

**เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการประมาณค่า
สำหรับภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีสัญญาณรบกวน**
**Image Enhancement Technique based on Interpolation of Noise Image
for Closed Circuit Television**

อัฐพร กิ่งบุญ* และ มาลีรัตน์ โสดานิล

สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

E-mail: atha2556@hotmail.com

Athaporn Kingboon* and Maleerat Sodanil

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

1518 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

E-mail: atha2556@hotmail.com

บทคัดย่อ

กล้องวงจรปิด เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวได้เป็นอย่างดี สามารถบันทึกเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา แต่ภาพที่ได้จากการบันทึก ยังมีปัญหาในด้านความละเอียดและความคมชัดของภาพ ซึ่งเกิดจากประสิทธิภาพและคุณสมบัติของระบบกล้องวงจรปิด และ สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในการบันทึกภาพ จึงทำให้ภาพที่ได้มีสัญญาณรบกวนหรือภาพมีการเบลอ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพสำหรับภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ ที่เกิดจากปัญหาสัญญาณรบกวน ให้ภาพที่ได้มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการประมาณค่าพิกเซล ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพนิ่งที่มีขยายภาพเพื่อเพิ่มความละเอียด และใช้ค่า PSNR และ SSIM วัดประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอและเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ที่ใช้ในการทดลอง จากผลการทดลองเทคนิค ค่า PSNR และ SSIM ของเทคนิคงานวิจัยนี้ มีค่าสูงกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลอง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีประมาณค่า สำหรับภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ ที่มีสัญญาณรบกวน ให้มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การประมาณค่า; การประมวลผลภาพ; สัญญาณรบกวน; ภาพคุณภาพต่ำ

Research Paper

*Corresponding author

Received 14 February 2020

Revised 17 April 2020

Accepted 27 April 2020

Abstract

The Closed Circuit Television (CCTV) was a great device for recording a wholesome image and moving well, it can be used to recorded events that occur at any time. However, there has been a problem with resolution and sharpness form the CCTV. This is caused by the features of the CCTV system and various recording environments, affecting the image from the recording to be noise or blur. This research proposed an image enhancement technique for low-quality CCTV caused by noise in terms of resolution and sharpness, using the Interpolation-Based Technique (IB-T). The experiments are conducted using by a set of enlarged image. PSNR and SSIM are used to measure the performances of proposed technique, and also compared other techniques. The results show that this technique can be used for image enhancement.

Keywords: Interpolation; Image processing; Noise; Image low-quality

1. บทนำ

กล้องวงจรปิด (Closed Circuit Television) หรือ CCTV [1] เป็นอุปกรณ์การบันทึกภาพดิจิทัลที่ใช้ในการบันทึกภาพนิ่ง หรือภาพเคลื่อนไหวจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ถึงแม้ว่ากล้องวงจรปิดมีความสามารถในการบันทึกเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ดี แต่คุณภาพของภาพที่ได้จากการบันทึกยังมีปัญหาในด้านความคมชัดของภาพวิดีโอหรือภาพนิ่งที่ได้จากกล้องวงจรปิด ภาพจะมีความละเอียดและความคมชัดสูงหรือต่ำ จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและคุณสมบัติของระบบกล้องวงจรปิด [2] รวมทั้งสภาพแวดล้อมในการบันทึกภาพ ณ เวลานั้น และยังมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพ เช่น รูปแบบการบีบอัดข้อมูลหรือระบบไฟล์พื้นที่การบันทึกภาพที่เป็นมุมกว้าง ความสว่างของแสง ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อภาพที่มีการบันทึก อาจทำให้เกิดภาพเบลอ ภาพมีสัญญาณรบกวน [3] ความสมดุลของสีไม่ถูกต้อง และความสว่างของแสงน้อย [4-5] จึงเป็นปัญหาที่มีความท้าทายเป็นอย่างมาก สำหรับการพัฒนาเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดที่มีความคมชัดต่ำที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายให้มีความคมชัดของภาพเพิ่มขึ้น มีงานวิจัยหลายเรื่องที่มีมุ่งเน้นการแก้ปัญหการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ส่วนใหญ่เน้นเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่มีแสงสว่างน้อยหรือภาพมืด [6-7] การเพิ่มความสมดุลของสี การแก้ปัญหภาพเบลอทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากกล้องถ่ายภาพหรือกล้องวิดีโอ [8-9] สามารถแก้ปัญหเหล่านี้ได้ แต่การแก้ปัญหจากภาพที่มีความคมชัดต่ำที่เกิดจากปัญหาสัญญาณรบกวนมากเกินไปยังไม่มียุทธวิธีที่สามารถนำไปใช้งานได้ [10]

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพสำหรับภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพต่ำ โดยเฉพาะภาพที่มีปัญหาด้านสัญญาณรบกวน เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดของเจ้าหน้าที่ตำรวจ หรืองานด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง ด้วยการพัฒนาเทคนิคการประมาณค่าที่สามารถประมวลผลร่วมกับพื้นฐานของเทคนิค Bicubic ให้มีความสามารถในการเพิ่มความละเอียดและความคมชัดให้กับภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยใช้ภาพในการทดลองเป็นภาพนิ่งที่ได้จากแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง และทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคโดยการหาค่า PSNR และ SSIM [11-12] พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลองกับเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้

2. วิธีการวิจัย

การพัฒนาเทคนิคสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการแก้ปัญหาภาพที่มีสัญญาณรบกวน ที่ได้จากการบันทึกของกล้องวงจรปิด โดยใช้วิธีการปรับปรุงพื้นฐานเทคนิคการประมาณค่า ในด้านการเพิ่มความละเอียดและความคมชัดให้กับภาพ มีวิธีดำเนินการวิจัยและขั้นตอนในการพัฒนาเทคนิคโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Bicubic Interpolation

Bicubic Interpolation [13] เป็นเทคนิคสำหรับการประมวลผลภาพ ที่มีการนำไปพัฒนาอย่างต่อเนื่องและถูกนำไปใช้งานในโปรแกรมทางด้านการตกแต่งภาพอย่างแพร่หลาย เป็นเทคนิคเพิ่มความละเอียดให้กับภาพ โดยวิธีการของเทคนิคนี้จะประมาณค่าพิกเซลที่เรารู้ค่า ซึ่งจะมีพื้นฐานการประมวลผล จากการประมาณค่าของสีในพิกเซลที่อยู่รอบข้างจุดสนใจ พิกเซลรอบข้างพิกเซลที่สนใจจะถูกเรียกว่า “Nearest Neighbor” โดยมีการประมาณค่าสีของพิกเซลรอบข้างขนาด 4×4 พิกเซล สำหรับการคำนวณจุดที่ต้องการประมาณค่ามีการนำมาใช้งานในมิติ (Dimension) มี 2 แบบ คือ one-dimension และ two-dimension

2.1.2 Peak Signal-to-Noise Ratio

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) [11-12] เป็นเครื่องมือการประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยค่าที่คำนวณได้นำไปเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 1 – 100 ถ้าค่า PSNR สูงเข้าใกล้ 100 จะชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของภาพที่ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพของรูปภาพดิจิทัล รวมทั้งการประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคด้านความละเอียด และการกรองภาพ

2.1.3 Structural similarity

Structural similarity (SSIM) [12] คือเครื่องมือชี้วัดที่มีหน้าที่ในการประเมินผลเพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคทางด้านภาพ โดยใช้ในการวัด เรื่องแสง ความคมชัด โครงสร้างของรูปภาพ และวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างสองภาพ ซึ่งค่าที่ได้จากการประมวลผลจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2.1.4 เทคนิคงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) เทคนิค Adaptive Sparse Domain Selection and Adaptive Regularization หรือ ASDS_LR_NL_TD2 [14] วิธีการปรับปรุงภาพสำหรับภาพเบลอ และ ภาพมีสัญญาณรบกวน ให้มีความละเอียดสูงโดยใช้วิธีการ adaptive sparse domain selection (ASDS) และ adaptive regularization (AREG) มีการปรับปรุงข้อมูลภาพให้มี

ความถูกต้องโดยการฝึก (Training) และการเรียนรู้ (Learning) จากข้อมูลที่มีคุณภาพสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้น จึงได้ใช้ 2 วิธี คือ AREG และ ASDS

2) เทคนิค Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks (SCN) หรือเทคนิค Demo_SR [15] เป็นเทคนิคสำหรับการปรับปรุงภาพจากภาพที่มีคุณภาพต่ำ ให้ภาพใหม่ที่สูงขึ้นมีคุณภาพด้านความละเอียดสูงขึ้น โดยมีพื้นฐานของเทคนิค มาจากเทคนิค Deep Convolution Neural Networks (CNN) วิธีการ SCN จะใช้ความสัมพันธ์จากการเชื่อมต่อกันของพิกเซลในแต่ละภาพ โดยการฝึก (Training) และการเรียนรู้จากภาพนิ่งหลายภาพ จากนั้นหาค่าพิกเซลให้กับภาพใหม่ เพื่อสร้างภาพที่มีความละเอียดสูง

2.2 การพัฒนาเทคนิค

เทคนิค Interpolation-Based Technique (IB-T) ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิค Bicubic จากพื้นฐานของการประมาณค่าพิกเซล โดยเพิ่มความละเอียดและความคมชัดให้กับภาพที่ได้ทำการขยาย เพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนของภาพ ซึ่งมีวิธีการและขั้นตอนในการพัฒนาเทคนิคดังต่อไปนี้

2.2.1 ข้อมูลภาพ

การประมวลผลข้อมูลภาพสำหรับเทคนิค IB-T จะใช้ ภาพเกรย์สเกล (Gray image) ซึ่ง ภาพเกรย์สเกลมีค่าพิกเซลอยู่ในช่วง 0 - 255 และเป็นการประมวลผลภาพแบบ Two-dimension ในแนวของแกน X, Y และเพื่อให้เป็นมาตรฐานในการวิจัยในครั้งนี้ จึงได้ใช้ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดสอบเป็นภาพสี แบบ แรสเตอร์ ที่ได้จากแหล่งข้อมูลภาพ 2 แหล่ง คือ ภาพมาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ต [16] จำนวน 6 ภาพ โดยมีภาพตัวอย่างตามรูปที่ 1 และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 1 ด้านภาพคุณภาพสูงและข้อมูลภาพที่ได้จากการบันทึกของระบบกล้องวงจรปิดที่มีการบันทึกภาพเคลื่อนไหว และนำมาทำการแปลงไฟล์ภาพให้เป็นภาพนิ่งจำนวน 6 ภาพ โดยมีภาพตัวอย่างตามรูปที่ 2 และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2 ด้านภาพคุณภาพสูง



(ก) Baboon



(ข) Butterfly



(ค) Hat



(ง) Lena



(จ) Parrots



(ฉ) Bike

รูปที่ 1 ภาพต้นฉบับคุณภาพสูง มาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ต

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของภาพมาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ต ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพ	ภาพคุณภาพสูง				ภาพคุณภาพต่ำ			
	ประเภทไฟล์ภาพ	ขนาดภาพ (RGB)	Size (KB)	จำนวนภาพที่ใช้	ปรับขนาดลง	ขนาดภาพ (ระดับสีเทา)	Size (KB)	จำนวนภาพที่ใช้
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	128 x 128	16.3	50



(ก) Image_1



(ข) Image_2



(ค) Image_3



(ง) Image_4



(จ) Image_5



(ฉ) Image_6

รูปที่ 2 ภาพต้นฉบับคุณภาพสูง จากการบันทึกของระบบกล้องวงจรปิด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของภาพจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบกล้องวงจรปิด ที่ใช้ในการทดลอง

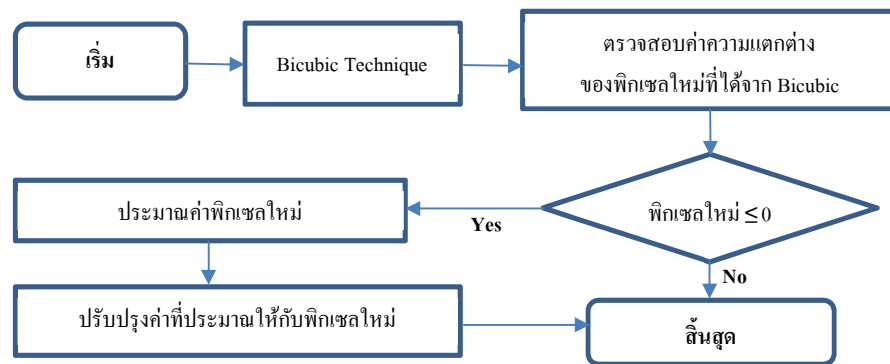
ภาพ	ภาพคุณภาพสูง				ภาพคุณภาพต่ำ			
	ประเภทไฟล์ภาพ	ขนาดภาพ (RGB)	Size (MB)	จำนวนภาพที่ใช้	ปรับขนาดลง	ขนาดภาพ (ระดับสีเทา)	Size (KB)	จำนวนภาพที่ใช้
Image_1	Bitmap	1280 x 720	3.51	1	4 เท่า	320 x 180	168	50
Image_2	Bitmap	1280 x 720	2.63	1	4 เท่า	320 x 180	168	50
Image_3	Bitmap	1280 x 720	2.63	1	4 เท่า	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

ภาพต้นฉบับนี้จะมีคุณภาพในด้านความละเอียดและความคมสูงเพราะจะต้องนำมาใช้ในการเปรียบเทียบภาพที่ได้การประมวลผลจากเทคนิค ภาพสีต้นฉบับจะถูกนำมาทำการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพ เกรย์สเกล โดยใช้โปรแกรม MATLAB และภาพ เกรย์สเกล ทั้งหมดจะถูกนำมาลดคุณภาพ โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับภาพตั้งแต่ 1dB – 50dB และจะได้ภาพหนึ่งที่มีคุณภาพต่ำ ทั้งหมด 600 ภาพ แบ่งออกเป็นภาพหนึ่งที่ได้จากแหล่ง

ข้อมูลภาพมาตรฐานทั่วไปในระบบอินเทอร์เน็ต 300 ภาพ มีคุณสมบัติตามตารางที่ 1 ด้านภาพคุณภาพต่ำ และภาพหนึ่งที่ได้จากการบันทึกของกล้องวงจรปิดจำนวน 300 ภาพ มีคุณสมบัติตามตารางที่ 2 ด้านภาพคุณภาพต่ำ

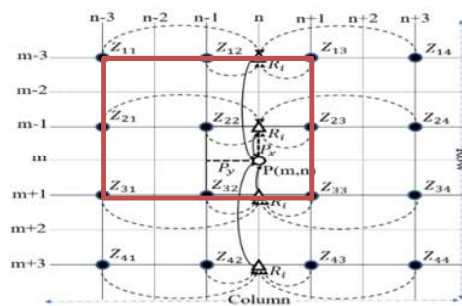
2.2.2 เทคนิค Interpolation-Based Technique (IB-T)

เพื่อปรับปรุงภาพหนึ่งที่ได้จากการบันทึกของกล้องวงจรปิดที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ ให้มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น และลดปัญหาในความซับซ้อนของวิธีการ จึงได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิค Bicubic ในบางส่วน เพื่อเพิ่มการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น เทคนิค IB-T มีขั้นตอนการประมวลผลตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของเทคนิค IB-T

การประมวลผลภาพเพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนของเทคนิค IB-T จะทำงานหลังจากการประมวลผลของเทคนิค Bicubic ค่าข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่าในเทคนิค Bicubic จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าอีกครั้งหนึ่งตามวิธีการของเทคนิค IB-T เพื่อให้พิกเซลใหม่ที่ต้องการประมาณค่ามีความถูกต้องมากที่สุด ในการประมาณค่าพิกเซล จะใช้วิธีปรับปรุงพิกเซลที่มีค่าความแตกต่างกับพิกเซลภายในพื้นที่ภาพโดยกำหนดขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการหาพิกเซล 3×3 พิกเซล มีการกำหนดขอบเขตให้กับภาพตามรูปที่ 4 เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการประมาณค่าพิกเซลและสามารถนำมาเขียนเป็นเมทริกซ์ของพื้นฐานการประมวลผล ตามสมการที่ (1) จากนั้นทำการแทรกพิกเซลใหม่ที่มีค่าที่เหมาะสม แทนพิกเซลที่มีความแตกต่าง มีวิธีการสำหรับการประมวลผลของเทคนิคสำหรับการหาพิกเซลและประมาณค่าให้พิกเซลใหม่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 กำหนดขอบเขตการประมาณค่าของเทคนิค IB-T

$$W_i = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{23} & Z_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$c_i = \frac{|Z_i - \bar{Z}_i|}{\bar{Z}_i} \quad (2)$$

$$\tilde{c}_i = \frac{Z_i - \bar{Z}_i}{\bar{Z}_i} \quad (3)$$

$$P_i = \frac{c_i - \tilde{c}_i}{\sum_{i=1}^n c_i} \quad (4)$$

$$\text{โดยที่} \quad P_i \begin{cases} P_i \leq 0 & \text{ประมาณค่าพิกเซลใหม่} \\ P_i > 0 & \text{ไม่ต้องประมาณค่าพิกเซล} \end{cases} \quad (5)$$

กำหนดให้

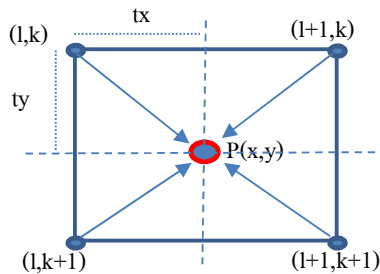
$c_i, \tilde{c}_i$ คือ ค่าพิกเซลใหม่ภายในพื้นที่ W_i

z_i คือ ค่าพิกเซลภาพต้นฉบับคุณภาพต่ำ

$\bar{z}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของพิกเซล

P_i คือ ค่าของพิกเซลจุดที่สนใจ

จากพื้นที่ W_i กำหนดให้ Z_{22} เป็นพิกเซลที่ต้องการหาค่าความแตกต่างระหว่างพิกเซลรอบข้างภายในพื้นที่ W_i มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเท่าใด ค่าที่ได้จะเป็นตัวกำหนดว่า พิกเซล Z_{22} ที่ได้จากการประมวลผลของ Bicubic ควรจะมีการปรับปรุงค่าพิกเซลใหม่หรือไม่ พิจารณาจากสมการที่ (4) 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 IB-T จะมีวิธีการประมาณค่าดังแสดงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 วิธีการประมาณค่าของเทคนิค IB-T

$$p(x, y) = (1 - tx) \times im(l, k) + (1 - tx) \times ty \times im(l, k + 1) + tx \times (1 - ty) \times im(l + 1, k) + tx \times ty \times im(l + 1, k + 1) \quad (6)$$

โดยที่ $tx = x - 1$, $ty = y - k$

กำหนดให้

$p(x, y)$ คือ พิกเซลใหม่ที่มีการประมาณค่าที่เหมาะสม

im คือ พิกเซลรอบข้าง

และสามารถคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของพิกเซลใหม่ได้จากสมการที่ (6) ในการประมาณค่าให้พิกเซลที่ได้ทำการหาค่าความแตกต่างแล้ว ณ ตำแหน่งที่สนใจจะใช้ข้อมูลภาพพิกเซลที่เป็นพิกเซลรอบข้างมาช่วยในการประมวลผล โดยจะใช้พิกเซลขนาด 2×2 พิกเซล เพื่อให้ได้ข้อมูลพิกเซลที่ต้องการประมาณค่าใหม่มีความถูกต้องมากที่สุด สามารถพัฒนาเป็นขั้นตอนวิธี (Algorithm) ของการตรวจสอบและพิจารณาพิกเซลในงานวิจัยนี้ตาม Algorithm 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Algorithm 1: IB-T (การตรวจสอบพิกเซลที่แตกต่างและปรับปรุงพิกเซลใหม่)

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

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 สำหรับการพิจารณาหาค่าพิกเซลที่มีความแตกต่างจากพื้นที่ โดยวิธีการของเทคนิค IB-T สามารถกำหนดขนาดของเมทริกซ์ $m \times n$ กำหนดให้ $m = 3$ และ $n = 3$ ดังนั้นการหาค่าพิกเซลที่มีความแตกต่างจากพิกเซลที่ใกล้เคียงสามารถหาได้จากพื้นที่นี้ การประมวลผลของเทคนิค IB-T ในลำดับแรกจะต้องดำเนินการหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่โดยหาได้จากฟังก์ชัน MeanWindows จากนั้นจะดำเนินการหาค่าความแตกต่างของพิกเซลภายในพื้นที่ W_i ที่ตำแหน่ง (x,y) สามารถคำนวณหาพิกเซลที่แตกต่างจากกลุ่มได้ตามสมการที่ (2) สมการที่ (3) และสมการที่ (4) และใช้ฟังก์ชัน SumWindows ในการประมวลผลเพื่อหาค่าผลรวมของพื้นที่ W_i จากนั้นทำการตรวจสอบพิกเซลที่สนใจ มีความแตกต่างจากพิกเซลในพื้นที่ W_i หรือไม่ โดยใช้สมการที่ (5) ถ้าพิกเซลที่สนใจมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าพิกเซลนั้น ไม่มีความแตกต่างจะไม่ถูกนำไปประมาณค่าพิกเซลใหม่ แต่ถ้า

พิกเซลที่สนใจมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 แสดงว่ามีความแตกต่างจากพิกเซลรอบข้าง จะทำการปรับปรุงพิกเซลที่เป็นพิกเซลที่ตำแหน่งที่มีความแตกต่างจากพิกเซลอื่น โดยทำการประมาณค่าพิกเซลใหม่ให้มีความเหมาะสมกับพิกเซลรอบข้างให้มากที่สุด สำหรับการประมาณค่าจะใช้สมการที่ (6) ช่วยในการประมวลผลร่วมกับการลดสัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชัน RemoveNoise และกำหนดขนาดของเมทริกซ์ $1 \times k$ กำหนดให้ $1 = 2$ และ $k = 2$ จากวิธีการเทคนิค IB-T เพื่อให้ภาพที่มีคุณภาพต่ำ ที่มีสัญญาณรบกวน มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มมากขึ้น และลดปัญหาความซับซ้อนของวิธีการ จึงได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพบางส่วน of เทคนิค Bicubic ตามวิธีการ Algorithm 1 เพื่อประมาณค่าให้กับพิกเซลที่สนใจมีความถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถพัฒนาเป็น Algorithm นำไปใช้ประมวลผลปรับปรุงคุณภาพของภาพและเพิ่มการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับการตรวจสอบและประมาณค่าพิกเซลใหม่ของเทคนิค Bicubic โดยเพิ่มวิธี IB-T การตาม Algorithm 1

3. ผลการทดลอง

เพื่อวัดประสิทธิภาพของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีสัญญาณรบกวน จะใช้ค่า PSNR และ SSIM ในการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคกับภาพต้นฉบับที่มีความละเอียดสูง และเพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิค IB-T จึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับเทคนิค ASDS_LR_NL, Demo_SR และ Bicubic มีผลการทดลองที่ได้จากเทคนิคดังต่อไปนี้

จากการทดลองปรับปรุงคุณภาพของภาพคุณภาพต่ำที่มีสัญญาณรบกวน ของเทคนิค IB-T ในงานวิจัยนี้กับเทคนิค ASDS_LR_NL และ Demo_SR สามารถพิจารณาผลการทดลองกับภาพมาตรฐานทั่วไปจากแหล่งข้อมูลภาพในระบบอินเทอร์เน็ต ตามตารางที่ 3 ถึง ตารางที่ 5 จากการเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับภาพเพิ่มมากขึ้น ค่า PSNR และ SSIM เทคนิค IB-T จะมีค่าสูงกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลอง แต่จะมีค่าน้อยกว่า เทคนิค ASDS_LR_NL ที่ระดับสัญญาณรบกวน 10 dB ซึ่งเป็นเพราะ เทคนิค ASDS_LR_NL ถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้ดีกับภาพที่มีสัญญาณรบกวนน้อย แต่เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับภาพเพิ่มมากขึ้น เทคนิค IB-T มีค่าในแต่ละภาพที่สูงกว่าเทคนิค ASDS_LR_NL และเทคนิค Demo_SR โดยเทคนิค IB-T มีค่าเฉลี่ยสูงสุดสำหรับค่า PSNR กับภาพ Hat ตามตารางที่ 4 ที่ 21.518 และค่า SSIM มีค่าเฉลี่ยสูงสุดกับภาพ Lena ตามตารางที่ 4 ที่ 0.380 และจากผลการทดลองกับภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิด ตามตารางที่ 6 ถึง ตารางที่ 8 ค่า PSNR เทคนิค IB-T มีค่า PSNR และ SSIM มีค่าสูงกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลอง แต่จะมีค่าน้อยกว่า เทคนิค ASDS_LR_NL ที่ระดับสัญญาณรบกวน 10 dB ด้วยเหตุที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และมีค่า PSNR เฉลี่ยสูงสุดกับภาพ Image_2 ตามตารางที่ 6 ที่ 21.916 และค่า SSIM มีค่าเฉลี่ยสูงสุดกับภาพ Image_2 ตามตารางที่ 6 ที่ 0.329 และเมื่อพิจารณาผลการทดลองเทคนิค IB-T กับ Bicubic กับข้อมูลภาพทั้ง 2 แหล่ง ตามตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ทำให้ทราบว่าเทคนิค IB-T มีค่า PSNR และ SSIM สูงกว่าเทคนิค Bicubic ในทุกระดับการเพิ่มสัญญาณรบกวน และมีค่า PSNR ค่าเฉลี่ยสูงสุดกับภาพจากอินเทอร์เน็ตกับภาพ Hat ตามตารางที่ 9 ที่ 21.518 และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดกับภาพจากกล้องวงจรปิดกับ

อัฐพร กิ่งบุญ และ มาลีรัตน์ โสตานิล / วารสารวิชาการปทุมวัน ปีที่ 10 ฉบับที่ 27 มกราคม - เมษายน 2563

ภาพ Image_2 ตามตารางที่ 10 ที่ 21.916 และมีค่า SSIM ค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 0.335 กับภาพจากอินเทอร์เน็ตกับภาพ Butterfly ตามตารางที่ 9 และค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 0.328 กับภาพจากกล้องวงจรปิดกับภาพ Image_2 ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 3 ผลการทดลองกับภาพ Baboon ขยายขนาด 3 เท่า, Butterfly ขยายขนาด 2 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	Baboon						Butterfly					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T		ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	20.055	0.305	19.432	0.226	19.733	0.258	20.664	0.664	17.034	0.401	17.188	0.472
20	18.482	0.238	18.396	0.163	19.303	0.219	17.541	0.431	16.289	0.282	16.926	0.384
30	14.888	0.130	17.215	0.120	18.676	0.182	13.083	0.230	15.309	0.215	16.530	0.318
40	11.627	0.067	15.994	0.094	17.951	0.151	10.480	0.137	14.345	0.173	16.043	0.270
50	9.821	0.042	15.042	0.078	17.215	0.128	9.084	0.087	13.502	0.144	15.510	0.234
ค่าเฉลี่ย	14.974	0.156	17.215	0.136	18.575	0.187	14.170	0.309	15.295	0.243	16.439	0.335

ตารางที่ 4 ผลการทดลองกับภาพ Hat ขยายขนาด 2 เท่า, Lena ขยายขนาด 3 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	Hat						Lena					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T		ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	25.897	0.677	23.240	0.408	24.042	0.556	24.284	0.654	21.924	0.473	22.696	0.577
20	20.855	0.329	20.786	0.215	22.909	0.384	20.899	0.428	20.273	0.304	21.890	0.455
30	14.670	0.112	18.473	0.132	21.527	0.270	16.018	0.203	18.582	0.211	20.850	0.355
40	11.102	0.051	16.636	0.091	20.167	0.199	12.608	0.099	17.212	0.160	19.767	0.283
50	9.674	0.034	15.290	0.069	18.948	0.155	10.625	0.058	16.104	0.128	18.744	0.231
ค่าเฉลี่ย	16.439	0.240	18.885	0.183	21.518	0.312	16.886	0.288	18.819	0.255	20.789	0.380

ตารางที่ 5 ผลการทดลองกับภาพ Parrots, Bike ขยายขนาด 2 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	Parrots						Bike					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T		ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	24.223	0.754	21.755	0.472	22.310	0.625	19.576	0.498	17.718	0.298	17.924	0.348
20	20.391	0.385	19.900	0.258	21.510	0.444	17.467	0.355	16.886	0.211	17.630	0.292
30	14.447	0.133	17.972	0.160	20.467	0.318	13.246	0.183	15.808	0.156	17.182	0.243
40	11.107	0.061	16.346	0.111	19.375	0.237	10.577	0.105	14.760	0.122	16.640	0.205
50	9.724	0.039	15.119	0.085	18.345	0.185	9.236	0.069	13.867	0.100	16.063	0.175
ค่าเฉลี่ย	15.978	0.274	18.218	0.217	20.401	0.361	14.020	0.242	15.807	0.177	17.087	0.252

ตารางที่ 6 ผลการทดลองกับภาพ Image_1, Image_2 ขยายขนาด 4 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	Image_1						Image_2					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T		ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	22.819	0.588	20.370	0.381	20.836	0.488	25.886	0.685	23.785	0.432	24.741	0.581
20	19.617	0.339	18.938	0.221	20.246	0.363	20.796	0.341	21.046	0.228	23.396	0.405
30	14.415	0.134	17.356	0.142	19.446	0.269	14.540	0.106	18.640	0.138	21.856	0.285
40	11.271	0.065	15.974	0.100	18.585	0.207	11.044	0.045	16.786	0.094	20.422	0.216
50	9.731	0.039	14.878	0.077	17.745	0.164	9.599	0.027	15.432	0.069	19.167	0.161
ค่าเฉลี่ย	15.570	0.233	17.503	0.184	19.371	0.298	16.373	0.240	19.137	0.192	21.916	0.329

ตารางที่ 7 ผลการทดลองกับภาพ Image_3 ขยายขนาด 4 เท่า, Image_4 ขยายขนาด 2 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	Image_3						Image_4					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T		ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	22.240	0.667	20.214	0.406	20.635	0.535	17.895	0.542	16.067	0.313	16.212	0.375
20	18.853	0.341	18.769	0.229	20.052	0.385	16.131	0.353	15.497	0.211	15.999	0.296
30	13.498	0.129	17.103	0.146	19.242	0.279	12.767	0.187	14.701	0.155	15.672	0.236
40	10.465	0.066	15.614	0.102	18.349	0.210	10.318	0.111	13.868	0.122	15.264	0.193
50	9.190	0.042	14.465	0.078	17.470	0.165	9.014	0.074	13.123	0.100	14.814	0.162
ค่าเฉลี่ย	14.849	0.249	17.233	0.192	19.149	0.314	13.225	0.253	14.651	0.180	15.592	0.252

ตารางที่ 8 ผลการทดลองกับภาพ Image_5, Image_6 ขยายขนาด 2 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	Image_5						Image_6					
	ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T		ASDS_AR_NL		Demo_SR		IB-T	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
10	20.980	0.610	18.998	0.349	19.317	0.470	20.893	0.532	19.292	0.335	19.614	0.421
20	18.277	0.318	17.898	0.192	18.893	0.334	18.434	0.345	18.194	0.215	19.187	0.328
30	13.840	0.137	16.595	0.123	18.297	0.249	14.010	0.162	16.855	0.149	18.565	0.255
40	10.967	0.078	15.401	0.088	17.627	0.189	11.078	0.086	15.582	0.109	17.837	0.204
50	9.470	0.050	14.427	0.069	16.946	0.147	9.563	0.053	14.544	0.085	17.088	0.166
ค่าเฉลี่ย	14.706	0.238	16.663	0.164	18.216	0.277	14.795	0.235	16.893	0.178	18.458	0.274

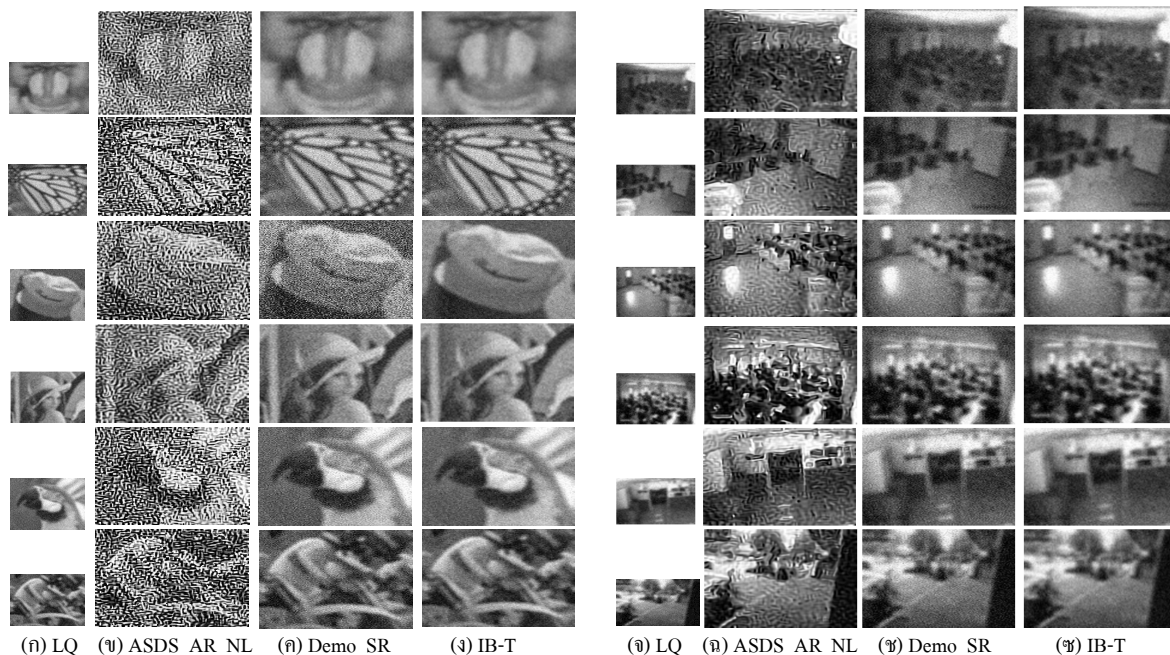
ตารางที่ 9 ผลการทดลองเทคนิค Bicubic และ IB-T กับภาพจากอินเทอร์เน็ต ขยายขนาดภาพ 2 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	PSNR						SSIM					
	Baboon		Butterfly		Hat		Baboon		Butterfly		Hat	
	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T
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

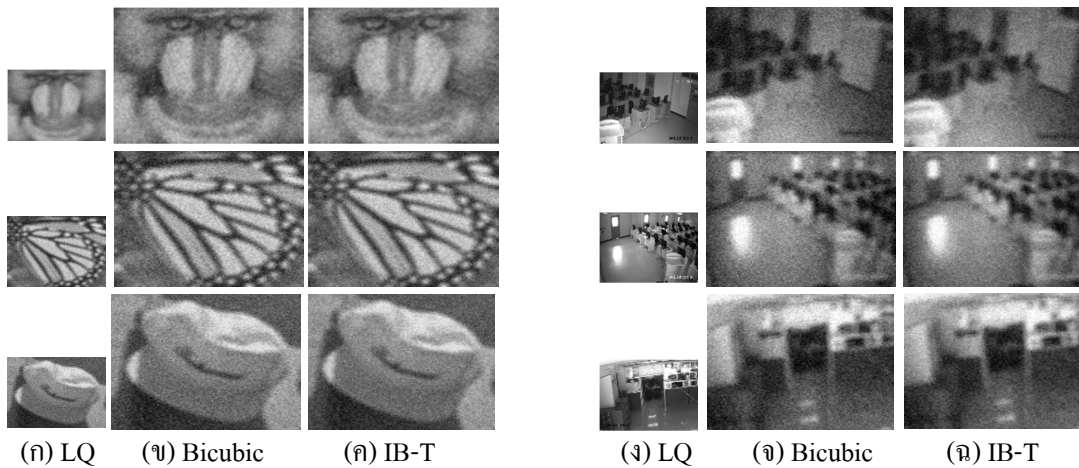
ตารางที่ 10 ผลการทดลองเทคนิค Bicubic และ IB-T กับภาพจากกล้องวงจรปิด ขยายขนาดภาพ 2 เท่า

สัญญาณ รบกวน (dB)	PSNR						SSIM					
	Image_2		Image_3		Image_5		Image_2		Image_3		Image_5	
	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T	Bicubic	IB-T
10	24.622	24.741	20.570	20.635	19.262	19.317	0.568	0.581	0.521	0.535	0.456	0.470
20	23.136	23.396	19.915	20.052	18.779	18.893	0.383	0.405	0.364	0.385	0.312	0.334
30	21.489	21.856	19.023	19.242	18.115	18.297	0.264	0.285	0.259	0.279	0.221	0.242
40	19.988	20.422	18.054	18.349	17.385	17.627	0.192	0.210	0.193	0.210	0.166	0.185
50	18.695	19.167	17.119	17.470	16.657	16.946	0.146	0.161	0.150	0.165	0.131	0.147
ค่าเฉลี่ย	21.586	21.916	18.936	19.149	18.039	18.216	0.310	0.328	0.297	0.314	0.257	0.275

สำหรับภาพจากการทดลองเมื่อพิจารณาจากภาพตัวอย่างด้วยตาเปล่า ตามรูปที่ 6 ภาพที่ได้จากเทคนิค IB-T มีความราบเรียบ (Smooth) และมีความคมชัดมากขึ้นกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้ในการทดลอง และตามรูปที่ 7 ภาพที่ได้จากเทคนิค IB-T มีความละเอียดและความคมชัดของภาพมากกว่าเทคนิค Bicubic



รูปที่ 6 ตัวอย่างภาพผลการทดลองเทคนิค กับภาพมาตรฐานทั่วไปจากอินเทอร์เน็ต (ข), (ค), (ง) และภาพจากกล้องวงจรปิด (ฉ), (ช), (ช) จากภาพที่มีคุณภาพต่ำ(LQ), ที่ระดับสัญญาณรบกวน 30dB



รูปที่ 7 ภาพผลการทดลองเทคนิค IB-T และ Bicubic กับภาพมาตรฐานทั่วไปจากอินเทอร์เน็ต (ข), (ค) และภาพจากกล้องวงจรปิด (จ), (ฉ) จากภาพที่มีคุณภาพต่ำ(LQ), ที่ระดับสัญญาณรบกวน 30 dB

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เทคนิค IB-T ที่ได้นำเสนอ กับเทคนิค ASDS_LR_NL, Demo_SR และ Bicubic เทคนิค IB-T มีค่า PSNR และ SSIM เฉลี่ยสูงกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ พิกเซลของภาพยังมีความแตกต่างกันมากภายในพื้นที่ภาพ จึงทำให้การประมาณค่าพิกเซลใหม่มีข้อมูลพิกเซลที่ไม่เหมาะสมกับพิกเซลรอบข้าง เพราะต้องใช้พิกเซลรอบข้างที่มีขนาดพื้นที่ในการประมาณค่าขนาดใหญ่ โดยเฉพาะวิธีการของเทคนิค ASDS_LR_NL, Demo_SR และ Bicubic จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ ที่จะนำเอาข้อมูลพิกเซลที่มีสัญญาณรบกวนไปประมวลผลเพื่อประมาณค่าให้กับพิกเซลใหม่ ทำให้พิกเซลใหม่มีข้อมูลไม่มีความใกล้เคียงกับพิกเซลรอบข้างส่งผลทำให้ภาพไม่มีความละเอียดและความคมชัดเพิ่มขึ้น เทคนิคเหล่านี้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ ได้ดี แต่เทคนิค IB-T จะนำค่าของพิกเซลใหม่ที่ได้จากการประมาณค่าของเทคนิค Bicubic มาทำการประมาณค่าพิกเซลใหม่ที่อีกรอบเพื่อให้ได้พิกเซลใหม่ที่มีความเหมาะสมกับพิกเซลรอบข้างมากที่สุด โดยเฉพาะจะใช้พิกเซลรอบข้างที่มีขนาดพื้นที่ในการประมาณค่าที่มีขนาดเล็ก และมีการประมาณค่าให้กับพิกเซลใหม่หลังจากได้มีการนำพิกเซลที่เป็นสัญญาณรบกวนออกแล้ว จึงทำให้ภาพที่ได้จากเทคนิคมีความคมชัดเพิ่มมากขึ้น และมีวิธีการในการประมวลผลที่ไม่มีความซับซ้อนเป็นวิธีการที่ง่ายกว่าเทคนิคอื่น และภาพที่ได้จากการประมวลผลของเทคนิคในการแก้ปัญหภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีสัญญาณรบกวน มีคุณภาพที่ดีพอที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดโดยเฉพาะงานด้านสืบสวนของเจ้าหน้าที่ตำรวจ หรืองานด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง

ด้วยวิธีการเทคนิค IB-T มีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี และเป็นวิธีการเพิ่มความละเอียดและความคมชัดของภาพเท่านั้น ยังไม่ได้มีการวัดหรือเปรียบเทียบคุณภาพของภาพในเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่มีการเน้นขอบภาพ และการเบลอภาพ เป็นสิ่งที่ผู้วิจัยจะทำการวิจัยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Yongseol, K. Dohyeong, P. Junhwi and K. Dowoo, "Conditional effects of open-street closed-circuit television (CCTV) on crime: A case from Korea," International Journal of Law, Crime and Justice, Vol. 53, 2018, pp. 9-24.
- [2] L. Duanshun, C. Anran and G. Shuai, "Sewer damage detection from imbalanced CCTV inspection data using deep convolutional neural networks with hierarchical classification," Automation in Construction, Vol. 101, 2019, pp. 199-208.
- [3] H. Li, Y. Gao, J. Dong and G. Feng, "Super-Resolution Based on Noise Resistance Deep Convolutional Network," Proc. Proceedings of the 2018 6th International Conference on Bioinformatics and Computational Biology, Chengdu, China, 2018, pp. 12-19.
- [4] P.Suganya, S.Gayathri and N. Mohanapriya, "Survey on Image Enhancement Techniques". International Journal of Computer Applications Technology and Research, Vol. 2, No. 5, 2013, pp. 623-627.
- [5] S. Bedi and R. khandelwal, "Various Image Enhancement Techniques-A Critical Review," International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 2, No. 3, 2013, pp. 510-524.
- [6] R.B. Arif, M.M.R. Khan and M.A.B. Siddique, "Digital Image Enhancement in Matlab: An Overview on Histogram Equalization and Specification," 2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET), 2018, pp. 1-6.
- [7] S. Chen, "A new image quality measure for assessment of histogram equalization-based contrast Enhancement," Digital Signal Process, 2012, pp. 640-647.
- [8] Q. Su, Y. Niu, Q. Wang and G. Sheng, "A blind color image watermarking based on DC component in the spatial domain," Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 124, 2013, pp. 6255-6260.
- [9] A.K. Bhandari, V. Soni, A. Kumar and G.K. Singh, "Cuckoo search algorithm based satellite image contrast and brightness enhancement using DWT-SVD," ISA Transactions, Vol. 53, 2014, pp. 1286-1296.
- [10] G.B. Iwasokun and O.C. Akinyokun, "Image Enhancement Methods: A Review," British Journal of Mathematics & Computer Science, Vol. 4, No. 16, 2014, pp. 2251-2277.

- [11] A. Tanchenko, "Visual-PSNR measure of image quality," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 25, 2014, pp. 874-878.
- [12] H. Alain and Z. Djemel, "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM," *ICPR*, 2010, pp. 2366-2369.
- [13] M. Motmaen, M. Mohrekesh, M. Akbari, N. Karimi and S. Samavi, "Image Inpainting by Hyperbolic Selection of Pixels for Two-Dimensional Bicubic Interpolations," *Electrical Engineering (ICEE), Iranian Conference*, Mashhad, 2018, pp. 665-669.
- [14] W. Dong, L. Zhang, G. Shi and X. Wu, "Image deblurring and Super-resolution by Adaptive Sparse Domain Selection and Adaptive Regularization," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 20, No. 7, July, 2012, pp. 1838-7857.
- [15] C. Dong, C.C. Loy, K. He and X. Tang, "Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 38, No. 2, 2016, pp. 295-307.
- [16] Programmersought, Digital image processing common data set resources [Online], 2016, Available: <http://www.programmersought.com/article/7373391357/> [January 6, 2019].