การกำจัดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่กว่าหนึ่งพิกเซลบนภาพเอกสาร

An Algorithm for Noise Removal in Binary Document Images

ผศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร. (662) 326-6100 ต่อ 2705
Email: kryuttha@kmitl.ac.th

กฤษณะ ชินสาร
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน ชลบุรี 20131
โทร.(6638) 745-900 ต่อ 3060-62
Email: krisana@docsavage.compsci.buu.ac.th

Asst. Prof. Dr. Yuttapong Rangsanseri
Department of Telecommunacation Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang.
Chalongkrung Rd, Ladkrabang Bangkok 10520
Tel. (662) 326-6100 ext 2705
Email: kryuttha@kmitl.ac.th

Krisana Chinnasarn
Department of Computer Science, Faculty of Science
Burapha University, Bangsaen Chonburi 20131
Tel (6638) 745-900 ext 3060-62
Email: krisana@docsavage.compsci.buu.ac.th

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปบนภาพเอกสารแบบไบนารีจะประกอบด้วยส่วนข้อความ (Text) และส่วนรูปภาพ (Graphics) สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพเรียกว่าสัญญาณรบกวนแบบเกลือและพริกไทย (Salt-and-pepper) หลักการที่เคยนำเสนอมาสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนประเภทนี้มีมากมาย ซึ่งบางวิธีเมื่อนำมาใช้แล้วจะทำให้สูญเสียคุณลักษณ์เดิมของภาพ หรือบางวิธีสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีแต่ต้องใช้การกระทำซ้ำของอัลกอริธึม ในรายงานวิจัยครั้งนี้จะได้นำเสนออัลกอริธึมสำหรับการกำจัดสัญญาณที่มีประสิทธิภาพโดยการประมวลผลจะเสร็จสมบูรณ์เพียงรอบเดียว ซึ่งได้พัฒนามาจากหลักการการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยอัลกอริธึม kFill [1][2][3][4] อัลกอริธึมที่นำเสนอในครั้งนี้จะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีแม้ว่าขนาดของกลุ่มสัญญาณรบกวนบนภาพจะมีความแตกต่างกัน

Abstract

Binary document image containing text and graphics components are usually acquired for computer processing purposes. Salt-and-pepper noise is a prevalent artifact in such image. Removing this noise usually requires iterative or multiple-pass processing, some techniques even cause distrotions in document components. In this paper, we purpose a single-pass noise removal algorithm that is developed from kFill algorithm [1][2][3][4]. Our algorithm can be removed noise of different size and shape that is smaller than the window size.

1. บทนำ

การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) เป็นการประมวลผลขั้นต้นของการประมวลผลภาพ (Preprocessing) ที่จำเป็นขั้นตอนหนึ่ง ทั้งนี้เพราะการกำจัดสัญญาณรบกวนจะเป็นกระบวนการที่จะช่วยลดจำนวนจุดภาพที่ไม่พึงประสงค์ออกจากภาพเอกสารก่อนที่ขั้นตอนการประมวลผลภาพจะเกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วลักษณะของจุดภาพไม่พึงประสงค์ที่เกิดบนภาพเอกสารจะมีอยู่ 2 รูปแบบคือ จุดภาพดำถูกล้อมด้วยกลุ่มของจุดภาพขาวซึ่งเป็นภาพพื้นหลัง (Background) และ จุดภาพขาวไปอยู่ในกลุ่มจุดภาพดำซึ่งเป็นตัวเนื้อข้อมูลที่กำลังสนใจพิจารณาในการประมวลผลภาพ (Object) ซึ่งการเกิดของจุดภาพไม่พึงประสงค์ประเภทนี้จะทำให้เกิดเป็นช่องว่าง (Hole) ขึ้นในจุดภาพดำ ซึ่งบางครั้งเราจะเรียกว่าสัญญาณรบกวนแบบเกลือและพริกไทย (Salt-and-pepper noise)

2. มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์

มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ [4][5][6][7] เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับศึกษาโครงสร้างของภาพโดยใช้ทฤษฎีเซตเป็นเครื่องมือ ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้กับการกำจัดสัญญาณรบกวนอย่างแพร่หลาย ซึ่งแบ่งรูปแบบการประมวลผลออกเป็นอิรอชั่น ไดเลชั่น โอเพนนิง และ โคลสชิง ในขั้นตอนการประมวลผลของกระบวนการมอร์โฟโลยีจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเซตของจุดภาพเริ่มต้น กับเซตของเซตสตรักเจอร์อิลิเมนต์ (Structure Element : B)

- อิรอชั่น (Erosion) ใช้เครื่องหมาย (-) เป็นตัวโอปะเรเตอร์ เป็นกระบวนการลดจำนวนจุดภาพดำในภาพ

- ไดเลชั่น (Dilation) ใช้เครื่องหมาย (+) เป็นตัวโอปะเรเตอร์ เป็นกระบวนการเพิ่มจำนวนจุดภาพดำในภาพ

- โอเพนนิง (Opening) เป็นกระบวนการศึกษาโครงสร้างของภาพที่จะต้องทำงานควบคู่กันระหว่างการทำอิรอชั่น และไดเลชั่น โดยเริ่มจากกระบวนการลดจำนวนจุดภาพดำในภาพโดยการทำอิรอชั่น และจบการทำงานด้วยการเติมจุดภาพดำลงไปในภาพด้วยการทำไดเลชั่นให้เท่ากับจำนวนรอบของการทำอิรอชั่น

- โคลส์ซิง (Closing) เป็นกระบวนการศึกษาโครงสร้างของภาพที่จะต้องทำงานตรงกันข้ามกับกระบวนการโอเพนนิ่ง กล่าวคือ การทำงานจะเริ่มจากการเติมจุดภาพดำลงไปในภาพโดยใช้กระบวนการไดเลชั่น และจบการทำงานด้วยการลดจำนวนจุดภาพดำในภาพโดยการทำอิรอชั่นให้เท่ากับจำนวนครั้งของการทำไดเลชั่น

แต่จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การกำจัดสัญญาณรบกวนโดยมอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ยังไม่ครอบคลุมลักษณะของการเกิดสัญญาณรบกวนทั้ง 2 กรณีที่กล่าวมาตอนต้น ทั้งนี้เพราะ มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์จะทำการพิจารณาเฉพาะสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดภาพดำที่อยู่บนภาพพื้นหลังเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาสัญญาณรบกวนประเภทจุดภาพขาวที่อยู่บนกลุ่มของจุดภาพดำ จากปัญหาที่กล่าวมาทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มเติมพบว่าเราสามารถปรับปรุงผลลัพธ์จากกระบวนการทำโคลสซิง และโอเพนนิงได้ โดยการนำ 2 กระบวนการนี้ให้มาทำงานควบคู่กัน โดยขั้นใดจะเริ่มต้นทำก่อนก็ได้แล้วตามขั้นตอนที่เหลือ ในงานวิจัยนี้นำเสนอผลการทดลอง ซึ่งจะประกอบด้วยการทำโคลสซิง โอเพนนิง และบทประยุกต์

3. อัลกอริธึม kFill

kFill [1][2][3][4] เป็นอัลกอริธึมสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนบนภาพ ที่จะสามารถมาแก้ข้อด้อยของมอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ กล่าวคือในแต่ละรอบของการทำงานของอัลกอริธึมนี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การพิจารณาเติมจุดภาพดำ และการพิจารณาเติมจุดภาพขาว ในอัลกอริธึมนี้พารามิเตอร์ k คือขนาดของหน้าต่าง โดยพารามิเตอร์ k นี้จะเป็นตัวแปรที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ให้สอดคล้องเหมาะสมกับขนาดของตัวอักษรและขนาดสัญญาณรบกวน รวมทั้งความละเอียดของการสแกน พิจารณาในกรอบหน้าต่าง $k \times k$ จะแบ่งกลุ่มจุดภาพออกเป็น 2 ส่วน กลุ่มจุดภาพแกน (*Core*) จำนวน $(k-2)\times(k-2)$ และกลุ่มจุดภาพรอบข้าง (*Neighbor*) จำนวน $4(k-1)$ ในการพิจารณาเติมค่าจุดภาพจะเป็นการพิจารณาร่วมกันระหว่างจุดภาพแกนกับจุดภาพรอบข้าง โดยให้เป็นไปตามเงื่อนไข ดังนี้

- ถ้าจุดภาพแกนทุกจุดเป็นจุดภาพดำ (OFF) ให้พิจารณาเติมจุดภาพแกนเป็นจุดภาพขาว
- ถ้าจุดภาพแกนทุกจุดเป็นจุดภาพขาว (ON) ให้พิจารณาเติมจุดภาพแกนเป็นจุดภาพดำ

นอกจากเงื่อนไขของจุดภาพแกน ในการเติมแต่ละครั้งยังต้องพิจารณาถึงค่าของจุดภาพรอบข้างอีกด้วย โดยเงื่อนไขของจุดภาพรอบข้างจะเป็นไปตามสมการ

$$(c=1)and\{(n>3k-4)or[(n=3k-4)and(r=2)]\} \quad \ldots(1)$$

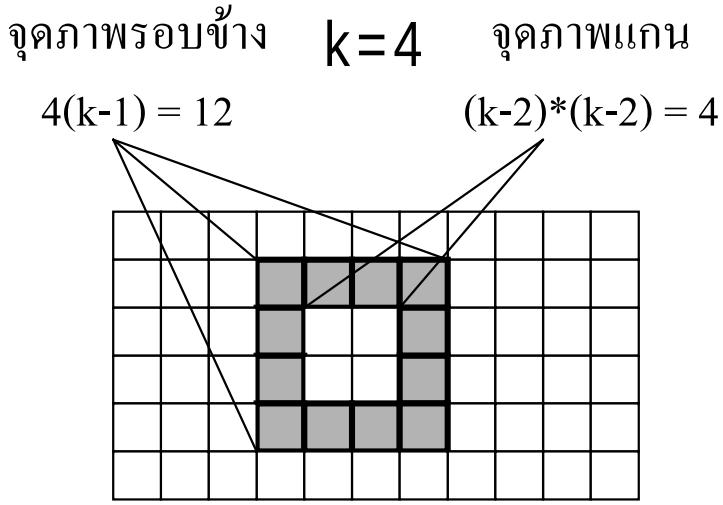
โดยถ้าเป็นการพิจารณาเติมจุดภาพแกนให้เป็นจุดภาพขาว ตัวแปรทั้ง 3 ของจุดภาพรอบข้างจะมีความหมายดังนี้

c คือ จำนวนความต่อเนื่องของจุดภาพขาวที่อยู่ในจุดรอบข้าง

n คือ จำนวนจุดภาพขาวทั้งหมดที่อยู่ในจุดรอบข้าง

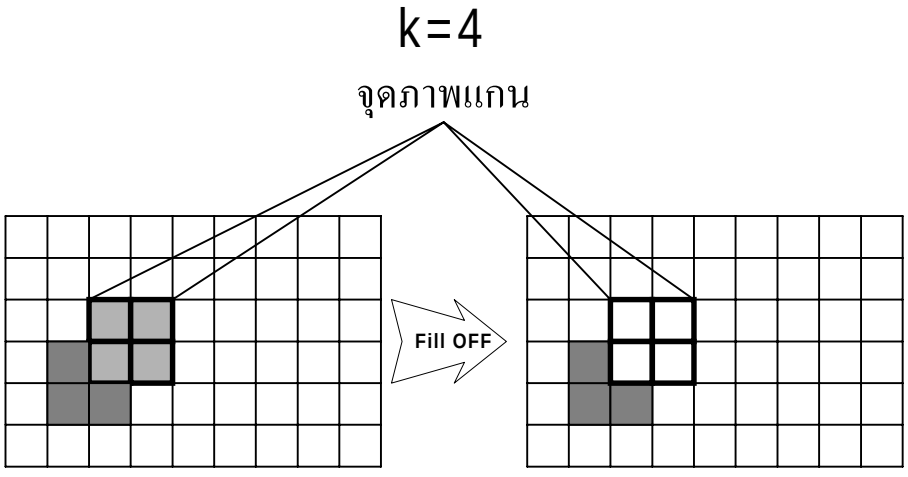
r คือ จำนวนจุดภาพขาวในตำแหน่งมุมทั้ง 4

แต่ถ้าเป็นการพิจารณาเติมจุดภาพแกนให้เป็นจุดภาพดำ ตัวแปรของจุดภาพรอบข้างทั้ง 3 ก็จะมีความหมายตรงข้ามจากกรณีที่กล่าวมา



ภาพที่ 1 ตำแหน่งจุดภาพเมื่อจะทำการแทนค่าด้วยอัลกอริธึม kFill

ความหมายของตัวแปรในจุดภาพรอบข้างแต่ละตัวจะอธิบายได้ดังนี้ n และ r จะเป็นตัวแปรที่จะเป็นไปตามขนาดของหน้าต่าง k โดยตัวแปร n จะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะบอกว่าควรจะเติมจุดภาพแกนเป็นกลุ่มจุดภาพประเภทใด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าจุดภาพแกนเป็นจุดภาพขาวทั้งหมด นั้นคือ ต้องพิจารณาเติมจุดภาพแกนเป็นจุดภาพดำ และถ้าจำนวนจุดภาพดำที่อยู่ในกลุ่มจุดภาพรอบข้างมากกว่า 3k-4 จุดภาพก็ควรจะเติมจุดภาพแกนเป็นจุดภาพดำ แต่ก็ยังเติมไม่ได้ในทันทียังต้องพิจารณาตัวแปร c ประกอบอีกหนึ่งตัว เพราะตัวแปร c จะเป็นตัวแปรสำหรับรักษาคุณสมบัติของวัตถุ 2 ชิ้นที่อยู่ใกล้กันเกิดการเชื่อมติดกัน หรืออีกกรณีหนึ่งก็คือไม่ทำให้วัตถุเกิดการแยกขาดจากกันภายหลักการเติมค่าจุดภาพลงไปในจุดภาพแกน

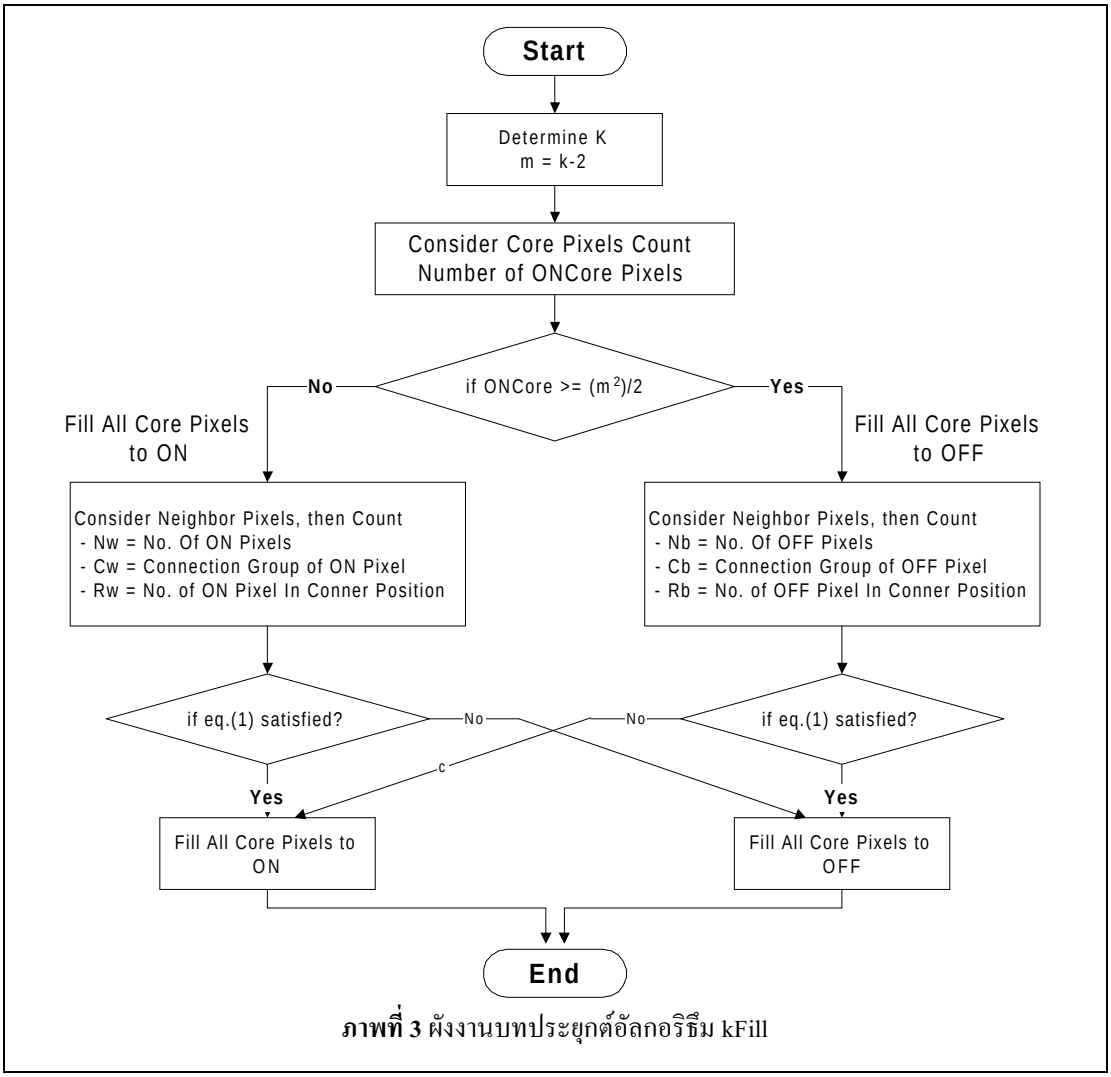


ภาพที่ 2 การพิจารณาเติมค่าจุดภาพแกนเป็นจุดภาพดำ และภาพผลลัพธ์ ด้วยอัลกอริธึม kFill

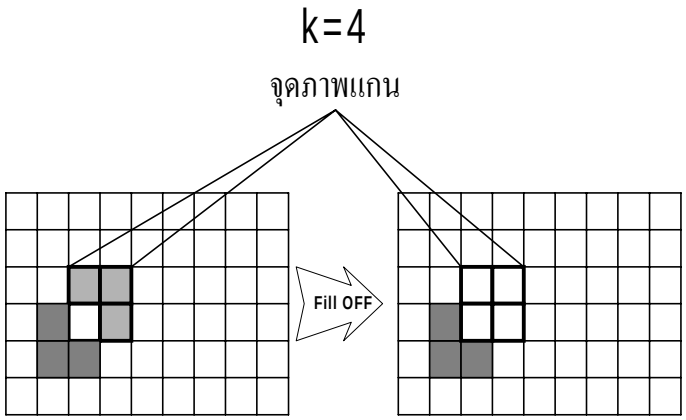
จากภาพที่ 2 จุดภาพแกนทุกจุดเป็นภาพดำ (OFF) ดังนั้นเราจะพิจารณาค่าจุดภาพแกนเป็นจุดภาพขาว (ON) เมื่อพิจารณาเงื่อนไขของจุดภาพขาวในตำแหน่งจุดภาพ รอบข้างพบว่า c=1 และ (n=9) > (3k-4)=8 เพราะฉะนั้นให้เติมจุดภาพแกนเป็นจุดภาพขาว

4. บทประยุกต์อัลกอริธึม kFill

จากหลักการของ kFill ที่ได้กล่าวมาพบว่า เมื่อขนาดของ k ใหญ่กว่า 3 x 3 จุดภาพ จะทำให้ขนาดของกลุ่มจุดภาพแกนมีขนาดตั้งแต่ 2 x 2 จุดภาพขึ้นไป ซึ่งจากหลักการเดิมการจะพิจารณาเติมค่าจุดภาพแกนนั้น ทุกๆ ตำแหน่งจุดภาพแกนต้องเป็นจุดภาพประเภทเดียวกัน ถ้ามีตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งแตกต่างจากจุดภาพส่วนใหญ่ กลุ่มของจุดภาพนั้นซึ่งอาจเป็นสัญญาณรบกวนก็จะไม่มีการพิจารณาเติมค่า จากการทดลองพบว่า ถ้ากำหนดให้ m=(k-2) และกำหนดเงื่อนไขจุดภาพแกนในการพิจารณาเติมค่า ถ้าในกลุ่มจุดภาพแกนถ้าเป็นจุดภาพประเภทเดียวกันอย่างน้อย (m*m)/2 จุดภาพ ให้ถือว่ากลุ่มจุดภาพแกนมีค่าเป็นไปตามค่าของจำนวนจุดภาพประเภทนั้น แล้วก็ใช้เงื่อนไขในการพิจารณาเติมค่าตามหลักการของ kFill ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3 การประยุกต์อัลกอริธึม kFill



ภาพที่ 3 ผังงานบทประยุกต์อัลกอริธึม kFill



ภาพที่ 4 การพิจารณาเติมค่าจุดภาพแกนเป็นจุดภาพดำ และภาพผลลัพธ์ โดยบทประยุกต์อัลกอริธึมที่นำเสนอในบทความ

จากภาพที่ 4 จำนวนจุดภาพแกนเป็นจุดภาพดำ (OFF) จำนวน 3 จุดภาพ ซึ่งมากกว่าครึ่งหนึ่งของจุดภาพแกนคือ (m*m)/2 จุดภาพ ดังนั้นเราจะพิจารณาค่าจุดภาพแกนเป็นจุดภาพขาว (ON) เมื่อพิจารณาเงื่อนไขของจุดภาพขาวในตำแหน่งจุดภาพ รอบข้างพบว่า c_w=1 และ (n_w=9)>(3k-4=8) เพราะฉะนั้นให้เติมจุดภาพแกนทุกจุดเป็นจุดภาพขาว

5. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองสร้างภาพจากสแกนเนอร์เป็นภาพไบนารี รายละเอียดการสแกน 300 จุดต่อนิ้ว ใช้โปรแกรม PaintBrush เพื่อทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนในภาพให้มีขนาดที่แตกต่างกัน แล้วนำภาพไปประมวลผลด้วยอัลกอริธึมในการกำจัดสัญญาณรบกวน ประกอบด้วย มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ อัลกอริธึม kFill และ การประยุกต์ของอัลกอริธึม kFill ซึ่งปรากฏผลการทดลอง ดังนี้

จากภาพที่ 5 (ก) เป็นภาพตัวหนังสือเริ่มต้น และ (ข) เป็นภาพตัวหนังสือที่เพิ่มสัญญาณรบกวน ปรากฏผลการทดลองการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ ในภาพที่ 6 โดยภาพ (ก) (ข) (ค) (ง) (จ) และ (ฉ) เป็นผลการทดลองจากการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ ในภาพ (ช) (ซ) และ (ฌ) เป็นผลการทดลองด้วยอัลกอริธึม kFill มาตรฐาน ส่วนในภาพ (ญ) และ (ฎ) เป็นผลการทดลองด้วยบทประยุกต์ของอัลกอริธึม kFill ที่นำเสนอใหม่ในบทความนี้

เมื่อพิจารณาภาพผลการทดลอง การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยมอร์โฟโลยี การที่จะให้ได้ภาพเอกสารที่มีคุณภาพดำนั้น ภาพ (จ) และ (ฉ) ต้องกระบวนการในการทำงานถึง 4 ขั้นตอน เช่นในภาพ (จ) ต้องใช้ขั้นตอนในการทำงานดังนี้ อิรอชั่น ไดเลชั่น ไดเลชั่น และอิรอชั่น ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาภาพผลการทดลอง เปรียบเทียบกันระหว่างการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยอัลกอริธึม kFill มาตรฐาน [1][2][3][4] กับบทประยุกต์ของอัลกอริธึม kFill ที่นำเสนอในบทความนี้ เนื่องจากว่าขนาดของกลุ่มสัญญาณรบกวน โดยส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่กว่า 1 จุดภาพ ดังนั้น ขนาดของ k=3 จะไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปได้ จำเป็นต้องกำหนดให้ขนาดของ $k \geq 4$ จุดภาพ ผลการทดลองปรากฏว่า หลักการที่นำเสนอสามารถให้ภาพผลลัพธ์ที่ดีกว่าหลักการ kFill มาตรฐานอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งพิจารณาได้จากภาพ (ซ) (ฌ) (ญ) และ (ฎ) ประกอบ ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าโอกาสที่สัญญาณรบกวนจะมีเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด $(k-2)\,x\,(k-2)$ นั้นเป็นไปได้ยากมาก นั้นคือ บทประยุกต์ของอัลกอริธึม kFill ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงมีความเหมาะสม ยืดหยุ่น และให้ผลลัพธ์ภาพ-เอกสารที่มีคุณภาพดีกว่าวิธีอื่น

(ก). ตัวอย่างภาพที่สแกนด้วยความละเอียด 300 dpi

(ข). ตัวอย่างภาพภายหลังจากการเพิ่มสัญญาณรบกวน

ภาพที่ 5 ภาพเริ่มต้นสำหรับการทดลอง

ก. อีรอชั่น

ข. ไดเลชั่น

ค. โอเพนนิง

ง. โคลส์ซิง

จ. โอเพนนิง-โคลส์ซิง

ฉ. โคลส์ซิง-โอเพนนิง

ช. kFill มาตรฐาน k=3

ซ. kFill มาตรฐาน k=4

ฌ. kFill มาตรฐาน k=5

ญ. บทประยุกต์ kFill เมื่อ k=4

ฎ. บทประยุกต์ kFill เมื่อ k=5

ภาพที่ 6 ภาพผลลัพธ์ของการกำจัดสัญญาณโดยวิธีต่างๆ

6. สรุปผล

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เสนอวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 จุดภาพ โดยใช้มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ อัลกอริธึม kFill และหลักการใหม่ที่เป็นบทประยุกต์ของอัลกอริธึม kFill ซึ่งปรากฏผลการทดลองที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ในกระบวนการการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ การที่จะทำให้ได้ภาพที่จะสามารถนำไปประมวลผลอย่างอื่นต่อไปได้นั้น ต้องใช้การกระทำซ้ำกับภาพถึง 4 ครั้ง (4 Iteration) ยกตัวอย่างเช่น ผลการทดลองในภาพที่ 6 (จ) จะประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานคือ อิรอชั่น-ไดเลชั่น-ไดเลชั่น-อิรอชั่น เป็นต้น

ส่วนการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยอัลกอริธึม kFill โดยหลักการอัลกอริธึมนี้เหมาะสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ โดยขนาดของ k จะแปรตามขนาดของสัญญาณรบกวน และความละเอียดของการสแกน เนื่องจากอัลกอริธึมนี้จะช่วยรักษาคุณสมบัติเดิมของกลุ่มจุดภาพที่กำลังพิจารณาเติมค่า กล่าวคือ เมื่อพิจารณาเติมค่าลงไปแล้ว จะไม่ทำให้ตัวหนังสือ 2 ตัวที่อยู่ใกล้กันรวมกัน หรือไม่ทำให้ตัวหนังสือตัวหนึ่งตัวใดแยกออกเป็น 2 กลุ่ม จากหลักการของอัลกอริธึม kFill มาตรฐาน การพิจารณาเติมค่ากลุ่มจุดภาพแกนนั้น ต้องพิจารณาจุดภาพแกนทุกจุดให้ครบตามจำนวน $(k-2)\,x\,(k-2)$ จุดภาพ แต่โอกาสที่จุดภาพแกนทุกจุดจะเป็นจุดภาพประเภทเดียวกันนั้นเป็นไปได้ยากมา นั้นคือ สำหรับจุดภาพแกนที่เป็นสัญญาณรบกวนแต่มีขนาดไม่เท่ากับ $(k-2)\,x\,(k-2)$ จุดภาพ ก็จะไม่ได้รับการพิจารณาให้เติมค่าจุดภาพ ดังแสดงในผลการทดลอง ภาพที่ 6 (ซ) และ (ฌ) ซึ่งกำหนดขนาดของ $k=4$ และ $k=5$ ตามลำดับ

ในบทความนี้ได้นำเสนอการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยการประยุกต์อัลกอริธึม kFill สำหรับสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่กว่า 1 จุดภาพ โดยการเลือกพิจารณาจุดภาพแกนจำนวนอย่างน้อย $m^2/2$ จุดภาพ เมื่อ $m=k-2$ ซึ่งจากผลการทดลอง ในภาพที่ 6 (ญ) และ (ฎ) ซึ่งกำหนดขนาดของ $k=4$ และ $k=5$ ตามลำดับ พบว่าหลักการที่นำเสนอจะให้ภาพผลลัพธ์ที่ดีกว่าการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้มอร์โฟโลยีทางคณิตศาสตร์ และการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้อัลกอริธึม kFill มาตรฐาน เมื่อใช้จำนวนรอบของการทำงานเท่ากัน และ กำหนดขนาดของมาส์ก : k ให้เหมาะสมกับขนาดของสัญญาณรบกวนที่เกิดในภาพ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี ปัญญา ฐิติมัชฌิมา กฤษณะ ชินสาร และ เสกสรรค์ พลศรี, “การสร้างโมเดลและการจำแนกแบบฟอร์มสำเร็จรูป,” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 20*, 2540.

[2] G.A. Story, L.O’Gorman and D.Fox., “The RightPages Image-Based Electronic Library for Alerting and Browsing,” *Computer*, Vol. 25, No.9, Sept. 1992, pp.17-26.

[3] L.O’Gorman. “Image and Document Processing Techniques for the RightPages Electronic Library System,” *Proc 11th IAPR Int’l Conf. Pattern Recognition, Vol II,* IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 1992. pp.260-263.

[4] L.O’Gormam and R.Kasturi., *Document Image Analysis*. IEEE Computer Society Press, 1995.

[5] ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี และ กฤษณะ ชินสาร. “การประมาณค่าความเอียงหน้าเอกสารสิ่งพิมพ์” *วารสารสารสนเทศลาดกระบังฉบับที่ 2.*

[6] G.A. Baxes., *Digital Image Processing : Principles and Applications,* John Wiley & Sons, 1994.

[7] R.C. Gonzalez and R.E. Woods., *Digital Image Processing,* Addison-Wesley, 1992.