

เทคนิคการแบ่งส่วนฮิสโทแกรมโดยใช้การหาค่าสูงสุดของแต่ละส่วนสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพ

Histogram Segmentation Technique Using Local Maxima for Image Enhancement

โชติมณี ศรีพวงสุวรรณ¹ จิราพร เกียรติวุฒิมอร์^{1*}

และ ชัยพิชิต คำพิมพ์¹

Chotmanee Sripuangsuwan¹, Jiraporn Kiatwuthiamorn^{1*}
and Chaipichit Cumpim¹

Received: 8 May 2023

Revised: 27 August 2023

Accepted: 11 September 2023

บทคัดย่อ

เนื่องจากภาพถ่ายดิจิทัลมีลักษณะของภาพที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งได้รับมาจากกล้องดิจิทัลและวิธีการถ่ายภาพที่ต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพเหล่านี้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยมีทั้งหมดสี่ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกนำวิธีการของ CLAHE มาทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ต่อมานำฮิสโทแกรมของภาพที่ได้จากภาพในขั้นตอนแรกมาแบ่งส่วนตามหลักการหาค่าสูงสุดเฉพาะบริเวณ ขั้นตอนที่สามนำแต่ละส่วนของฮิสโทแกรมที่ถูกแบ่งแล้วมาปรับความสม่ำเสมอตามวิธีการของการปรับปรุงคุณภาพแบบกระจายฮิสโทแกรมสม่ำเสมอ ขั้นตอนสุดท้ายทำการแปลงฮิสโทแกรมกลับมาเป็นภาพระดับสีเทา เมื่อนำวิธีการนี้ไปทดลองกับภาพเพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของค่าเฉลี่ยความสว่างสัมบูรณ์ของภาพกับวิธีการแบบดั้งเดิม พบว่าวิธีการนี้ให้ผลที่ดีกว่าถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: การหาค่าสูงสุดเฉพาะบริเวณ ฮิสโทแกรม การปรับปรุงภาพ

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม ประเทศไทย 73170

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, Thailand 73170

*ผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding author) e-mail: jiraporn.kia@rmutr.ac.th

ABSTRACT

Different digital images have occurred from digital cameras and different ways of taking images. Therefore, methods to improve the quality of these images have been developed. This paper has presented a method to improve a quality image which is four steps. The first step is to apply the CLAHE method to improve image quality. Next step, take the histogram images of the previous step divided into many sections that are determined by the local maxima method. In the third step, each section is adjusted by the histogram equalization. Finally step, the new histogram is converted to a new gray-level color image. The experiment results of research show that the mean absolute luminance error values of images. These values are compared with values the traditional method. It was found that this method gave better results. Although this method takes more time to process than the traditional method.

Keywords: Local maxima; Histogram; Image Enhancement

บทนำ

ปัจจุบันภาพถ่ายดิจิทัลเข้ามามีความสำคัญต่อการทำงานเป็นอย่างมาก ภาพถ่ายดิจิทัลในปัจจุบันถูกนำมาใช้เป็นหลักฐานในการทำธุรกรรมต่างๆอย่างมากมาย เช่น ภาพถ่ายคิวอาร์โค้ด ภาพถ่ายบัตรประชาชน ภาพถ่ายตามท้องถนนจากกล้องวงจรปิดในเวลากลางวันและกลางคืน ถ้าภาพเหล่านี้มีคุณภาพที่ไม่ดี เช่น ภาพที่มีมืดเกินไป ทำให้รายละเอียดภายในภาพบางส่วนขาดหายไป ภาพที่สว่างเกินไปก็มีปัญหาในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ซึ่งถูกนำเสนอเป็นจำนวนมากจนถึงปัจจุบัน โดยจะได้กล่าวถึงตัวอย่างของวิธีการเหล่านั้นในส่วนต่อไป

วิธีการที่ใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพในวิธีการแรกคือการขยายฮิสโทแกรมแบบสม่ำเสมอ (HE: Histogram Equalization) [1-7] เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของภาพเพื่อปรับความสว่างภายในภาพ โดยการปรับข้อมูลฮิสโทแกรมของภาพให้ดียิ่งขึ้น โดยจะเป็นการทำให้ค่าฮิสโทแกรมกระจายกันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่จะกระจายข้อมูลให้มีการกระจายมากขึ้นและปรับจำนวนภาพในแต่ละค่าความเข้มของสีให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ภาพที่ใช้จะเป็นภาพระดับสีเทาโดยจะอยู่ในช่วง $(0, L-1)$ โดยที่ L เป็นค่าระดับสีเทา วิธีการ HE ช่วยให้ภาพที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ภาพมีความคมชัดขึ้นเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ ทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนจากส่วนที่มองไม่เห็นรายละเอียดต่างๆ ภายในภาพ วิธีการต่อมาคือการปรับปรุงฮิสโทแกรมในแบบที่ปรับตัวเองได้ (AHE : Adaptive Histogram Equalization) [8] เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อปรับปรุงภาพที่มีลักษณะเหมือนกับภาพที่มีหมอกปรากฏอยู่ภายในภาพ โดยการเลือกบริเวณที่ต้องการจะปรับปรุง จากนั้นจึงนำบริเวณนั้นไปปรับโดยใช้วิธีการ HE โดยการแปลงเป็นฮิสโทแกรม แล้วจึงทำการกระจายค่าสีออกอย่างสม่ำเสมอ การปรับปรุงภาพของ AHE ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ใกล้เคียง ข้อเสียของ AHE คือ จะทำการขยายสัญญาณรบกวนภายในภาพมากเกินไปในบริเวณที่มีพิกเซลคล้ายกัน อีกวิธีการต่อมาที่คล้ายกับวิธีการ AHE คือวิธีของ CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [9] เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับ

ปรับปรุงภาพที่มีลักษณะเหมือนมีหมอกควันภายในภาพ โดย CLAHE สามารถปรับปรุงคุณภาพของภาพได้ดีกว่า AHE โดยที่ CLAHE สามารถปรับปรุงภาพได้ดีกว่า สำหรับวิธี CLAHE เป็นการปรับปรุงภาพโดยจะทำการแปลงภาพให้อยู่ในรูปแบบของฮิสโทแกรม แล้วจึงปรับภาพตามฟังก์ชันที่ได้รับ เช่น cliplimit, Distribution, rayleigh เป็นต้น เพื่อใช้ในการปรับปรุงภาพ จากนั้นจะทำการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ ทำการแปลงเป็นค่าระดับสีเทา เพื่อกระจายค่าสี โดยจะเป็นการกระจายค่าของฮิสโทแกรมออกไปแล้วจึงทำการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น ซึ่งวิธีที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้เทคนิคการประมวลผลทางสถิติ หรือเทคนิคการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลของการปรับปรุงจะสามารถทำให้คุณลักษณะของภาพที่ต้องการเด่นชัดขึ้น เช่น ความคมชัด บางส่วนของภาพไม่สว่างหรือไม่มืดจนเกินไป ซึ่งผลของการปรับปรุงนี้อาจทำให้ภาพสูญเสียลักษณะแบบเดิมไป แต่ถ้าหากบริเวณนั้นไม่มีความสำคัญมาก ก็สามารถที่จะนำภาพที่ปรับปรุงได้นั้นไปใช้งานต่อไป สำหรับวิธีการนี้ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเพิ่มคุณภาพของภาพโครโมโซมชนิด G-band [10] การประยุกต์ใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพ [11] เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพสีของการควมเล็ดตกแพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการขยายภาพ [12] เมื่อขยายภาพแล้วจะทำการปรับค่าประสิทธิให้พิทเชลใหม่ที่ได้จากการประมาณค่า ต่อมาในงานวิจัยของ Nakai, K. et al [13] ที่ได้นำเสนอวิธีการ differential gray-levels histogram equalization (DHE) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การใช้ฮิสโทแกรมกับค่าความอิ่มตัวของภาพ (saturation) และการประยุกต์ใช้ฮิสโทแกรมกับความเข้มสีของภาพ (intensity) มาทำการปรับปรุงภาพและสามารถใช้ได้กับภาพสี ต่อมางานวิจัยของ Nakajima & Taguchi [14] ได้ทำการปรับปรุงข้อเสียของงานวิจัยของ Nakai, K. et al [13] โดยได้นำเสนอวิธีการ DHE สำหรับภาพสี (CDHEFC) ที่ได้แก้ไขข้อเสียในส่วนของการปรับปรุงค่าความอิ่มตัวของภาพ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการรวมเอา 2 ขั้นตอนของงานวิจัยต่างๆ มาประมวลผลในช่วงเวลาเดียวกัน จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ดีกว่างานวิจัยของ Nakai, K. et al [13] สำหรับงานวิจัย [15] ได้ทำการแปลงโมเดลสีแบบ RGB เป็น HSV จากนั้นนำเอาส่วนของ H มาทำการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการของ HE จากนั้นจึงทำการแปลงกลับโมเดลสีแบบ HSV ที่ได้รับการจากการปรับปรุงค่าของค่าส่วนของ H กลับไปเป็นโมเดลสีแบบ RGB อีกครั้ง สำหรับงานวิจัยต่อมาของสำรวนและคณะ [16] เป็นการปรับปรุงภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยประกอบด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะนำเอาภาพไปผ่านกระบวนการ Short Time Fourier Transform (STFT) และตัวกรองกาเบอร์ (Gabor filtering) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ จะเลือกเอาเฉพาะผลลัพธ์ที่ให้ค่าของเกรเดียน (gradient) สูงที่สุดเพื่อใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้วิธีการ STFT อีกครั้ง นอกจากนี้ยังได้มีการนำเอาวิธีการ CLAHE มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่ายเอกซเรย์ทรวงอกของผู้ป่วย COVID-19 โดยได้นำเสนอในงานวิจัยของ Giulio, et al. [17] งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการของ PACE (Pipeline for Advanced Contrast Enhancement) ซึ่งทำให้การประมวลผลของวิธีการเร็วขึ้น สำหรับงานวิจัยสุดท้าย Lee, et al. [18] ได้นำเอาวิธีการ CLAHE ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความคมชัดของภาพเอกซเรย์ทรวงอก

สำหรับวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้วิธีการของ CLAHE มาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของภาพ จากนั้นทำการแบ่งส่วนของฮิสโทแกรมภาพโดยใช้เทคนิควิธีการหาค่าสูงสุดเฉพาะบริเวณ (Local maxima) [19, 20] แล้วจึงนำแต่ละส่วนมาทำการกระจายฮิสโทแกรมแบบสม่ำเสมอ แล้วจึงนำฮิสโทแกรมใหม่ที่ได้แปลงกลับเป็นภาพ สำหรับรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะอธิบายในส่วนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยเปรียบเทียบกับวิธีการ HE AHE และ CLAHE แต่ละวิธีการจะทำการทดลองกับภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) [21] โดยภาพที่ใช้ในการทดลอง มีทั้งหมด 10 ภาพ ได้แก่ Mountain continent pout Tiffany seeds Aerial01 Aerial02 zeldaflower andmgiraffe ตาม Figure 1 (a) - (j) ตามลำดับ

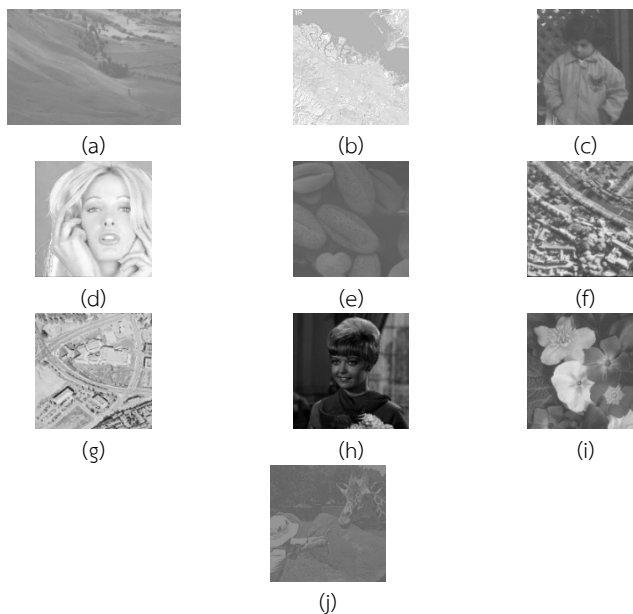


Figure 1 Original Images

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาการแบ่งส่วนภาพโดยใช้หลักการ CLAHE มาช่วยในการปรับความสว่างของภาพ แล้วจึงทำการหาค่าสูงสุดเฉพาะบริเวณมาใช้ในการแบ่งส่วนภาพ เพื่อให้ภาพมีความคมชัดและสามารถมองเห็นรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยจะมีวิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกจะทำการปรับฮิสโทแกรมตามวิธีการ CLAHE ต่อมาจะนำเอาส่วนของฮิสโทแกรมที่ได้มาแบ่งส่วนตามหลักการหาค่าสูงสุดเฉพาะบริเวณ จากนั้นทำการนำแต่ละส่วนของฮิสโทแกรมที่ถูกแบ่งแล้วมาปรับความสม่ำเสมอตามวิธีการของ HE โดยจะได้อธิบายในแต่ละส่วนต่อไป

ขั้นตอนที่ 1 การปรับฮิสโทแกรมตามวิธีการของ CLAHE

การปรับฮิสโทแกรมในแบบที่ปรับตัวเองได้เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อปรับปรุงความสว่างภายในภาพ จะมีความแตกต่างจากการใช้การขยายฮิสโทแกรมแบบสม่ำเสมอ โดยวิธีการ CLAHE จะทำได้โดยการนำส่วนของฮิสโทแกรมที่มากกว่าค่าเฉลี่ยของฮิสโทแกรมทั้งหมดของภาพ ดัง Figure 2(a) มากระจายให้กับทุกพิกเซลของภาพระดับสีเทาดังแสดงใน Figure 2(b) และ Figure 3

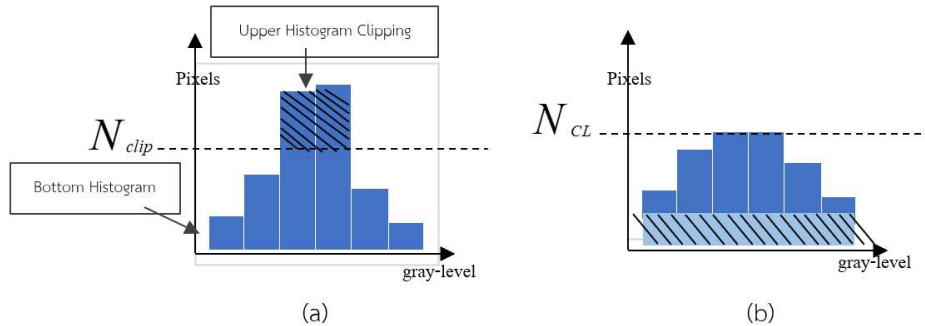


Figure 2 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

สามารถกำหนดการตัดส่วนปลายได้จากสมการที่ 1

$$N_{mean} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

โดยที่

N_{mean} คือ ค่าเฉลี่ยพิกเซล

$\sum x$ คือ ผลรวมของพิกเซลทั้งหมดภายในภาพ

n คือ จำนวนพิกเซลที่อยู่ภายในภาพ

เมื่อคำนวณหาเฉลี่ยแล้ว สามารถคำนวณหาค่าระดับการตัดจริง ได้ดังสมการที่ 2

$$N_{CL} = N_{clip} \times N_{mean} \quad (2)$$

โดยที่

N_{CL} คือ ค่าระดับการตัดจริง

N_{clip} คือ ค่าสูงสุดต่างๆในระดับสีเทาของค่าเฉลี่ยพิกเซลในค่าระดับระดับสีเทาลักษณะพื้นที่

นั้นๆ

ขั้นตอนที่ 2

จากขั้นตอนที่ผ่านมา จะนำค่าฮิสโทแกรมที่แบ่งส่วนตามวิธีการ CLAHE มาทำการหาจุดสูงสุดของฮิสโทแกรมตามวิธีการหาค่าจุดสูงสุดเฉพาะบริเวณ สามารถแสดงขั้นตอนการคำนวณดังจะได้อธิบายในส่วนต่อไป กำหนดให้ภาพเป็นฟังก์ชัน $f(i, j)$ ของพื้นที่ 2 มิติ โดย i คือ ตำแหน่งคอลัมน์ของภาพ j คือ ตำแหน่งแถวของภาพ จากนั้นทำการคำนวณหา Jacobian matrix โดยจะแทนด้วย J ดังสมการ 3

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial i^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial i \partial j} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial j \partial i} & \frac{\partial^2 f}{\partial j^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{ii} & f_{ij} \\ f_{ji} & f_{jj} \end{pmatrix} \quad (3)$$

ผลที่ได้จากสมการที่ 3 จะกลายเป็น determinant of the Jacobian matrix โดยจะแทนด้วย D ดังสมการที่ 4

$$D = \begin{vmatrix} f_{ii}(i_0, j_0) & f_{ij}(i_0, j_0) \\ f_{ji}(i_0, j_0) & f_{jj}(i_0, j_0) \end{vmatrix} = f_{ii}(i_0, j_0)f_{jj}(i_0, j_0) - (f_{ij}(i_0, j_0))^2 \quad (4)$$

จากสมการที่ 4 ถ้า $D > 0$ และ $f_{ii}(i_0, j_0) > 0$ ฟังก์ชัน f จะมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่ง (i_0, j_0) และถ้า $D > 0$ และ $f_{ii}(i_0, j_0) < 0$ ฟังก์ชัน f จะมีค่าต่ำสุดที่ตำแหน่ง (i_0, j_0)

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการหาค่าจุดสูงสุดเฉพาะบริเวณ (Local maxima) เป็นการหาตำแหน่งจุดสูงสุดของฮิสโทแกรมที่เป็นจุดวิกฤตเพื่อนำมาใช้ในการแบ่งส่วนฮิสโทแกรมจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าสีหาได้จาก Figure 4

0	1	2	3	4	5	6	7	8
10	13	8	15	5	2	1	17	4

พิจารณาอาร์เรย์ $A[0 \dots n]$ ดังนี้

กำหนดให้ $A[i]$ เป็นตำแหน่งของจุดสูงสุด

ถ้า $i \neq 0, n$ ให้ $A[i] \geq A[i-1]$ และ $A[i] \geq A[i+1]$

ถ้า $i = 0$ ให้ $A[1] \geq A[2]$

ถ้า $i = n$ ให้ $A[n] \geq A[n-1]$

จากรูป จะได้ค่าสูงสุด คือ ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 7

Figure 4 Local Maxima Method of region of interest

เมื่อทำการหาค่าจุดสูงสุดเฉพาะบริเวณจะทำการแบ่งส่วนภาพ โดยการทำให้ค่าสูงสุดจุดแรกเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 0 และสิ้นสุดที่ตำแหน่ง 255 จากนั้นทำการแบ่งจากค่าสูงสุดเฉพาะบริเวณตำแหน่งแรกถึงค่าจุดสูงสุดเฉพาะบริเวณตำแหน่งถัดไป และจะสิ้นสุดการแบ่งส่วนภาพที่จุดสูงสุดเฉพาะบริเวณจุดสุดท้ายของฮิสโทแกรม จากนั้น จะทำการรวมค่าของฮิสโทแกรมที่แบ่งออกเป็นช่วงๆ ดังสมการที่ 5 ถึงสมการที่ 7 แล้วจึงกระจายค่าฮิสโทแกรมที่มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดของข้อมูลภายในฮิสโทแกรมให้มีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของข้อมูล โดยการนำค่าสูงสุดของข้อมูลลบกับผลรวมของฮิสโทแกรมที่แบ่งออกเป็นช่วงๆ เพื่อหาส่วนต่างของข้อมูล แล้วจึงทำการลบค่าของฮิสโทแกรมที่แบ่งออกเป็นช่วงๆ จนกว่าค่าส่วนต่างของข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ 0 แล้วจึงทำการแบ่งค่าช่วงสีใหม่ โดยได้จากผลรวมสะสมของข้อมูลที่ทำกรเฉลี่ยแล้วเพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดและทำให้ภาพไม่มีความสว่างหรือมืดเกินไปดัง Figure 5 และ Figure 6

$$rH[c] = \sum count(sectionPo[c:0] : sectionPo[c:1] + 1) \quad (5)$$

โดยที่

$count$ คือ ค่าสีที่ปรากฏภายในภาพ

sectionPo คือ ช่วงของค่าสีเดิมตั้งแต่ค่าจุดสูงสุดเริ่มต้นถึงค่าจุดสูงสุดถัดไป

rH[c] คือ ผลรวมค่าสีที่ปรากฏภายในภาพตั้งแต่ช่วงของค่าจุดสูงสุดคอลัมน์ที่ 0 จนถึงช่วงของค่าจุดสูงสุดคอลัมน์ที่ 1

c คือ ค่าตำแหน่งแถวของ *sectionPo*

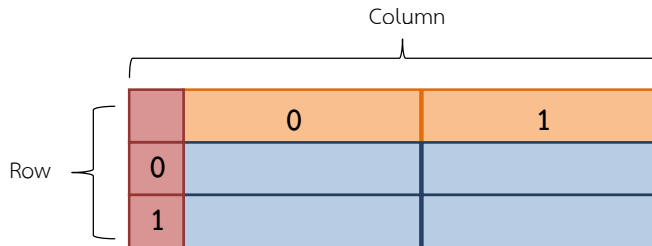


Figure 5 *sectionPo*

$$pHist[c,:] = \text{round}\left(\frac{colorR \times rH[c]}{sumrH}\right) \quad (6)$$

โดยที่

colorR คือ ค่าสูงสุดของฮิสโทแกรมมีค่าเท่ากับ 256

sumrH คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพ

pHist[c,:] คือ ค่าช่วงสีของฮิสโทแกรมใหม่

$$diffR = |colorR - \sum pHist[c,:]| \quad (7)$$

โดยที่

diffR คือ ผลต่างของค่าข้อมูล

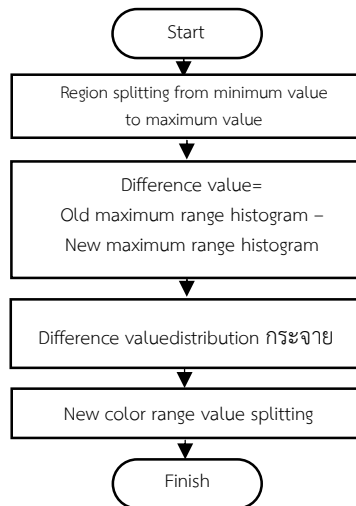


Figure 6 Local Region Image splitting by Local Maxima

ขั้นตอนที่ 3 การปรับความสว่างของภาพตามวิธีการของ HE

การขยายฮิสโทแกรมแบบสม่ำเสมอ (Histogram Equalization : HE) เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของภาพโดยใช้วิธีการสร้างภาพที่มีจำนวนจุดภาพใกล้เคียงกัน หรือข้อมูลที่แปลงแล้ว จะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยการปรับความสว่างของวิธีการ HE จะทำการยืดกราฟฮิสโทแกรมให้อยู่ในกราฟเส้นตรงดังสมการที่ 8 และ Figure 7

$$y = mx + b \quad (8)$$

โดยที่

y คือ ค่าพิกเซลอยู่ในแนวแกน y

m คือ ความชันของเส้นตรง

x คือ ค่าพิกเซลอยู่ในแนวแกน x

b คือ จุดตัดแกน y

จะได้กราฟเส้นตรง Figure7 (a) และค่าสีใหม่ Figure 7 (b)

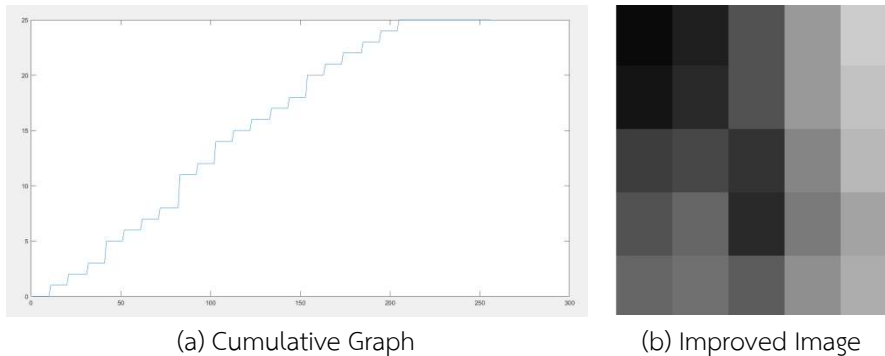


Figure 7 Histogram equalization

หลังจากแบ่งช่วงค่าสีใหม่ จึงทำการปรับความสว่างภายในภาพ ทำให้ภาพที่ได้มีความสว่างไม่มากเกินไป หรือไม่มีมืดจนเกินไป โดยการทำการเก็บค่าพิกเซลที่อยู่ภายในภาพ เพื่อทำการตรวจสอบค่าพิกเซล อยู่ในช่วงของ ช่วงค่าสีเก่าและช่วงค่าสีใหม่ จากนั้นทำการนำช่วงของค่าสีเก่าตอนต้นลบกับค่าสีเก่าตอนปลายในแต่ละช่วง และ ช่วงของค่าสีใหม่ตอนต้นลบกับช่วงของค่าสีใหม่ตอนปลายในแต่ละช่วง เพื่อหาความกว้างของช่วงค่าสีเก่าและช่วง ของค่าสีใหม่ จากนั้นทำการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ ดังสมการที่ 9 และ Figure 8

$$sh = \left(\frac{rng2(cl - sectionPo[cntp, 0])}{rng1} \right) + sectionPn[cntp, 0] \quad (9)$$

โดยที่

- sectionPn* คือ ช่วงของค่าสีใหม่ตั้งแต่ค่าจุดสูงสุดแรกถึงค่าจุดสูงสุดถัดไป
- rng1* คือ ความกว้างช่วงของค่าจุดสูงสุดตั้งแต่จุดแรกถึงจุดถัดไปของค่าสีเก่า
- rng2* คือ ความกว้างช่วงของค่าจุดสูงสุดตั้งแต่จุดแรกถึงจุดถัดไปของค่าสีใหม่
- cl* คือค่าพิกเซลแต่ละพิกเซล
- sh* คือค่าสีใหม่

เมื่อได้ค่าสีใหม่แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนเป็นค่าพิกเซลใหม่ของภาพนั้นทำการแปลงค่าฮิสโทแกรมใหม่ที่ได้ กลับเป็นภาพ

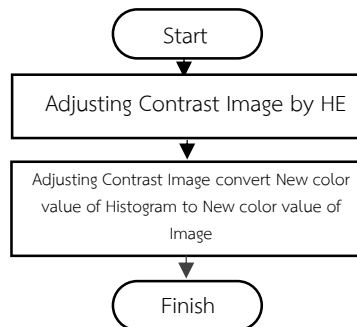


Figure 8 Adjusting Contrast Image by HE

ผลการวิจัย

จากผลการทดลองภาพระดับสีเทาทั้งหมด 10 ภาพ โดยทดสอบด้วยโปรแกรม PyCharm Community Edition 2023.1 ใช้ไลบรารี OpenCV เวอร์ชัน 4.7.0.72 numpy เวอร์ชัน 1.24.2 และ scipy เวอร์ชัน 1.10.1 โดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของภาพด้วยการหาค่าผิดพลาดค่าเฉลี่ยความสว่างสัมบูรณ์ (Absolute Mean Brightness Error: AMBE) สามารถหาค่าผิดพลาดค่าเฉลี่ยความสว่างสัมบูรณ์ ได้จากสมการที่ 10

$$x = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M X_{nm}}{N \times M} \quad (10)$$

กำหนดให้ $E(X)$ มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยความสว่างภาพต้นฉบับ และ $E(Y)$ มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยความสว่างภาพผลลัพธ์ ดังนั้นจะได้สมการที่ 11

$$AMBE = |E(X) - E(Y)| \quad (11)$$

จากสมการที่ 11 ค่าของ AMBE ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีภาพผลลัพธ์มีค่าความผิดพลาดน้อยเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ ในทางกลับกันถ้าค่านี้นี้มีค่ามากแสดงว่าภาพผลลัพธ์มีค่าความผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ

สำหรับการทดลอง ได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการ HE [1–7] AHE [8] CLAHE [9] และวิธีการที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ทั้ง 4 วิธีการ ดัง Table 3

จาก Table 1 เมื่อเปรียบเทียบค่า AMBE ของทั้ง 4 วิธี พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าทั้ง 3 วิธีการเมื่อทำการทดลองกับภาพ Mountain continent pout seeds Aerial01 zeldaflower และ giraffe ยกเว้นภาพ Tiffany และ Aerial02 ที่วิธีการของ CLAHE มีค่าน้อยกว่าที่ทำการทดลองซึ่งจะได้อธิบายสาเหตุที่ทำให้วิธีการของงานวิจัยนี้ได้ค่า AMBE น้อยกว่า CLAHE ในส่วนถัดไป

สำหรับการเปรียบเทียบความคมชัดและใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับดังแสดงใน Table 3 พบว่าภาพของวิธีการที่นำเสนอจะมีความคมชัดมากกว่า ส่วนภาพ Tiffany และ Aerial02 ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ CLAHE จะมีความคมชัดมากกว่า จาก Table 1 จะเป็นค่า AMBE ที่ผ่านการทำ Rescaling (Min-Max Normalization) ตามสมการที่ 12

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (12)$$

โดยที่ x' คือ ค่าที่ถูกปรับให้อยู่ในช่วง 0-1 และ x คือ กลุ่มข้อมูลที่ยังไม่ผ่านการปรับช่วง

Table 1 Comparative results of AMBE of HE AHE CLAHE and proposed

Image	HE	AHE	CLAHE	Propose
Mountain	0.198624	0.187163	0.039086	0.021771
continent	0.965407	0.963439	0.291054	0.205332
pout	0.219318	0.222796	0.081514	0.017427
Tiffany	1	0.991361	0.347084	0.456285
seeds	0.259864	0.299099	0.03666	0.021548
Aerial01	0.132556	0.137433	0.114622	0.064384
Aerial02	0.622692	0.625179	0.267068	0.346886
zelda	0.845364	0.848681	0.346453	0.18288
flower	0.035002	0.040113	0.005112	0.001436
giraffe	0.159661	0.168523	0.052255	0

Table 2 Comparison of the processing time of HE AHE CLAHE and proposed (millisecond)

Image	HE	AHE	CLAHE	Propose
Mountain	0.00041	0.11002	0.00296	6.19048
continent	0.00013	0.01955	0.00308	1.29687
pout	0.00014	0.01582	0.00405	1.68744
Tiffany	0.00041	0.08004	0.00096	9.23913
seeds	0.00048	0.08019	0.00125	2.85263
Aerial01	0.00015	0.02682	0.00416	2.25226
Aerial02	0.00032	0.08422	0.00104	9.87339
zelda	0.00016	0.01702	0.00305	2.16608
flower	0.00074	0.07557	0.00103	8.39655
giraffe	0.00016	0.04416	0.00391	1.85644

จาก Table 2 จะเห็นได้ว่าเวลาในการประมวลผลของ HE AHE CLAHE และวิธีการที่นำเสนอจะถูกวัดออกมาอยู่ในรูปของเวลา ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที จากตารางพบว่าวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้เวลาในการประมวลผลที่มากกว่าทุกวิธีการ โดยมีวิธีการ HE ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด เมื่อทำการทดลองกับภาพระดับสีเทาจำนวนทั้งหมด 10 ภาพ เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอขั้นตอนเริ่มต้นภาพจะถูกนำไปปรับปรุงด้วยวิธีการ

CLAHE จากนั้นจึงจะถูกนำมาทำการแบ่งส่วนเฉพาะบริเวณเพื่อทำการกระจายค่าสีตามวิธีการ HE เท่ากับว่าวิธีการนี้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลของ CLAHE รวมกับเวลาในการประมวลผลของ HE ซึ่งทำให้ใช้เวลามากกว่าวิธีการ CLAHE อย่างน้อย 2 เท่า

จาก Table 4 จะเห็นได้ว่าฮิสโทแกรมของภาพต้นฉบับมีกลุ่มสีส่วนใหญ่กระจายอยู่ทางด้านขวามือ ซึ่งจะเห็นว่ากลุ่มสีของภาพส่วนใหญ่มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับสีขาว เมื่อนำภาพนี้ไปผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีการ CLAHE และวิธีการของงานวิจัยที่นำเสนอ จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จาก CLAHE ต่ำกว่า สำหรับ Table 5 จะเห็นได้ว่าฮิสโทแกรมของภาพต้นฉบับมีกลุ่มสีส่วนใหญ่กระจายอยู่ตรงเกือบกึ่งกลางของช่วงค่าสีของภาพ (0-255) เมื่อนำภาพนี้ไปผ่านการปรับปรุงกับทุกวิธีการที่ทำการทดลองจะพบว่าผลลัพธ์ที่ได้ของวิธีการของงานวิจัยที่นำเสนอจะดีกว่าทุกวิธี

จาก Figure 9 จะสังเกตได้ว่ากราฟที่แสดงค่า AMBE ของวิธีการทำการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าวิธีการ HE และ AHE มีลักษณะของเส้นกราฟที่ซ้อนทับกันเกือบทุกภาพ ส่วนเส้นกราฟของวิธีการที่นำเสนอส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่าทุกวิธีการ ยกเว้นภาพ Tiffany และ Aerial02

Table 3 The original images and the result images of all methods (HE, AHE, CLAHE and Propose)

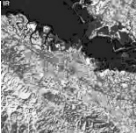
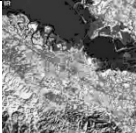
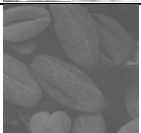
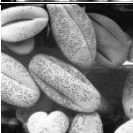
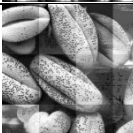
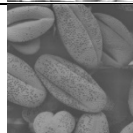
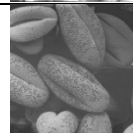
Image	Original	HE	AHE	CLAHE	Propose
Mountain					
continent					
pout					
Tiffany					
seeds					
Aerial01					
Aerial02					
zelda					
flower					
giraffe					

Table 4 Histogram of Tiffany and Aerial02

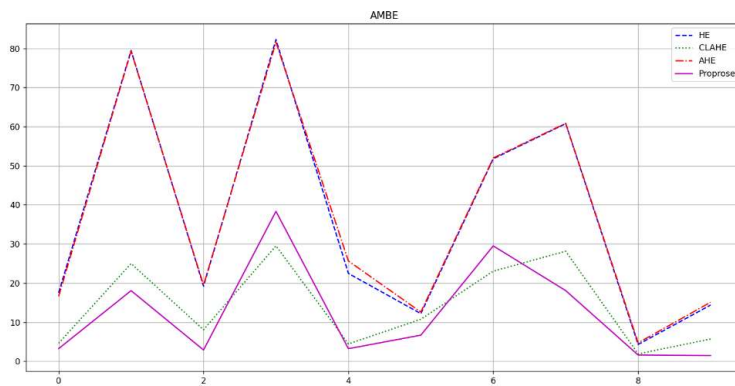
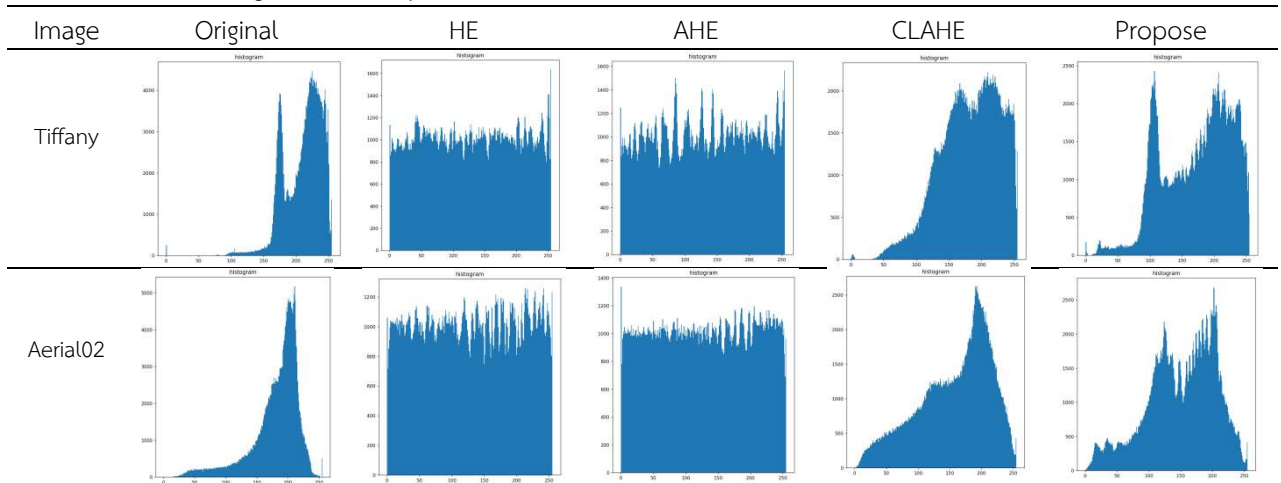
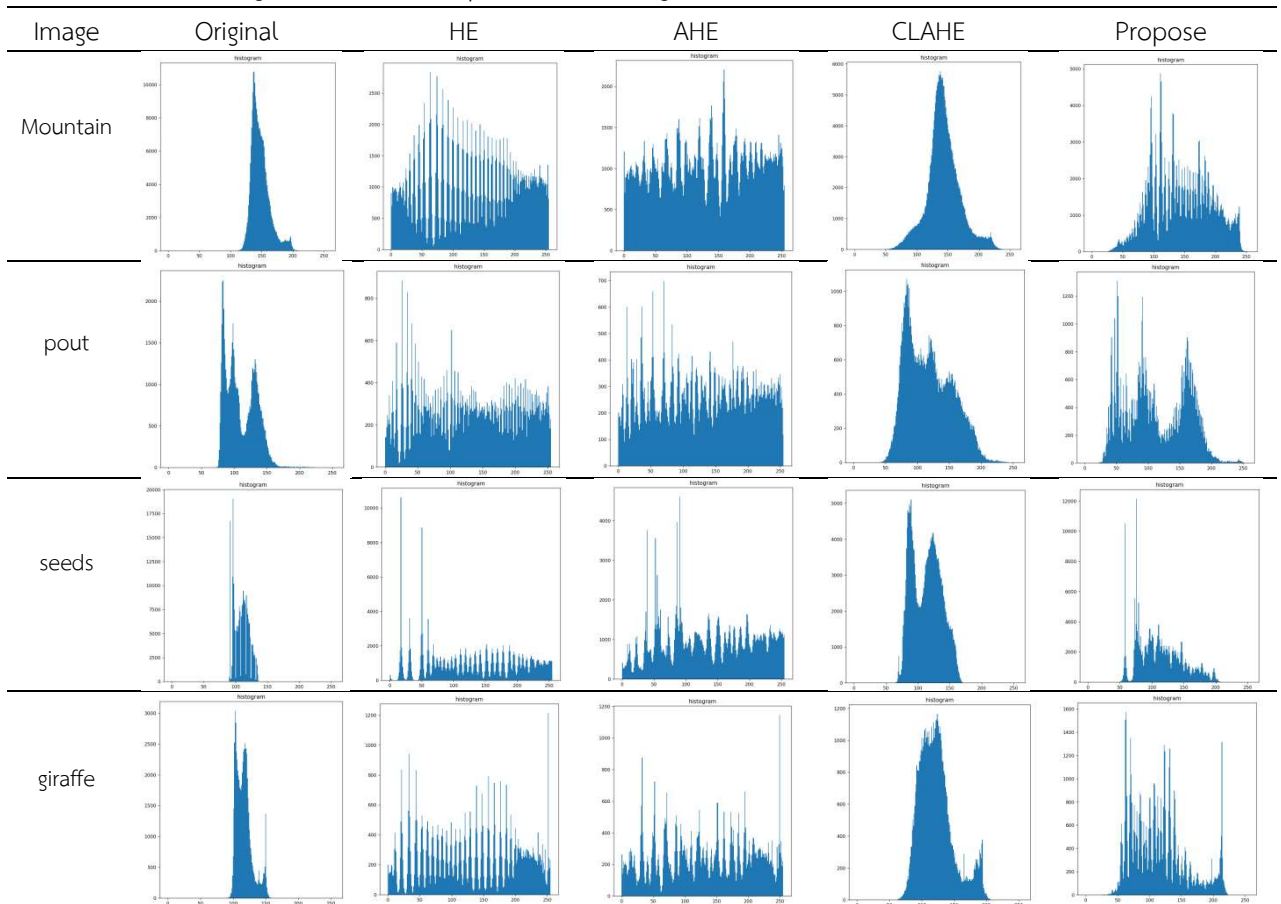


Figure 9 AMBE graph of HE CLAHE AHE and propose method

Table 5 Histogram of Mountain, pout, seeds and giraffe



อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้วิธีการแบ่งส่วนฮิสโทแกรมของภาพที่ถูกต้องปรับปรุงมาจากวิธีการของ CLAHE โดยตำแหน่งของการแบ่งได้มาจากการใช้เทคนิคการหาค่าสูงสุดเฉพาะบริเวณ จากนั้นจึงนำแต่ละส่วนมาทำการปรับปรุงด้วยวิธีการกระจายฮิสโทแกรมแบบสม่ำเสมอ โดยผลการทดลองกับภาพระดับสีเทาโดยใช้ตัววัดประสิทธิภาพ AMBE พบว่าวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถเพิ่มคุณภาพของภาพให้ดีกว่าวิธีการเดิมถึงแม้ว่าวิธีการที่นำเสนอจะใช้เวลาในการประมวลผลที่มากกว่าก็ตาม การพัฒนาจากนี้สามารถทำพัฒนาให้ใช้กับภาพสีเพราะวิธีที่นำเสนอนี้ถูกออกแบบมาใช้กับภาพสีเท่านั้น และควรที่จะลดเวลาในการประมวลผลของวิธีการให้ลดลงเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

References

- [1] Kim, Y. (1997). Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 43(1), 1-8.
- [2] Gonzalez, R. C. & Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing*. New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Chen, S. & Ramli, A. R. (2003). Minimum mean brightness error bi-histogram equalization in contrast enhancement. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 49(4), 1310-1319.
- [4] Yeganeh, A. Z. H. & Rezaie, A. (2008). A novel approach for contrast enhancement based on Histogram Equalization. In *2008 International Conference on Computer and Communication Engineering* (p. 256–260). 13-15 May, 2008, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [5] Parveen, N. R. S. & Sathik, M. M. (2009). Enhancement of Bone Fracture Images by Equalization Methods. In *2009 International Conference on Computer Technology and Development* (Vol. 2, p. 391–394). 13-15 November, 2009, Kota Kinabalu, Malaysia.
- [6] Chang, Y. & Chang, C. (2010). A simple histogram modification scheme for contrast enhancement. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(2), 737–742.
- [7] Li, W. (2011). A new algorithm of histogram equalization in infrared image. In *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering* (p. 957–958). 16-18 September, 2011, Yichang, China.
- [8] Fazli, S. et al. (2013). A novel retinal vessel segmentation based on local adaptive histogram equalization. In *2013 8th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP)* (p. 131–135). 10-12 September, 2013, Zanjan, Iran.
- [9] Zuiderveld, K. (1994). Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. In Hackbert, P. S. (Ed.). *Graphics Gems IV* (p. 474-485). San Diego, California: Academic Press.
- [10] Wayalun, P. et al. (2013). Evaluation of Automated Chromosome G-band Images Enhancement Using Histogram Equalization. *KKU Research Journal*, 18(2), 240–256. (in Thai)
- [11] Wisassakwichai, C. et al. (2019). Computational method for color vision of coffee bean roasting using openCV. *UTK RESEARCH JOURNAL*, 13(2), 25-38. (in Thai)
- [12] Kingboo, A. & Chariyathitipong, P. (2020). Interpolation-Based Enhancement Technique for Image Enlargement. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 22(1), 148-156. (in Thai)
- [13] Nakai, K. et al. (2013). Color image contrast enhancement method based on differential intensity/saturation gray-levels histograms. In *2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems* (p.445-449). 12-15 November, 2013, Naha, Japan.
- [14] Nakajima, N. & Taguchi, A. (2014). Intensity/saturation enhancement based on differential

- gray-levels histogram equalization. In *2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems* (p.527-530). 17-20 November, 2014, Ishigaki, Japan.
- [15] Taguchi, A. (2017). Color Systems and Color Image Enhancement Methods. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology*, 10(2), 97–110.
- [16] Wiangsamut, S. et al. (2006). Fingerprint Image Enhancement Using Voting Algorithm. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 11(3), 213–227. (in Thai)
- [17] Giulio, S. et al. (2020). Pipeline for Advanced Contrast Enhancement (PACE) of Chest X-ray in Evaluating COVID-19 Patients by Combining Bidimensional Empirical Mode Decomposition and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). *Sustainability*, 12(20), 8573-8589.
- [18] Lee, H. et al. (2023). Chest Radiographs Enhancement with Contrast Limited Adaptive Histogram. In *2023 17th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication* (p.1-2). 3-5 January, 2023, Seoul, Republic of Korea.
- [19] Belaid, A., et al. (2011). Implicit active contours for ultrasound images segmentation driven by phase information and local maximum likelihood. In *2011 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro*. (p.630–635). 30 March - 2 April, 2011, Chicago, IL, USA.
- [20] Nafkha, A. (2013). Near maximum likelihood detection algorithm based on 1-flip local search over uniformly distributed codes. In *2013 IEEE International Conference on Communications* (p.4900–4904). 9-13 June, 2013, Budapest, Hungary.
- [21] Saravanan, C. (2010). Color Image to Grayscale Image Conversion. In *2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications* (vol. 2, p.196–199). 19-21 march, 2010, Bali, Indonesia.