอน แนวทแยงมุม และแนวตรงข้ามแนวทแยงมุมตามลำดับ

เมื่อได้ค่าของเส้นขอบแล้วทำการหาคอนทราสต์ของภาพคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$Con = ((C_2(i-2,j) - C_1(i+2,j)) / (P_2 - P_1)) \quad (7)$$

โดยที่ Con หมายถึง ค่าคอนทราสต์ที่หาได้, C_2 หมายถึง ค่าของสีในตำแหน่งปลายสุดของการหาคอนทราสต์, C_1 หมายถึงค่าของสีในตำแหน่งแรกสุดของการหาคอนทราสต์, P_2 หมายถึง ค่าของตำแหน่งปลายสุดของการหาคอนทราสต์ และ P_1 หมายถึง ค่าของตำแหน่งแรกสุดของการหาคอนทราสต์ ขั้นตอนนี้ทำการหาใน 4 แกนคือ แนวตั้ง แนวนอน แนวทแยงมุม และแนวตรงข้ามแนวทแยงมุมเช่นเดียวกัน

หลังจากการหาข้างต้นซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าค่าที่เหมาะสมคือ ค่าคอนทราสต์สีเขียวต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 40 ของค่าคอนทราสต์ของสีแดง จึงกำหนดค่าดังกล่าวซึ่งแทนด้วยแทนด้วยสัญลักษณ์ β ไว้ที่ 0.4 วิธีการคำนวณเขียนได้ดังสมการที่ (8)

$$Contrast_{ca} = \{ x \mid Con_R(x) < Con_G \beta(x) \text{ and } Con_B(x) < Con_G \beta(x) \} \quad (8)$$

โดยที่ $Contrast_{ca}$ หมายถึง จุดที่น่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนสีที่ประเมินจากค่าคอนทราสต์, Con_R หมายถึง ค่าคอนทราสต์ของสีแดง Con_G หมายถึง ค่าคอนทราสต์ของสีเขียว, Con_B หมายถึง ค่าคอนทราสต์ของสีน้ำเงิน ขั้นตอนนี้ทำการหาใน 4 แกนคือ แกนแนวตั้ง แนวนอน แนวทแยงมุม และแนวตรงข้ามแนวทแยงมุมตามลำดับ

5.3 Expand Transition Regions

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนสีจะเกิดบริเวณรอบ ๆ บริเวณที่มีแสงสว่างมาก ๆ จึงต้องทำการหาพื้นที่โดยรอบของบริเวณที่มีความสว่างมากก่อนโดยใช้ structure element จากนั้นจึงตัดส่วนของ NSR ออกจึงจะได้ส่วนที่เรียกว่า $NSR_{Boundary}$ ดังสมการที่ (9) และ (10)

$$NSR_{Dilation} = (NSR \oplus SE) \quad (9)$$

$$NSR_{Boundary} = NSR_{Dilation} - NSR \quad (10)$$

โดยที่ SE หมายถึง structure element , $NSR_{Dilation}$ หมายถึงส่วนของ NSR ที่ทำการขยายพื้นที่แล้ว และ $NSR_{Boundary}$ หมายถึง พื้นที่โดนรอบของบริเวณรอบ NSR

เมื่อทำการหา $NSR_{Boundary}$ แล้วทำการนำค่าของ CR มาตรวจสอบว่าอยู่ในบริเวณที่ขยายออกมาหรือไม่โดยใช้การคำนวณดังสมการที่ (11)

$$CA(i,j) = \{ Im(i,j) \mid Im(i,j) \in CR(i,j) \cap NSR_{Boundary}(i,j) \} \quad (11)$$

โดยที่ CA หมายถึง จุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี

ความคลาดเคลื่อนสีมีคุณลักษณะที่แสดงถึงความเข้มข้นของแสงแตกต่างกันเนื่องจากการเดินทางของแสงไม่เท่ากัน ดังนั้น การค้นหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีในช่วงต้นจึงยังไม่เพียงพอจึงต้องทำการขยายบริเวณที่ค้นหาได้อีกเพื่อให้ครอบคลุมบริเวณที่เกิดเป็นกลุ่มของการเกิดความคลาดเคลื่อนสีทั้งหมดโดยเริ่มจากจุดที่ค้นหาในช่วงต้นพบ โดยทำการขยายออกใน สี่แกนคือ แนวตั้ง แนวนอน แนวทแยงมุม แนวตรงข้ามแนวทแยงมุม และสิ้นสุดเมื่อไม่สามารถขยายออกได้อีก ดังสมการที่ (12)

$$TR = \{ x \mid D_R(x) < ThresholdDr(y) \text{ and } D_B(x) < ThresholdDb(y) \} \quad (12)$$

โดยที่ TR หมายถึง พื้นที่ที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี , D_R หมายถึงค่าความต่างระหว่างสีแดงและสีเขียวของจุดที่ได้ทำการขยาย , D_B หมายถึงค่าความต่างระหว่างสีน้ำเงินและสีเขียวของจุดที่ได้ทำการขยาย $ThresholdDr$ หมายถึงค่าขีดแบ่งในการจำกัดการขยายของสีแดงและสีเขียว $ThresholdDb$ หมายถึง ค่าขีดแบ่งในการจำกัดการขยายของสีน้ำเงินและสีเขียว , y หมายถึง ค่าตำแหน่งของจุดที่ทำการขยายออก และ x หมายถึง ค่าตำแหน่งของจุดตั้งต้นของการขยาย

เนื่องจากความเข้มข้นของสีในแต่ละส่วนของภาพไม่เท่ากันทำให้การใช้ค่าขีดแบ่งแบบปกติหาบริเวณที่ไม่ครบสมบูรณ์ถูกต้องออกมาจึงได้มีการคิดค้นค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะที่ขึ้นมาให้เกิดความยืดหยุ่นในการหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีให้ถูกต้องมากที่สุด โดยเริ่มจากหาค่าความต่างของสีแดงกับสีเขียว และสีน้ำเงินกับสีเขียว ดังสมการที่ (13) แล้วจึงคำนวณหาค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะที่ในสมการที่ (14)

$$D_R(\cdot) = R(\cdot) - G(\cdot), D_B(\cdot) = B(\cdot) - G(\cdot) \quad (13)$$

โดยที่ D_R หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างสีแดงและสีเขียว , D_B หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างสีน้ำเงินและสีเขียว , R หมายถึง สีแดง , G หมายถึง สีเขียว และ B หมายถึง สีน้ำเงิน

$$ThresholdDr = (abs(Dr(i,j)) * 0.7), ThresholdDb = (abs(Db(i,j)) * 0.7) \quad (14)$$

โดยที่ $ThresholdDr$ หมายถึง ค่าขีดแบ่งที่ใช้ระหว่างสีแดงและสีเขียว และ $ThresholdDb$ หมายถึง ค่าขีดแบ่งที่ใช้ระหว่างสีน้ำเงินและสีเขียว

5.4 Correction chromatic aberration

การแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีใช้การแก้ไขให้อยู่ในระดับเทาจะนำค่าของตำแหน่งที่ค้นหาได้มาแก้ไขในระบบสี CIE XYZ สามารถแยกระหว่างค่าของสีและค่าความสว่างของสีได้อย่างชัดเจน ทำให้ความสว่างไม่หายไปโดยการแก้ไขจะได้โดยใช้สมการที่ (15)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-x_{chromatic} & -x_{chromatic} \\ y_{chromatic} & y_{chromatic} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_{chromatic} \\ 1-y_{chromatic} \end{bmatrix} Y \quad (15)$$

โดยที่ X' หมายถึง ค่าของ X ใหม่ในระบบสี CIE XYZ, Z' หมายถึง ค่าของ Z ใหม่ในระบบสี CIE XYZ, x_{white} และ y_{white} หมายถึงค่าของสีขาวในระบบสี CIE XYZ ซึ่งมีค่า $x_{white} = 0.3127$ และ $y_{white} = 0.3290$ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าแล้วจึงแปลงกลับไปเป็นระบบสี RGB เป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสี

5.5 วัดผลการวิจัย

เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนทั้งหมดแล้วผู้วิจัยต้องการจะตรวจสอบว่าผลการวิจัยที่ได้นั้นได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่างานวิจัยของนักวิจัยท่านอื่นหรือไม่ ผู้ทำการวิจัยจึงได้นำการคำนวณผลลัพธ์โดยใช้ Confusion Matrix ซึ่งการวัดผลการวิจัยจะใช้ภาพตัวอย่างทั้งหมด 20 ภาพ ซึ่งแบ่งเป็นภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงจำนวน 10 ภาพซึ่งเป็นภาพที่มาจากเว็บไซต์สาธารณะทั่วไป (เนื่องจากไม่มีฐานข้อมูลของรูปภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี) และภาพที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจำนวน 10 ภาพซึ่งผู้วิจัยได้นำภาพมาจากฐานข้อมูล The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark (Arbelae et al.,2007) และ "Standard" test images (Gonzalez et al.,n.d.) ซึ่งเริ่มต้นด้วยการแบ่งผลการทดลองข้างต้นเป็นสี่กรณีคือ

True Positive (TP) คือ บริเวณที่พบบ่อยเกิดความคลาดเคลื่อนสีและเกิดความคลาดเคลื่อนสีจริง

True Negative (TN) คือ บริเวณที่ไม่พบบ่อยเกิดความคลาดเคลื่อนสีและไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริง

False Positive (FP) คือ บริเวณที่พบบ่อยเกิดความคลาดเคลื่อนสีแต่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริง

False Negative (FN) คือ บริเวณที่ไม่พบบ่อยเกิดความคลาดเคลื่อนสีแต่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริง

ความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ สามารถแสดงในรูปแบบของ Confusion Matrix ดังรูปภาพที่ 4

CA ในความเป็นจริง

CA จากการทดลอง	Classified as	จุดที่เกิด CA (Positive)	จุดที่ไม่เกิด CA (Negative)
	จุดที่เกิด CA (Positive)	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	จุดที่ไม่เกิด CA (Negative)	False Negative (FN)	True Negative (TN)

รูปภาพที่ 4 Confusion Matrix ของการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสี

จากนั้นทำการนับค่าทั้งค่าทั้ง 4 ดังกล่าวข้างต้น โดยใช้วิธีการวิเคราะห์จุดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในภาพว่าจุดที่เกิดจากการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสีโดยมนุษย์กับจุดที่เกิดจากการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสีจากการวิจัยอยู่ภายในกรณีใด เมื่อได้ค่าทั้งหมดแล้วสามารถนำมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการของผู้วิจัยและวิธีการของผู้วิจัยอื่นที่ผ่านมามีดังนี้

ค่าความถูกต้อง (Accuracy) คือ ค่าที่บอกว่าการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสีมีความถูกต้องในค้นหามากน้อยเพียงใดคำนวณได้จากสมการที่ (16)

$$Accuracy = (TP+TN) * 100 / (TP+TN+FP+FN) \quad (16)$$

False Positive Rate (FPR) คือ ค่าที่บอกว่าการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสีเป็นอัตราส่วนเท่าใดของส่วนที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงและค้นหาถูกต้องทั้งหมดคำนวณได้จากสมการที่ (17)

$$FPR = FP * 100 / (TN + FP) \quad (17)$$

ค่าความแม่นยำ (Precision) คือ ค่าที่บอกว่าการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสีมีความแม่นยำมากเพียงใด คำนวณได้จากสมการที่ (18)

$$Precision = TP * 100 / (TP + FP) \quad (18)$$

เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ดังกล่าวทั้งหมดแล้วจึงนำค่าต่าง ๆ มาเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการสรุปผลการวิจัยต่อไป

6. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยที่ได้จากการค้นหาความคลาดเคลื่อนสี ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยโดยแบ่งเป็นกลุ่มของภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีและกลุ่มที่เกิดไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีโดยได้ทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของงานวิจัยของ Soon Wook Chung และ Hae Jin Ju

6.1 ผลการทดลองการค้นหาและแก้ไขกลุ่มที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี

จากการที่ได้ทำการวิจัยในกรณีของภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยกับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งการทดลองกับภาพ 1 ภาพ ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการค้นหาความคลาดเคลื่อนสีภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริง

วิธีการวิจัย	TP	TN	FN	FP	ค่าความถูกต้อง (ร้อยละ)
วิธีของ Chung	4493	24058	621	12976	67.73
วิธีของ Ju	4951	15594	163	21440	48.74
วิธีการที่นำเสนอ	4587	34750	527	2284	93.33

จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าความถูกต้องของการค้นหาความคลาดเคลื่อนสีของผู้วิจัยมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการที่ผ่านมาโดยมีความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 93.33 มากกว่าวิธีการของ Soon Wook Chung ที่มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 67.73 จากตารางจะสังเกตได้ว่า วิธีการของผู้วิจัยสามารถค้นหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงได้น้อยกว่าวิธีการของ Hae Jin Ju แต่ความผิดพลาดในการค้นหาบริเวณที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีของผู้วิจัยมีน้อยกว่ามาก จึงทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าดังที่ได้แสดงให้เห็นในค่าความถูกต้อง อีกทั้งค่าของ False Positive Rate ที่ได้จากการวิจัยก็มีอัตราส่วนเพียงร้อยละ ในขณะที่ วิธีของ Chung มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 35 และ วิธีของ Ju ค่าอยู่ที่ร้อยละ 57 และเมื่อได้ทำการวัดค่าความแม่นยำ วิธีการของผู้วิจัยยังได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 66 ขณะที่ วิธีของ Chung มีค่าความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 25 และ วิธีของ Ju มีค่าความแม่นยำเพียงร้อยละ 18 หลังจากนั้นจึงทำการแก้ไขความคลาดเคลื่อน โดยการที่ค้นหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีผิดพลาดนั้นจะทำให้ผลลัพธ์หลังจากการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีมีความผิดพลาดไปด้วย ซึ่งเมื่อได้ทำการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีจากจุดที่ค้นหาได้แล้วได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ดังผลการทดลองที่แสดงได้ดังภาพที่ 5 และ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการของผู้วิจัยมีการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีได้มากกว่าเนื่องจากการค้นหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้อย่างถูกต้อง ขณะที่ผลลัพธ์ของงานวิจัยในวิธีของ Chung และ วิธีของ Ju ทำให้ได้ไม่ถูกต้อง จึงทำให้การแก้ไขในบริเวณที่ไม่ถูกต้องเช่นเดียวกัน



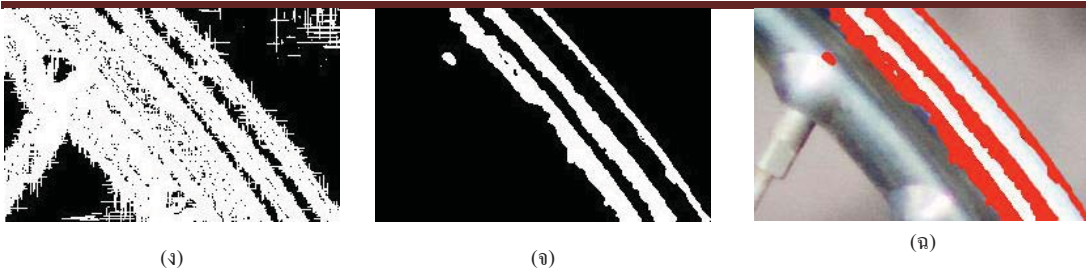
(ก)



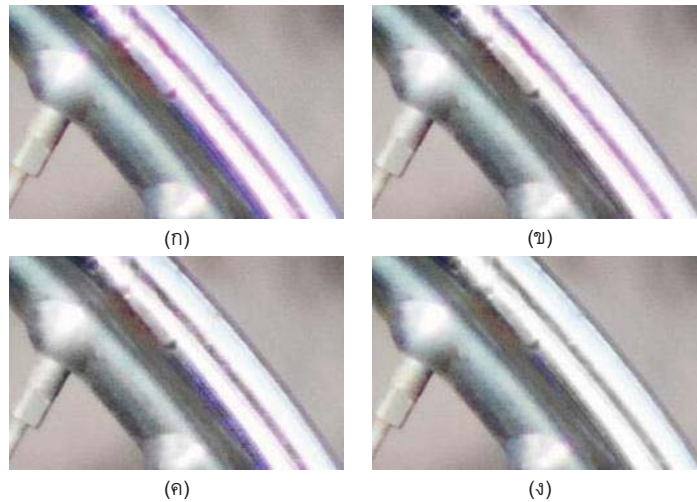
(ข)



(ค)

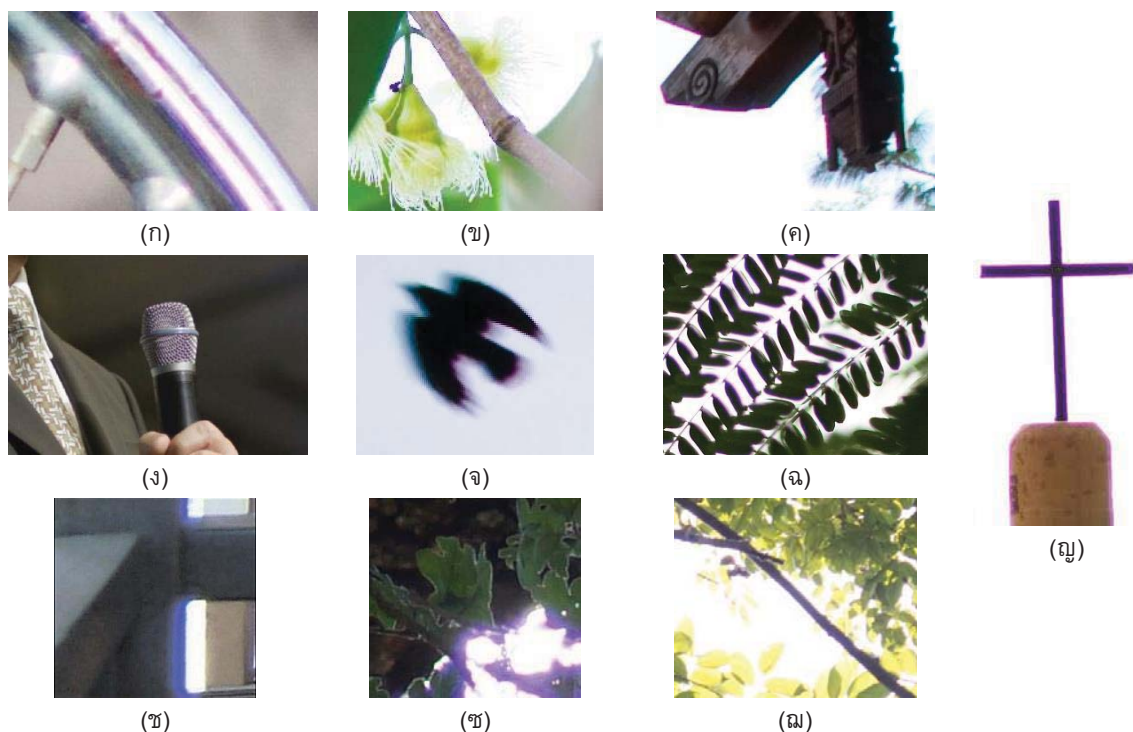


รูปภาพที่ 5 ผลการทดลองการค้นหาคrackเคลื่อนสี (ก) ภาพต้นแบบ (ข) การค้นหาโดยใช้มนุษย์
(ค) วิธีของ Chung (ง) วิธีของ Ju (จ) วิธีการที่นำเสนอ (ฉ) บริเวณที่ค้นหาได้เมื่อเทียบกับภาพสีจริง



รูปภาพที่ 6 ผลการทดลองการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสี (ก) ภาพต้นแบบ (ข) วิธีของ Chung
(ค) วิธีของ Ju (ง) วิธีการที่นำเสนอ

ที่มา: <http://darktable-users.narkive.com/A6xamWte/purple-fringing>



รูปภาพที่ 7 ภาพตัวอย่างที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีที่ใช้ในการทดลอง

ที่มา: (ก) <http://darktable-users.narkive.com/A6xamWte/purple-fringing> (ข) ภาพที่ผู้วิจัยทำการถ่ายเอง (ค) <http://farbspiel-photo.com/original/correcting-chromatic-aberration> (ง) เอกสารอ้างอิงของ Kim et al. (2010) (จ) <http://laurashoe.com/2008/11/09/chromatic-abberation/> (ฉ) <http://topicstock.pantip.com/camera/topicstock/2010/06/O9416907/O9416907.html> (ช) เอกสารอ้างอิงของ Chung et al. (2010) (ซ) <http://mjambon.com/purple-fringe/examples.html> (ฌ) <https://www.ilovetogo.com/Article/102/3733/> (ญ) <http://toothwalker.org/optics/chromatic.html>

เมื่อทำการทดลองกับภาพตัวอย่างที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีทั้งหมดทั้งหมด 10 ภาพซึ่งภาพที่ตัวอย่างที่ใช้นำมาจากแหล่งต่างๆ เช่นจากสื่อออนไลน์ งานวิจัยต่างๆ และเกิดจากการถ่ายภาพของผู้ทำวิจัยเอง ดังภาพที่ 7 จากนั้นทำการวัดผลได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการค้นหาค่าความคลาดเคลื่อนสีภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงจากกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการวิจัย	ค่าเฉลี่ยค่าความถูกต้อง	ค่าเฉลี่ย False Positive Rate	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ
วิธีของ Chung	72.08	30.34	20.11
วิธีของ Ju	52.09	54.57	28.38
วิธีการที่นำเสนอ	90.11	8.79	64.10

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าวิธีการของผู้วิจัยมีความเฉลี่ยของความถูกต้องถึงร้อยละ 90.11 โดยที่ วิธีของ Chung มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องเพียง 72.08 และ วิธีของ Ju มีค่าความถูกต้องน้อยที่สุดคือร้อยละ 52.09 และเมื่อทำการวัดผลด้วยค่าเฉลี่ยของ False Positive Rate วิธีการของผู้วิจัยถือว่ามีความผิดพลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีของ Chung ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.34 และ วิธีของ Ju มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 54.57 และท้ายสุดการวัดผลด้วยการหาค่าเฉลี่ยความแม่นยำ วิธีการของผู้วิจัยมีการค่าสูงถึงร้อยละ 64.10 ขณะที่ วิธีของ Chung มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 20.11

และ วิธีของ Ju มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 28.38 จะเห็นได้ว่าวิธีการของผู้วิจัยทำได้ดีกว่าของนักวิจัยอีกสองท่านโดยให้ความถูกต้องและแม่นยำมากกว่า อีกทั้งยังมีค่าความผิดพลาดที่น้อยมาก

6.2 ผลการทดลองการค้นหากลุ่มที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสี

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาไม่สามารถแยกระหว่างสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงกับสีที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติได้ ผู้วิจัยจึงคิดค้นวิธีการแยกแยะเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จากการที่ได้ทำการวิจัยในกรณีของภาพที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงซึ่งภาพที่นำมาใช้มีชื่อว่า mandril_color.tif ซึ่งเป็นภาพที่อยู่ภายในฐานข้อมูลรูปภาพที่ชื่อว่า "Standard" test images ซึ่งเป็นฐานข้อมูลของภาพที่เชื่อถือได้ว่าเป็นสีจริงที่ได้จากการถ่ายภาพไม่ผ่านกระบวนการปรับแต่งภาพแน่นอน โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยกับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3

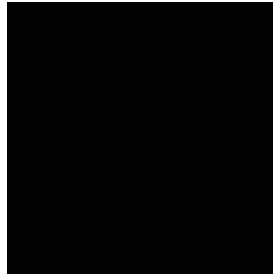
ตารางที่ 3 ผลการทดลองการค้นหากลุ่มที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีภาพที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริง

วิธีการวิจัย	TP	TN	FN	FP	ค่าความถูกต้อง (ร้อยละ)
วิธีของ Chung	0	46270	0	215874	17.65
วิธีของ Ju	0	16166	0	245978	6.16
วิธีการที่นำเสนอ	0	262144	0	0	100

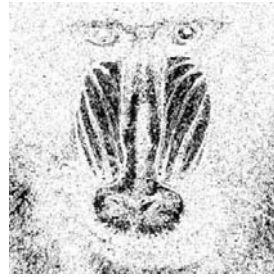
จากตารางจะเห็นว่า ค่าความถูกต้องของการค้นหากลุ่มที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีในวิธีการของผู้วิจัยได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องถึงร้อยละ 100 เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาไม่มีการแบ่งแยกระหว่างสีจริงในธรรมชาติกับสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนสี อย่างเช่นงานวิจัย ของ Hae Jin Ju มีค่าความถูกต้องเพียงร้อยละ 6.16 และงานวิจัยของ Soon-Wook Chung มีค่าความถูกต้องเพียงร้อยละ 17.65 ซึ่งเหตุที่ค่าความถูกต้องต่ำเนื่องจากวิธีการที่ใช้ในการค้นหามองว่าสีที่เกิดขึ้นในภาพเป็นสีที่ได้เกิดจากความคลาดเคลื่อนสีทั้งหมดนั่นเอง เหตุผลนี้ทำให้งานวิจัยนี้ไม่เกิดค่า False Positive Rate ขึ้นเลย เนื่องจากในภาพโดยแท้จริงแล้วไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสี แต่วิธีการวิจัยอื่นซึ่งไม่ได้ทำการแยกแยะไว้ก่อน ทำให้มีค่า False Positive Rate สูงมากโดย วิธีของ Chung มีค่าถึงร้อยละ 82 และ วิธีของ Ju มีค่าถึงร้อยละ 93 และเมื่อทำการแก้ไขจะได้ว่าวิธีการของผู้วิจัยเนื่องจากไม่มีการค้นหาที่ผิดพลาดจึงไม่เกิดการแก้ไขที่ผิดพลาดขึ้น แต่งานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการค้นหาผิดพลาด จึงทำให้การแก้ไขผิดพลาดไปโดยปริยาย ผลการทดลองดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8 และ 9 และเมื่อขยายภาพที่ได้จากการทดลองดังภาพที่ 10 จะสามารถเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน



(ก)



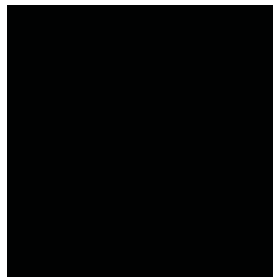
(ข)



(ค)



(ง)

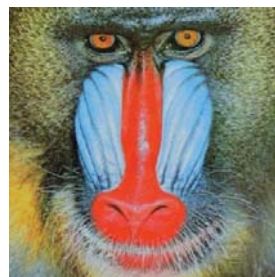


(จ)

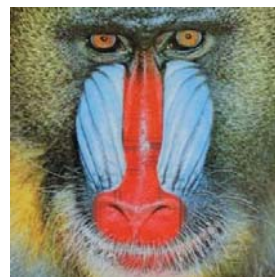


(ฉ)

รูปภาพที่ 8 ผลการทดลองการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสี (ก) ภาพต้นแบบ (ข) การค้นหาโดยใช้มนุษย์
(ค) วิธีของ Chung (ง) วิธีของ Ju (จ) วิธีการที่นำเสนอ (ฉ) บริเวณที่ค้นหาได้เมื่อเทียบกับภาพสีจริง



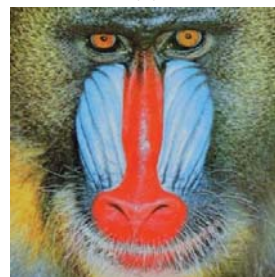
(ก)



(ข)



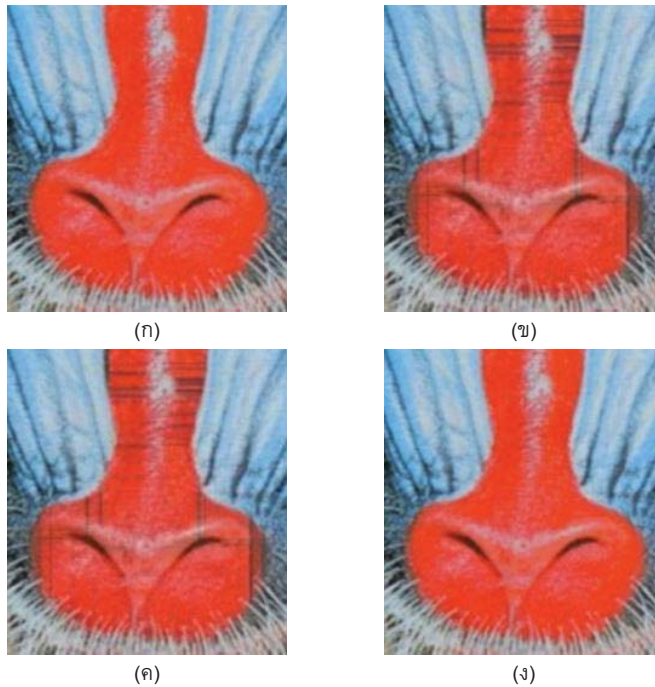
(ค)



(ง)

รูปภาพที่ 9 ผลการทดลองการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสี (ก) ภาพต้นแบบ (ข) วิธีของ Chung
(ค) วิธีของ Ju (ง) วิธีการที่นำเสนอ

ที่มา: http://www.imageprocessingplace.com/downloads_V3/root_downloads/image_databases/standard_test_images.zip



รูปภาพที่ 10 ภาพขยายผลการทดลองการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสี
(ก) ภาพต้นแบบ (ข) วิธีของ Chung (ค) วิธีของ Ju (ง) วิธีการที่นำเสนอ

และเมื่อทำการทดลองกับภาพตัวอย่างที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีทั้งหมด 10 ภาพ ผลการทดลองการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสีของบางภาพจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่บ้างดังภาพที่ 11 และหลังจากทำการวัดผลได้ผลการทดลองจากภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยมีผลดังตารางที่ 4



รูปภาพที่ 11 ผลการทดลองการแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีที่ผิดพลาด (ก) ภาพต้นแบบ (ข) จุดที่ค้นหาผิดพลาด
(ค) ภาพที่เกิดหลังจากการค้นหาผิดพลาด

ที่มา: <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/BSDS300-images.tgz>

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการค้นหาคความคลาดเคลื่อนสีภาพที่ไม่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงจากกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการวิจัย	ค่าเฉลี่ยค่าความถูกต้อง	ค่าเฉลี่ย False Positive Rate
วิธีของ Chung	36.37	63.63
วิธีของ Ju	15.86	84.14
วิธีการที่นำเสนอ	99.86	14

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าวิธีการของผู้วิจัยมีความเฉลี่ยของความถูกต้องถึงร้อยละ 99.86 โดยที่ วิธีของ Chung มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องเพียง 36.37 และ วิธีของ Ju มีค่าความถูกต้องน้อยที่สุดคือร้อยละ 15.86 และเมื่อทำการวัดผลด้วยค่าเฉลี่ยของ False Positive Rate วิธีการของผู้วิจัยถือว่ามีความผิดพลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีของ Chung ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 63.63 และ วิธีของ Ju มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 84.14 จะเห็นได้ว่าวิธีการของผู้วิจัยทำได้ดีกว่าของนักวิจัยอีกสองท่านโดยให้ความถูกต้องและแม่นยำมากกว่า อันเนื่องมาจากวิธีการของผู้วิจัยสามารถแยกแยะบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงกับบริเวณที่เป็นสีที่เกิดในธรรมชาติอยู่แล้ว

7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอผลการวิจัยกับภาพในสองลักษณะ คือ ภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงและภาพที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสี โดยผลการวิจัยในส่วนของภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงผลการวิจัยที่ออกมา มีค่าเฉลี่ยของความถูกต้องถึงร้อยละ 90.11 แม้ว่าผลการวิจัยของผู้วิจัยจะค้นหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้น้อยกว่างานวิจัยของนักวิจัยท่านอื่นเพียงเล็กน้อย แต่วิธีการของผู้วิจัยเกิดความผิดพลาดในการค้นหาอย่างมากทำให้ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องมากกว่า รวมถึงงานวิจัยนี้มีค่า False Positive Rate คิดเป็นร้อยละ 8.79 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก อีกทั้งค่าความแม่นยำของงานวิจัยก็มีมากถึง ร้อยละ 64.10 ซึ่งค่าที่กล่าวมาทั้งหมดมีผลลัพธ์ที่ดีกว่างานวิจัยที่ผ่านมา จึงสรุปได้ว่าการใช้ค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะที่ช่วยให้เกิดความยืดหยุ่นในขั้นตอนการค้นหาโดยวิธีการขยายบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้จริง เนื่องจากสีในแต่ละส่วนของภาพนั้นมีความเข้มข้นไม่เท่ากัน การกำหนดค่าขีดแบ่งเดียวกันทั้งภาพจึงทำให้ได้ผลลัพธ์ไม่ดีเท่าที่ควร การกำหนดค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะที่จึงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเนื่องจากการปรับค่าขีดแบ่งตามปริมาณความเข้มของแสงแต่ละส่วนนั่นเอง ส่วนในผลการทดลองในภาพที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วว่างานวิจัยที่ผ่านมาไม่มีการแยกแยะระหว่างส่วนที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจริงและส่วนที่เป็นสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติผลการวิจัยที่ออกมาจึงแตกต่างกัน ออกมาอย่างเห็นได้ชัดในส่วนนี้จึงทำให้ค่าความถูกต้องของผู้วิจัยมีค่าเฉลี่ยของความถูกต้องถึงร้อยละ 99.86 และมีค่า False Positive Rate เพียงร้อยละ 14 จึงได้ข้อสรุปว่าการที่ผู้วิจัยนำค่าคอนทราสต์มาช่วยในการหาจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีนั้นทำให้แยกแยะระหว่างจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีและสีที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติได้ เนื่องจากบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีจะมีค่าของคอนทราสต์สีเขียวที่โดดเด่นกว่าค่าคอนทราสต์ของสีแดงและสีน้ำเงิน ผลการวิจัยที่ออกมาจึงเป็นไปอย่างที่คาดหวังไว้และได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ

8. อภิปรายผลการวิจัย

จากการที่ได้ทำการวิจัยตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ได้ผลสรุปว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้เป็นจริงทุกประการ จึงสรุปได้ว่าจุดที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีค่าคอนทราสต์ของสีแดงและสีน้ำเงินจะน้อยกว่าค่าคอนทราสต์ของสีเขียว สาเหตุเนื่องมาจากการหักเหระหว่างเส้นทางของแสง แสงจะแบ่งออกเป็นคลื่นสีต่าง ๆ แสงสีเขียวจะอยู่ในช่วงกลางของคลื่นแสงจึงเกิดความหักเหที่น้อยที่สุดขณะที่แสงสีแดงและสีน้ำเงินอยู่บริเวณด้านข้างของคลื่นสีจึงมีการหักเหมาก ทำให้ค่าคอนทราสต์ในบริเวณนั้นต่ำลงเพราะกระจายตัวมากโดยจะเห็นได้จากรูปภาพตัวอย่างที่ 8 ซึ่งเป็นตัวอย่างของภาพที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนสีผู้วิจัยสามารถแยกแยะระหว่างภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีกับภาพที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติได้อย่างดี ซึ่งทำให้รูปตัวอย่างมีค่าความถูกต้องถึงร้อยละ 100 และค่าเฉลี่ยของความถูกต้องจากภาพที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดสูงถึงร้อยละ 99.86 อีกสมมติฐานคือ ค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะส่วนสามารถปรับใช้กับแต่ละส่วนภายในภาพได้จริง จะเห็นได้ว่าผลการวิจัยที่ออกมาในส่วนของการเกิดความคลาดเคลื่อนสีจริง งานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยของความถูกต้องมากกว่างานวิจัยที่ผ่านมาเพราะว่า ผู้วิจัยได้นำค่าขีดแบ่งแบบเฉพาะที่มาใช้ ซึ่งส่งผลทำให้ขั้นตอนในการขยายหาบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีสามารถขยายได้อย่างมีความยืดหยุ่นในแต่ละจุดของภาพที่มีความเข้มข้นของสีที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากใช้ค่าขีดแบ่งที่แตกต่างกันมีความเหมาะสม ดังจะเห็นได้ในภาพตัวอย่างที่ 6 วิธีการของผู้วิจัยจะมีส่วนที่ค้นหาผิดพลาดน้อยมากเนื่องจากมี

การขยายบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้ดี ผลการทดลองที่ออกมาจึงได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ทุกประการ

9. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีจุดเด่นคือสามารถขยายบริเวณที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้ดีกว่าและยังสามารถแยกแยะระหว่างสีที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติและสีที่เกิดความคลาดเคลื่อนสีได้ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำ แต่ยังมีจุดด้อยคือไม่สามารถใช้กับรูปที่ผ่านกระบวนการลดความสว่างภายในภาพ และเพิ่มลดความความเข้มข้นของสีในภาพมาก ๆ ได้ เนื่องจากกระบวนการที่กล่าวมาทำให้ค่าต่าง ๆ ในภาพมีความผิดเพี้ยนจากค่าที่ได้จากธรรมชาติไปทำให้ใช้กับวิธีการของผู้วิจัยได้ยาก งานวิจัยในอนาคตจึงจะปรับให้ใช้กับภาพที่ผ่านกระบวนการเหล่านี้ได้ อีกกรณีคือภาพที่มีความเบลอที่เกิดจากความสั่นไหวขณะถ่ายภาพทำให้ค่าต่าง ๆ ภายในภาพเกิดความซับซ้อนขึ้นวิธีการของผู้วิจัยจึงแก้ไขความคลาดเคลื่อนสีที่อยู่ในภาพลักษณะนี้ไม่ได้ ในอนาคตจึงอาจจะหาวิธีการจัดการกับภาพเหล่านี้

10. เอกสารอ้างอิง

- Arbelae, P., Fowlkes, C., & Martin, D. (2007). **The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark** [Data file]. Retrieved from <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/BSDS300-images.tgz>
- Chung, S. W., Kim, B. K., & Song, W. J. (2010). Removing chromatic aberration by digital image processing. **Optical Engineering**, 46. doi: 10.1117/1.3455506
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., & Eddins, S. L. (n.d.). **Standard test images** [Data file]. Retrieved from http://www.imageprocessingplace.com/downloads_V3/root_downloads/image_databases/standard_test_images.zip
- Ju, H. J., & Park, R. H. (2013). Colour fringe detection and correction in YCbCr colour space. **IET Image Process** 2013, 7, 300-309.
- Ju, H. J., Lee, D. K., & Park, R. H. (2012). **Chromatic Aberration Removal in Narrow Color Regions of Digital Images**. Paper presented at IEEE International Conference on Consumer Electronics 2012 (ICCE 2012), Nevada, USA.
- Kang, S. B. (2009). **U.S. Patent No. 7,577,292**. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Kim, B. K., & Park, R. H. (2008). **Automatic detection and correction of purple fringing using the gradient information and desaturation**. Paper presented at Proceedings of the 16th European Signal Processing Conference 2008, Lausanne, Switzerland.
- Kim, B. K., & Park, R. H. (2012). Detection and correction of purple fringing using color desaturation in the xy chromaticity diagram and the gradient information. **Image and Vision Computing**, 28, 303-306.
- Mouroulis, P., & Macdonald, J. (1997). **Geometrical Optics and Optical Design**. London, U.K.: Oxford University Press.