

การปรับปรุงคุณภาพสำหรับภาพจากกล้องวงจรปิดโดยใช้เทคนิค BPE BICUBIC-BASED PIXEL ESTIMATION TECHNIQUE FOR IMAGE ENHANCEMENT ON CLOSE CIRCUIT TELEVISION

อัฐพร กิ่งบู* มาลีรัตน์ มะลิแย้ม

Athaporn Kingboo, Maleerat Maliyaem*

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Faculty of Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

**Corresponding author, e-mail: atha2556@hotmail.com*

Received: 17 February 2020; **Revised:** 19 March 2021; **Accepted:** 24 March 2021

บทคัดย่อ

กล้องวงจรปิดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกภาพเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และบันทึกเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ดี แต่คุณภาพของภาพที่ได้จากการบันทึกจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและคุณสมบัติของระบบกล้องวงจรปิด และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในการบันทึกภาพ กล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพที่ดีจะมีราคาที่สูงกว่ากล้องวงจรปิดที่มีราคาต่ำทำให้ต้นทุนในการติดตั้งสูงตามไปด้วย งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพสำหรับภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้นในด้านความละเอียดและความคมชัดของภาพ โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าพิกเซลที่ได้มีการพัฒนาขึ้น ประมวลผลร่วมกับเทคนิค Bicubic และภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพนิ่งที่ขยายภาพโดยใช้ค่าพีเอสเอ็นอาร์และเอสเอสไอเอ็ม วัดประสิทธิภาพเทคนิคจากผลการทดลองเทคนิคงานวิจัยกับภาพคุณภาพต่ำจากกล้องวงจรปิด มีค่า PSNR เฉลี่ยสูงสุด 19.341 และ SSIM เฉลี่ยสูงสุด 0.179 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลอง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีประมาณค่าให้มีความละเอียดและความคมชัดมากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพ การประมาณค่า ระบบกล้องวงจรปิด การประมวลผลภาพ

Abstract

The Close Circuit Television (CCTV) is a great device for recording wholesome moving well, it can be used to record events that occur at any time. However, the ability for recording events is good, but the image captured from CCTV, is in terms of quality and sharpness, depends on the performance and features of the CCTV system. A good quality of CCTV is more expensive than low-quality of CCTV in terms of resolution. It caused of installation cost respectively. This research proposed an image enhancement technique for low-quality CCTV, in terms of resolution and sharpness, using the Bicubic-based Pixel Estimation (BPE) technique. The experiments are conducted using by a set of enlarged image. The results show an overall average of PSNR is 19.341 and SSIM is 0.179 which out well than other

techniques. Our experimental results show our proposed algorithm outperformed others' in terms of quality and sharpness.

Keywords: Image enhancement, Interpolation, CCTV, Image processing

บทนำ

กล้องวงจรปิด (Close Circuit Television) หรือ CCTV [1] เป็นอุปกรณ์การบันทึกภาพดิจิทัลที่ใช้ในการบันทึกภาพนิ่ง หรือภาพเคลื่อนไหวจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ถึงแม้ว่ากล้องวงจรปิดมีความสามารถในการบันทึกเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ดี แต่คุณภาพของภาพที่ได้จากการบันทึกยังมีปัญหาในด้านความคมชัดของภาพวิดีโอหรือภาพนิ่งที่ได้จากกล้องวงจรปิด คุณภาพของภาพจะมีความละเอียดและความคมชัดสูงหรือต่ำ จะขึ้นกับสภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพ ณ เวลานั้น ๆ รวมทั้งประสิทธิภาพและคุณสมบัติของระบบกล้องวงจรปิด [1] สำหรับคุณภาพของระบบกล้องวงจรปิดจะขึ้นอยู่กับราคาของระบบกล้องวงจรปิดที่มีคุณสมบัติที่ดีจะมีราคาสูง ภาพที่ได้จากกล้องที่มีคุณสมบัติดีมีความคมชัดของภาพสูง และกล้องที่มีคุณสมบัติต่ำจะมีราคาต่ำ ซึ่งภาพที่ได้จากการบันทึกจะมีคุณภาพที่ต่ำ โดยเฉพาะในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการใช้งานกล้องวงจรปิดที่มีคุณสมบัติด้านความละเอียดของภาพที่ระดับ 704 x 576 พิกเซล หรือ 1,280 x 720 พิกเซล เป็นระบบกล้องวงจรปิดที่มีราคาถูก บุคคล หรือหน่วยงานทั่วไปสามารถจัดซื้อเข้ามาใช้งานได้ แต่คุณภาพของภาพที่ได้เมื่อนำไปใช้ยังไม่มีความคมชัดเพียงพอในการตรวจสอบภาพ และมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพ เช่น รูปแบบการบีบอัดข้อมูลหรือระบบไฟล์ พื้นที่การบันทึกภาพที่เป็นมุมกว้าง ความสว่างของแสง ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของภาพทำให้ภาพที่ได้เกิดภาพเบลอ ความสมดุลของสีไม่ถูกต้อง และความสว่างน้อย [2-3] จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องปรับปรุงคุณภาพของภาพให้มีความคมชัดเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นปัญหาที่มีความท้าทายเป็นอย่างมาก [4-5] สำหรับการพัฒนาวิธีการหรือเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดที่มีความคมชัดต่ำที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายให้มีความคมชัดของภาพเพิ่มขึ้น มีงานวิจัยหลายเรื่องที่มีงานเน้นการแก้ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ส่วนใหญ่นำเสนอเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่มีแสงสว่างน้อยหรือภาพมืด [2, 4] การเพิ่มความสมดุลของสี การแก้ปัญหาภาพเบลอทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากกล้องถ่ายภาพหรือกล้องวิดีโอ [5] สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ แต่การแก้ปัญหาจากภาพที่มีความคมชัดต่ำที่เกิดจากคุณสมบัติพื้นฐานของตัวกล้อง [6] สภาพแวดล้อมต่าง ๆ และระบบการบันทึกภาพยังไม่มีเทคนิคใดที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี อย่างไรก็ตามยังไม่มีวิธีการหรือเทคนิคใดที่สามารถนำมากำหนดเป็นมาตรฐานหรือกฎเกณฑ์ในการออกแบบการปรับปรุงคุณภาพของภาพได้

การแทรก (Interpolation) [7] หรือการประมาณค่าเป็นวิธีหนึ่งที่ยิมนำมาใช้สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพ การประมาณค่ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีเทคนิคสำหรับวิธีการนี้อย่างมากมายและมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความละเอียดของภาพได้เป็นอย่างดี และเทคนิค Bicubic [7] เป็นเทคนิคการประมวลผลภาพโดยใช้พื้นฐานการประมาณค่า ที่มีการนำไปพัฒนาอย่างต่อเนื่องและถูกนำไปใช้งานในโปรแกรมทางด้านกราฟิกอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคนิค Bicubic มีความสามารถในการประมาณค่าพิกเซลเพื่อสร้างความละเอียดให้กับภาพที่มีประสิทธิภาพและมีขั้นตอนการประมวลผลที่ไม่มีความซับซ้อนและมีความรวดเร็วในการประมวลผลกว่าเทคนิคอื่น โดยมีพื้นฐานการประมวลผลในการประมาณค่าของสีให้กับพิกเซลใหม่โดยใช้พิกเซลที่อยู่รอบข้างจุดสนใจ พิกเซลรอบข้างพิกเซลที่สนใจจะถูกเรียกว่า "Nearest Neighbor" โดยมีเมทริกซ์ (Matrix) ในการประมาณค่าสีของพิกเซลรอบข้างขนาด 16 พิกเซล หรือ 4 x 4 พิกเซล และยังมีเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบันเพื่อช่วยในการเพิ่มความคมชัดให้กับภาพเคลื่อนไหวหรือภาพนิ่ง คือ เทคนิค

ทางด้าน Super-Resolution [8] ถึงแม้ว่าเทคนิคทางด้านการประมาณค่าข้อมูลภาพจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความละเอียดของภาพ แต่ภาพที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่า ภาพจะมีลักษณะเบลอ [9] สีของภาพผิดเพี้ยนไป ภาพขาดเส้นขอบของภาพ ภาพเน้นไปโทนสีใดสีหนึ่งที่มีค่ามากที่สุด จึงทำให้ภาพไม่มีความคมชัด และภาพที่ได้มีขนาดของข้อมูลภาพใหญ่ขึ้นกว่าภาพต้นฉบับ [9-10] ปัญหาเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาเทคนิคที่จะนำมาใช้อย่างต่อเนื่องแต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ดีเท่าที่ควรและได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้จึงเสนอเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการประมาณค่าที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น สามารถประมวลผลร่วมกับเทคนิค Bicubic ให้มีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากการบันทึกของกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ โดยเพิ่มความคมชัดและความละเอียดของภาพ ให้สามารถนำภาพที่สนใจไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ภาพสำหรับการทดลองเป็นภาพนิ่งและใช้เทคนิคการขยายภาพเพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมา ภายในพื้นที่ภาพ (Spatial Domain) [11] ทดสอบประสิทธิภาพโดยการหาค่า PSNR และ SSIM [12-13]

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพสำหรับภาพที่ได้จาก CCTV ที่มีคุณภาพต่ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับการพัฒนาเทคนิคในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการประมวลผลร่วมกับเทคนิค Bicubic เพื่อเพิ่มความละเอียดและความคมชัดให้กับภาพ เพื่อแก้ปัญหาภาพที่มีสัญญาณรบกวนและการเบลอของภาพ ซึ่งมีวิธีการและขั้นตอนในการพัฒนาเทคนิค โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลภาพ

การประมวลผลข้อมูลภาพสำหรับเทคนิค BPE จะใช้ภาพเกรย์สเกล (Gray Image) ซึ่งภาพเกรย์สเกลมีค่าพิกเซลอยู่ในช่วง 0 - 255 เป็นภาพแบบ 1 มิติ จึงทำให้มีความรวดเร็วในการประมวลผลและง่ายต่อการแปลงภาพเป็นภาพแบบ RGB หรือภาพสี เมื่อนำไปใช้งานจริง และเพื่อให้เป็นมาตรฐานในการวิจัยในครั้งนี้ จึงได้ใช้ภาพต้นฉบับที่มีคุณภาพสูงที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพสีแบบแรสเตอร์ที่ได้จากแหล่งข้อมูลภาพ 2 แหล่ง คือ ภาพมาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ต [14] จำนวน 6 ภาพ ตามภาพที่ 1 และทำการแปลงข้อมูลภาพสำหรับประมวลผลภาพเป็นภาพแบบเกรย์สเกล และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 1



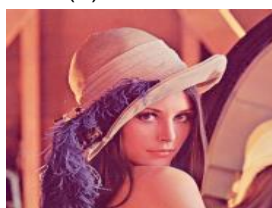
(ก) Baboon



(ข) Butterfly



(ค) Hat



(ง) Lena



(จ) Parrots



(ฉ) Bike

ภาพที่ 1 ภาพมาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ต

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของภาพมาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ตที่ใช้ในการทดลอง

ภาพ	ภาพคุณภาพสูง				ภาพคุณภาพต่ำ			
	ประเภทไฟล์	ขนาดภาพ	Size(KB)	จำนวน	ปรับ	ขนาดภาพ	Size(KB)	จำนวน
	ภาพ	(RGB)		ภาพที่ใช้	ขนาดลง	(ระดับสีเทา)		ภาพที่ใช้
Baboon	Bitmap	309 x 309	280	1	3 เท่า	103 x 103	11.5	50
Butterfly	Tiff	256 x 256	192	1	2 เท่า	128 x 128	16.3	50
Hat	Tiff	256 x 256	192	1	2 เท่า	128 x 128	16.1	50
Lena	Bitmap	309 x 309	280	1	3 เท่า	103 x 103	11.5	50
Parrots	Tiff	256 x 256	192	1	2 เท่า	128 x 128	63.7	50
Bike	Tiff	256 x 256	192	1	2 เท่า	128x 128	16.3	50

และข้อมูลภาพที่ได้จากการบันทึกของระบบกล้องวงจรปิดที่มีการบันทึกภาพเคลื่อนไหวไว้ จากนั้นนำมาทำการแปลงไฟล์ภาพให้เป็นภาพนิ่ง จำนวน 6 ภาพ โดยมีภาพตัวอย่างตามภาพที่ 2 และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2 ภาพต้นฉบับเหล่านี้จะมีคุณภาพในด้านความละเอียดและความคมสูงเพราะจะต้องนำมาใช้ในการเปรียบเทียบภาพที่ได้การประมวลผลจากเทคนิค ภาพสีต้นฉบับที่ได้จากแหล่งข้อมูลทั้ง 2 แหล่งนี้ จะถูกนำมาทำการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพแบบเกรย์สเกลเพื่อเป็นข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากภาพแบบเกรย์สเกลเป็นข้อมูลภาพแบบสองมิติ จึงมีความรวดเร็วในการประมวลผลภาพและเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการทดลองในด้านการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 14(B) ในการแปลงภาพ และภาพเกรย์สเกล ทั้งหมดจะถูกนำมาลดคุณภาพให้มีคุณภาพที่ต่ำลงในด้านความละเอียดและความคมชัด โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับภาพตั้งแต่ 1dB – 50dB และเพิ่มการเบลอภาพ พร้อมทั้งได้มีการปรับขนาดของภาพลง ตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ในด้านภาพคุณภาพต่ำ จะได้ภาพนิ่งที่มีคุณภาพต่ำที่มีลดความละเอียดและความคมชัดให้ต่ำลงทั้งหมด 600 ภาพ แบ่งออกเป็นภาพมาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ต 300 ภาพ และภาพนิ่งที่ได้จากระบบการบันทึกของกล้องวงจรปิด จำนวน 300 ภาพ



(ก) Image_1



(ข) Image_2



(ค) Image_3



(ง) Image_4



(จ) Image_5



(ฉ) Image_6

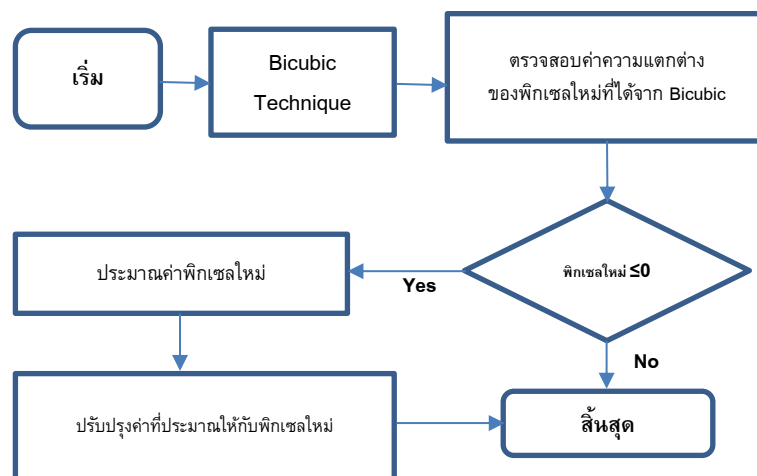
ภาพที่ 2 ภาพต้นฉบับจากการบันทึกของระบบกล้องวงจรปิด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของภาพจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบกล้องวงจรปิดที่ใช้ในการทดลอง

ภาพ	ภาพคุณภาพสูง				ภาพคุณภาพต่ำ			
	ประเภทไฟล์ภาพ	ขนาดภาพ (ภาพสี RGB)	Size(MB)	จำนวนภาพที่ใช้	ปรับขนาด	ขนาดภาพ (ระดับสีเทา)	Size(KB)	จำนวนภาพที่ใช้
Image_1	Bitmap	1280 x 720	3.51	1	4 เท่า	320 x 180	168	50
Image_2	Bitmap	1280 x 720	2.63	1	4 เท่า	320 x 180	168	50
Image_3	Bitmap	1280 x 720	2.63	1	4 เท่า	320 x 180	168	50
Image_4	Bitmap	1280 x 720	2.63	1	2 เท่า	640 x 360	675	50
Image_5	Bitmap	1280 x 720	2.63	1	2 เท่า	640 x 360	675	50
Image_6	Bitmap	1280 x 720	2.63	1	2 เท่า	640 x 360	675	50

2. เทคนิค BPE (Bicubic-based Pixel Estimation Technique)

เพื่อให้ภาพหนึ่งที่ได้จากการบันทึกของกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ โดยเฉพาะภาพที่มีสัญญาณรบกวนมากและภาพเบลอ ให้มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น และลดปัญหาในความซับซ้อนของวิธีการ จึงได้ทำการพัฒนาเทคนิค BPE ให้สามารถทำงานร่วมกับเทคนิค Bicubic เพื่อเพิ่มการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น เทคนิค BPE มีขั้นตอนการประมวลผลตามภาพที่ 3 การประมวลผลเพื่อสร้างความละเอียดของภาพเพื่อแก้ปัญหาด้านความละเอียดของภาพ ด้วยวิธีการของงานวิจัย จำเป็นจะต้องมีการเตรียมข้อมูลสำหรับการใช้ประมวลผล การเตรียมข้อมูลนั้นจำเป็นต้องสร้างภาพคุณภาพต่ำ จากภาพที่มีความละเอียดสูงซึ่งเป็นภาพต้นฉบับ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลองซึ่งมีวิธีการของเทคนิคงานวิจัย สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของเทคนิค BPE

จากภาพที่ 3 ขั้นตอนในการทำงานของเทคนิค BPE จะเริ่มประมวลผลประมาณค่าพิกเซลใหม่ที่ได้จากการประมาณค่าพิกเซลด้วยเทคนิค Bicubic โดยพิกเซลใหม่ที่ได้จากเทคนิค Bicubic จะถูกนำมาตรวจสอบความแตกต่างของพิกเซลใหม่อีกครั้ง โดยใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้นในการตรวจสอบ เพื่อหาความแตกต่างจากพิกเซลรอบข้างว่ามีมากน้อยเพียงใด ถ้าพิกเซลใหม่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 แสดงว่าพิกเซลใหม่มีความแตกต่างจากพิกเซลรอบข้างมาก และจะทำการประมวลผลประมาณค่าพิกเซลใหม่นั้น โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าที่พัฒนาขึ้น ทำการปรับปรุงพิกเซลใหม่ให้มีความใกล้เคียงกับพิกเซลรอบข้างมากที่สุด แต่ถ้าพิกเซลใหม่มีค่ามากกว่า 0 จะไม่มีการปรับปรุงพิกเซลใหม่นั้น

2.1 ปรับปรุงภาพมืดและภาพสว่าง

การทำให้ภาพมีความคมชัดขึ้นส่วนใหญ่แล้วเป็นการปรับปรุงในด้านความสว่างและความมืด เพราะช่วยให้สามารถเห็นรายละเอียดของภาพที่อาจจะมืดหรือสว่างมากเกินไป มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในการปรับภาพที่มีความสว่างหรือมืดเกินไปสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) จะนำมาใช้ในการปรับปรุงความมืดและความสว่างให้กับภาพต้นฉบับที่จะนำมาใช้ในการทดลอง เพื่อทำการปรับปรุงให้ภาพมีความเหมาะสมในการทดลอง และนำไปปรับปรุงกับภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดที่ได้จากผลการทดลองให้ภาพนั้นสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

$$c = im \times s \quad (1)$$

$$\text{กำหนดให้ } s \begin{cases} s < 1 \text{ หมายถึง ภาพมืด} \\ s > 1 \text{ หมายถึง ภาพสว่าง} \\ s = 1 \text{ หมายถึง ภาพต้นฉบับ} \end{cases} \quad (2)$$

โดยที่

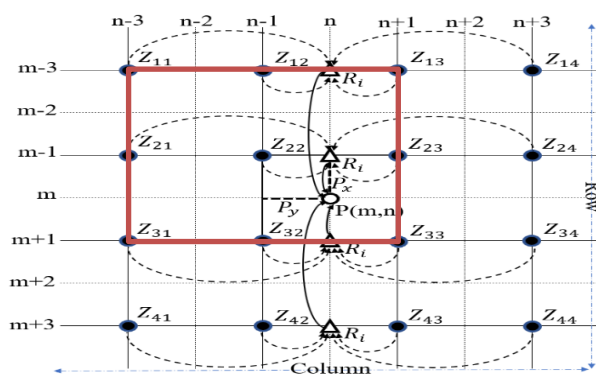
c คือ ภาพผลลัพธ์

im คือ ภาพต้นฉบับ

s คือ ความมืดหรือสว่าง

2.2 การประมาณค่าพิกเซล

การปรับปรุงการประมาณค่าพิกเซลของงานวิจัยนี้ จะทำการประมาณค่าหลังจากการประมวลผลของเทคนิค Bicubic ค่าข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่าในเทคนิค Bicubic จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าอีกครั้งหนึ่งตามวิธีการของเทคนิค BPE เพื่อให้พิกเซลใหม่ที่ต้องการประมาณค่ามีความถูกต้องมากที่สุด



ภาพที่ 4 กำหนดขอบเขตการประมาณค่าของเทคนิค BPE

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีปรับปรุงพิกเซลที่มีค่าความแตกต่างกับพิกเซลภายในพื้นที่ภาพ โดยกำหนดขนาดพื้นที่ ใช้ในการหาค่าของพิกเซล 3×3 พิกเซล มีลักษณะการกำหนดขอบเขตให้กับภาพแสดงตามภาพที่ 4 เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการประมาณค่าพิกเซลและสามารถนำมาเขียนเป็นเมทริกซ์ของผลการประมวลผลตามสมการที่ (3) จากนั้นทำการแทรกพิกเซลใหม่ที่มีค่าสีที่เหมาะสม แทนพิกเซลที่มีความแตกต่าง โดยเปรียบเทียบภาพที่ได้จากวิธีการของเทคนิคกับภาพต้นฉบับ มีวิธีการสำหรับการประมวลผลของเทคนิคสำหรับการหาพิกเซลและประมาณค่าสีให้พิกเซลมีดังต่อไปนี้

$$W_i = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{23} & Z_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$c_i = \frac{|Z_i - \bar{Z}_i|}{\bar{Z}_i} \quad (4)$$

$$\tilde{c}_i = \frac{Z_i - \bar{Z}_i}{\bar{Z}_i} \quad (5)$$

$$P_i = \frac{c_i - \tilde{c}_i}{\sum_{i=1}^n c_i} \quad (6)$$

กำหนดให้

$$P_i \begin{cases} P_i \leq 0 & \text{ประมาณค่าพิกเซลใหม่} \\ P_i > 0 & \text{ไม่ต้องประมาณค่าพิกเซล} \end{cases} \quad (7)$$

โดยที่

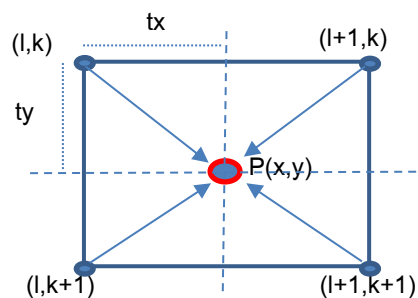
$c_i, \tilde{c}_i$ คือ ค่าพิกเซลใหม่ภายในพื้นที่ W_i

z_i คือ ค่าพิกเซลภาพต้นฉบับคุณภาพต่ำ

$\bar{z}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของพิกเซล

P_i คือ ค่าของพิกเซลจุดที่สนใจ

จากพื้นที่ W_i กำหนดให้ Z_{22} เป็นพิกเซลที่ต้องการหาค่าความแตกต่างระหว่างพิกเซลรอบข้างภายในพื้นที่ W_i มีความแตกต่างกันมากน้อยเท่าใด ค่าที่ได้จะเป็นตัวกำหนดว่า พิกเซล Z_{22} ที่ได้จากการประมวลผลของ Bicubic ควรจะมีการปรับปรุงค่าพิกเซลใหม่หรือไม่ พิจารณาจากสมการที่ (6) ถ้าค่าพิกเซล P_i ที่ประมวลผลได้มีความแตกต่างจากพิกเซลรอบข้างมาก ค่าของพิกเซล P_i จะมีเท่ากับ 0 แต่ถ้าไม่มีความแตกต่างหรือมีความแตกต่างน้อย ค่าพิกเซล P_i จะมีค่ามากกว่า 0 ดังนั้น จึงนำหลักการนี้มาทำการปรับปรุงพิกเซลใหม่ให้กับภาพ โดยทำการตรวจสอบค่าพิกเซล P_i ที่มีค่าเป็น 0 เมื่อได้ตำแหน่งที่พิจารณาแล้วนำพิกเซล P_i ไปประมาณค่าพิกเซลใหม่ให้มีความใกล้เคียงกับพิกเซลรอบข้าง แต่ถ้าพิกเซล P_i มีค่ามากกว่า 0 ณ ตำแหน่งพิกเซลที่พิจารณาก็จะไม่ถูกนำไปประมาณค่าพิกเซลใหม่หรือไม่ถูกนำไปประมวลผลเพื่อปรับปรุงพิกเซลใหม่ ในการประมาณค่าพิกเซลใหม่ของเทคนิค BPE จะมีวิธีการประมาณค่าดังแสดงตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 วิธีการประมาณค่าของเทคนิค

$$p(x, y) = (1 - tx) \times im(l, k) + (1 - tx) \times ty \times im(l, k + 1) + tx \times (1 - ty) \times im(l + 1, k) + tx \times ty \times im(l + 1, k + 1) \quad (8)$$

กำหนดให้

$$tx = x - 1, ty = y - k$$

โดยที่

$p(x, y)$ คือ พิกเซลใหม่ที่มีการประมาณค่าที่เหมาะสม

im คือ พิกเซลรอบข้าง

สามารถคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของพิกเซลใหม่ได้จากสมการที่ (8) ในการประมาณค่าให้พิกเซลที่ได้ทำการหาค่าความแตกต่างแล้ว ณ ตำแหน่งที่สนใจจะใช้ข้อมูลภาพพิกเซลที่เป็นพิกเซลรอบข้างมาช่วยในการประมวลผล โดยใช้พิกเซลขนาด 2×2 พิกเซล เพื่อให้ได้ข้อมูลพิกเซลที่ต้องการประมาณค่าใหม่มีความถูกต้องมากที่สุด สามารถพัฒนาเป็น Algorithm ในการตรวจสอบและพิจารณาพิกเซล แสดงดัง Algorithm 1 มีรายละเอียดดังนี้

Algorithm 1 : (การตรวจสอบพิกเซลที่แตกต่างและปรับปรุงพิกเซลใหม่)

```

1.  input image;
2.  set variable;
3.  create Matrix zero(c,r,d);
4.  Loop
5.  read number into variable;
6.  for x = 0, x < m; For y = 0, y < n;
7.  ZBar = MeanWindows (x, y);
8.  ZBc(x,y) = [Z(x,y) - Zbar] / ZBar;           //สมการที่ (4)
9.  ZBC(x,y) = (Z(x,y) - Zbar) / ZBar;           //สมการที่ (5)
10. MeanW = SumWindows(x,y);
11. P = ZBc(x,y) - ZBC(x,y) / MeanW;             //สมการที่ (6)
12. if ( P>0)                                     //สมการที่ (7)
13.     (x,y) = ZB(x,y);end if ;
14.     if ( P≤0)
15.         (x,y) = RomoveNoise;
16.         (x,y) = Output p(x, y);               //สมการที่ (8)
17.     else
18.         (x,y) = Z(x,y); end;
19. End loop;

```

ภาพที่ 6 Algorithm การตรวจสอบพิกเซลที่แตกต่างและปรับปรุงพิกเซลใหม่

จาก Algorithm 1 เป็นวิธีการหาค่าพิกเซลที่มีความแตกต่างภายในพื้นที่สนใจ ข้อมูลภาพที่นำเข้า $Z(x,y)$ เป็นพิกเซลที่ตำแหน่ง (x,y) ของภาพและมีขนาด $m \times n$ ตำแหน่งของ (x, y) จะมีค่า โดย $x = 0, 1, 2, \dots, m-1$ และ $y = 0, 1, 2, \dots, n-1$ กำหนดพื้นที่ W_i สำหรับการพิจารณาหาค่าพิกเซลที่มีความแตกต่าง โดยวิธีการของเทคนิค BPE สามารถกำหนดขนาดของเมทริกซ์ $m \times n$ กำหนดให้ $m = 3$ และ $n = 3$ ดังนั้นการหาค่าพิกเซลที่มีความแตกต่างจากพิกเซลที่ใกล้เคียงสามารถหาได้จากพื้นที่นี้ การประมวลผลของเทคนิค BPE ในลำดับแรก

จะต้องดำเนินการหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่โดยหาได้จากฟังก์ชัน MeanWindows จากนั้นจะดำเนินการหาค่าความแตกต่างของพิกเซลภายในพื้นที่ W_i ที่ตำแหน่ง (x,y) สามารถคำนวณหาพิกเซลที่แตกต่างจากกลุ่มได้ตามสมการที่ (4) สมการที่ (5) และสมการที่ (6) และใช้ฟังก์ชัน SumWindows ในการประมวลผลเพื่อหาค่าผลรวมของพื้นที่ W_i จากนั้นทำการตรวจสอบพิกเซลที่สนใจ มีความแตกต่างจากพิกเซลในพื้นที่ W_i หรือไม่ โดยใช้สมการที่ (7) ถ้าพิกเซลที่สนใจมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าพิกเซลนั้น ไม่มีความแตกต่างจะไม่ถูกนำไปประมาณค่าพิกเซลใหม่ แต่ถ้าพิกเซลที่สนใจมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 แสดงว่ามีความแตกต่างจากพิกเซลรอบข้าง จะทำการปรับปรุงพิกเซลที่เป็นพิกเซลที่ตำแหน่งที่มีความแตกต่างจากพิกเซลอื่น โดยทำการประมาณค่าพิกเซลใหม่ให้มีความเหมาะสมกับพิกเซลรอบข้างให้มากที่สุด สำหรับการประมาณค่าจะใช้สมการที่ (8) ช่วยในการประมวลผลร่วมกับการลดสัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชัน RemoveNoise จากวิธีการเทคนิค BPE เพื่อทำให้ภาพที่มีคุณภาพต่ำ มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น และลดปัญหาความซับซ้อนของวิธีการ จึงได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพบางส่วนขอเทคนิค Bicubic เพื่อประมาณค่าให้กับพิกเซลที่สนใจมีความถูกต้องมากที่สุด โดยเพิ่มวิธีของ BPE ตาม Algorithm 1

3. การวัดประสิทธิภาพ

การประเมินผลในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับเทคนิคที่ใช้ในการทดลอง 2 เทคนิค คือ ASDS_LR_NL [9] และ SRCNN หรือ Demo_SR [10] โดยเทคนิค ASDS_LR_NL เป็นเทคนิคที่มีการพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น จากภาพที่มีการเบลอและภาพมีสัญญาณรบกวน ได้เป็นอย่างดี ส่วนเทคนิคที่ Demo_SR เป็นเทคนิคที่พัฒนาเพื่อใช้ปรับปรุงภาพที่เป็นการสร้างภาพแบบความละเอียดสูงยิ่งที่มีความสามารถสูงในการประมาณค่าพิกเซลให้กับภาพ ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้มีพื้นฐานมาจากการประมาณค่าให้กับพิกเซลเพื่อสร้างภาพความละเอียดสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลองกับเทคนิคของงานวิจัย และประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคโดยการเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการหาค่าจากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

3.1 Peak Signal-to-Noise Ratio หรือ PSNR [12-13] เป็นเครื่องมือวัดประสิทธิภาพของเทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยค่าที่คำนวณได้เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิคในการปรับปรุงภาพที่มีคุณภาพต่ำให้มีคุณภาพสูงขึ้น แต่วิธีการของเทคนิคจะต้องทำการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการประมวลผลของเทคนิคแล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับที่มีคุณภาพที่สูง โดยค่า PSNR ที่คำนวณได้จะอยู่ในช่วง 1-100 ถ้าค่า PSNR สูงจะชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของภาพที่ได้จากการประมวลผลของเทคนิคที่ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพของรูปภาพดิจิทัล

3.2 Structural similarity หรือ SSIM [12-13] เป็นเครื่องมือชี้วัดที่มีหน้าที่ในการประเมินผลเพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพของเทคนิค เพื่อเปรียบเทียบค่าความสว่าง (Luminance Comparison Contrast) และเปรียบเทียบโครงสร้างของภาพ (Structural Comparison) โดยค่าที่ได้จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันระหว่างสองภาพที่เป็นภาพต้นฉบับกับภาพที่ได้จากการทดลอง ในการวัดค่า ถ้าค่าที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการปรับปรุงภาพของเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่ดี และภาพที่ได้มีความคล้ายคลึงกันกับภาพต้นฉบับที่มีคุณภาพสูง

ผลการวิจัย

จากผลการทดลองจากค่า PSNR และค่า SSIM จะเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเทคนิค BPE ที่พัฒนาขึ้น ในการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคสำหรับการปรับปรุงคุณภาพจากภาพที่มีคุณภาพต่ำให้มีคุณภาพของภาพที่เพิ่มมากขึ้น และเพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิค BPE จึงได้ทำการเปรียบเทียบ

ผลการทดลองกับเทคนิค Bicubic ตามตารางที่ 3 และผลการทดลองกับเทคนิค ASDS_LR_NL และ Demo_SR ตามตารางที่ 4 ถึง ตารางที่ 9 และมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการทดลองเทคนิค กับภาพมาตรฐานทั่วไปในระบบอินเทอร์เน็ต, เพิ่มขนาด 2 เท่า

Noise (dB)	PSNR						SSIM					
	Baboon		Butterfly		Hat		Baboon		Butterfly		Hat	
	Bicubic	BPE	Bicubic	BPE	Bicubic	BPE	Bicubic	BPE	Bicubic	BPE	Bicubic	BPE
10	19.655	19.733	17.179	17.188	23.958	24.042	0.255	0.258	0.467	0.472	0.541	0.556
20	19.153	19.303	16.880	16.926	22.684	22.909	0.212	0.219	0.374	0.384	0.361	0.384
30	18.434	18.676	16.430	16.530	21.184	21.527	0.172	0.182	0.307	0.318	0.249	0.270
40	17.621	17.951	15.889	16.043	19.749	20.167	0.141	0.151	0.259	0.270	0.182	0.199
50	16.811	17.215	15.306	15.510	18.480	18.948	0.118	0.128	0.222	0.234	0.140	0.155
ค่าเฉลี่ย	18.334	18.575	16.336	16.439	21.211	21.518	0.179	0.187	0.325	0.335	0.294	0.312

ตารางที่ 4 ผลการทดลองเทคนิค ค่า PSNR และ SSIM กับภาพ Baboon และ ภาพ Butterfly, เพิ่มขนาด 2 เท่า

Noise (dB)	ภาพ Baboon						ภาพ Butterfly					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE		ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	14.888	0.130	17.215	0.120	18.676	0.182	13.083	0.230	15.309	0.215	16.530	0.318
20	11.627	0.067	15.994	0.094	17.951	0.151	10.480	0.137	14.345	0.173	16.043	0.270
30	9.821	0.042	15.042	0.078	17.215	0.128	9.084	0.087	13.502	0.144	15.510	0.234
40	8.965	0.030	14.217	0.066	16.525	0.109	8.144	0.058	12.776	0.122	14.971	0.205
50	8.590	0.024	13.523	0.056	15.911	0.095	7.603	0.039	12.156	0.106	14.454	0.181
ค่าเฉลี่ย	10.778	0.058	15.198	0.082	17.256	0.133	9.678	0.110	13.618	0.152	15.502	0.241

ตารางที่ 5 ผลการทดลองเทคนิค ค่า PSNR และ SSIM กับภาพ Hat และ ภาพ Lena, เพิ่มขนาด 2 เท่า

Noise (dB)	ภาพ Hat						ภาพ Lena					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE		ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	14.670	0.112	18.473	0.132	21.527	0.270	16.018	0.203	18.582	0.211	20.850	0.355
20	11.102	0.051	16.636	0.091	20.167	0.199	12.608	0.099	17.212	0.160	19.767	0.283
30	9.674	0.034	15.290	0.069	18.948	0.155	10.625	0.058	16.104	0.128	18.744	0.231
40	8.878	0.025	14.278	0.055	17.899	0.125	9.543	0.040	15.156	0.106	17.821	0.192
50	8.446	0.019	13.473	0.046	17.015	0.104	8.968	0.029	14.357	0.090	17.015	0.164
ค่าเฉลี่ย	10.554	0.048	15.630	0.078	19.111	0.170	11.552	0.085	16.282	0.139	18.839	0.245

ตารางที่ 6 ผลการทดลองเทคนิค ค่า PSNR และ SSIM กับภาพ Parrots และภาพ Bike, เพิ่มขนาด 2 เท่า

Noise (dB)	ภาพ Parrots						ภาพ Bike					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE		ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	14.447	0.133	17.972	0.160	20.467	0.318	13.246	0.183	15.808	0.156	17.182	0.243
20	11.107	0.061	16.346	0.111	19.375	0.237	10.577	0.105	14.760	0.122	16.640	0.205
30	9.724	0.039	15.119	0.085	18.345	0.185	9.236	0.069	13.867	0.100	16.063	0.175
40	8.869	0.026	14.154	0.068	17.419	0.149	8.404	0.046	13.116	0.085	15.491	0.152
50	8.335	0.018	13.359	0.056	16.604	0.123	8.050	0.032	12.483	0.073	14.951	0.133
ค่าเฉลี่ย	10.496	0.055	15.390	0.096	18.442	0.202	9.902	0.087	14.007	0.107	16.065	0.181

ตารางที่ 7 ผลการทดลองเทคนิค ค่า PSNR และ SSIM กับภาพ Image_1 และภาพ Image_2, เพิ่มขนาด 2 เท่า

Noise (dB)	ภาพ Image_1						ภาพ Image_2					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE		ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	14.415	0.134	17.356	0.142	19.446	0.269	14.540	0.106	18.640	0.138	21.856	0.285
20	11.271	0.065	15.974	0.100	18.585	0.207	11.044	0.045	16.786	0.094	20.422	0.216
30	9.731	0.039	14.878	0.077	17.745	0.164	9.599	0.027	15.432	0.069	19.167	0.161
40	8.956	0.027	13.990	0.062	16.952	0.134	8.872	0.022	14.412	0.055	18.092	0.129
50	8.569	0.020	13.238	0.052	16.223	0.112	8.480	0.018	13.581	0.045	17.168	0.105
ค่าเฉลี่ย	10.588	0.057	15.087	0.086	17.790	0.177	10.507	0.043	15.770	0.080	19.341	0.179

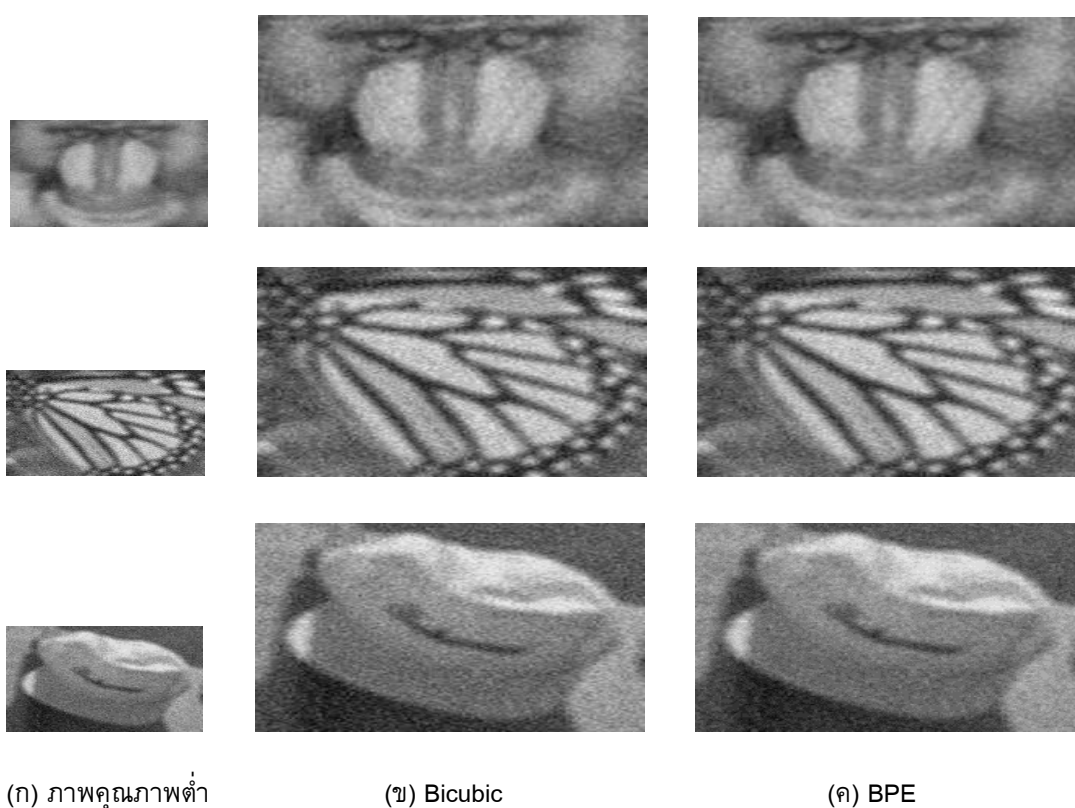
ตารางที่ 8 ผลการทดลองเทคนิคค่า PSNR และ SSIM กับภาพ Image_3 และภาพ Image_4, เพิ่มขนาด 2 เท่า

Noise (dB)	ภาพ Image_3						ภาพ Image_4					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE		ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	13.498	0.129	17.103	0.146	19.242	0.279	12.767	0.187	14.701	0.155	15.672	0.236
20	10.465	0.066	15.614	0.102	18.349	0.210	10.318	0.111	13.868	0.122	15.264	0.193
30	9.190	0.042	14.465	0.078	17.470	0.165	9.014	0.074	13.123	0.100	14.814	0.162
40	8.461	0.029	13.577	0.063	16.665	0.134	8.073	0.045	12.471	0.085	14.351	0.138
50	8.169	0.025	12.863	0.052	15.958	0.112	7.734	0.037	11.899	0.074	13.898	0.120
ค่าเฉลี่ย	9.956	0.058	14.724	0.088	17.537	0.180	9.581	0.090	13.212	0.107	14.800	0.169

ตารางที่ 9 ผลการทดลองเทคนิคค่า PSNR และ SSIM กับภาพ Image_5 และภาพ Image_6, เพิ่มขนาด 2 เท่า

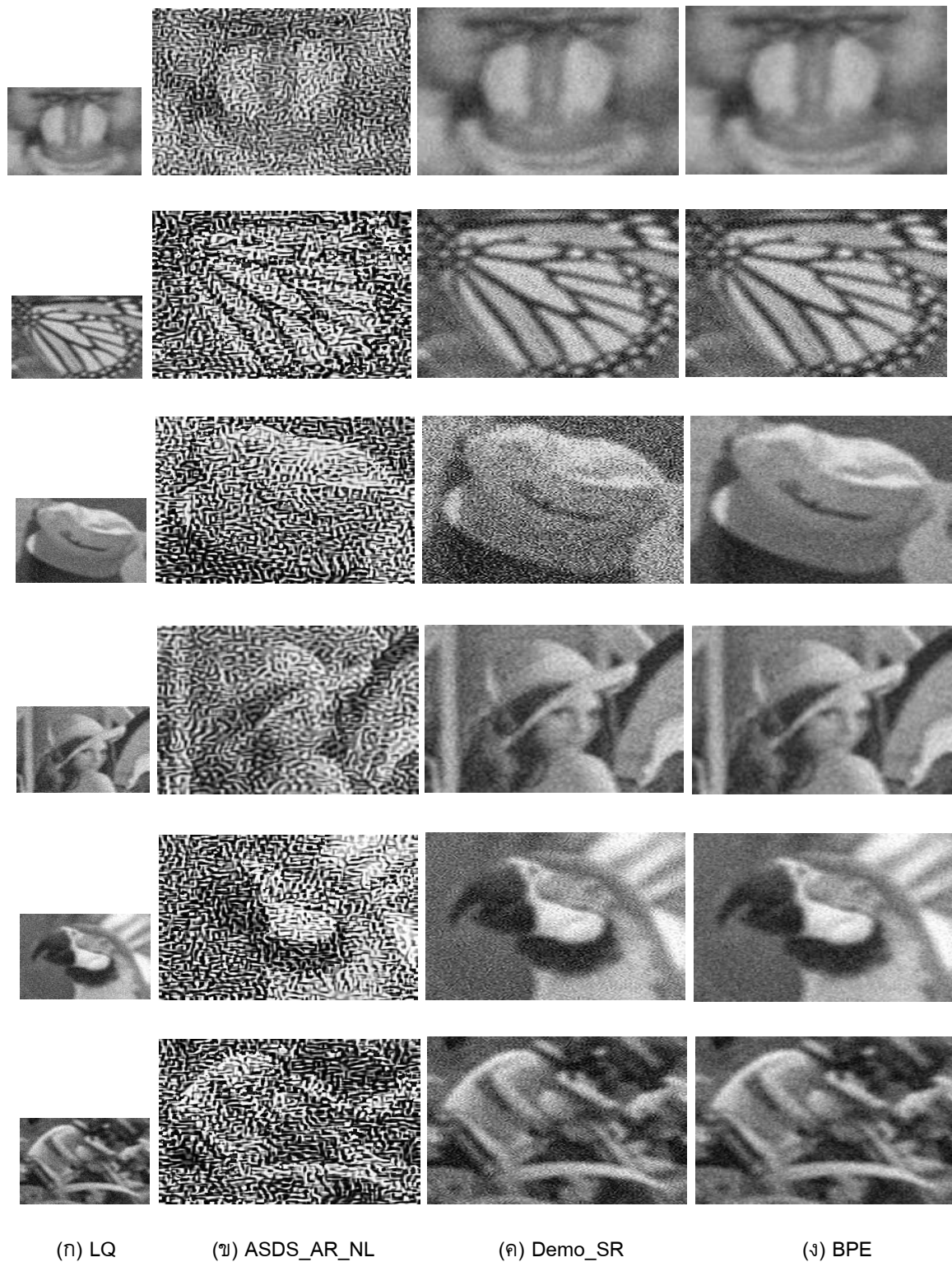
Noise (dB)	ภาพ Image_5						ภาพ Image_6					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE		ASDS_AR_NL		Demo_SR		BPE	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	13.840	0.137	16.595	0.123	18.297	0.249	14.010	0.162	16.855	0.149	18.565	0.255
20	10.967	0.078	15.401	0.088	17.627	0.189	11.078	0.086	15.582	0.109	17.837	0.204
30	9.470	0.050	14.427	0.069	16.946	0.147	9.563	0.053	14.544	0.085	17.088	0.166
40	8.624	0.032	13.618	0.057	16.289	0.121	8.669	0.035	13.677	0.069	16.369	0.139
50	8.145	0.023	12.936	0.049	15.674	0.103	8.108	0.024	12.952	0.057	15.702	0.118
ค่าเฉลี่ย	10.209	0.064	14.595	0.077	16.967	0.161	10.286	0.072	14.722	0.093	17.112	0.176

จากการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น โดยการหาค่า PSNR และ SSIM กับ ข้อมูลภาพทั้ง 2 แหล่ง และเมื่อพิจารณาผลการทดลองกับเทคนิค Bicubic ตามตารางที่ 3 เทคนิค BPE มีค่า PSNR และ SSIM ที่สูงกว่าเทคนิค Bicubic ในทุก ๆ ภาพที่ใช้ในการทดลอง และจากผลการทดลองกับภาพ ตัวอย่างที่ได้จากอินเทอร์เน็ต ตามตารางที่ 4 ถึง ตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากการเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับภาพเพิ่มมากขึ้น ค่า PSNR และ SSIM เทคนิค BPE มีค่าในแต่ละภาพที่สูงกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลองและมีค่าเฉลี่ยสูงสุดสำหรับค่า PSNR กับภาพ Hat ตามตารางที่ 5 ที่ 19.111 และค่า SSIM มีค่าเฉลี่ยสูงสุดกับภาพ Lena ตามตารางที่ 5 ที่ 0.245 และจากผลการทดลองกับภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิด ตามตารางที่ 7 ถึง ตารางที่ 9 ค่า PSNR เทคนิค BPE มีค่า PSNR และ SSIM ในแต่ละภาพที่สูงกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลอง และมีค่า PSNR เฉลี่ยสูงสุดกับภาพ Image_2 ตามตารางที่ 7 ที่ 19.341 และค่า SSIM มีค่าเฉลี่ยสูงสุดกับภาพ Image_3 ตามตารางที่ 8 ที่ 0.180



ภาพที่ 7 ตัวอย่างภาพผลการทดลองเทคนิค, Noise 20dB.

จากผลการทดลองเทคนิค BPE ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่มีคุณภาพต่ำ โดยเฉพาะภาพที่มีสัญญาณรบกวนและภาพเบลอ ให้มีคุณภาพของภาพในด้านความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้นด้วยวิธีการประมาณค่าจากพิกเซลรอบข้าง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และดีกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลองและเมื่อพิจารณาจากภาพตัวอย่างด้วยตาเปล่า ตามภาพที่ 7 ภาพที่ได้จากเทคนิค BPE มีความละเอียดและความคมชัดของภาพมากกว่าเทคนิค Bicubic และ ภาพที่ 8 ภาพที่ 9 ภาพที่ได้จากเทคนิค BPE มีความราบเรียบ (Smooth) มากขึ้นกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลองภาพมีความชัดเจนมากขึ้น และสามารถแก้ปัญหาภาพที่มีสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าวิธีอื่นที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 8 ตัวอย่างผลการทดลอง ภาพมาตรฐานทั่วไปที่มีคุณภาพต่ำ (LQ), Noises 20dB.



(ก) LQ

(ข) ASDS_AR_NL

(ค) Demo_SR

(ง) BPE

ภาพที่ 9 ตัวอย่างผลการทดลอง ภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ (LQ), Noises 20dB

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค BPE ที่ได้นำเสนอกับเทคนิค ASDS_LR_NL และเทคนิค Demo_SR พบว่าเทคนิค BPE ที่นำเสนอมีค่า PSNR และ SSIM เฉลี่ยสูงกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพของเทคนิค BPE จะทำการประมาณค่าพิกเซลใหม่ให้เหมาะสมกับพิกเซลรอบข้างมากที่สุด โดยมีขั้นตอนในการประมวลผลร่วมกับเทคนิค Bicubic ค่าของพิกเซลที่ประมวลผลได้จากเทคนิค Bicubic จะถูกนำมาพิจารณาหาพิกเซลที่มีความแตกต่างจากพิกเซลรอบข้างมาก ๆ ภายในพื้นที่กำหนดสำหรับการประมวลผล เมื่อหาพิกเซลที่มีความแตกต่างจากพื้นที่กำหนดแล้ว จะทำการปรับปรุงพิกเซลที่มีความแตกต่างนั้น โดยการประมาณค่าให้กับพิกเซลใหม่ เป็นวิธีการที่ไม่มีความซับซ้อนในการประมวลผล และเป็นวิธีการที่ง่ายกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลอง เทคนิค BPE ที่พัฒนาขึ้น นำมาใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพภาพนิ่งจากกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ ที่ไม่สามารถกำหนดคุณภาพของภาพหรือสภาวะแวดล้อมในการบันทึกภาพได้ และเป็นวิธีการที่ไม่มีความซับซ้อนในการประมวลผลเหมือนเทคนิคอื่นแต่ภาพที่ได้จากเทคนิคมีคุณภาพที่ดีพอที่จะนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ จากผลการทดลองเทคนิค BPE ในแต่ละวิธีการและเหตุผลต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิคและสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่มีคุณภาพต่ำที่เกิดจากปัญหา ภาพมีแสงสว่างมากหรือน้อยเกินไป ภาพมีสัญญาณรบกวนมาก ๆ ภาพมีการเบลอมาก ๆ และภาพที่มีขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะภาพนิ่งที่ได้จากกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ โดยในปัจจุบันนี้ได้นำมาใช้ได้อย่างแพร่หลาย รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงภาพที่มีขนาดเล็กที่มีการใช้งานในระบบอินเทอร์เน็ตในทุกวันนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Duanshun L, Anran C, Shuai G. (2019). Sewer damage detection from imbalanced CCTV inspection data using deep convolutional neural networks with hierarchical classification. *Automation in Construction*, 101, 199-208.
- [2] Miles Winter, James Bourbeau, Silvia Bravo, Felipe Campos, Matthew Meehan, Jeffrey Peacock, Tyler Ruggles, Cassidy Schneider, Ariel Levi Simons, Justin Vandenbroucke. (2019). Particle identification in camera image sensors using computer vision. *Astroparticle Physics*, 104, 42-53.
- [3] Minu R.I, Nagarajan G, Prem Jacob T, Pravin A. (2019). BIP : A dimensionality reduction for image indexing. *ICT Express*, 5(3), 187-191.
- [4] Arif R, Khan M, Siddique M. (2018). Digital Image Enhancement in Matlab: An Overview on Histogram Equalization and Specification. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET)*. pp. 1-6. Bangladesh: Dhaka.
- [5] Yun C, Yan W, Qi L. (2018). Research on Digital Image Scaling Based on Bicubic Filter Algorithm. *2018 IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*. pp. 225-229. China: Chongqing.
- [6] Ashraf A, Mohamed, Ahmed A. (2019). Digital imaging devices as sensors for iron determination. *Food Chemistry*, 274, 360-367.
- [7] Motmaen M, Mohrekesh M, Akbari M, Karimi N, Samavi S. (2018). Image Inpainting by Hyperbolic Selection of Pixels for Two-Dimensional Bicubic Interpolations. *Electrical Engineering (ICEE), Iranian Conference*. pp. 665-669. Iran: Mashhad.

- [8] Hu Jing, Wu X, Zhou J. (2018). Noise robust single image super-resolution using a multiscale image pyramid. *Signal Processing*, 148, 157-171.
- [9] Dong W, Zhang L, Shi G, Wu X. (2011). Image Deblurring and Super-resolution by Adaptive Sparse Domain Selection and Adaptive Regularization. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(7), 1838-7857.
- [10] Wang Zhaowen, Liu Ding, Yang Jianchao, Han Wei, Huang Thomas. (2015). Deep Networks for Image Super-Resolution with Sparse Prior. *2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. pp. 370-378. Chile: Santiago.
- [11] Radu Timofte, Eirikur Agustsson, Luc Van Gool, Ming-Hsuan Yang, Lei Zhang, Bee Lim. (2017). NTIRE 2017 Challenge on Single Image Super-Resolution: Methods and Results. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. pp. 1110-1121. USA: Honolulu.
- [12] Li Y, Qi F, Wan Y. (2019). Improvements on Bicubic Image Interpolation. *2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. pp. 1316-1320. China: Chengdu.
- [13] Zhang Z, Fan Q, Bao F, Liu Y, Zhang C. (2018). Single-Image Super-Resolution Based on Rational Fractal Interpolation. In *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(8), 3782-3797.
- [14] Agustsson E, Timofte R. (2017). NTIRE 2017 challenge on single image super-resolution: Dataset and study. In *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*. pp.126-135. Switzerland: ETH Zurich.