การกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบในภาพดิจิทัลโดยใช้การปรับปรุงตัวกรองน็อทช์
Removal of Periodic Noise in Digital Images Using an Improved Notch Filter

นลินนิภา อาจหาญ[1*] และ ชัยพร ปานยินดี[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Nalinnipa Arthan[1*] and Chaiyaporn Panyindee[1]

[1]Department of Computer Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Corresponding Author Email : 1641010541105@rmutr.ac.th

Received 18 July 2025

Revised 01 October 2025

Accepted 27 November 2025

บทคัดย่อ

การกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบในภาพดิจิทัลเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพ งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ตัวกรองน็อทช์ (Notch Filter) ที่ได้รับการปรับปรุงร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filtering) ในรูปทรงเรขาคณิต ได้แก่ รูปวงกลม รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปห้าเหลี่ยม และรูปดาวสี่แฉก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ โดยใช้ภาพมาตรฐาน Lena.tif, Baboon.tif และ Jet.tiff ที่มีสัญญาณรบกวนแนวทแยงขวาในการทดสอบประสิทธิภาพ สำหรับการประเมินผลจะใช้ตัวชี้วัด 2 ตัว ได้แก่ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal-to-Noise Ratio: PSNR) ผลการทดสอบสำหรับภาพ Lena.tif แสดงว่ารูปห้าเหลี่ยมและดาวสี่แฉกสามารถเพิ่มค่า PSNR ได้สูงกว่าตัวกรองน็อทช์แบบดั้งเดิมถึง 5.12 และ 5.11 dB ตามลำดับ ส่วนวงกลม สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยมก็เพิ่มค่า PSNR ประมาณ 4.68-4.88 dB สำหรับภาพ Baboon.tif ตัวกรองน็อทช์แบบดั้งเดิมยังให้ผลดีที่สุด การใช้รูปทรงเรขาคณิตทุกรูปกลับทำให้ค่า PSNR ลดลง 0.94-1.39 dB แสดงว่าเนื้อหาและสัญญาณรบกวนของภาพนี้ไม่สอดคล้องกับรูปทรงเรขาคณิตเหล่านี้ ส่วนภาพ Jet.tiff รูปห้าเหลี่ยมสามารถเพิ่ม PSNR มากกว่า 5 dB เมื่อเทียบกับตัวกรองน็อทช์เดิม งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นแนวทางใหม่ในการออกแบบตัวกรองในโดเมนความถี่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดสัญญาณรบกวนแบบคาบและรักษาคุณภาพของภาพดิจิทัลได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ, ตัวกรองน็อทช์, การกรองความถี่สูงผ่าน

Abstract

Periodic Noise Removal in digital images is an important process that affects image quality. This research proposes the use of an improved Notch Filter combined with High Pass Filtering in geometric shapes, namely circles, triangles, squares, pentagons, and four-pointed stars, to improve

the efficiency of Periodic Noise Removal. Standard images Lena.tif, Baboon.tif, and Jet.tiff with diagonal noise were used to evaluate performance. Two metrics were applied: Mean Squared Error (MSE) and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). The results indicated that for Lena.tif, the pentagon and four-pointed star increased PSNR by 5.12 dB and 5.11 dB, respectively, compared to the original Notch Filter, while circle, square, and triangle increased PSNR by 4.68-4.88 dB. For Baboon.tif, the original Notch Filter yielded the best performance; all geometric shapes decreased PSNR by 0.94-1.39 dB, indicating that the image content and noise pattern did not align with these shapes. For Jet.tiff, the pentagon increased PSNR by more than 5 dB. This study presented a new approach to frequency-domain filter design to effectively reduce periodic noise while preserving digital image quality.

Keywords: Periodic Noise Removal, Notch Filter, High Pass Filtering

1. บทนำ

ในการประมวลผลภาพดิจิทัล คุณภาพของภาพถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ การแยกแยะคุณลักษณะ และการตีความข้อมูล อย่างไรก็ตาม ภาพที่ได้จากกระบวนการเก็บข้อมูลมักมีความผิดเพี้ยนจากสัญญาณรบกวน (Noise) ที่แทรกเข้ามาในระหว่างการรับภาพ การแปลงสัญญาณ หรือจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของภาพลดลง และอาจนำไปสู่ข้อผิดพลาดในการประมวลผลหรือวิเคราะห์ข้อมูลภาพ

สัญญาณรบกวนแบบคาบ (Periodic Noise) เป็นหนึ่งในรูปแบบรบกวนที่มักพบในภาพดิจิทัล ไม่ว่าจะเป็นภาพทางการแพทย์ ภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพเชิงอุตสาหกรรม โดยมีลักษณะเฉพาะคือเกิดซ้ำเป็นคาบด้วยความถี่ที่แน่นอน มักปรากฏเป็นลวดลายหรือลายเส้นที่เกิดซ้ำอย่างสม่ำเสมอในเชิงพื้นที่ สาเหตุของสัญญาณรบกวนลักษณะนี้มักเกิดจากการแทรกสัญญาณของระบบไฟฟ้า เช่น ความถี่ 50/60 เฮิรตซ์ การสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ หรือความไม่เสถียรของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในระบบรับภาพ เนื่องจากสัญญาณรบกวนแบบคาบมีลักษณะเด่นในเชิงความถี่ การตรวจจับและลดทอนสัญญาณรบกวนชนิดนี้จึงมักดำเนินการใน โดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยอาศัย การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform: DFT) ซึ่งช่วยให้สามารถสังเกตเห็นตำแหน่งของความถี่รบกวนบนสเปกตรัมในรูปของจุดที่มีค่าสูงสุดที่มีขนาดสเปกตรัมสูงผิดปกติ ซึ่งมักกระจายอย่างสมมาตรรอบจุดศูนย์กลางของสเปกตรัม [1], [2] ลักษณะนี้มักถูกเรียกว่า องค์ประกอบลักษณะรูปดาว (Star-like Components) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของสัญญาณรบกวนแบบคาบที่ถูกอธิบายไว้อย่างชัดเจนในงานของ Gonzalez และ Woods [1] รวมถึง Jain [2] และ Pratt [3] ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนากลยุทธ์การกรองบนโดเมนความถี่ จากนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้ เทคนิคการกรองแบบ Notch Filter หรือ Band-Reject Filter เพื่อลดหรือกำจัดความถี่เหล่านั้น และแปลงกลับสู่ภาพในโดเมนเชิงพื้นที่

ก่อนการพัฒนาเทคนิคสมัยใหม่ที่ซับซ้อน งานวิจัยของ Al Hudhud และ Turner [4] ได้เสนอการใช้ Median Filtering เฉพาะบริเวณรอบจุดที่มีค่าสูงสุดในสเปกตรัมความถี่ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียข้อมูลสำคัญของภาพ วิธีการนี้ช่วยลดสัญญาณรบกวนในขณะที่ยังรักษารายละเอียดของภาพไว้ในระดับหนึ่ง และถือเป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดการ

กรองเฉพาะพื้นที่ความถี่ที่มีสัญญาณรบกวน ต่อมางานวิจัยของ Aizenberg, Butakoff และคณะ [5] ได้เสนอวิธีการตรวจจับจุดที่มีค่าสูงสุดในสเปกตรัมความถี่โดยใช้ค่ามัธยฐาน (Local Median) รอบบริเวณนั้น แทนการใช้เกณฑ์ค่าคงที่ (Fixed Threshold) เทคนิคนี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการแยกสัญญาณรบกวนแบบคาบออกจากองค์ประกอบสำคัญของภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากแนวคิดนี้ Aizenberg และ Butakoff [6] ได้นำไปพัฒนาเป็น Windowed Gaussian Notch Filter (WGNF) ซึ่งใช้การตรวจจับตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดผ่าน Local Median ร่วมกับตัวกรอง Gaussian Notch ที่จำกัดขนาดด้วยหน้าต่าง (Windowing) เทคนิคนี้สามารถลดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งยังรักษารายละเอียดของภาพต้นฉบับไว้ได้เป็นอย่างดี หลังจากนั้น Moallem และ Behnampour [7] ได้เสนอ Adaptive Optimum Notch Filter ที่ไม่ต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ล่วงหน้า และสามารถตรวจจับความถี่รบกวนได้อย่างแม่นยำโดยอัตโนมัติจากสเปกตรัมภาพ วิธีนี้ช่วยลดภาระการปรับแต่งและเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลอย่างมาก ในปี 2020 Varghese และคณะ [8] ได้พัฒนา Adaptive Gaussian Notch Filter (AGNF) ที่สามารถปรับขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของตัวกรองน็อทซ์ได้โดยอัตโนมัติตามลักษณะสัญญาณรบกวนในแต่ละภาพ วิธีนี้สามารถจัดการกับสัญญาณรบกวนประเภท Quasi-periodic และ Moiré Pattern ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมยังคงรักษาความคมชัดและรายละเอียดพื้นผิวของภาพไว้อย่างดี งานวิจัยสมัยใหม่หลายชิ้นได้ต่อยอดแนวคิดนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นของตัวกรองในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย หนึ่งในนั้นคืองานวิจัยของ Fu และคณะ [9] ได้นำแนวคิดตัวกรองน็อทซ์มาปรับใช้กับข้อมูล Synthetic Aperture Radar (SAR) โดยใช้กระบวนการ Segmentation ร่วมกับ Low-rank Sparse Decomposition เพื่อลดการรบกวนของสัญญาณวิทยุ (RFI) แนวทางนี้สนับสนุนแนวคิด “ตัวกรองเฉพาะพื้นที่” ของ WGNF และ AGNF โดยเน้นการรักษาโครงสร้างสัญญาณสำคัญของภาพไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมางานวิจัยของ Praveena และคณะ [10] ที่เสนอการใช้ AGNF ร่วมกับ Curvelet Transform เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบในภาพ MRI โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการรบกวนทางไฟฟ้าหรือแม่เหล็ก เทคนิคนี้ช่วยระบุพื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนและปรับขนาดหน้าต่างของตัวกรองตามขนาดค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่ ทำให้ผลลัพธ์การลดสัญญาณรบกวนดีกว่า AGNF แบบเดิมที่ใช้ Fourier Transform ในขณะเดียวกัน นอกจากนี้ งานวิจัยล่าสุดของ [11] ได้นำเทคนิค Deep Learning เช่น Restormer และ NAFNet มาประยุกต์เพื่อลดสัญญาณรบกวนแบบคาบในภาพการสแกนอินฟราเรดความละเอียดสูง โดยแปลงข้อมูลเป็นสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficients) ก่อนใช้โมเดลประมวลผลและลดสัญญาณรบกวนแม้วิธีการนี้เป็น End-to-end Learning แต่สามารถใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกรองน็อทซ์แบบเรขาคณิตได้ชัดเจน และยังชี้ให้เห็นว่าการออกแบบตัวกรองน็อทซ์อย่างระมัดระวังยังคงมีข้อดีด้านความอธิบายง่ายและไม่ต้องปรับแต่งโมเดล

บทความนี้นำเสนอการตรวจจับและลดสัญญาณรบกวนแบบคาบในภาพดิจิทัล โดยใช้พื้นฐานทฤษฎีของตัวกรองน็อทซ์แบบดั้งเดิมร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่านแบบเฉพาะพื้นที่ในหลายรูปแบบ เช่น รูปวงกลม รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปห้าเหลี่ยม และรูปดาวสี่แฉก เป็นต้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดสัญญาณรบกวนแบบคาบได้อย่างมีนัยสำคัญ

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 ศึกษาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวน ตัวกรอง และขั้นตอนวิธีการกรองสัญญาณรบกวนแบบคาบ

2.2 เขียนโปรแกรม ทดสอบ ปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง

การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง [12] เป็นเทคนิคที่สำคัญในการประมวลผลภาพ ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์และจัดการกับสัญญาณในโดเมนความถี่ได้ โดยการแปลงฟูเรียร์นี้ เป็นการแปลงข้อมูลจากโดเมนพื้นที่ เข้าสู่โดเมนความถี่ ทำให้สามารถมองเห็นและแยกแยะองค์ประกอบของสัญญาณในเชิงความถี่ได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

สมการของการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง สำหรับสัญญาณ 2 มิติสามารถเขียนได้ดังนี้

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)exp\left[-2\pi i\frac{xu}{M}+\frac{yv}{N}\right] \quad (1)$$

โดยที่ F(u,v) คือ การแปลงฟูเรียร์ 2 มิติของภาพ

f(x,y) คือ ค่าพิกเซลที่ตำแหน่ง (x,y)

M คือ จำนวนพิกเซลในแนวนอน

N คือ จำนวนพิกเซลในแนวตั้ง

u คือ ดัชนีเชิงความถี่ในแนวแกน x ของโดเมนฟูเรียร์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le u \le M-1$

v คือ ดัชนีเชิงความถี่ในแนวแกน y ของโดเมนฟูเรียร์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le u \le N-1$

x คือ ตำแหน่งเชิงพิกัดในแนวแกน x ของภาพ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le u \le M-1$

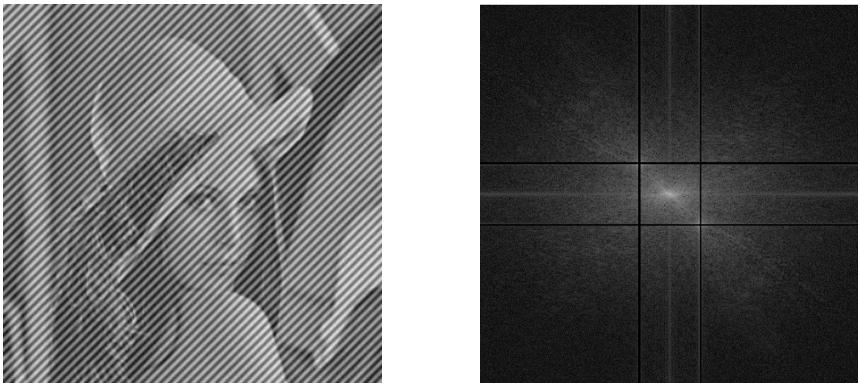
y คือ ตำแหน่งเชิงพิกัดในแนวแกน y ของภาพ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le u \le N-1$

i คือ หน่วยจินตภาพทางคณิตศาสตร์ โดยมีคุณสมบัติว่า $i^2 = -1$

สำหรับการแปลงกลับของการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Inverse DFT) มีสมการดังนี้

$$f(x,y) = \frac{1}{MN}\sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1} F(u,v)exp\left[2\pi i\frac{xu}{M}+\frac{yv}{N}\right] \quad (2)$$

ตัวอย่างการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่องสำหรับสัญญาณ 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 1



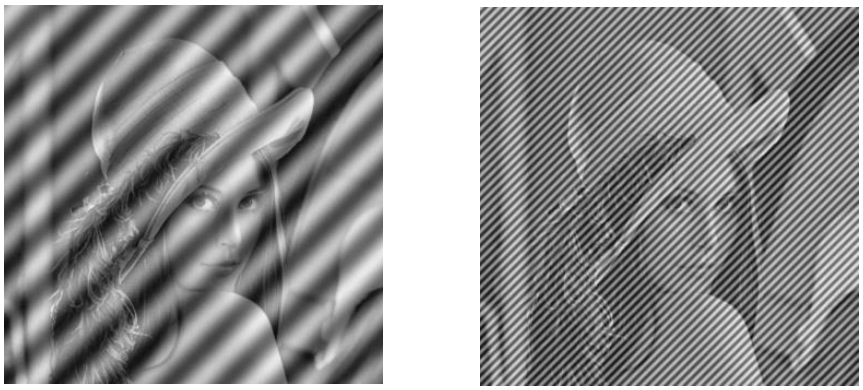
(ก) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนแบบคาบ (ข) การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 1 การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง สำหรับสัญญาณ 2 มิติ

การแปลงฟูเรียร์จะช่วยให้เห็นสัญญาณรบกวนที่มีความถี่เฉพาะเจาะจง ซึ่งสามารถนำไปสู่การสร้างตัวกรองที่เหมาะสมในการกำจัดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการประมวลผล ดังนั้น การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) จึงเป็นทางเลือกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณ การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง และทำให้สามารถประมวลผลภาพขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

3.2 สัญญาณรบกวนแบบคาบ

สัญญาณรบกวนแบบคาบ [12] เป็นสัญญาณรบกวนที่ปรากฏในรูปภาพที่มีลักษณะเป็นแถบคลื่นเหนือภาพ มีความถี่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2 การมีสัญญาณรบกวนแบบคาบในภาพทำให้บางส่วนของภาพหายไป ส่งผลให้ตีความหมายหรือเข้าใจภาพลดลง การกำจัดสัญญาณรบกวนแบบนี้มักใช้เทคนิคการกรอง เช่น ตัวกรองตัดแถบความถี่ ตัวกรองน็อทช์ เป็นต้น



(ก) แถบคลื่นขนาดใหญ่ (ข) แถบคลื่นขนาดเล็ก

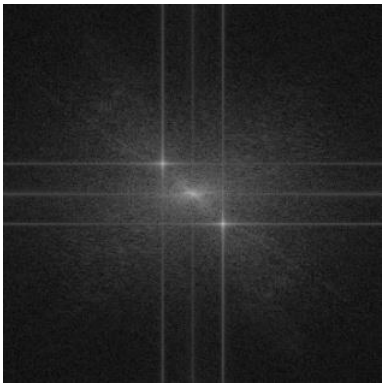
รูปที่ 2 ภาพ Lena.tif ที่มีสัญญาณรบกวนแบบคาบ

3.3 ตัวกรองตัดแถบความถี่

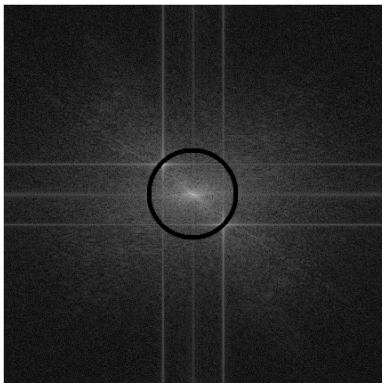
ตัวกรองตัดแถบความถี่ [12] เป็นเทคนิคที่ใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีช่วงความถี่เจาะจงออกจากภาพ โดยจะตัดสัญญาณที่อยู่ในแถบความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป ในขณะที่สัญญาณที่มีความถี่อื่น ๆ ยังคงถูกเก็บไว้ มีลักษณะเป็นวงแหวน ซึ่งขนาดของวงแหวนมีผลต่อรายละเอียดของภาพ ถ้าวงแหวนมีขนาดที่ใหญ่เกินไปอาจจะกำจัดสัญญาณได้น้อย แต่ถ้าวงแหวนมีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้สูญเสียรายละเอียดของภาพ การใช้งานตัวกรองตัดแถบความถี่นั้นมีข้อดีและข้อเสียที่ควรพิจารณา ข้อดีหลักคือการสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่เฉพาะเจาะจงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพและความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างดี ในทางกลับกัน ข้อเสียที่สำคัญของตัวกรองตัดแถบความถี่ คือการสูญเสียรายละเอียดที่อาจเกิดขึ้นในภาพ เนื่องจากการตัดความถี่ที่ไม่ต้องการอาจทำให้ข้อมูลบางอย่างที่อยู่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ถูกตัดออกนั้นสูญหายไป ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3 สังเกตรูป (ค) มีการครอบภาพโดยใช้ตัวกรองตัดแถบความถี่ รูป (ง) แสดงผลลัพธ์หลังการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ สังเกตว่าผลลัพธ์ภาพ (ง) ชัดเจนขึ้นเมื่อเทียบกับภาพ (ก) แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงพบสัญญาณรบกวนบริเวณรอบนอกจำนวนมาก



(ก) ภาพ Lena.tif ที่มีสัญญาณรบกวนแบบคาบ



(ข) การแปลงฟูเรียร์ของภาพที่มีสัญญาณรบกวน



(ค) การกำจัดสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่



(ง) ภาพที่ได้หลังจากกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว

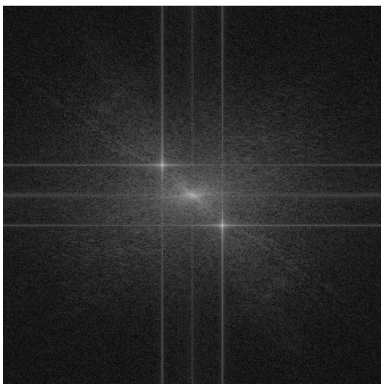
รูปที่ 3 การใช้ตัวกรองตัดแถบความถี่ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ

3.4 ตัวกรองน็อทช์

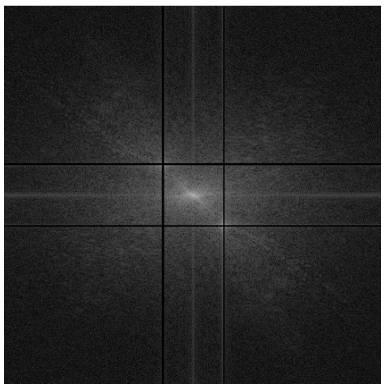
ตัวกรองน็อทช์ [12] เป็นตัวกรองที่ออกแบบมาเพื่อลบสัญญาณรบกวนที่มีความถี่เฉพาะเจาะจง โดยตัวกรองนี้จะตัดเฉพาะความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป ในขณะที่รักษาความถี่อื่น ๆ ไว้ ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงมาก มีลักษณะเป็นเส้นทึบสีดำ ซึ่งขนาดของเส้นทึบสีดำมีผลต่อรายละเอียดของภาพ ถ้าเส้นทึบมีขนาดเล็กเกินไปอาจจะกำจัดสัญญาณได้น้อย แต่ถ้าเส้นทึบมีขนาดที่ใหญ่เกินไปอาจทำให้รายละเอียดของภาพบางส่วนสูญหาย ตัวกรองน็อทช์ มีข้อดีที่สำคัญคือ สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่เฉพาะเจาะจงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวกรองนี้สามารถช่วยให้ได้ภาพที่มีคุณภาพสูงขึ้น แม้ว่า ตัวกรองน็อทช์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่เฉพาะ แต่การใช้งานยังมีข้อควรระวัง เช่น การสูญเสียรายละเอียดในภาพที่อยู่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ถูกตัดออก อาจเกิดปัญหาในกรณีที่มีความถี่ที่สำคัญซึ่งอยู่ใกล้กับความถี่ที่ถูกตัดออก ทำให้ข้อมูลบางส่วนสูญหายไปและส่งผลต่อการวิเคราะห์ภาพโดยรวม ตัวอย่างการใช้ตัวกรองน็อทช์ดังแสดงในรูปที่ 4 (ค) และผลลัพธ์แสดงดังรูป (ง) เห็นได้ชัดว่ากำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบถูกกำจัดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของการใช้ตัวกรองตัดแถบความถี่



(ก) ภาพ Lena.tif ที่มีสัญญาณรบกวนแบบคาบ



(ข) การแปลงฟูเรียร์ของภาพที่มีสัญญาณรบกวน



(ค) การกำจัดสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่



(ง) ภาพที่ได้หลังจากกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว

รูปที่ 4 การใช้ตัวกรองน็อทซ์ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ

3.5 การกรองความถี่สูงผ่าน

การกรองความถี่สูงผ่าน [12] เป็นเทคนิคที่สำคัญในการประมวลผลภาพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการเพิ่มความคมชัดของรายละเอียดในภาพ โดยเฉพาะรายละเอียดที่มีความถี่สูง เช่น ขอบหรือเส้นที่อยู่ในภาพ เทคนิคนี้จะช่วยลดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ต่ำออกไป ทำให้สามารถเน้นรายละเอียดที่สำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ

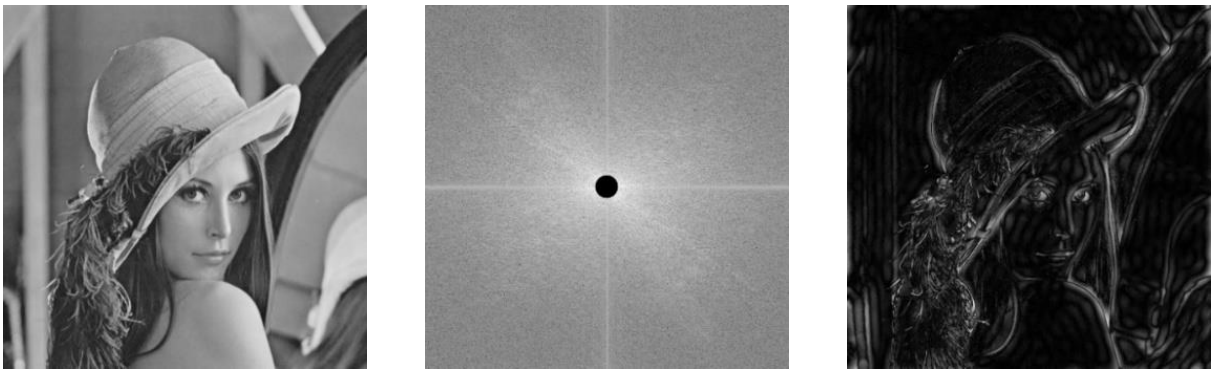
หลักการทำงานของการกรองความถี่สูงผ่านเริ่มต้นด้วยการแปลงภาพจากโดเมนพื้นที่ ไปยังโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงฟูเรียร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์สัญญาณในรูปแบบความถี่ได้ เมื่อแปลงภาพเข้าสู่โดเมนความถี่ จะพบว่าในโดเมนนี้มีข้อมูลความถี่ที่เกี่ยวข้องกับภาพอยู่ 2 ส่วนสำคัญ กล่าวคือ โดยความถี่ต่ำมักจะอยู่ใกล้ศูนย์กลางหรือใกล้คือ สัมประสิทธิ์ดีกรี DC ในขณะที่ข้อมูลความถี่สูงจะอยู่ไกลออกไปจากสัมประสิทธิ์ดีกรี DC ขั้นตอนถัดไปคือการสร้างหน้ากาก (Mask) สำหรับการกรองความถี่สูงผ่าน โดยหน้ากากนี้จะมีค่าที่กำหนดให้กับความถี่ที่ต้องการให้ส่งผ่าน และตัดออกสำหรับความถี่ที่ไม่ต้องการ การสร้างหน้ากากนี้ สามารถเขียนสมการ (3) ได้ดังนี้

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 \; if(u,v) \;\; D(u,v) < D_0 \\ 1 \; if(u,v) \;\; D(u,v) \;\geq\; D_0 \end{cases} \tag{3}$$

โดยที่ D(u,v) คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางในโดเมนความถี่

D_0 คือ ค่าคงที่ที่กำหนดระยะห่างที่ใช้ในการตัดความถี่ต่ำออก

เมื่อสร้างหน้ากากเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการนำหน้ากากไปใช้กับสัญญาณในโดเมนความถี่ โดยการคอนโวลูชันค่าของสัญญาณในโดเมนความถี่กับหน้ากาก ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณที่มีเฉพาะความถี่สูงที่ต้องการและความถี่ต่ำจะถูกตัดออกไปดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) จากนั้นต้องทำการแปลงกลับเข้าสู่โดเมนพื้นที่ โดยการใช้การแปลงฟูเรียร์แบบย้อนกลับ (Inverse Fourier Transform) เพื่อให้ได้ภาพที่มีการเน้นขอบรายละเอียด อย่างไรก็ตาม การกรองความถี่สูงผ่าน ก็มีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่น อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในภาพมากขึ้นหรือข้อมูลบางอย่างที่สำคัญถูกตัดออกไปในกระบวนการกรองนี้ ดังนั้นการเลือกใช้ค่าของ D_0 และการสร้างหน้ากาก จึงต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการประมวลผลภาพ



(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่องที่กรองผ่านความถี่สูงผ่าน (ค) ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 5 การกรองความถี่สูงผ่าน

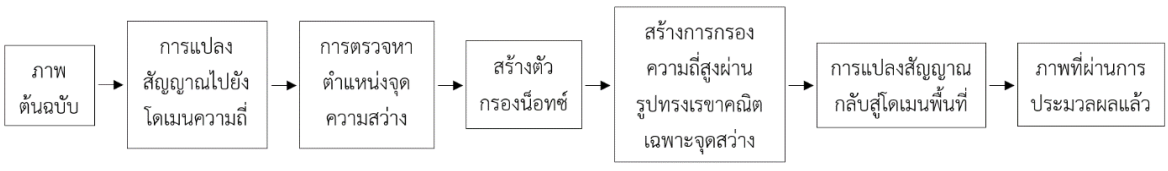
4. การดำเนินการวิจัย

การกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบเป็นเทคนิคที่ใช้ในงานประมวลผลภาพเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะซ้ำแบบเดิม สามารถทำได้บนพื้นฐานการใช้ตัวกรองตัดแถบความถี่และตัวกรองน็อทช์ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีลักษณะและวิธีการประมวลผลที่แตกต่างกัน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะสัญญาณรบกวนที่ต้องการกำจัด ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการปรับปรุงตัวกรองน็อทช์ โดยเริ่มต้นจากการแปลงภาพเข้าสู่โดเมนความถี่ ผ่านการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อทำการแปลงภาพเข้าสู่ โดเมนความถี่แล้ว สัญญาณรบกวนแบบคาบจะปรากฏเป็นเส้นสว่างหรือจุดสว่างในสเปกตรัมความถี่ของภาพ ซึ่งเป็นจุดที่สามารถระบุตำแหน่งได้ชัดเจน การใช้ตัวกรองน็อทช์ในการปิดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นลักษณะที่เป็นเส้นจะช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนได้อย่างแม่นยำโดยไม่ทำลายส่วนอื่น ๆ ของภาพ

สำหรับการปรับปรุงตัวกรองน็อทช์โดยเลือกใช้วิธีการกรองความถี่สูงผ่านเฉพาะจุดที่สว่างช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสัญญาณรบกวน

4.1 ขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ

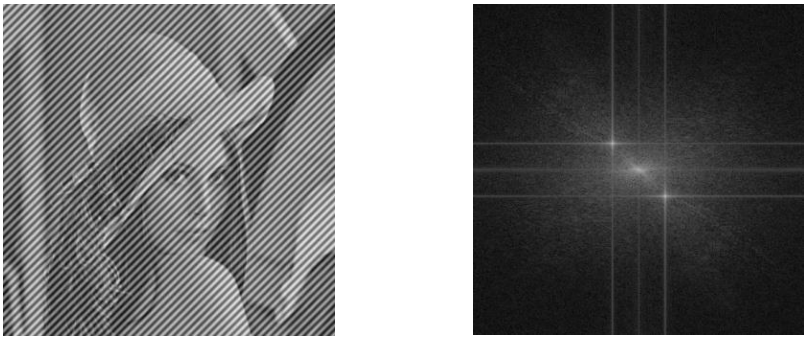
ภาพรวมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบของวิธีการที่นำเสนอดังแสดงในรูปที่ 6 สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 6 ขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ

4.1.1 การแปลงสัญญาณไปยังโดเมนความถี่

ขั้นแรกของการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบคือ การแปลงภาพจากโดเมนพื้นที่ไปยังโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง การแปลงนี้จะทำให้สามารถมองเห็นส่วนประกอบความถี่ของภาพได้ ทำให้สามารถระบุตำแหน่งของสัญญาณรบกวนแบบคาบในโดเมนความถี่ได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7

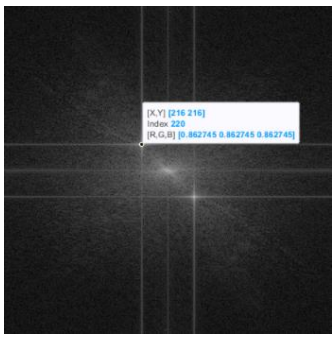


(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 7 การแปลงสัญญาณไปยังโดเมนความถี่

4.1.2 การตรวจหาตำแหน่งจุดความสว่าง

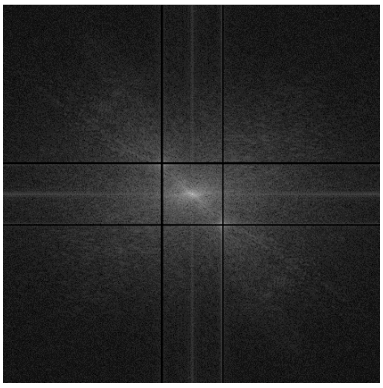
เมื่อแปลงภาพไปยังโดเมนความถี่แล้ว จุดสว่างที่เกิดขึ้นบนสเปกตรัมฟูเรียร์ มักจะเป็นตำแหน่งของสัญญาณรบกวนแบบคาบ จุดเหล่านี้คือความถี่ที่คาดว่าจะเป็นสัญญาณรบกวน ซึ่งจำเป็นต้องถูกกรองออกในการประมวลผลต่อไป การหาตำแหน่งของจุดสว่างเหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งานคือการใช้ เครื่องมือ Data Tips ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งของพิกเซลที่สนใจได้โดยตรงจากภาพสเปกตรัมฟูเรียร์ ภาพที่ได้จะแสดงสเปกตรัมของความถี่โดยที่จุดสว่างที่เด่นชัดในภาพนี้มักเป็นสัญญาณรบกวนที่ต้องการกำจัดออกไป เมื่อเปิดภาพแล้ว สามารถใช้เครื่องมือ Data Tips เพื่อระบุตำแหน่งของจุดสว่างได้โดยเลือกที่ Tools และเลือก Data Tips จากแถบเครื่องมือ (Figure Toolbar) จากนั้นคลิกที่จุดสว่างที่ต้องการในภาพ จะแสดงค่าพิกัดของจุดนั้นขึ้นมาโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นค่าของพิกเซลในแกน x, y ของภาพ ดังแสดงตามรูปที่ 8 ข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการใช้ Data Tips จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการสร้างตัวกรองน็อทช์ เพื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่เฉพาะจุด โดยการใช้วิธีการนี้ทำให้สามารถเลือกจุดที่เป็นปัญหาได้ตามต้องการ นอกจากนี้ การใช้ Data Tips ยังช่วยให้สามารถเลือกตำแหน่งของจุดสว่างได้แม่นยำขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนที่ไม่ได้มีความเข้มสูงสุดแต่ยังคงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพ



รูปที่ 8 การหาตำแหน่งของจุดสว่าง ด้วยเครื่องมือ Data Tips

4.1.3 การสร้างตัวกรองน็อทช์

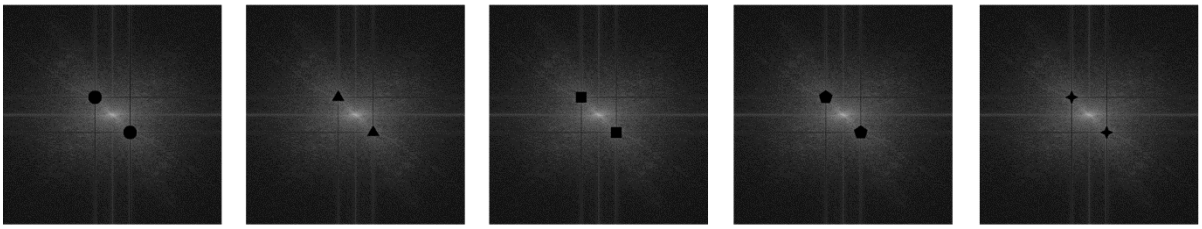
ตัวกรองน็อทช์ เป็นตัวกรองที่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดความถี่เฉพาะที่ไม่พึงประสงค์ออกไปจากภาพ โดยตัวกรองนี้จะกำจัดความถี่ที่พบในจุดสว่างที่ตรวจพบจากขั้นตอนที่ 4.1.2 การสร้างตัวกรองน็อทช์ ดังแสดงตามรูปที่ 9ต้องทำให้ตัวกรองสามารถครอบคลุมความถี่ที่มีสัญญาณรบกวนแบบคาบได้ทั้งหมด โดยต้องระวังไม่ให้กระทบกับความถี่อื่น ๆ ที่มีข้อมูลสำคัญในภาพ



รูปที่ 9 การสร้างตัวกรองน็อทช์

4.1.4 การสร้างการกรองความถี่สูงผ่านรูปทรงเรขาคณิต

หลังจากที่ได้ดำเนินการสร้างตัวกรองน็อทช์เพื่อกำจัดความถี่เฉพาะที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งตรวจพบจากจุดสว่างในโดเมนความถี่ตามขั้นตอนที่ 4.1.2 แล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวน โดยการสร้างการกรองความถี่สูงผ่าน ซึ่งมีหน้าที่หลักในการแยกความถี่สูงที่มักเกิดจากรายละเอียดหรือสัญญาณรบกวนในภาพออกจากความถี่ต่ำที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างหลักของภาพ รูปแบบของการสร้างการกรองความถี่สูงผ่านถูกออกแบบในหลากหลายรูปทรงเรขาคณิต ได้แก่ รูปวงกลม รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปห้าเหลี่ยม และรูปดาวสี่แฉก โดย ทุกรูปทรงใช้ขนาด 30 × 30 พิกเซล (30 px × 30 px) การปรับปรุงตัวกรองน็อทช์ร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่านรูปทรงเรขาคณิต แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 10



(ก) รูปวงกลม (ข) รูปสามเหลี่ยม (ค) รูปสี่เหลี่ยม (ง) รูปห้าเหลี่ยม (จ) รูปดาวสี่แฉก

รูปที่ 10 การปรับปรุงตัวกรองน็อทช์ร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่านรูปทรงเรขาคณิต

4.1.5. การแปลงสัญญาณกลับสู่โดเมนพื้นที่

หลังจากที่ได้ทำการกรองความถี่ที่ไม่พึงประสงค์ออกจากโดเมนความถี่แล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงภาพกลับจากโดเมนความถี่มายังโดเมนพื้นที่ ด้วยการแปลงฟูเรียร์ผกผัน เพื่อให้ได้ภาพที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบแล้ว ภาพที่ได้ควรมีคุณภาพดีขึ้น มีสัญญาณรบกวนลดลง พร้อมทั้งยังคงรักษารายละเอียดสำคัญไว้ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การแปลงสัญญาณกลับสู่โดเมนพื้นที่ของตัวกรองน็อทช์ร่วมกับการกรองความถี่รูปวงกลม

5. ผลการวิจัย

การกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบ ผู้วิจัยได้ใช้การปรับปรุง ตัวกรองน็อทช์ (Notch Filter) ร่วมกับ การกรองความถี่สูงผ่าน เลือกใช้รูปภาพมาตรฐาน Lena.tif [13], Baboon.tif [14] และ Jet.tiff [14] ที่เป็นมาตรฐานที่เป็นที่นิยมในงานวิจัยเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ และใช้สัญญาณรบกวนแนวทแยงขวา นอกจากนี้ การกรองความถี่สูงผ่านสามารถแบ่งออกเป็นหลายแบบ ได้แก่ รูปวงกลม รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปห้าเหลี่ยม และ รูปดาวสี่แฉก แต่ละรูปแบบของการกรองมีลักษณะเฉพาะที่ส่งผลต่อวิธีการกรองสัญญาณรบกวนในภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการแยกความถี่ของสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลที่สำคัญในภาพ ผู้วิจัยใช้ค่าอัตราส่วนสัญญาณสูงสุดต่อสัญญาณรบกวน (Peak Signal-to-Noise Ratio: PSNR) และ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) ในการวัดค่าความผิดพลาดระหว่างรูปภาพต้นฉบับและรูปภาพที่ผ่านการประมวลผลที่ใช้การปรับปรุงตัวกรองน็อทช์ร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่าน

MSE เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างพิกเซลในรูปภาพต้นฉบับและพิกเซลในรูปภาพที่ผ่านการประมวลผล โดยคำนวณจากค่าความแตกต่างระหว่างพิกเซลในแต่ละตำแหน่งของทั้งสองรูปภาพแล้วทำการเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(I_{OI}(i) - I_{PI}(i))^2 \quad (4)$$

โดยที่ N คือ จำนวนพิกเซลในภาพ

$I_{OI}(i)$ คือ ค่าสีของพิกเซลที่ตำแหน่ง i ในรูปภาพต้นฉบับ

$I_{PI}(i)$ คือ ค่าสีของพิกเซลที่ตำแหน่ง i ในรูปภาพที่ผ่านการประมวลผล

PSNR เป็นการวัดคุณภาพของภาพที่มีสัญญาณรบกวน โดยคำนวณจากค่า MSE ที่ได้ เพื่อหาค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างรูปภาพต้นฉบับกับรูปภาพที่ผ่านการประมวลผล สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$PSNR = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{R^2}{MSE}\right) \quad (5)$$

โดยที่ R คือ ค่าสูงสุดของพิกเซลในภาพ

MSE คือ ค่าที่คำนวณได้จากสมการ (4)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการกรองสัญญาณรบกวนแบบคาบของรูปภาพ Lena.tif [13]

รูปแบบ	MSE	PSNR(dB)
ตัวกรองตัดแถบความถี่	616.12	20.23 dB
ตัวกรองน็อตช์	311.43	23.20 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปวงกลม	101.08	28.08 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปสามเหลี่ยม	105.99	27.88 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปสี่เหลี่ยม	103.31	27.99 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปห้าเหลี่ยม	95.64	28.32 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปดาวสี่แฉก	96.04	28.31 dB

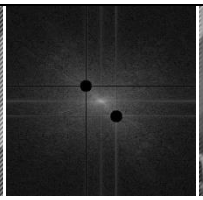
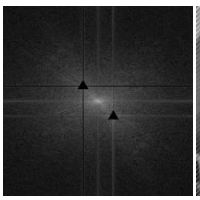
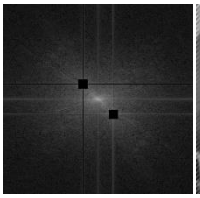
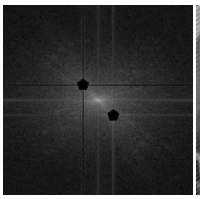
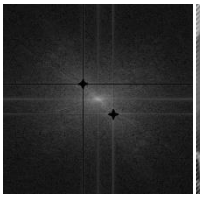
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการกรองสัญญาณรบกวนแบบคาบของรูปภาพ Baboon.tif [14]

รูปแบบ	MSE	PSNR(dB)
ตัวกรองตัดแถบความถี่	761.84	19.31 dB
ตัวกรองน็อตช์	554.45	20.69 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปวงกลม	731.85	19.49 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปสามเหลี่ยม	764.07	19.30 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปสี่เหลี่ยม	719.31	19.56 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปห้าเหลี่ยม	761.65	19.31 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปดาวสี่แฉก	688.45	19.75 dB

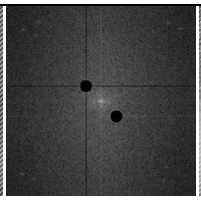
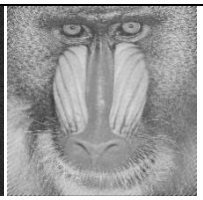
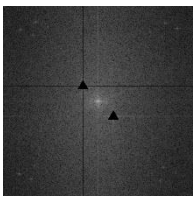
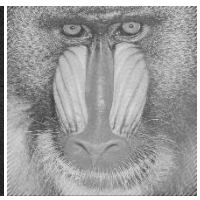
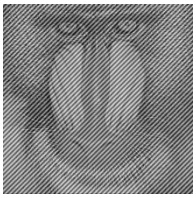
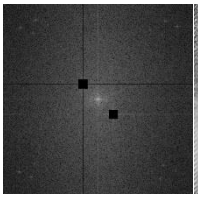
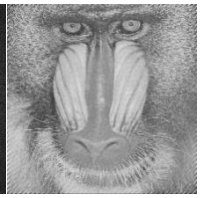
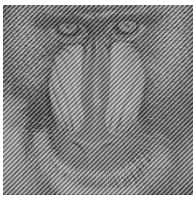
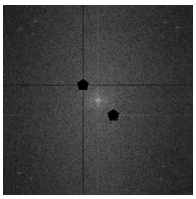
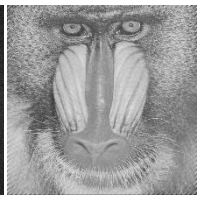
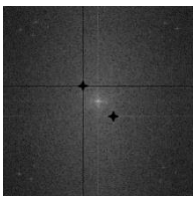
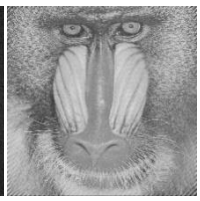
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการกรองสัญญาณรบกวนแบบคาบของรูปภาพ Jet.tiff [14]

รูปแบบ	MSE	PSNR(dB)
ตัวกรองตัดแถบความถี่	1548.44	16.23 dB
ตัวกรองน็อตช์	469.02	21.42 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปวงกลม	138.08	26.73 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปสามเหลี่ยม	145.05	26.52 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปสี่เหลี่ยม	140.89	26.64 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปห้าเหลี่ยม	131.26	26.95 dB
ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปดาวสี่แฉก	142.30	26.60 dB

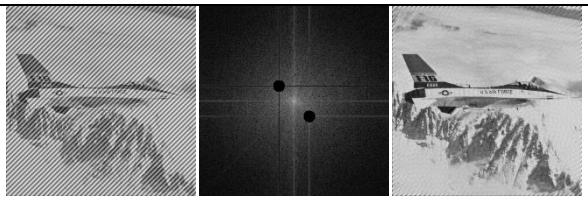
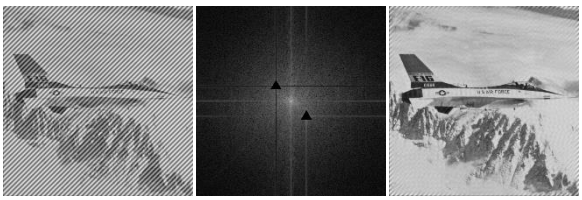
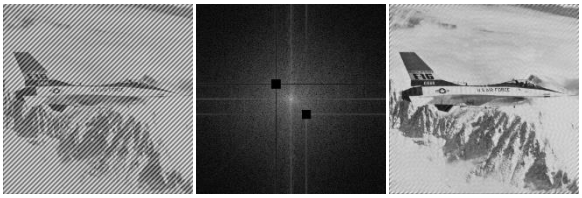
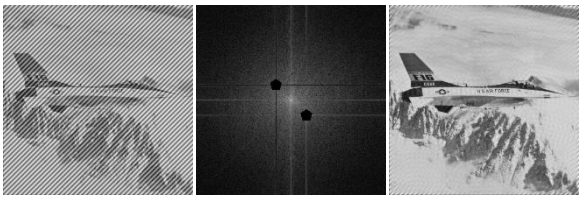
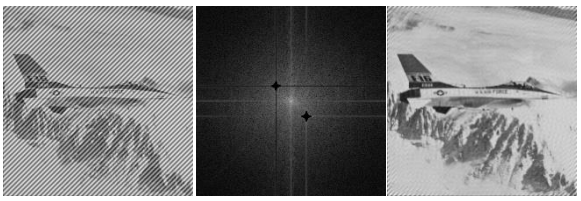
ตารางที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของรูปภาพ Lena.tif [13] ในแนวแนวทแยงขวา

รูปทรงเรขาคณิต	**Input**	**DFT**	**Output**	**MSE**	**PSNR(dB)**
รูปวงกลม				101.08	28.08 dB
รูปสามเหลี่ยม				105.99	27.88 dB
รูปสี่เหลี่ยม				103.31	27.99 dB
รูปห้าเหลี่ยม				95.64	28.32 dB
รูปดาวสี่แฉก				96.04	28.31 dB

ตารางที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของรูปภาพ Baboon.tif [14] ในแนวแนวทแยงขวา

รูปทรงเรขาคณิต	**Input**	**DFT**	**Output**	**MSE**	**PSNR(dB)**
รูปวงกลม				731.85	19.49 dB
รูปสามเหลี่ยม				764.07	19.30 dB
รูปสี่เหลี่ยม				719.31	19.56 dB
รูปห้าเหลี่ยม				761.65	19.31 dB
รูปดาวสี่แฉก				688.45	19.75 dB

ตารางที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพของรูปภาพ Jet.tiff [14] ในแนวแนวทแยงขวา

รูปทรงเรขาคณิต	Input	DFT	Output	MSE	PSNR(dB)
รูปวงกลม				138.08	26.73 dB
รูปสามเหลี่ยม				145.05	26.52 dB
รูปสี่เหลี่ยม				140.89	26.64 dB
รูปห้าเหลี่ยม				131.26	26.95 dB
รูปดาวสี่แฉก				142.30	26.60 dB

จากข้อมูลในตารางที่ 1 ตัวกรองตัดแถบความถี่ให้ค่า PSNR ต่ำสุดที่ 20.23 dB ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ต่ำ ตัวกรองน็อทช์แบบดั้งเดิมทำได้ดีกว่ามาก โดยมี PSNR เท่ากับ 23.20 dB แต่ยังมีข้อจำกัดในการลดสัญญาณรบกวนแบบคาบอย่างเต็มที่ เมื่อปรับปรุงตัวกรองน็อทช์ร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่านรูปทรงเรขาคณิต พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะรูปห้าเหลี่ยมและดาวสี่แฉกที่ให้ค่า PSNR เพิ่มขึ้นจากตัวกรองน็อทช์แบบดั้งเดิมถึงประมาณ 5.12 dB และ 5.11 dB ตามลำดับ นอกจากนี้ รูปวงกลม สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม ก็ให้ค่า PSNR เพิ่มขึ้นจากตัวกรองน็อทช์แบบดั้งเดิมประมาณ 4.68-4.88 dB ซึ่งบ่งชี้ถึงการปรับปรุงที่มีนัยสำคัญในคุณภาพภาพหลังการกรอง ผลการทดสอบในตารางที่ 2 ตัวกรองตัดแถบความถี่ให้ค่า PSNR ต่ำสุดที่ 19.31 dB ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ต่ำ ตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมสามารถทำได้ดีกว่า โดยให้ค่า PSNR เท่ากับ 20.69 dB ซึ่งสูงกว่าตัวกรองตัดแถบความถี่ประมาณ 1.38 dB อย่างไรก็ตาม เมื่อปรับปรุงตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปทรงเรขาคณิต พบว่าโดยรวมแล้วผลลัพธ์กลับ

ไม่ดีกว่าตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิม โดยรูปดาวสี่แฉกให้ค่า PSNR สูงสุดแต่ก็ยังต่ำกว่าตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมอยู่ประมาณ 0.94 dB เช่นเดียวกับรูปวงกลมและรูปสี่เหลี่ยมที่มีค่า PSNR ต่ำกว่าตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมราว 1.13 - 1.20 dB ส่วนรูปสามเหลี่ยมและรูปห้าเหลี่ยมให้ค่า PSNR ใกล้เคียงกับตัวกรองตัดแถบความถี่แต่ยังต่ำกว่าตัวกรองน็อตช์ดั้งเดิมถึง 1.38-1.39 dB แสดงให้เห็นว่า สำหรับภาพ Baboon.tif การปรับปรุงตัวกรองน็อตช์ด้วยรูปทรงเรขาคณิตไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลดสัญญาณรบกวนแบบคาบ และตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าชัดเจน ผลการทดสอบในตารางที่ 3 ขณะที่ตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมสามารถทำได้ดีกว่าตัวกรองตัดแถบความถี่ โดยมีค่า PSNR เท่ากับ 21.42 dB สูงขึ้นประมาณ 5.19 dB แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อปรับปรุงตัวกรองน็อตช์ร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่านรูปทรงเรขาคณิต พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยรูปห้าเหลี่ยมให้ผลดีที่สุด ซึ่งสูงกว่าตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมถึง 5.53 dB ขณะที่รูปวงกลม สี่เหลี่ยม และดาวสี่แฉกก็ให้ค่า PSNR สูงกว่าตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมประมาณ 5.18-5.31 dB ส่วนรูปสามเหลี่ยมได้ค่า PSNR ยังคงดีกว่าตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมถึง 5.10 dB ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า สำหรับภาพ Jet.tiff การใช้ตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปทรงเรขาคณิตช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการใช้รูปห้าเหลี่ยมที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ผลการทดสอบใน ตารางที่ 4 ซึ่งใช้ภาพ Lena.tif ที่มีสัญญาณรบกวนในแนวทแยงขวา ยังคงสอดคล้องกับผลในตารางที่ 1 โดยรูปห้าเหลี่ยมและดาวสี่แฉกยังคงเป็นรูปทรงที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด รองลงมาคือรูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยม และรูปสามเหลี่ยมตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าการเลือกใช้รูปทรงเรขาคณิตสำหรับตัวกรองสามารถปรับให้เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิผล ผลการทดสอบใน ตารางที่ 5 ซึ่งใช้ภาพ Baboon.tif ที่มีสัญญาณรบกวนในแนวทแยงขวา สอดคล้องกับผลในตารางที่ 2 โดยรูปดาวสี่แฉกและรูปสี่เหลี่ยมยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด รองลงมาคือรูปวงกลม ส่วนรูปสามเหลี่ยมและห้าเหลี่ยมมีค่า PSNR ต่ำกว่าเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าภาพ Baboon ซึ่งมีรายละเอียดซับซ้อน ยังคงตอบสนองต่อรูปทรงที่ช่วยลดสัญญาณรบกวนได้แตกต่างจากภาพอื่น ๆ ผลการทดสอบใน ตารางที่ 6 ซึ่งใช้ภาพ Jet.tiff ที่มีสัญญาณรบกวนในแนวทแยงขวา สอดคล้องกับผลในตารางที่ 3 โดยรูปห้าเหลี่ยมให้ค่า PSNR สูงสุด รองลงมาคือรูปวงกลมและรูปสี่เหลี่ยม ส่วนรูปสามเหลี่ยมและดาวสี่แฉกมีค่า PSNR ต่ำกว่าเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการปรับใช้รูปทรงเรขาคณิตสามารถช่วยให้ตัวกรองลดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ในทิศทางรบกวนเฉพาะเช่นแนวทแยงขวา

6. สรุป

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและวิเคราะห์เทคนิคการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคาบในภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและความแม่นยำในการประมวลผลภาพ โดยใช้ภาพมาตรฐาน Lena.tif [13], Baboon.tif [14] และ Jet.tiff [14] เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกรองในโดเมนความถี่ ได้แก่ ตัวกรองตัดแถบความถี่ ตัวกรองน็อทช์และการปรับปรุงตัวกรองน็อทช์ร่วมกับการกรองความถี่สูงผ่านในรูปทรงเรขาคณิต เช่น รูปวงกลม รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปห้าเหลี่ยม และรูปดาวสี่แฉก ผลการทดสอบ สำหรับภาพ Lena.tif ตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมสามารถลดสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้นจากตัวกรองตัดแถบความถี่ แต่การปรับปรุงร่วมกับรูปทรงเรขาคณิตให้ผลดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะรูปห้าเหลี่ยมและดาวสี่แฉกที่สามารถเพิ่มค่า PSNR ได้มากกว่า 5 dB เมื่อเทียบกับตัวกรองน็อทช์แบบดั้งเดิม นอกจากนี้ รูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยม และรูปสามเหลี่ยม ก็ให้ค่า PSNR เพิ่มขึ้นจากตัวกรองน็อทช์แบบดั้งเดิมในช่วงประมาณ 4.68-4.88 dB ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการรักษารายละเอียดและคุณภาพของภาพได้ดีเช่นกัน สำหรับภาพ Baboon.tif ตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่า PSNR 20.69 dB ซึ่งสูงกว่าตัวกรองน็อตช์ร่วมกับรูปทรงเรขาคณิตทุกรูปทรง เช่น วงกลม, สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม, ห้าเหลี่ยม และดาวสี่แฉก ซึ่งให้ค่า PSNR ต่ำกว่าตัวกรองน็อตช์เดิมประมาณ 0.94-1.39 dB แสดงว่าการใช้รูปทรงเรขาคณิตไม่ได้ช่วยปรับปรุงการลดสัญญาณรบกวนสำหรับภาพนี้ แต่กลับทำให้ประสิทธิภาพลดลง สะท้อนว่าลักษณะเนื้อหาภาพและ

สัญญาณรบกวน ของภาพ Baboon.tif ซับซ้อนและไม่สอดคล้องกับรูปแบบเรขาคณิตที่ใช้ ดังนั้นการใช้รูปทรงเรขาคณิตจึงอาจเหมาะกับภาพบางประเภทเท่านั้น สำหรับภาพ Jet.tiff ตัวกรองน็อตช์แบบดั้งเดิมมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวกรองตัดแถบความถี่ การปรับปรุงร่วมกับรูปทรงเรขาคณิตสามารถเพิ่มค่า PSNR ได้มากกว่า 5 dB โดยเฉพาะรูปห้าเหลี่ยมที่ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือวงกลมและสี่เหลี่ยม ส่วนดาวสี่แฉกและสามเหลี่ยมก็เพิ่มค่า PSNR ได้ประมาณ 5.1-5.18 dB แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้รูปทรงเรขาคณิตที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวกรองได้อย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การเลือกและออกแบบรูปแบบตัวกรองในโดเมนความถี่ให้เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณรบกวน รวมถึงขนาดของรูปทรงเรขาคณิต มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการกำจัดสัญญาณรบกวนและคุณภาพของภาพที่ผ่านการประมวลผล ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การนำรูปทรงเรขาคณิตอื่น ๆ มาทดสอบปรับปรุงร่วมกับตัวกรองน็อทช์ เพื่อหาความเหมาะสมและประสิทธิภาพสูงสุดในการกรองสัญญาณรบกวนแบบคาบ เนื่องจากการปรับแต่งรูปทรงตัวกรองให้สอดคล้องกับลักษณะของสัญญาณรบกวนอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองและรักษาคุณภาพของภาพได้ดียิ่งขึ้น

7.2 การพิจารณาเวลาในการประมวลผล การนำเวลาในการประมวลผลมาใช้เป็นเกณฑ์การประเมิน เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ใช้การวัดประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ตลอดระยะเวลาการทำวิจัยชิ้นนี้ เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี การสนับสนุนและการช่วยเหลือถือเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ช่วยให้งานวิจัยนี้บรรลุเป้าหมายตามที่ตั้งใจไว้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4th ed. NJ, USA: Pearson, 2018. [Online]. Available: https://www.cl72.org/090imagePLib/books/Gonzales,Woods-Digital.Image.Processing.4th.Edition.pdf

[2] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, NJ, USA: Prentice Hall, 1989. [Online]. Available: http://ultra.sdk.free.fr/docs/DxO/Fundamentals%20of%20Digital%20Image%20Processing.pdf

[3] W. K. Pratt, *Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside*, 4th ed. NJ, USA: Wiley-Interscience, 2007. [Online]. Available: https://pdfcoffee.com/digital-image-processing-4th-edition-william-k-pratt-5-pdf-free.html

[4] G. A. Al-Hudhud and M. Turner, “Digital removal of power frequency artifacts using a fourier-space median filter,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, no. 8, pp. 573–576, Aug. 2005, doi: 10.1109/LSP.2005.851257.

[5] I. Aizenberg and C. Butakoff, “Frequency domain median-like filter for periodic and quasi-periodic noise removal,” in *Proc. SPIE 4667, Image Processing: Algorithms and Systems*, San Jose, CA, USA, 2002, doi: 10.1117/12.467980.

[6] I. Aizenberg and C. Butakoff, “A windowed Gaussian notch filter for quasi-periodic noise removal,” *Image and Vision Computing*, vol. 26, no. 10, pp. 1347–1353, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.imavis.2007.08.011.

[7] P. Moallem and M. Behnampour, “Adaptive optimum notch filter for periodic noise reduction in digital images,” *Amirkabir International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 42, no. 1, pp. 1–9, Apr. 2010. [Online]. Available: https://eej.aut.ac.ir/article_94_befd8a642325852c3a0d41ece10b3feb.pdf

[8] J. Varghese, S. Subhash, K. Subramaniam, and K. P. Sridhar, “Adaptive Gaussian notch filter for removing periodic noise from digital images,” *IET Image Processing*, vol. 14, no. 8, pp. 1529–1538, May 2020, doi: 10.1049/iet-ipr.2018.5707.

[9] Z. Fu, H. Zhang, J. Zhao, N. Li, and F. Zheng, “A modified 2-D notch filter based on image segmentation for RFI mitigation in synthetic aperture radar,” *Remote Sens*ing, vol. 15, no. 3, 2023, Art. no. 846, doi: 10.3390/rs15030846.

[10] R. Praveena, S. Mary Cynthia, S. Jacily Jemila, and T. R. Ganesh Babu, “Image denoising by Curvelet Transform Based Adaptive Gaussian Notch Filter,” in *Proc. International Conference on Signal Processing and Computer Vision (SIPCOV-2023),* Silchar, Assam, India, pp. 391–400, Oct. 2024, doi: 10.2991/978-94-6463-529-4_35.

[11] B. Li, Y. Zhang, W. Chen, Y. Ma, and L. Li, “Neural network-based investigation of periodic noise reduction methods for high-resolution infrared line scanning images,” *Remote Sensing,* vol. 16, no. 5, 2024, Art. no. 841, doi: 10.3390/rs16050841.

[12] ชัยพร ปานยินดี, *การประมวลผลภาพดิจิทัล*, พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม: สำนักงานประชาสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 2566, หน้า 56–131. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: https://bundanjai-static.reeeed.com/book/cknu3iqqx1rrz0789utvb3aw9/preview/5522840170620PDF.pdf?supportedpurview=project

[13] Playboy Enterprises, Inc., Nov. 1972, “Lena test image,” Playboy Magazine. [Online]. Available: https://www.playboy.com/magazine/issues/1972/11/?srsltid=AfmBOorsx1mYC1VQt7krTvWyx8VaXGK2c8BNnhHxfHAN7qaiCppunH9N

[14] University of Southern California, Apr. 2025, *“*USC-SIPI Image Database*,”* [Online]. Available: http://sipi.usc.edu/database.