

โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 17

เรื่อง การประมวลผลภาพเชิงความร้อน ปีที่ 3

Thermal Imaging

ผู้รับผิดชอบโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

ส่วนที่ 1

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยย่อย

1. เพื่อปรับปรุงวิธีการประสานภาพในระดับจุดภาพ โดยการลดผลกระทบในกรณีที่ภาพต้นทางทั้งสองมีการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ
2. พัฒนาระบบการทำงานทั้งหมดของการประสานภาพ

1.2 การศึกษางานวิจัยในอดีต

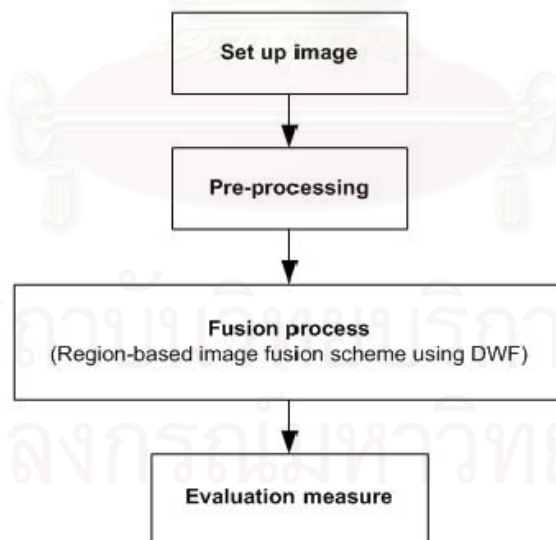
งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการประสานภาพในระดับจุดภาพ โดยส่วนมากนิยมที่จะทำการประสานภาพบนพื้นฐานของการแยกองค์ประกอบภาพหลายระดับ (Multiscale decomposition) เนื่องจากการแยกวิเคราะห์ข้อมูลภาพในหลายองค์ประกอบนั้นจะช่วยให้ผลการประสานภาพที่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันการแปลงพีระมิด (Pyramid transform) และการแปลงดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete wavelet transform) กลายเป็นวิธีการแยกองค์ประกอบภาพหลายระดับที่ได้รับความนิยมมาก แต่เนื่องจากทั้งสองวิธีดังกล่าวมีขั้นตอนของการลดการซัดตัวอย่าง (Downsampling) จึงทำให้การแสดงผลข้อมูลมีความแปรปรวนตามการเลื่อน (Shift variant) และส่งผลให้การประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานของทั้งสองวิธีนี้มีความแปรปรวนตามการเลื่อนตามไปด้วย ซึ่งนั่นก็หมายความว่า ในกรณีที่ภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพขึ้น ผลจากความแปรปรวนตามการเลื่อนนี้จะทำให้ผลการประสานภาพเกิดความผิดพลาดขึ้นด้วย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้งานวิจัยส่วนมากมักจะตั้งข้อสันนิษฐานว่าภาพต้นทางทั้งสองที่จะนำมาทำการประสานภาพนั้น มีผลการประทับจำภาพที่สมบูรณ์ (Perfect registration) และไม่กล่าวถึงกระบวนการขั้นต้นแต่อย่างใด ทั้งนี้ก็เพื่อตัดปัญหาการคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการประทับจำภาพ แต่ในทางปฏิบัติปัญหานี้จะยังคงมีอยู่ เนื่องจากการทำให้ผลการประทับจำภาพมีความสมบูรณ์ครบถ้วนนั้นเป็นไปได้ยาก งานวิจัยที่ผ่านมาจึงมักจะตัดเนื้อหาตรงส่วนการประทับจำภาพทิ้งไปและละไว้ในฐานที่เข้าใจว่าภาพต้นทางที่จะนำมาประสานได้ผ่านการประทับจำภาพมาเรียบร้อยแล้ว

ซึ่งงานวิจัยย่อยนี้ได้สังเกตเห็นว่า ในการทำงานจริง ที่ต้องเริ่มต้นตั้งแต่ทำการบันทึกภาพต้นทางเอง (ในกรณีทีกล้องที่ใช้ในการบันทึกภาพต้นทางทั้งสองไม่สามารถบันทึกภาพได้พร้อมกัน) แล้วต้องนำภาพที่บันทึกได้มาปรับแนว (Alignment) ให้ตรงกันพอดี ซึ่งทำได้ยากมาก (ในกรณีที่การประทับจำภาพเป็นแบบอัตโนมัติ) และนั่นก็หมายความว่าในการทำงานจริง การคลาดเคลื่อนจากการประทับจำภาพเป็นปัญหาที่ยากจะหลีกเลี่ยง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนากรรณวิธีการประสานภาพในระดับจุดภาพที่มีความคงทน (Robust) และเสถียร (Stable) ต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพขึ้นมา เพื่อที่จะนำไปใช้งานจริง โดยการนำวิธีการแยกองค์ประกอบภาพแบบการแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete wavelet frame) ซึ่งเป็นการแยกองค์ประกอบภาพที่มีคุณสมบัติไม่แปรปรวนตามการเลื่อน (Shift invariant) มาประยุกต์ใช้กับการประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานของการรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ (Region-based)

1.3 กระบวนการทำงานทั้งหมดของกรรณวิธีการประสานภาพที่นำเสนอในงานวิจัยย่อยนี้

ขั้นตอนวิธีทั้งหมดในการที่จะนำกรรณวิธีการประสานภาพที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้งานจริง ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการบันทึกภาพต้นทาง (Set-up image) การนำภาพไปผ่านกระบวนการขั้นต้น (Pre-processing) เพื่อเตรียมภาพต้นทางให้พร้อมก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการประสาน (Fusion process) รวมถึงขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพ (Evaluation measure) ของกรรณวิธีที่นำเสนอ



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนวิธีทั้งหมดในการดำเนินงาน

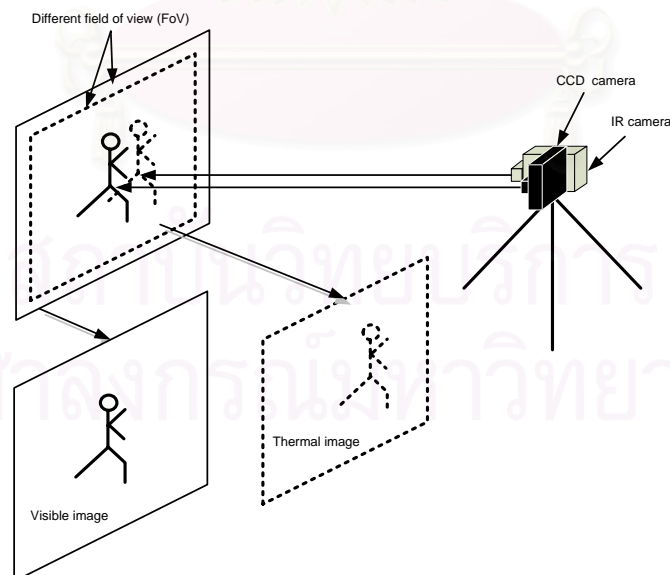
1.3.1 การบันทึกภาพ (Set-up image)

ในวิทยานิพนธ์นี้ ภาพต้นทางที่นำมาใช้จะเป็นภาพที่ทำการบันทึกโดยใช้อุปกรณ์รับรู้ภาพต่างชนิดกัน ซึ่งตอบสนองต่อช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างกัน โดยภาพแรกเป็น ภาพความร้อน

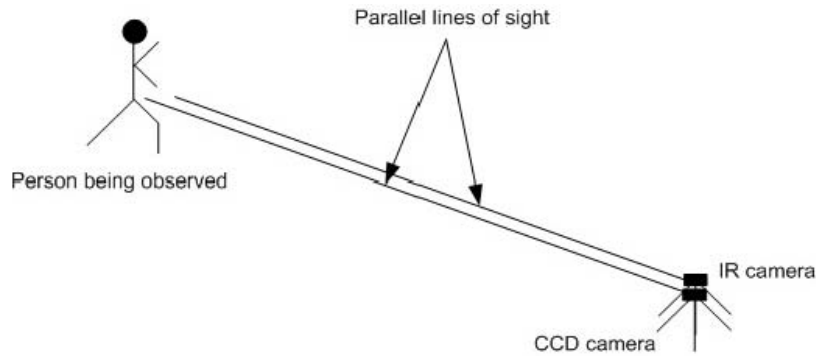
(Thermal image) ที่ทำการบันทึกด้วยกล้องอินฟราเรด รุ่น Thermovision@A10 ผลิตโดยบริษัท Indigo system ซึ่งใช้อุปกรณ์รับรู้ภาพประเภท Uncooled microbolometer focal plane array ที่ตอบสนองกับคลื่นอินฟราเรดในช่วงคลื่นยาว (Long wavelength) 7.5-13.5 ไมครอน (Microns) และให้ภาพความร้อนที่มีความละเอียด 128X160 จุดภาพ โดยทำการบันทึกภาพจะใช้ FireWire module ในการเชื่อมต่อระหว่างกล้องและคอมพิวเตอร์ ภาพต้นทางภาพที่สอง เป็นภาพจริง (Visible image) ที่ทำการบันทึกด้วยกล้อง CCD ซึ่งตอบสนองกับคลื่นแสงในช่วง 0.4-0.7 ไมครอน และให้ความละเอียดสูงสุดที่ 1920X2560 จุดภาพ

1.3.2 การจัดตั้งอุปกรณ์

ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการบันทึกภาพความร้อน (Thermal image) และภาพจริง (Visible image) สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ อุปกรณ์รับรู้ภาพ 2 ชนิด คือ กล้องอินฟราเรด Thermovision@A10 และกล้อง CCD ที่ใช้ในการบันทึกภาพนั้น จะถูกตรึง (Fixed) ตำแหน่งของกล้องไว้ที่ตำแหน่งเดียวกัน (ใช้ขาตั้งกล้อง) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าต้องการให้จุดศูนย์กลางของกล้องอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน เพื่อให้ภาพต้นทางทั้งสองที่บันทึกได้มีรายละเอียดภายในภาพที่ตรงกันมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยในตอนแรกจะใช้กล้องอินฟราเรดทำการบันทึกภาพความร้อนก่อน แล้วจึงทำการเปลี่ยนเป็นกล้อง CCD เพื่อทำการบันทึกภาพจริง การจัดตั้งอุปกรณ์บันทึกภาพในลักษณะนี้ จะทำให้เส้นการมองเห็น (Line of sight) ของกล้องทั้งสองอยู่ในแนวขนาน (Parallel) ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.2 การจัดตั้งอุปกรณ์ในการบันทึกภาพต้นทาง

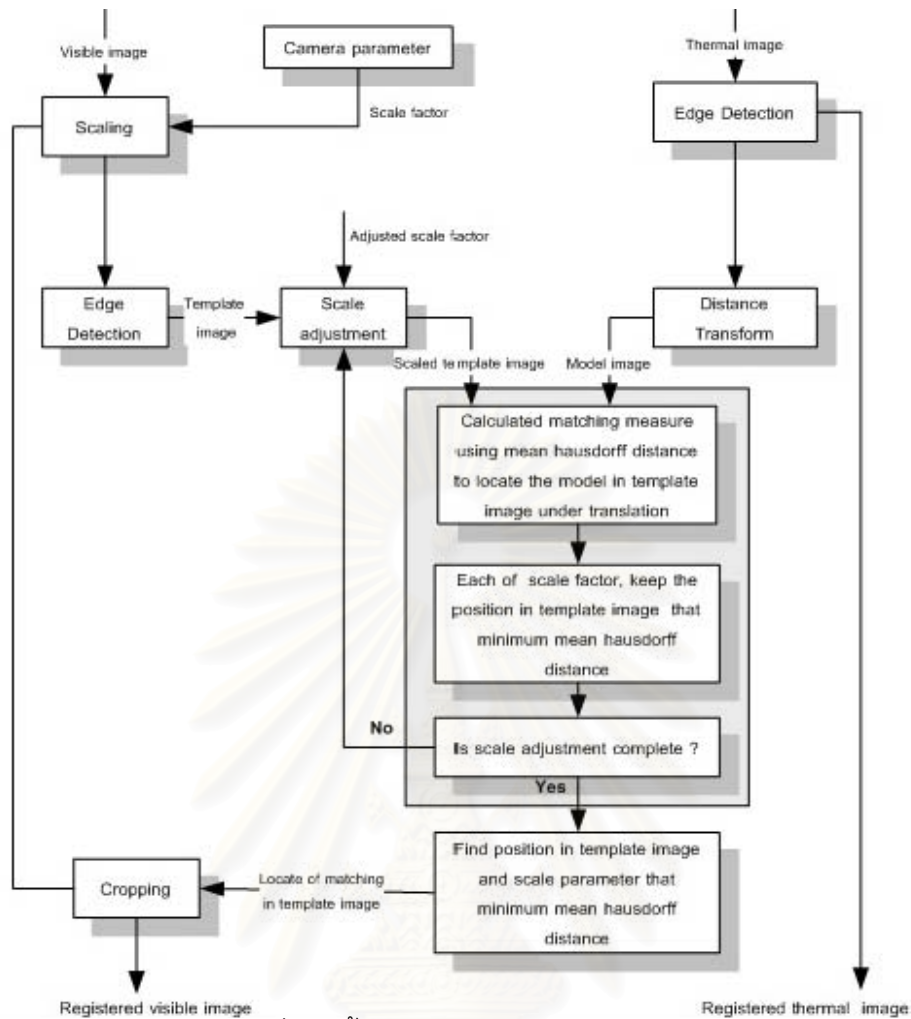


รูปที่ 1.3 เส้นการมองเห็นของกล้องอินฟราเรดและกล้อง CCD

1.4 กระบวนการขั้นต้น (Pre-processing)

กระบวนการขั้นต้นที่ถูกพัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ จะประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก ๆ ดังนี้

1. การปรับปรุงภาพ (Image enhancement) ภาพต้นทางที่บันทึกได้ในตอนแรกจะถูกนำมาปรับปรุงความเปรียบต่าง (Contrast) ภายในภาพ เพื่อให้ภาพชัดขึ้น ซึ่งทำได้โดยการกระจายค่าความเข้ม (Intensity) ของภาพ (ที่มักจะจับกลุ่มอยู่ในช่วงหนึ่ง ๆ) ให้กระจายตัวอยู่เต็มช่วง 0 ถึง 1 ของระดับเทา (Gray scale)
2. การประทับจำภาพ (Image registration) หลังจากทำการปรับปรุงภาพแล้ว ภาพต้นทางทั้งสองภาพจะถูกนำไปผ่านขั้นตอนการประทับจำภาพ เพื่อปรับแนวของภาพให้ตรงกัน โดยขั้นตอนวิธีการประทับจำภาพที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ขั้นตอนวิธีการประทับจำภาพ จะอยู่บนพื้นฐานของการเทียบเคียงวัตถุ (Object matching) ซึ่งจะใช้ภาพต้นทางภาพหนึ่งเพื่อเป็นภาพตัวแบบ (Model image) และใช้ภาพต้นทางอีกภาพหนึ่งเพื่อเป็นภาพแผ่นแบบ (Template image) โดยภาพตัวแบบจะถูกใช้เพื่อทำการค้นหาวัตถุที่เข้าคู่กันภายในภาพแผ่นแบบ ซึ่งจะมีการวัดขนาดการเข้าคู่วัตถุ (Object match measure) ที่แต่ละตำแหน่งการค้นหา ตำแหน่งที่ให้ขนาดการเข้าคู่วัตถุค่ามากที่สุด จะเป็นตำแหน่งของวัตถุภายในภาพแผ่นแบบที่เข้าคู่กับภาพตัวแบบนั่นเอง สำหรับขั้นตอนวิธีการทั้งหมดของการประทับจำภาพที่พัฒนาขึ้นในที่นี่ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนวิธีการประทับจำภาพ

1.5 กรรมวิธีการประสานภาพ (Image fusion)

โดยทั่วไปแล้ว ขั้นตอนวิธีในการประสานภาพจะดำเนินไปตามกฎการประสานภาพ (Fusion rules) ซึ่งจะเป็นการกำหนดลักษณะการดำเนินงานโดยรวมของกรรมวิธีการประสาน สำหรับกฎการประสานภาพที่ใช้ในงานวิจัยย่อยนี้ โดยจะประกอบไปด้วย ขั้นตอนวิธีการแยกองค์ประกอบภาพหลายระดับ (Multiscale decomposition, MSD) ที่ได้นำการแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete wavelet frame) มาประยุกต์ใช้กับการรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ (Region-based) และวิธีการรวม (Combination method) ซึ่งจะทำให้การตัดสินใจเลือกใน 2 วิธี คือ วิธีการเลือกค่ามากที่สุด (Choose max method) และวิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted average method) โดยใช้ค่าความเข้ากัน (Match measure) เป็นตัวตัดสินใจ จากนั้นจะเป็นการแปลงกลับเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต (Inverse discrete wavelet frame) เพื่อสร้างภาพประสาน (Fused image)

1.6 การประเมินประสิทธิภาพของกรรมวิธีการประสานภาพ

การประเมินประสิทธิภาพของการประสานภาพในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเปรียบเทียบผลกับกรรมวิธีการประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานการแยกองค์ประกอบภาพเท่านั้น โดยแต่ละกรรมวิธีจะมีการใช้เทคนิคที่จะนำมาแยกองค์ประกอบและลักษณะของข้อมูลที่น่ามารวมแตกต่างกัน

1.6.1 กรรมวิธีที่นำมาทำการเปรียบเทียบผล

กรรมวิธีที่ 1 การประสานภาพเชิงจุดภาพ โดยการใช้การแปลงพีระมิดแบบลาปลาเซียนใช้ในการแปลงพีระมิดแบบลาปลาเซียน (Laplacian pyramid) ในการแยกองค์ประกอบ

- การรวมภาพการประมาณ (Combination of approximation coefficients) จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย
- การรวมภาพรายละเอียด (Combination of detail coefficients) สัมประสิทธิ์ผลรวม y_F^k จะได้มาจากการเลือกค่ามากที่สุด (Choose max) โดยพิจารณาจากค่าระดับพฤติกรรมในระดับจุดภาพ (Pixel-based maximum selection) ของแต่ละสัมประสิทธิ์ของแต่ละ source images

กรรมวิธีที่ 2 การประสานภาพเชิงหน้าต่าง โดยการใช้การแปลงพีระมิดแบบลาปลาเซียน

- ใช้การแปลงพีระมิดแบบลาปลาเซียนในการแยกองค์ประกอบ
- การรวมภาพการประมาณ จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย
- การรวมภาพรายละเอียด จะใช้ข้อมูลเชิงหน้าต่าง (Window-based) มาทำการวัดค่าระดับพฤติกรรมและค่าความเข้ากัน

กรรมวิธีที่ 3 การประสานภาพเชิงจุดภาพ โดยการใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต]

- ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete wavelet) ในการแยกองค์ประกอบ
- การรวมภาพการประมาณ จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย
- การรวมภาพรายละเอียด จะใช้วิธีการเลือกค่ามากสุดในการรวม โดยวัดค่าระดับพฤติกรรมในระดับจุดภาพ เช่นเดียวกับกรรมวิธีการประสานภาพ วิธีที่ 1 ของ P.J. Burt

กรรมวิธีที่ 4 การประสานภาพเชิงหน้าต่าง โดยการใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต

- ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต ในการแยกองค์ประกอบ
- การรวมภาพการประมาณ จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย
- การรวมภาพรายละเอียด จะใช้ข้อมูลเชิงหน้าต่างและใช้ขั้นตอนการรวมที่มีการวัดค่าระดับพฤติกรรมและค่าความเข้ากัน เช่นเดียวกับกรรมวิธีการประสานภาพวิธีที่ 2 ของ P.J. Burt และ R.J. Kolczynski

กรรมวิธีที่ 5 การประสานภาพเชิงจุดภาพ โดยการใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต

- ใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete wavelet frame) ในการแยกองค์ประกอบ
- การรวมภาพการประมาณ จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย
- การรวมภาพรายละเอียด จะใช้วิธีการเลือกค่ามากที่สุด โดยวัดค่าระดับพฤติกรรมในระดับจุดภาพ เช่นเดียวกับกรรมวิธีการประสานภาพ วิธีที่ 1 ของ P.J. Burt

กรรมวิธีที่ 6 การประสานภาพเชิงหน้าต่าง โดยการใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต

- ใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต ในการแยกองค์ประกอบ
- การรวมภาพการประมาณ จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย
- การรวมภาพรายละเอียด จะใช้ข้อมูลเชิงหน้าต่างและใช้ขั้นตอนการรวมที่มีการวัดค่าระดับพฤติกรรมและค่าความเข้ากัน เช่นเดียวกับกรรมวิธีการประสานภาพวิธีที่ 2 ของ P.J. Burt และ R.J. Kolczynski

1.6.2 ภาพที่ใช้ทดสอบ

ภาพที่ใช้ทดสอบจะเป็นภาพความร้อน (Thermal image) และภาพจริง (Visible image) ที่ทำการบันทึกเอง จำนวน 5 ชุดภาพ โดยภาพความร้อนจะทำการบันทึกโดยใช้กล้องอินฟราเรด รุ่น Thermovision@A10 ดังในรูปที่ 5 และภาพจริงจะทำการบันทึกโดยใช้กล้อง CCD ซึ่งชุดภาพทั้ง 5 ชุดภาพจะถูกแสดงออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ชุดภาพที่ผ่านการประทับจำภาพเรียบร้อยแล้วและมีผลการประทับจำภาพที่สันนิษฐานว่าสมบูรณ์ กับชุดภาพที่เกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพขึ้น (Mis-registration)

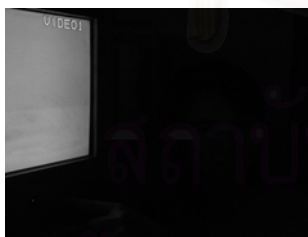
1.6.2.1 ชุดภาพที่มีผลการประทับจำภาพที่สันนิษฐานว่าสมบูรณ์ (Perfected registered image)

ชุดภาพเหล่านี้จะเป็นชุดภาพที่ผ่านการประทับจำภาพ ซึ่งได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพ โดยใช้การประเมินผลเชิงบุคคล (Subjective evaluation) ด้วยการสังเกตแนวของภาพแต่ละ ตำแหน่งว่ามีความตรงกันมากน้อยเพียงใด และได้ทำการตรวจสอบความตรงกันของแนวภาพ โดยใช้ Adobe photoshop ด้วยการวางภาพความร้อนและภาพจริงไว้ที่ชั้นภาพ (Layer) ต่างกัน จากนั้นนำชั้นภาพของภาพทั้งสองมาซ้อนทับกัน ทำให้สามารถตรวจสอบความตรงกันของ ตำแหน่งในภาพได้ การตรวจสอบประสิทธิภาพดังกล่าวจะเป็นการตรวจสอบด้วยมือ (Manual) ดังนั้นผลการประทับจำภาพที่ได้จะเป็นชุดภาพที่ถูกปรับแนวให้ตรงกันที่สุด ซึ่งสามารถตั้งข้อ สันนิษฐานได้ว่า ชุดภาพทั้ง 5 นี้เป็นชุดภาพที่มีผลการประทับจำภาพสมบูรณ์

โดยภาพประสาน (Fused image) ที่ได้จากการใช้ชุดภาพเหล่านี้ไปทำการประสาน จะถูก ใช้เป็นภาพอ้างอิง (Reference image) ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของกรรมวิธีการประสานว่า มีความคงทน (Robust) ต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ (Mis-registration) มากน้อย เพียงใด

ชุดภาพทดสอบที่ 1 และ 2 จะเป็นชุดภาพที่สามารถนำไปใช้ในงานทางทหารได้ โดยการ ตรวจสอบจับคนและระบุตำแหน่ง โดยภาพความร้อนจะให้รายละเอียดของคน ซึ่งมองไม่เห็นในภาพ จริง ในขณะที่ภาพจริงจะให้รายละเอียดของตำแหน่งที่คนอยู่ คือ อยู่ใกล้โทรทัศน์ นั่นเอง

โดยภาพทดสอบทั้งสองชุดภาพ จะใช้ภาพจริงขนาด 1920X2560 จุดภาพ และภาพความร้อนขนาด 128X160 จุดภาพ ลักษณะเป็น Tiff file แต่ละจุดภาพมีขนาด 8 บิต ค่าความเข้ม จุดภาพ 256 ระดับ ดังในรูปที่ 1.5 และ 1.6



ภาพจริง



ภาพความร้อน

รูปที่ 1.5 ชุดภาพทดสอบที่ 1

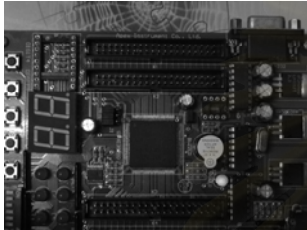


ภาพจริง

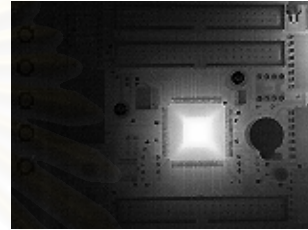
ภาพความร้อน

รูปที่ 1.6 ชุดภาพทดสอบที่ 2

ชุดภาพทดสอบที่ 3 จะเป็นชุดภาพที่สามารถนำไปใช้ในทางด้านอุตสาหกรรม (Industrial) ในการตรวจสอบคุณภาพหรือตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีความร้อนสูงเกินปกติ ดังรูปในชุดภาพที่ 3 จะเป็นภาพตัวอย่างในการตรวจหาชิ้นส่วนที่มีความร้อนเกิดขึ้น โดยภาพทดสอบจะใช้ภาพจริงขนาด 1920X2560 จุดภาพ และภาพความร้อนขนาด 128X160 จุดภาพ ลักษณะเป็น Tiff file แต่ละจุดภาพมีขนาด 8 บิต ค่าความเข้มจุดภาพ 256 ระดับ ดังในรูปที่ 7



ภาพจริง



ภาพความร้อน

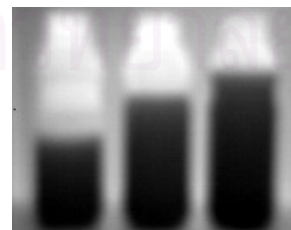
รูปที่ 1.7 ชุดภาพทดสอบที่ 3

ชุดภาพทดสอบที่ 4 จะเป็นชุดภาพที่สามารถนำไปใช้ในทางด้านอุตสาหกรรม (Industrial) ในการตรวจสอบคุณภาพหรือการตรวจสอบปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์ ดังรูปในชุดภาพที่ 4 จะเป็นภาพตัวอย่างในการตรวจสอบปริมาณน้ำในขวด ซึ่งในกรณีที่ผลิตภัณฑ์เป็นขวดทึบ ซึ่งไม่สามารถมองเห็นปริมาณน้ำข้างใน สามารถใช้ภาพความร้อนเพื่อแสดงปริมาณน้ำในขวด และใช้ภาพจริงเพื่อชี้ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการบรรจุน้อยเกินไปได้

โดยภาพทดสอบจะใช้ภาพจริงขนาด 1920X2560 จุดภาพ และภาพความร้อนขนาด 128X160 จุดภาพ ลักษณะเป็น Tiff file แต่ละจุดภาพมีขนาด 8 บิต ค่าความเข้มจุดภาพ 256 ระดับ ดังในรูปที่ 1.8



ภาพจริง



ภาพความร้อน

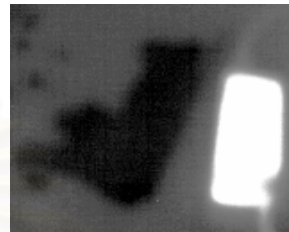
รูปที่ 1.8 ชุดภาพทดสอบที่ 4

ชุดภาพทดสอบที่ 5 จะเป็นชุดภาพที่สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบบริเวณรอยน้ำ เช่น รอยน้ำรั่วบนเพดาน เป็นต้น ดังรูปในชุดภาพที่ 5 จะเป็นการแสดงรอยน้ำบนพื้น ซึ่งภาพความร้อนจะสามารถแสดงให้เห็นรอยน้ำที่หกอยู่บนพื้น ส่วนภาพจริงจะเป็นบริเวณที่มีน้ำหกอยู่

โดยภาพทดสอบจะใช้ภาพจริงขนาด 1920X2560 จุดภาพ และภาพความร้อนขนาด 128X160 จุดภาพ ลักษณะเป็น Tiff file แต่ละจุดภาพมีขนาด 8 บิต ค่าความเข้มจุดภาพ 256 ระดับ ดังในรูปที่ 1.9



ภาพจริง



ภาพความร้อน

รูปที่ 1.9 ชุดภาพทดสอบที่ 5

1.6.2.2 ชุดภาพที่เกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ (Mis-registration images)

ทำการจำลองชุดภาพให้เป็นภาพที่เกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ โดยการนำชุดภาพที่มีความประทับจำภาพที่สมบูรณ์ มาทำการเลื่อนตำแหน่งไปในแนวแกน X และ Y ไปในช่วง -20 ถึง +20 จุดภาพ โดยเครื่องหมายลบจะหมายถึงการเลื่อนตำแหน่งไปทางด้าน -X และ -Y ส่วนเครื่องหมายบวกจะหมายถึงการเลื่อนตำแหน่งไปทางด้าน +X และ +Y ตามลำดับ

ผลการประสานภาพหรือภาพประสานที่ได้จากการใช้ชุดภาพที่เกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพข้างต้น จะถูกนำไปทำการประเมินประสิทธิภาพของกรรมวิธีการประสาน โดยจะทำการพิจารณาว่า เมื่อภาพเกิดการคลาดเคลื่อนขึ้น ผลของการประสานภาพที่ได้จะเป็นอย่างไร มีความแตกต่างจากผลการประสานภาพที่ได้จากการใช้ชุดภาพที่ไม่เกิดการคลาดเคลื่อน (ภาพอ้างอิง) มากน้อยเพียงใด โดยกรรมวิธีการประสานภาพที่ให้ผลการประสานภาพใกล้เคียงกับภาพอ้างอิงมากก็จะเป็นกรรมวิธีที่มีความคงทนต่อการคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งเกณฑ์ในการวัดความใกล้เคียงหรือแตกต่าง ได้แก่

1. ค่าความผิดพลาดรากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error: RMSE) เพื่อหาความผิดพลาดระหว่างภาพผลลัพธ์และภาพอ้างอิง
2. ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพอ้างอิงและภาพผลลัพธ์

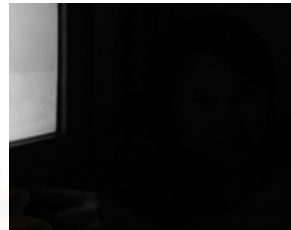
1.7 ผลการประสานภาพในกรณีที่ภาพต้นทางถูกสันนิษฐานว่ามีความสมบูรณ์ในการประทับจำภาพ

หลังจากที่ได้ข้อมูลเป็นพื้นที่ ซึ่งได้จากการแยกส่วนภาพที่แต่ละระดับการแยกองค์ประกอบแล้ว จะดำเนินการประสานภาพโดยทำการรวมข้อมูลตามพื้นที่ที่ได้ โดยผลการประสานภาพแสดงได้ดังต่อไปนี้

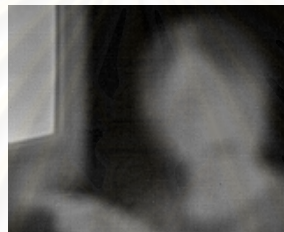
ชุดภาพที่ 1



ภาพความร้อนของชุดภาพที่ 1



ภาพจริงของชุดภาพที่ 1



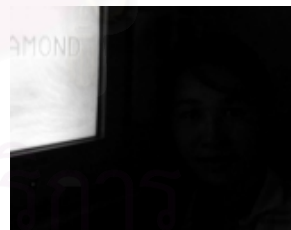
(ค) ภาพประสาน (Fused image)

รูปที่ 10 ผลการประสานภาพของชุดภาพที่ 1

ชุดภาพที่ 2



ภาพความร้อนของชุดภาพที่ 2



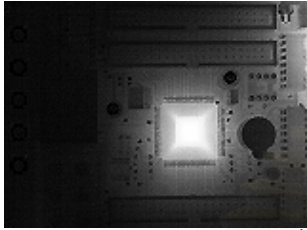
ภาพจริงของชุดภาพที่ 2



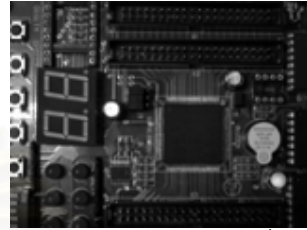
(ค) ภาพประสาน (Fused image)

รูปที่ 1.11 ผลการประสานภาพของชุดภาพที่ 2

ชุดภาพที่ 3



ภาพความร้อนของชุดภาพที่ 3



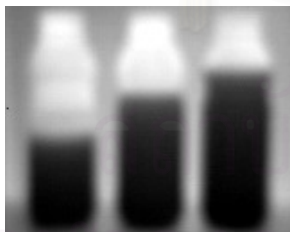
ภาพจริงของชุดภาพที่ 3



(ค) ภาพประสาน (Fused image)

รูปที่ 1.12 ผลการประสานภาพของชุดภาพที่ 3

ชุดภาพที่ 4



(ก) ภาพความร้อนของชุดภาพที่ 4



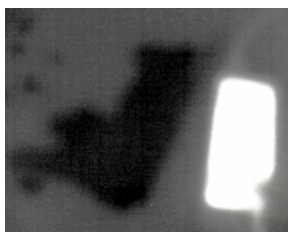
(ข) ภาพจริงของชุดภาพที่ 4



(ค) ภาพประสาน (Fused image)

รูปที่ 1.13 ผลการประสานภาพของชุดภาพที่ 4

ชุดภาพที่ 5



ภาพความร้อนของชุดภาพที่ 5



ภาพจริงของชุดภาพที่ 5



(ค) ภาพประสาน (Fused image)

รูปที่ 1.14 ผลการประสานภาพของชุดภาพที่ 5

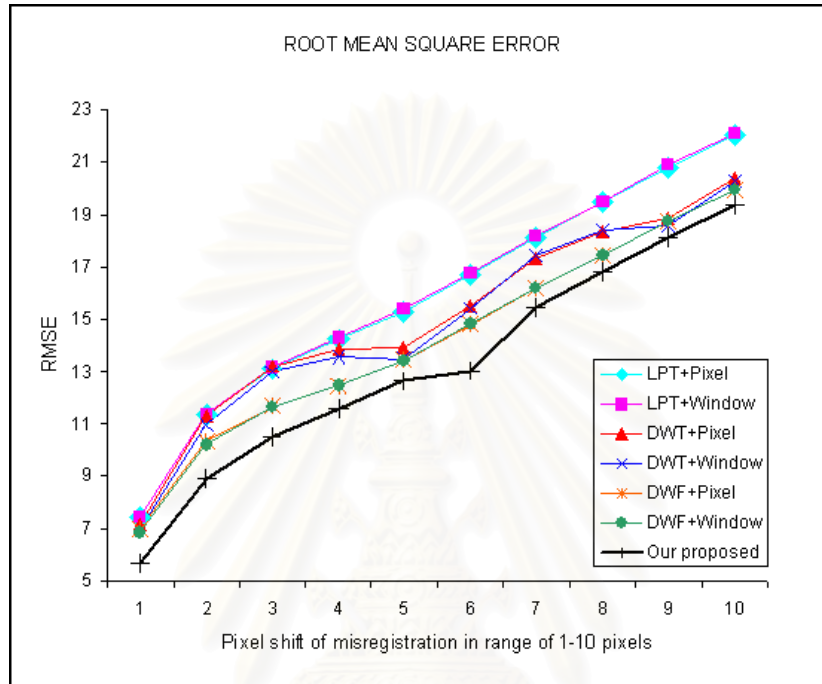
1.8 ผลการประสานภาพในกรณีที่ภาพต้นทางมีความคลาดเคลื่อนระหว่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความผิดพลาดในขั้นตอนการประทับจำภาพ

ผลการประสานภาพในส่วนนี้มีความประสงค์ที่จะแสดงให้เห็นถึงความคงทนของกรรมวิธีการประสานภาพที่น่าเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ต่อการเกิดความคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลกับกรรมวิธีการประสานภาพวิธีอื่น ๆ ที่ได้มีการนำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งในส่วนนี้จะมีการจำลองภาพต้นทางให้เป็นภาพที่เกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ โดยให้นำชุดภาพที่มีความประทับจำภาพที่สมบูรณ์ในหัวข้อ 4.1 มาทำการเลื่อนตำแหน่งไปในแนวแกน X และ Y ไปในช่วง -20 ถึง +20 จุดภาพ โดยเครื่องหมายลบจะหมายถึงการเลื่อนตำแหน่งไปทางด้าน -X และ -Y ส่วนเครื่องหมายบวกจะหมายถึงการเลื่อนตำแหน่งไปทางด้าน +X และ +Y ตามลำดับ

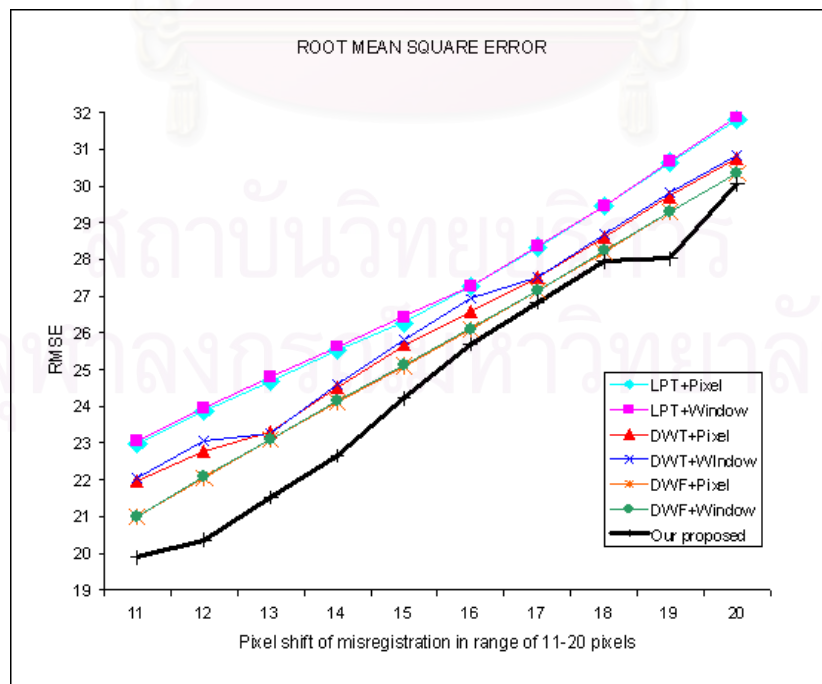
โดยภาพประสาน ที่ได้จากการใช้ภาพต้นทางที่มีความคลาดเคลื่อนระหว่างกัน (ดังที่ได้จำลองไว้ข้างต้น) จะถูกนำไปประเมินประสิทธิภาพด้วยการเปรียบเทียบผลกับภาพอ้างอิง โดยทำการวัดค่าความผิดพลาดรากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error: RMSE) และการวัดค่า

สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างภาพทั้งสอง เพื่อดูว่าภาพประสานมีความผิดพลาดไปจากภาพอ้างอิงมากน้อยเพียงใด โดยแยกการแสดงผลออกเป็น 2 ส่วน คือ กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ และ 11-20 จุดภาพ เพื่อให้สามารถพิจารณากราฟการแสดงผลได้อย่างชัดเจน

ชุดภาพที่ 1

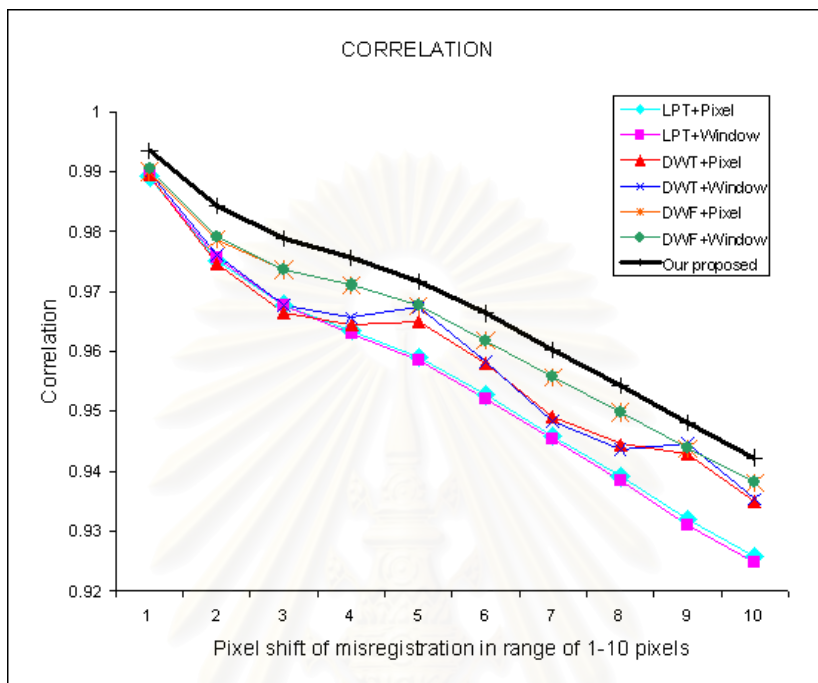


(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ

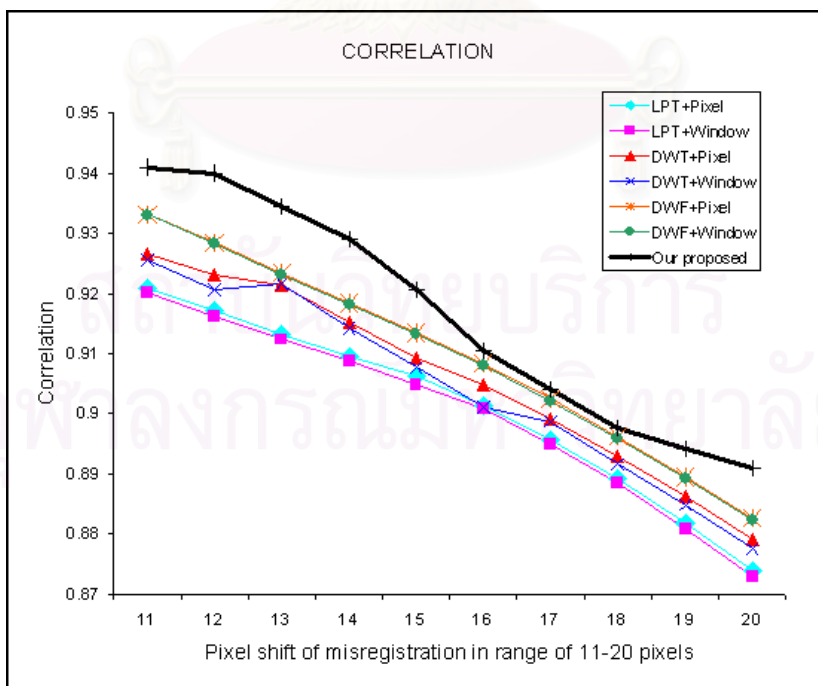


(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ

รูปที่ 1.15 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากกำลังสองเฉลี่ยของชุดภาพที่ 1
ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ



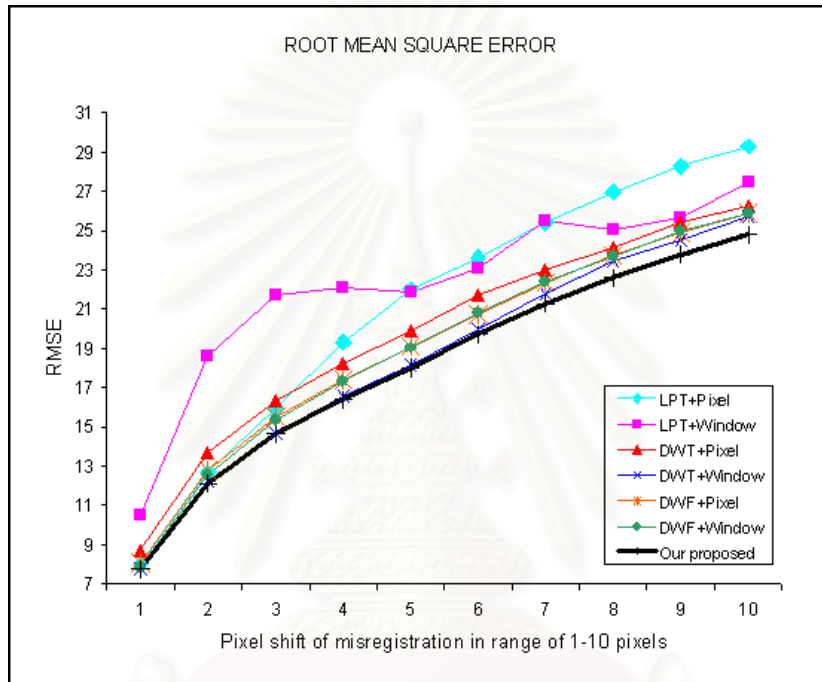
(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ



(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ

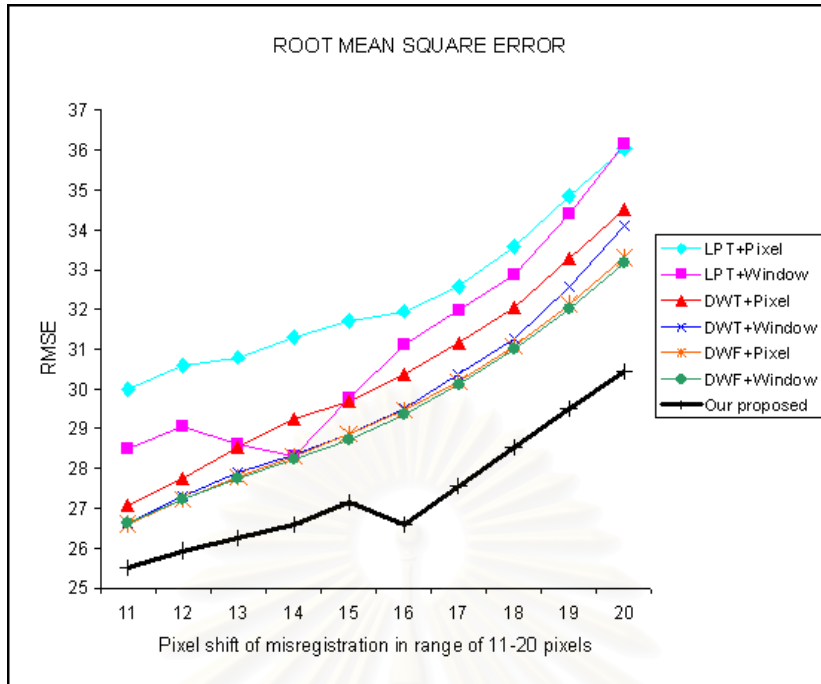
รูปที่ 1.16 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ของชุดภาพที่ 1 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

ทำการเปรียบเทียบผลในลักษณะกราฟ เมื่อภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนระหว่างกัน
ไปทางด้าน -X และ -Y จำนวน 20 จุดภาพ และกรรมวิธีการประสานภาพอยู่บนพื้นฐานการแยก
องค์ประกอบ 4 ระดับ

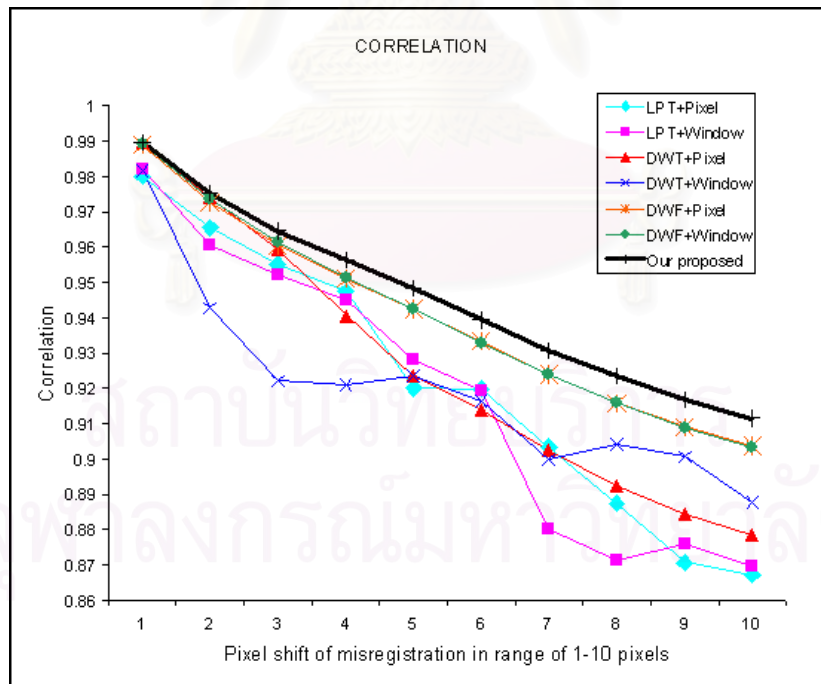


(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ

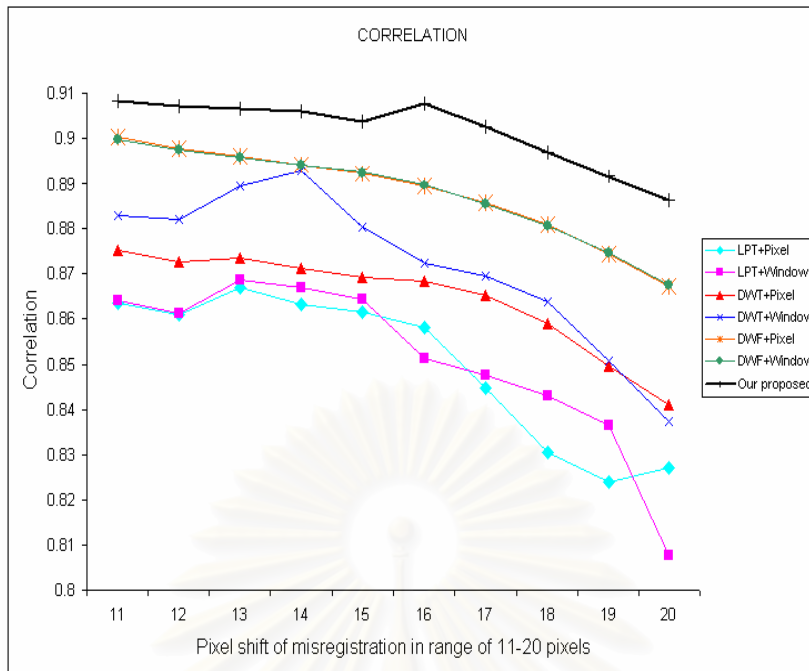
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ รูปที่ 1.17 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากกำลังสองเฉลี่ยของชุดภาพที่ 1 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ



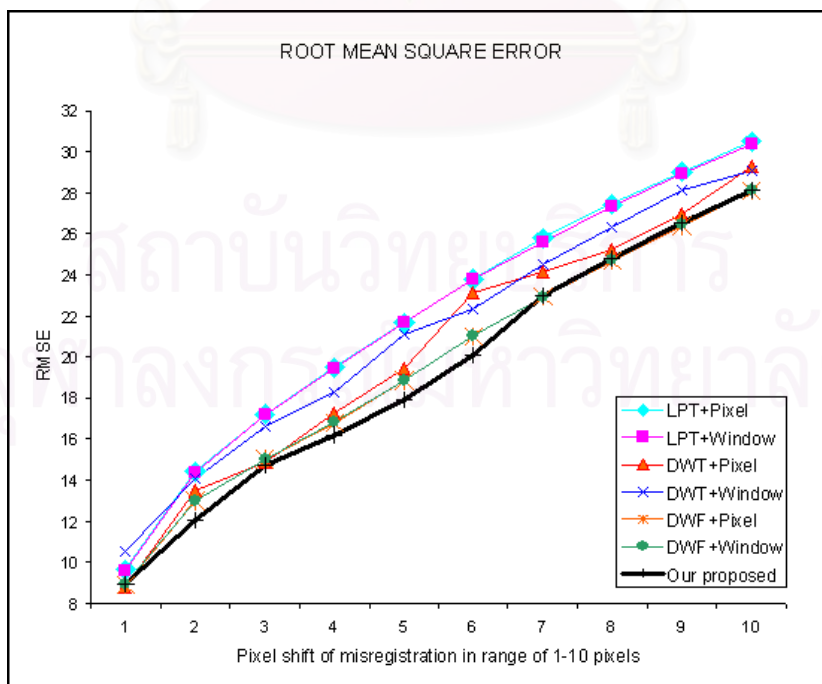
(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ



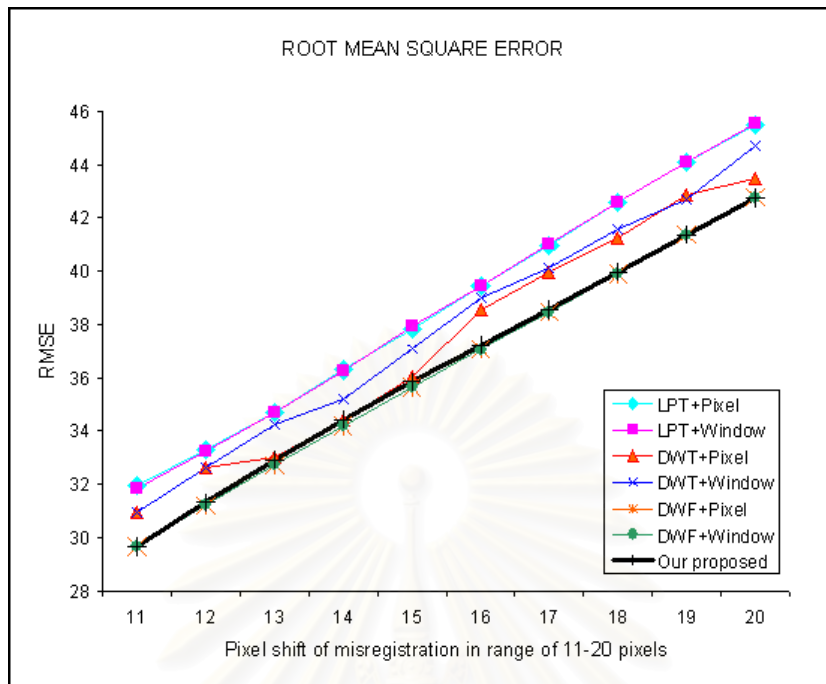
(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ

รูปที่ 1.18 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ของชุดภาพที่ 1 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ

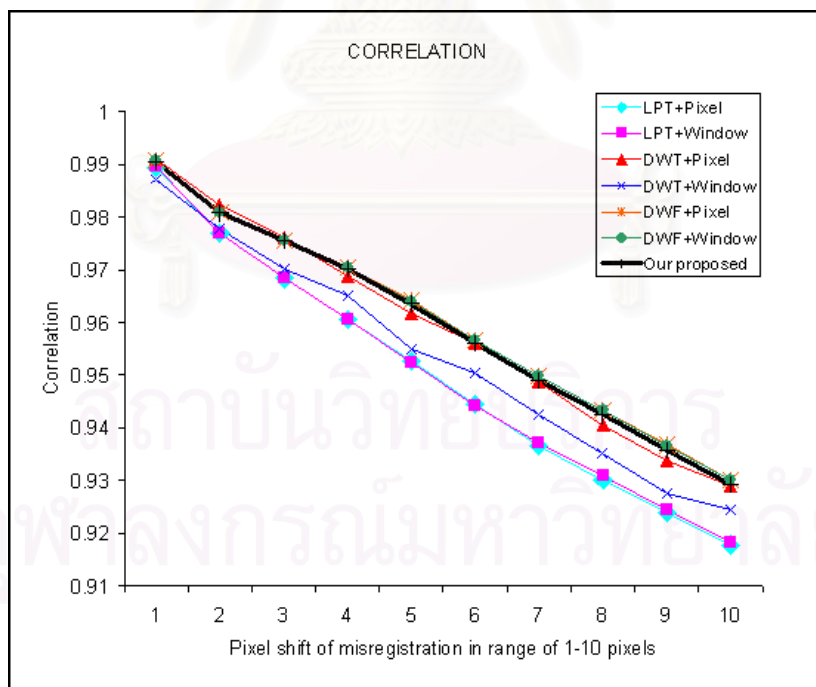
ชุดภาพที่ 2



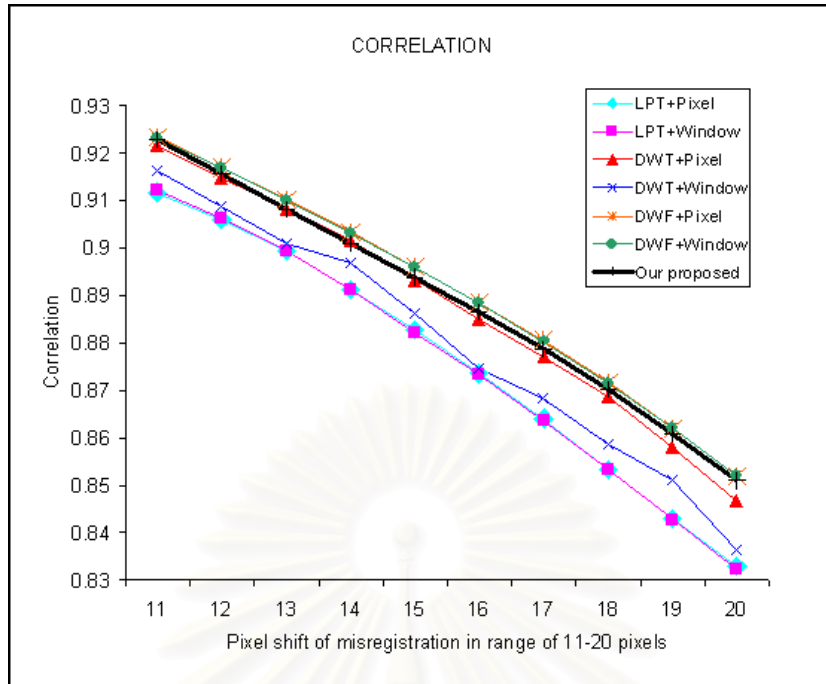
(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ



(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ รูปที่ 1.19 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากกำลังสองเฉลี่ยของชุดภาพที่ 2 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ



(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ

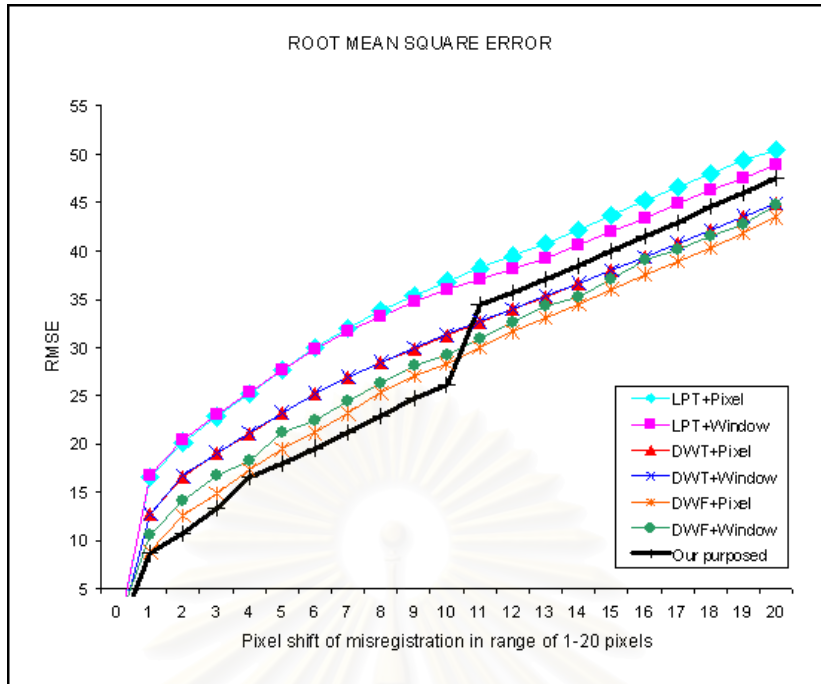


(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ

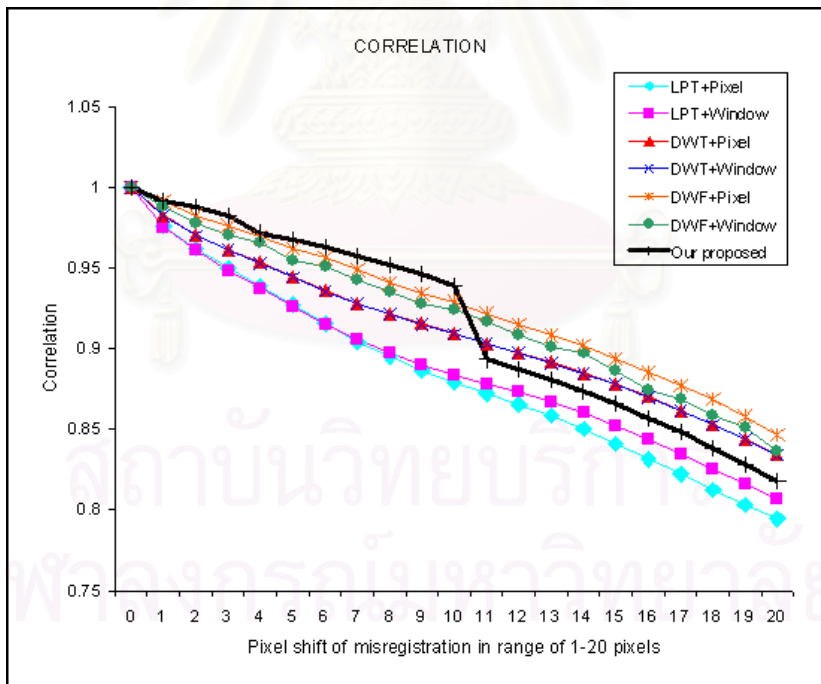
รูปที่ 1.20 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 2 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

ทำการเปรียบเทียบผลในลักษณะกราฟ เมื่อภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนระหว่างกัน
ไปทางด้าน -X และ -Y จำนวน 20 จุดภาพ และกรรมวิธีการประสานภาพอยู่บนพื้นฐานการแยก
องค์ประกอบ 4 ระดับ

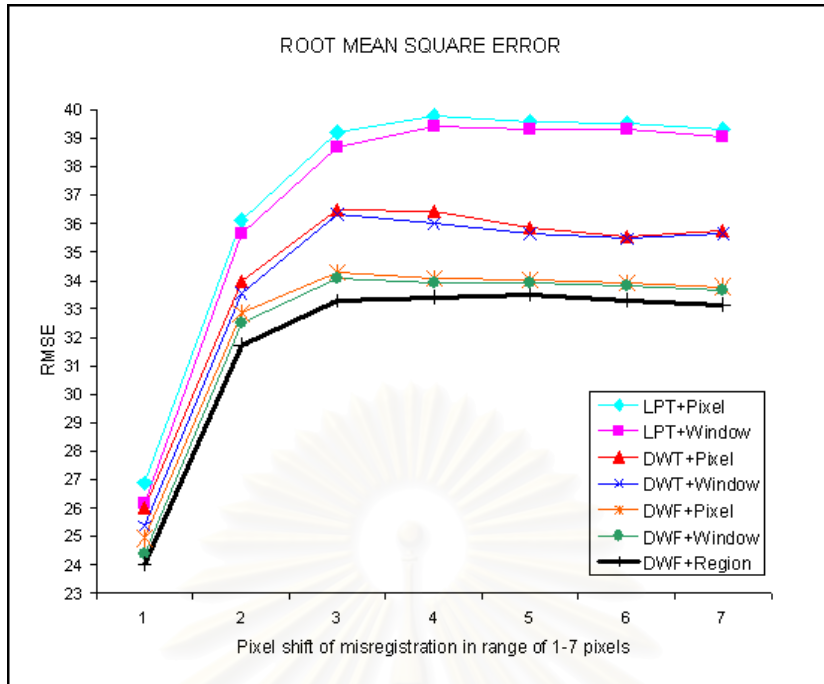
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



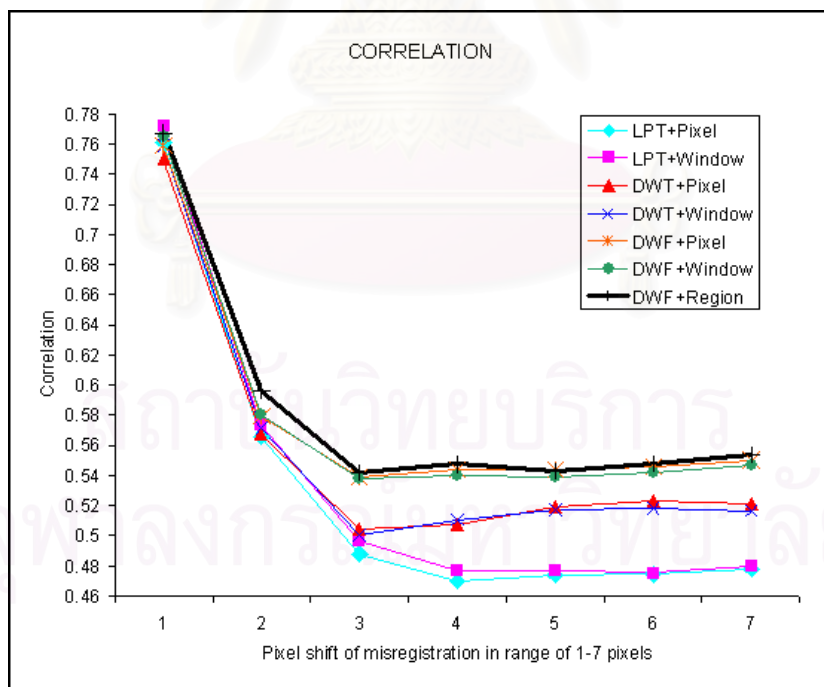
รูปที่ 1.22 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากล้างสองเฉลี่ยชุดภาพที่ 2 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ



รูปที่ 1.21 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 2 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ ชุดภาพที่ 3

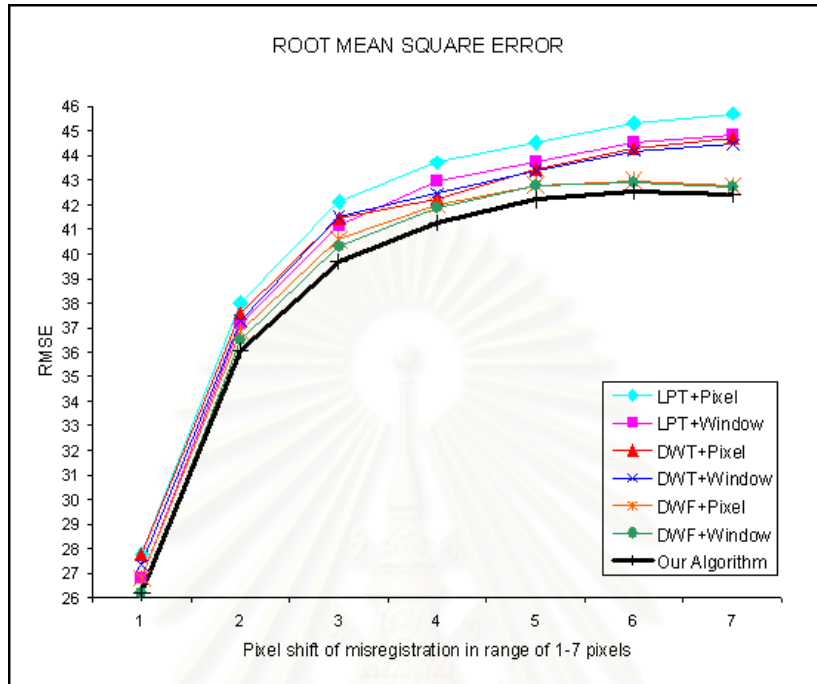


รูปที่ 1.22 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากล้างสองเฉลี่ยชุดภาพที่ 3 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

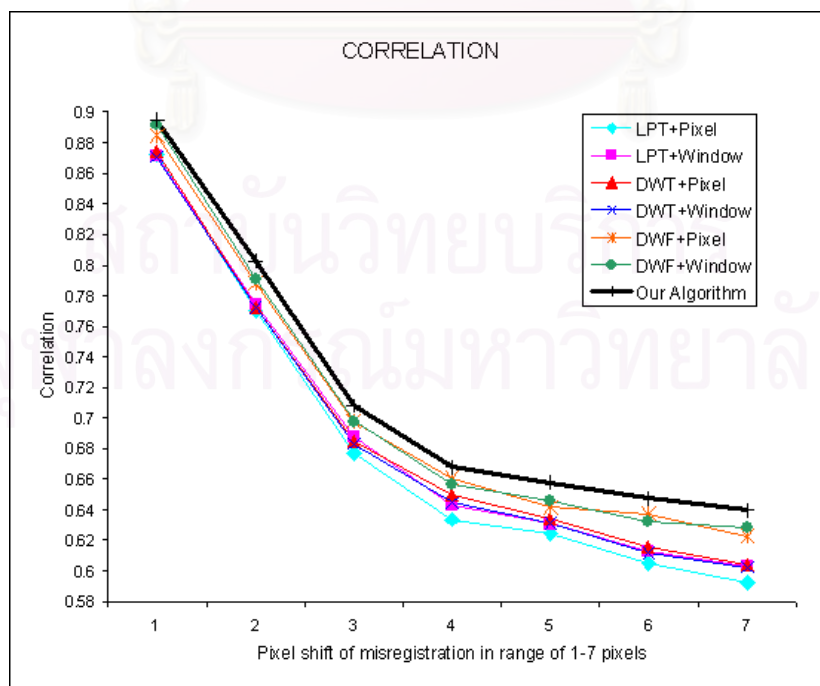


รูปที่ 1.23 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 3 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

ทำการเปรียบเทียบผลในลักษณะกราฟ เมื่อภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนระหว่างกัน
 ไปทางด้าน +X และ +Y จำนวน 7 จุดภาพ และกรรมวิธีการประสานภาพอยู่บนพื้นฐานการแยก
 องค์ประกอบ 4 ระดับ

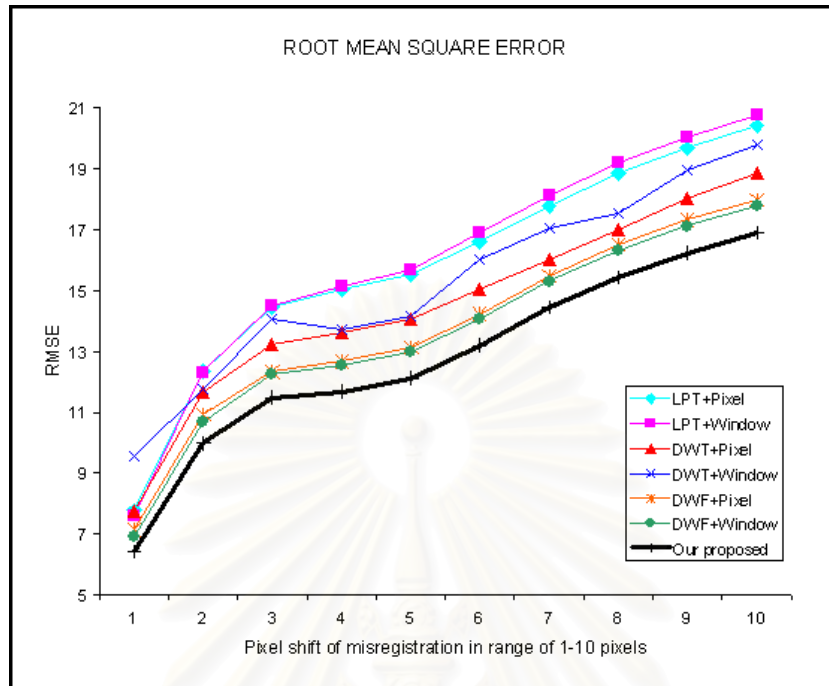


รูปที่ 1.24 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากล้างสองเฉลี่ยชุดภาพที่ 3
 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ

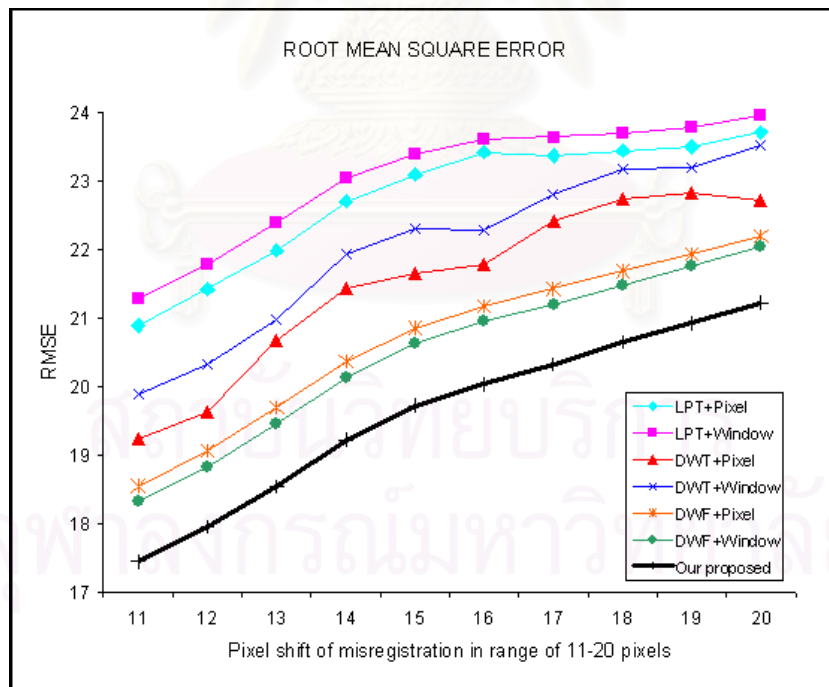


รูปที่ 1.25 ผลวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 3 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ

ชุดภาพที่ 4

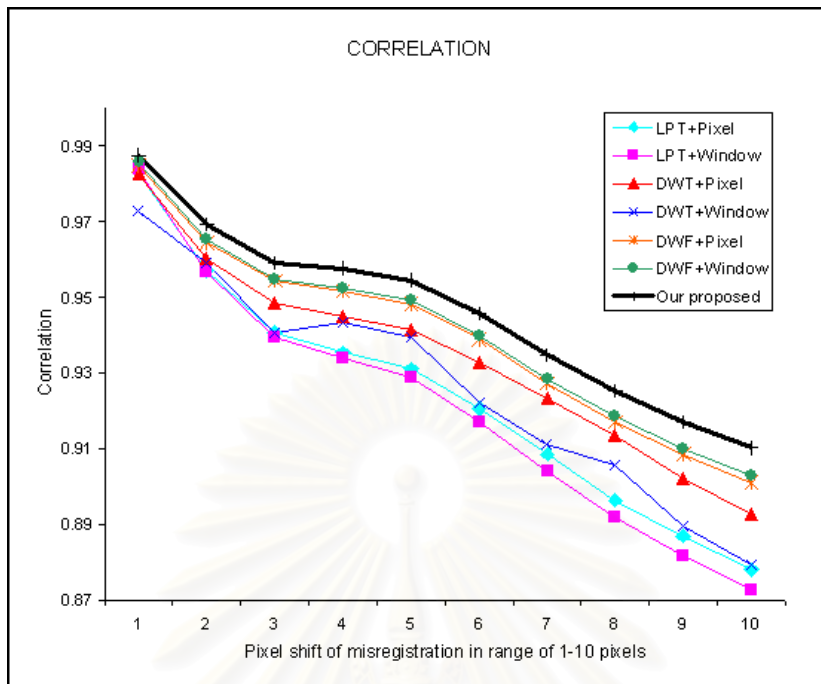


(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ

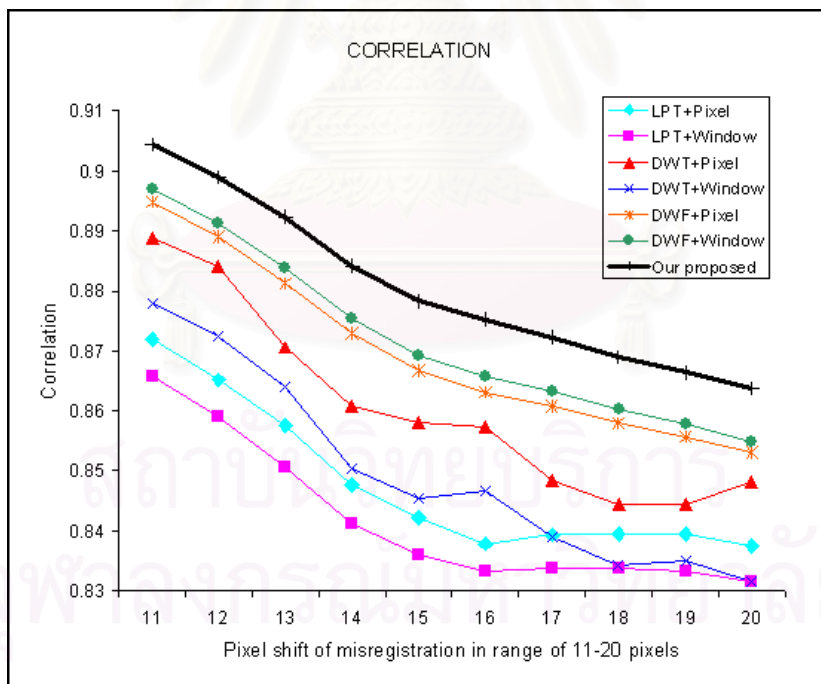


(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ

รูปที่ 1.26 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากล้างสองเฉลี่ยชุดภาพที่ 4 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ



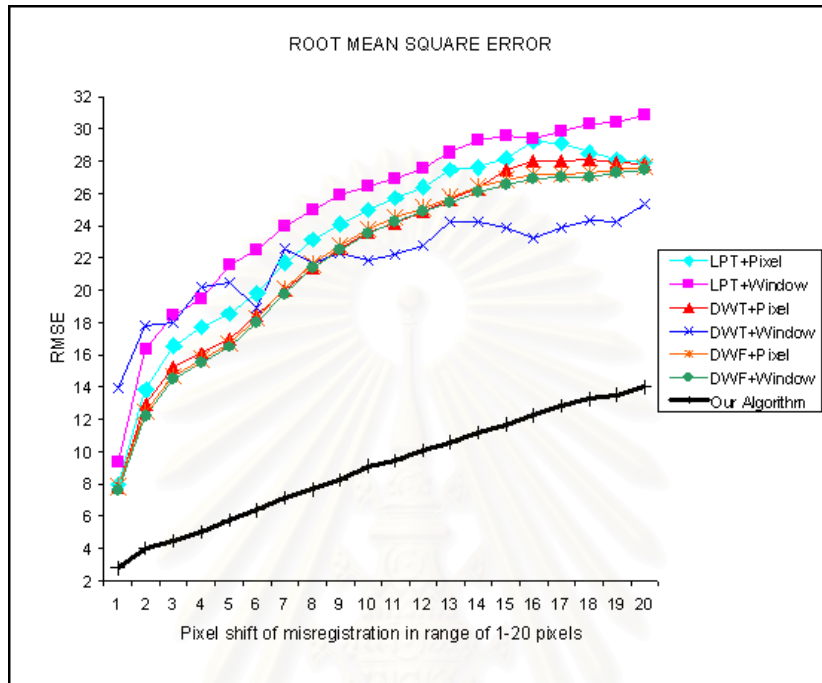
(ก) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 1-10 จุดภาพ



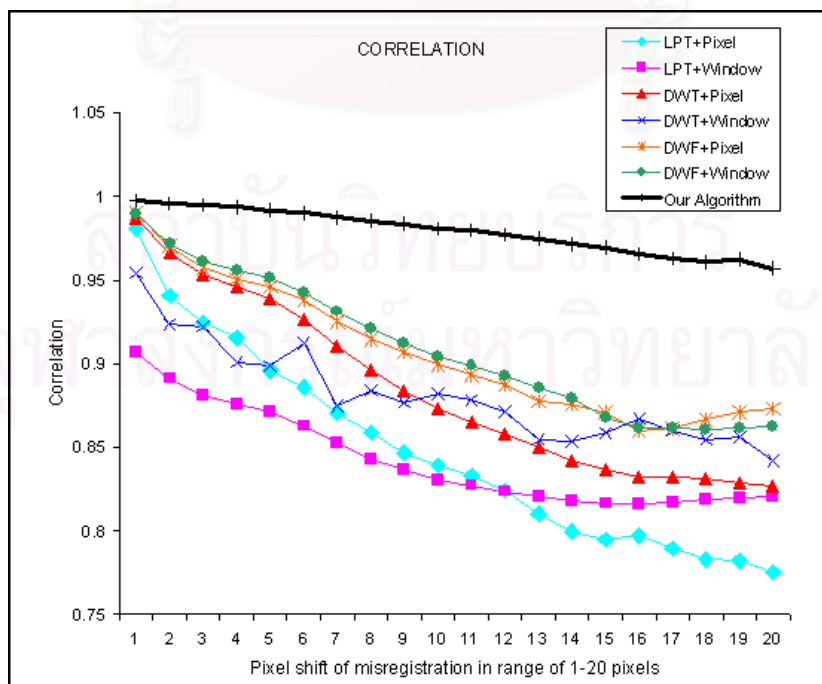
(ข) กรณีที่การคลาดเคลื่อนระหว่างภาพต้นทางอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ

รูปที่ 1.27 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 4 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

ทำการเปรียบเทียบผลในลักษณะกราฟ เมื่อภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนระหว่างกัน
 ไปทางด้าน $-Y$ จำนวน 20 จุดภาพ และกรรมวิธีการประสานภาพอยู่บนพื้นฐานการแยก
 องค์ประกอบ 4 ระดับ

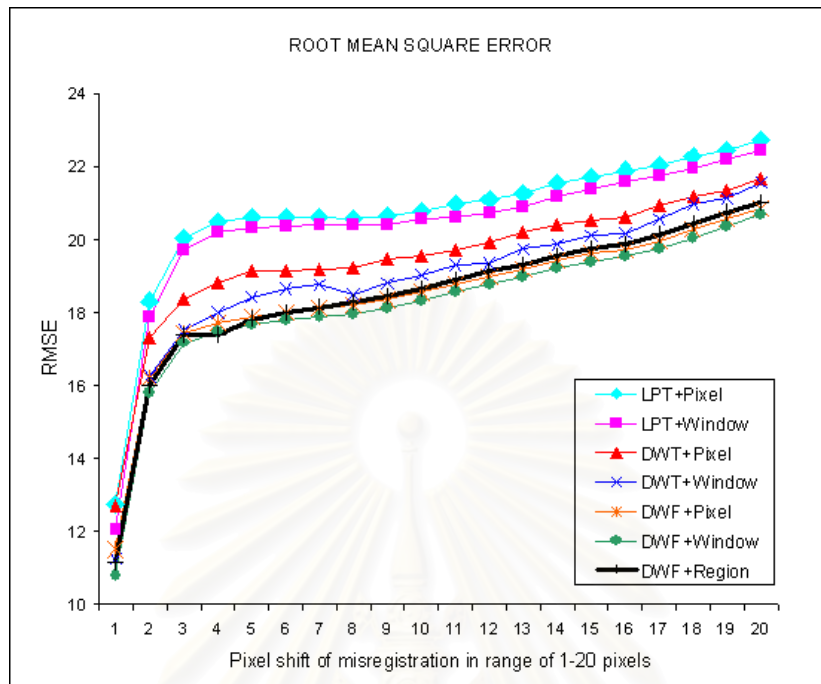


รูปที่ 1.28 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากล้างสองเฉลี่ยชุดภาพที่ 4
 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ

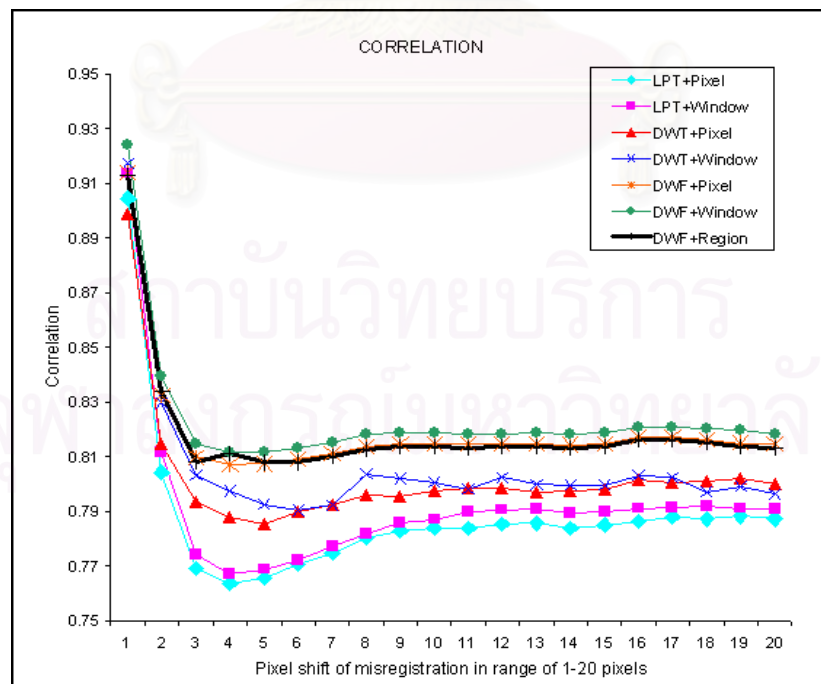


รูปที่ 1.29 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 4 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ

ชุดภาพที่ 5

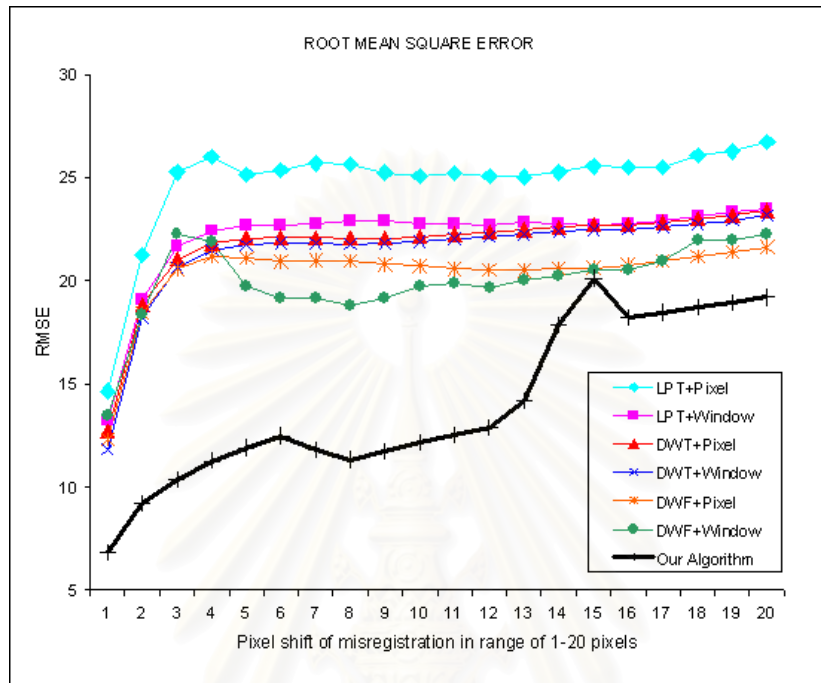


รูปที่ 1.30 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากลกำลังสองเฉลี่ยชุดภาพที่ 5 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

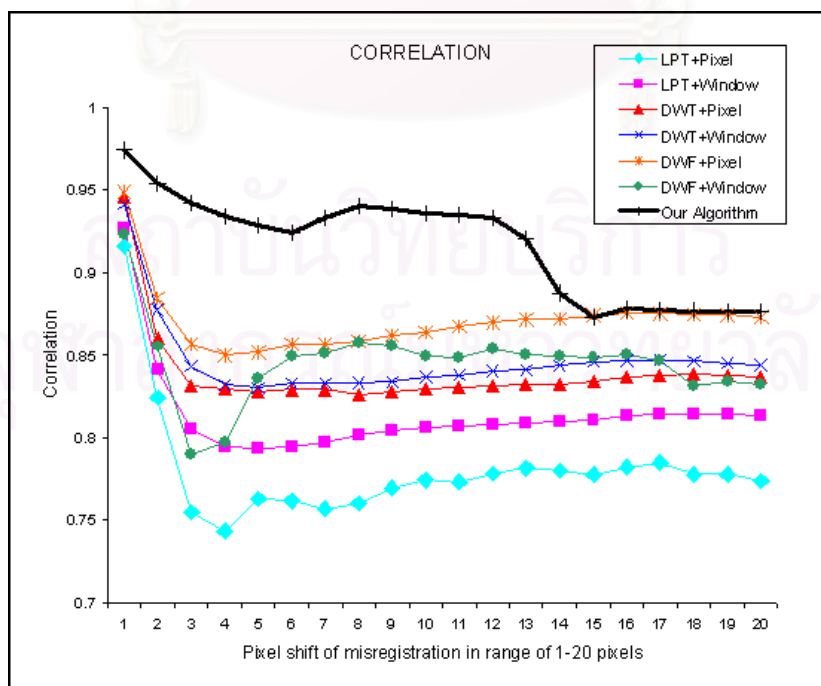


รูปที่ 1.31 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 5 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

ทำการเปรียบเทียบผลในลักษณะกราฟ เมื่อภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนระหว่างกัน
 ไปทางด้าน -X และ -Y จำนวน 20 จุดภาพ และกรรมวิธีการประสานภาพอยู่บนพื้นฐานการแยก
 องค์ประกอบ 4 ระดับ



รูปที่ 1.32 ผลการวัดค่าความผิดพลาดรากล้างสองเฉลี่ยชุดภาพที่ 5
 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ



รูปที่ 1.33 ผลการวัดค่าสหสัมพันธ์ชุดภาพที่ 5 ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ

1.9 การวิเคราะห์ผลจากการทดลอง

ทำการเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีการประสานภาพบนพื้นฐานการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ

- พบว่ากรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอจะให้ภาพประสานที่มีความใกล้เคียงกับภาพอ้างอิงสูงกว่ากรรมวิธีอื่น หรือกล่าวได้อีกอย่างว่ากรรมวิธีที่นำเสนอสามารถคงทนต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพมากกว่าวิธีอื่น ซึ่งสามารถเห็นได้จากกราฟอย่างชัดเจน

- พบว่ากรรมวิธีการประสานภาพเชิงจุดภาพและหน้าต่างที่ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตในการแยกองค์ประกอบภาพจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยกว่า และให้ค่าสหสัมพันธ์สูงกว่ากรรมวิธีการประสานภาพเชิงจุดภาพและหน้าต่างที่ใช้การแปลงลาปลาเซียนพีระมิดในการแยกองค์ประกอบ

- กรรมวิธีการประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานการแปลงลาปลาเซียนพีระมิดจะมีความคงทนต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพน้อยที่สุด ในขณะที่กรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอจะมีความคงทนต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพสูงที่สุด

ทำการเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีการประสานภาพบนพื้นฐานการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ

- กรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอจะให้ภาพประสานที่มีความใกล้เคียงกับภาพอ้างอิงสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ซึ่งแสดงถึงความคงทนของกรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอ ต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ และจากกราฟสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธีที่นำเสนอให้ผลดีกว่าวิธีอื่น ๆ มาก แม้ว่าจะทำการแยกองค์ประกอบสูงขึ้นก็ตาม

- พบว่ากรรมวิธีการประสานภาพเชิงจุดภาพและหน้าต่างที่ใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ตในการแยกองค์ประกอบภาพจะให้ผลที่ดีกว่าการประสานภาพที่ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตและการแปลงลาปลาเซียนในการแยกองค์ประกอบ เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดและค่าสหสัมพันธ์ไปพร้อมกัน

- กรรมวิธีการประสานภาพเชิงจุดภาพและหน้าต่างที่ใช้การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตในการแยกองค์ประกอบภาพจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยกว่า และให้ค่าสหสัมพันธ์สูงกว่ากรรมวิธีการประสานภาพเชิงจุดภาพและหน้าต่างที่ใช้การแปลงลาปลาเซียนพีระมิดในการแยกองค์ประกอบ

- ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ กรรมวิธีการประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานการแปลงลาปลาเซียนพีระมิดจะมีความคงทนต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพน้อยที่สุด ในขณะที่กรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอจะมีความคงทนต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพสูงที่สุด

- พบว่า ที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 4 ระดับ กรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอจะมีค่าความผิดพลาดและค่าสหสัมพันธ์ห่างจากกรรมวิธีการประสานวิธีอื่น ๆ มากขึ้น เมื่อเทียบกับผลที่ระดับการแยกองค์ประกอบ 2 ระดับ ซึ่งวิธีที่นำเสนอจะมีความคงทนต่อการประทับจำภาพสูงกว่า นั้นแสดงว่าการเปรียบเทียบผลที่ระดับการแยกองค์ประกอบสูง จะทำให้เห็นผลกระทบของการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพชัดเจนกว่าการเปรียบเทียบผลที่ระดับการแยกองค์ประกอบต่ำ

- ไม่ว่าจะทำการแยกองค์ประกอบที่ 2 ระดับ หรือ 4 ระดับ พบว่ากรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอ คือ การประสานภาพเชิงพื้นที่โดยใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต จะยังคงให้ผลการวัดประสิทธิภาพดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างชัดเจน

- ไม่ว่าจะทำการแยกองค์ประกอบที่ 2 ระดับ หรือ 4 ระดับ พบว่าการประสานภาพเชิงพื้นที่จะมีความคงทนสูงกว่าการประสานภาพเชิงจุดภาพและเชิงหน้าต่าง โดยสามารถเห็นได้จากค่าความผิดพลาดและค่าสหสัมพันธ์ที่วัดได้อย่างชัดเจน

1.10 สรุปผลการวิจัย

จุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการประสานภาพเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงกับภาพถ่ายที่บันทึกได้จากอุปกรณ์รับรู้ภาพที่ตอบสนองช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างกัน คือ ภาพความร้อนที่บันทึกจากกล้องอินฟราเรด และภาพจริงที่บันทึกจากกล้อง CCD โดยให้ความสำคัญในการลดผลกระทบของปัญหาการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพ เนื่องจากการประทับจำภาพเป็นกระบวนการขั้นต้นที่จำเป็นต้องกระทำก่อนที่จะนำภาพต้นทางไปทำการประสาน โดยการที่จะทำให้ผลการประทับจำภาพมีความสมบูรณ์นั้นทำได้ยาก ดังนั้นปัญหาการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพจึงมักจะเกิดขึ้นเสมอในทางปฏิบัติ ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้จะส่งผลกระทบอย่างมากต่อกรรมวิธีการประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานการแยกองค์ประกอบภาพหลายระดับ เนื่องจากวิธีการแยกองค์ประกอบภาพหลายระดับที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันประกอบไปด้วยการแปลงพิระมิดและการแปลงดิสครีตเวฟเล็ต ซึ่งทั้งสองวิธีดังกล่าวมีขั้นตอนของการลดการซักรบกวนอย่าง ดังนั้นจึงทำให้การแสดงผลมีความแปรปรวนตามการเลื่อนและส่งผลให้การประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานของทั้งสองวิธีนี้มีความแปรปรวนตามการเลื่อนตามไปด้วย ซึ่งนั่นก็หมายความว่า ในกรณีที่ภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพขึ้น ผลจากความแปรปรวนตามการเลื่อนนี้จะทำให้ผลการประสานภาพเกิดความผิดพลาดขึ้นด้วย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนากรรมวิธีการประสานภาพที่มีความคงทนและเสถียรต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพขึ้นมา เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริง โดยการนำวิธีการแยกองค์ประกอบภาพแบบการแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ต ซึ่งเป็นการแยกองค์ประกอบ

ภาพที่มีคุณสมบัติไม่แปรปรวนตามการเลื่อนมาประยุกต์ใช้ อันจะสามารถเพิ่มความคงทนต่อความคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพให้กับกรรมวิธีการประสานภาพได้

แต่เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ที่จะนำกรรมวิธีการประสานภาพไปทำการประยุกต์ใช้จริงกับภาพถ่ายที่บันทึกโดยใช้อุปกรณ์รับรู้ภาพต่างชนิดกัน ซึ่งมีข้อมูลภายในภาพที่มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นการทำให้ผลการประทับจำภาพของภาพทั้งสองมีความสมบูรณ์ครบถ้วนยิ่งทำได้ยากขึ้น ทำให้กรรมวิธีการประสานภาพที่พัฒนาขึ้นมาใช้จึงควรที่จะมีความคงทนสูงมากด้วย ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้พบว่าการนำเทคนิคการแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ดมาประยุกต์ใช้กับการรวมข้อมูลเชิงพื้นที่จะสามารถเพิ่มเสถียรภาพและความคงทนให้กับกรรมวิธีการประสานภาพให้สูงขึ้นไปอีกได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการประสานภาพที่อยู่บนพื้นฐานของการรวมข้อมูลเชิงพื้นที่จะเป็นการใช้ข้อมูลในลักษณะกลุ่มข้อมูลของวัตถุในภาพมาทำการประสาน ซึ่งจะช่วยให้ผลการประสานสามารถเก็บข้อมูลของวัตถุที่สนใจได้มากกว่าการใช้ข้อมูลในลักษณะจุดภาพโดด ๆ หรือในลักษณะกลุ่มข้อมูลเล็ก ๆ ดังนั้นเมื่อเกิดกรณีของการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพขึ้น การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่จะช่วยให้ความผิดพลาดในการประสานภาพน้อยลงได้

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาและพัฒนากรรมวิธีการประสานภาพเชิงพื้นที่ที่ใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ดในการแยกองค์ประกอบมาใช้งาน โดยกระบวนการในการดำเนินงานจะครอบคลุมไปถึงการพัฒนาระบบการบันทึกภาพ และกระบวนการขั้นต้นขึ้นมาใช้งานร่วมด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะต้องการชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงและทดสอบประสิทธิภาพของกรรมวิธีที่ใช้แก้ปัญหาให้เห็นได้ชัดเจน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีการประสานภาพที่น่าเสนอ คือ การประสานภาพเชิงพื้นที่ที่ใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ดในการแยกองค์ประกอบภาพจะมีความคงทนต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพมากกว่าการประสานภาพที่ใช้การแปลงลาปลาเซียนพหุระมิตและการแปลงดิสครีตเวฟเล็ดในการแยกองค์ประกอบ โดยผลการวิจัยจะแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดที่ระดับการแยกองค์ประกอบสูง ๆ เนื่องจากการแปลงลาปลาเซียนพหุระมิตและการแปลงดิสครีตเวฟเล็ดจะมีการลดจำนวนข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้กรรมวิธีการประสานภาพที่ใช้ทั้งสองวิธีดังกล่าวในการแยกองค์ประกอบมีความไวต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพมากขึ้นด้วย ในขณะที่กรรมวิธีที่น่าเสนอใช้การแปลงเฟรมดิสครีตเวฟเล็ดในการแยกองค์ประกอบ ซึ่งไม่มีขั้นตอนในการลดจำนวนข้อมูล อีกทั้งยังทำการรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบของการคลาดเคลื่อนในระดับจุดภาพได้ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุให้กรรมวิธีการประสานภาพที่น่าเสนอมีความคงทนต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ

1.11. ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากกรรมวิธีการประทับจำภาพที่พัฒนาขึ้นมาใช้นั้น คำนึงถึงความสะดวกในการทำงาน และผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในระดับที่พอใจเป็นหลัก ซึ่งเมื่อเทียบผลกับกรรมวิธีการประทับจำภาพที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยทางด้านนี้โดยตรง กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นอาจจะยังให้ความแม่นยำได้ไม่ดีเท่ากับกรรมวิธีเหล่านั้น ดังนั้นการพัฒนากกรรมวิธีการประทับจำภาพให้มีความแม่นยำสูงขึ้น จะทำให้การทดสอบความคงทนของกรรมวิธีการประสานภาพต่อการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

2. กรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับภาพถ่ายที่เป็นจุดสีได้ ซึ่งจะทำให้เห็นประโยชน์ของกรรมวิธีได้ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน

3. กรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนออยู่บนพื้นฐานการรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งนำเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลแบบคลุมเครือ (Fuzzy) มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของภาพความร้อนที่มีความไม่ชัดเจนของข้อมูล แต่เทคนิคดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกรรมวิธีการประสานภาพเมื่อภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อนในการประทับจำภาพขึ้นได้ เนื่องจากเมื่อภาพต้นทางเกิดการคลาดเคลื่อน ในบางครั้งเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลจะเกิดการเปลี่ยนทาง (Divert) ไม่สามารถเข้าสู่ผลเฉลยที่แท้จริงได้ ทำให้กรรมวิธีการประสานภาพที่นำเสนอมีความคงทนลดน้อยลง ดังนั้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอสามารถทำได้โดยการนำเทคนิคการแยกส่วน (Segmentation techniques) ที่ให้ผลแม่นยำและเหมาะสมกับคุณลักษณะของภาพความร้อนมากกว่าเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลแบบคลุมเครือมาประยุกต์ใช้ได้

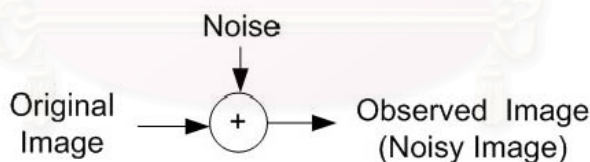
ส่วนที่ 2

2.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยย่อย

1. เพื่อปรับปรุงกรรมวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพ ด้วยการแปลงเวฟเล็ต
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพ โดยยังคงลักษณะสำคัญของภาพเดิมเอาไว้

2.2 การศึกษางานวิจัยในอดีต

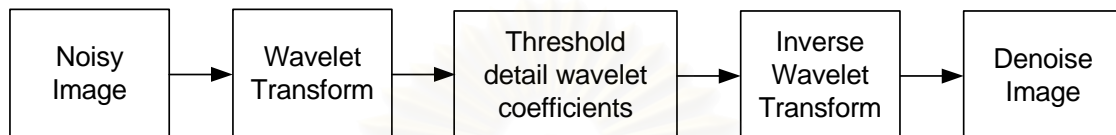
ในปัจจุบันภาพดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญ และถูกนำมาใช้มากกับศาสตร์หลายแขนง เช่น ทางด้านการแพทย์ ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ รวมทั้งถูกนำมาใช้ในงานวิจัยต่างๆ เช่น งานวิจัยทางด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographical Information System: GIS) งานวิจัยทางด้านดาราศาสตร์ (Astronomy) เป็นต้น หัวใจหลักของกรรมวิธีในการวิเคราะห์ผลภาพดิจิทัลที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นคือ ภาพที่จะนำไปใช้ โดยภาพที่จะนำไปใช้นั้นจะมาจากภาพต้นแบบ (Original Image) ที่ผ่านการประมวลผลสัญญาณภาพ (Image Processing) ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในระหว่างการประมวลผลสัญญาณภาพได้แก่ ภาพส่วนใหญ่มักจะถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนอันอาจเกิดจากการใช้เซ็นเซอร์รับภาพที่ไม่ดีเพียงพอ กระบวนการบันทึกข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น ดังนั้นภาพที่ได้รับจึงเป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย (noisy image) กระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพจะแสดงดังรูปที่ 2.1 เมื่อนำภาพที่มีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วยไปใช้ อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลได้ ดังนั้นก่อนที่เราจะนำภาพไปใช้ในกระบวนการใดๆ จำเป็นที่จะต้องลดทอนสัญญาณรบกวนก่อน ซึ่งกรรมวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวน (Denoising) มีเป้าหมายที่สำคัญคือ จะต้องลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพให้ได้มากที่สุด โดยไม่ทำให้ภาพต้นแบบเกิดความผิดเพี้ยน เพื่อที่จะทำให้ภาพที่ได้ไม่เกิดความผิดเพี้ยนนั้น จำเป็นต้องประยุกต์เทคนิคของกรรมวิธีในการลดทอนสัญญาณรบกวนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของภาพที่ได้รับถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวน

ในงานวิจัยย่อยนี้จะทำการศึกษาลดทอนสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเวฟเลต เนื่องจากวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวน แบบนี้เป็นวิธีที่ง่ายต่อการเข้าใจ มีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพ และมีความหลากหลายในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวน โดยการแปลงเวฟเลตมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นการแปลงแบบต่อเนื่องเทียม (pseudo-continuous transformation) มีการกระจายตัวของสัญญาณเชิงตั้งฉากแบบหลายระดับ (multiresolution orthogonal signal decomposition) สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้ทั้งเชิงเวลา และเชิงความถี่ได้พร้อมๆ กัน อีกทั้งมีคุณสมบัติ sparsity คือ การกระจายตัวของ

สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตของภาพเป็นแบบเบาบาง และยังมีขั้นตอนวิธีในการทำงานที่รวดเร็ว สำหรับงานวิจัยย่อยนี้จะศึกษาในส่วนของกระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบวิธีการกรองขีดเริ่มเปลี่ยนแบบไม่เชิงเส้น เพราะในปัจจุบันงานวิจัยต่างๆ ได้ให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้าทางด้านนี้ โดยกรรมวิธีในการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบ Wavelet thresholding แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต แบบ Wavelet thresholding

โดยกระบวนการการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต แบบ Wavelet thresholding มีขั้นตอนดังนี้

1) นำสัญญาณภาพที่ถูกลดทอน ด้วยสัญญาณรบกวนมาแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform) เนื่องจากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยมีการพิจารณาเป็นแบบการเข้ารหัสคลื่นย่อย (Subband coding) ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลภาพดังที่กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อที่ผ่านมา จะได้สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต

2) นำสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตไปคำนวณหาขีดเริ่มเปลี่ยน แล้วนำขีดเริ่มเปลี่ยนไปประยุกต์กับฟังก์ชันการประยุกต์ใช้ขีดเริ่มเปลี่ยน โดยวิธีการ Wavelet thresholding จะเอาสัญญาณรบกวนออกโดยทำ thresholding เฉพาะส่วนของแถบย่อยของสัมประสิทธิ์รายละเอียดของเวฟเล็ต (detail subbands coefficient) ซึ่งแถบย่อยนี้จะเก็บสัมประสิทธิ์ที่มีความละเอียดต่ำเอาไว้

3) นำสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่ได้ผ่านกระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวนแล้วมาสร้างเวฟเล็ตกลับ (Inverse Discrete Wavelet Transform) จะได้ภาพที่ถูกลดทอนสัญญาณรบกวนแล้ว

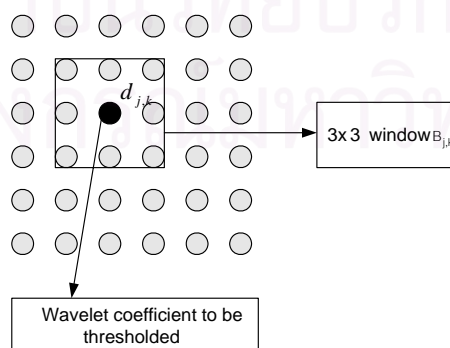
ในงานวิจัยย่อยนี้จะศึกษากระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบ Wavelet thresholding ในขั้นตอนที่สองคือ การพิจารณาการเลือกขีดเริ่มเปลี่ยนของ

สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต เนื่องจากหัวใจหลักของการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีนี้คือ การหาขีดเริ่มเปลี่ยนของสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต ถ้าการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้มีค่าไม่เหมาะสมกับภาพนั้นก็จะทำให้ภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนเกิดความผิดเพี้ยนไปจากภาพต้นฉบับ ดังนั้นถ้าหากสามารถคำนวณค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดได้ เมื่อนำค่าขีดเริ่มเปลี่ยนนั้นมาประยุกต์กับฟังก์ชันการประยุกต์ใช้ขีดเริ่มเปลี่ยน ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น และภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนจะมีคุณภาพที่ดี และใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่า การลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยนำสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตข้างเคียงมาพิจารณา ในงานวิจัยก่อนหน้านี้จะนำวิธีการหาขีดเริ่มเปลี่ยนแบบ Universal threshold มาใช้ ซึ่งจากการศึกษาวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนในบทที่ 2 พบว่า การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี VisuShrink ที่นำการหาขีดเริ่มเปลี่ยนแบบ Universal Threshold มาใช้ ผลภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีนี้ยังเกิดความผิดเพี้ยนไปจากภาพต้นฉบับ โดยจากการศึกษาวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนพบว่ายังมีวิธีการหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธีอื่นที่มีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ดีกว่าวิธี VisuShrink เช่น การหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี SureShrink และการหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี BayesShrink

ดังนั้นงานวิจัยย่อยนี้ จะเสนอการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยนำข้อมูลของสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่อยู่ข้างเคียงมาพิจารณา ตามงานวิจัยก่อนหน้านี้โดยจะนำการหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี SureShrink และการหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี BayesShrink มาใช้ แทนการหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี VisuShrink ตามงานวิจัย ก่อนหน้า ซึ่งงานวิจัยย่อยนี้จะใช้วินโดว์ล้อมรอบสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต แบบไม่มีการซ้อนทับกัน โดยจะแสดงวิธีการเลือกขีดเริ่มเปลี่ยนดังรูปที่

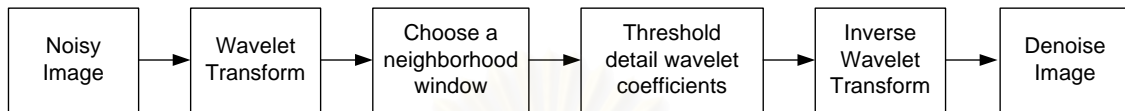
2.3



รูปที่ 2.3 การเลือกสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่อยู่ข้างเคียงแบบวินโดว์ไม่มีการซ้อนทับกัน

การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอมีขั้นตอนดังนี้

1) นำสัญญาณภาพที่ถูกรบกวน ด้วยสัญญาณรบกวนมาแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2.4 กระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่อยู่ข้างเคียงมาพิจารณา

2) จัดกลุ่มสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตแบบวินโดว์ที่ไม่มีขอบซ้อนทับกัน และมีขนาดแตกต่างกันกันดังนี้คือ $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ เพื่อหาขนาดของวินโดว์ที่เหมาะสมที่สุด ที่จะทำให้ภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนแล้วให้ผลที่น่าพอใจ

3) คำนวณหาขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละวินโดว์ ตามวิธีการหาขีดเริ่มเปลี่ยนที่นำเสนอ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองวิธีคือ การหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี SureShrink และการหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี BayesShrink ซึ่งวิธีการคำนวณหาขีดเริ่มเปลี่ยนที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีขั้นตอนดังนี้

วิธีที่หนึ่ง จะใช้วินโดว์ล้อมรอบสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต เพื่อจัดกลุ่มสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต แล้วจึงหาขีดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี SureShrink วิธี SureShrink เป็นการลดทอนสัญญาณรบกวนซึ่งมีแนวคิดมาจากคุณสมบัติของเวฟเล็ตที่ว่า เมื่อทำการแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณแล้ว พลังงานของสัญญาณจะรวมกันอยู่เป็นกลุ่มเล็กๆ แต่สัญญาณรบกวนจะไม่รวมกันเป็นกลุ่ม ดังนั้นการลดทอนสัญญาณรบกวนสามารถทำได้โดย การทำให้สัญญาณรบกวนราบเรียบ (smoothness) มากที่สุด

เมื่อพิจารณา SureShrink เป็นแบบสองมิติ โดยที่มีแถบย่อยขนาด $n \times n$ จะได้

$$SURE(\lambda; Y) = n^2 - 2 \sum_{i,j=1}^n I_{\{|Y_{ij}| \leq \lambda\}} + \sum_{i,j=1}^n (|Y_{ij}| \wedge \lambda)^2 \quad (1)$$

โดยที่ $a \wedge b$ เป็น $\min(a, b)$ และ $Y_{ij} = X_{ij} + V_{ij}$ เมื่อ $j = 1, \dots, n$ โดยที่ V_{ij} เป็น $iid N(0, \sigma^2)$

ซึ่งงานวิจัยย่อยนี้ได้เสนอวิธี SureShrink โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นแรก เลือกขนาดของวินโดว์ดังรูปที่ 2.3 เพื่อแบ่งกลุ่มสัมประสิทธิ์ โดยขนาดของวินโดว์ จะมีขนาดแตกต่างกันดังนี้คือ $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$

ขั้นที่สอง คำนวณขีดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งจะมีการคำนวณหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในทุกๆ วินโดว์ $B_{j,k}$ และนำค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้มาปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของวินโดว์ โดยการเลือกค่าขีดเริ่มเปลี่ยนวิธี SureShrink ต้องใช้วิธีแบบ Hybrid โดยจะแสดงในสมการที่ 2 และ สมการที่ 3

$$\hat{\mu}^+(\mathbf{x})_i = \begin{cases} \eta_{\lambda_d^F}(x_i) & s_d^2 \leq \gamma_d \\ \eta_{\lambda_s}(x_i) & s_d^2 > \gamma_d \end{cases} \quad (2)$$

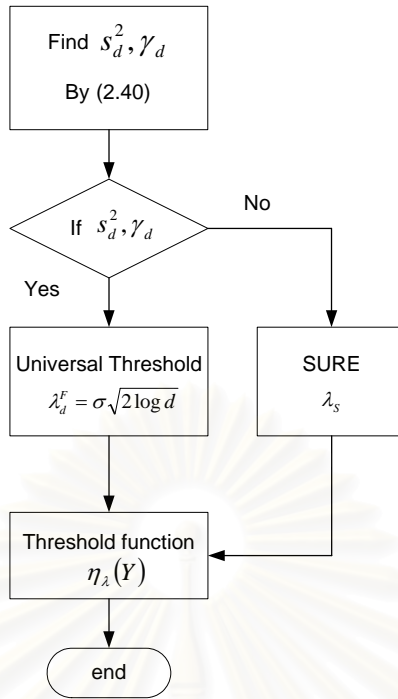
โดย

$$s_d^2 = \frac{\sum_i (x_i^2 - 1)}{d} \quad \gamma_d = \frac{\log_2^{3/2}(d)}{\sqrt{d}} \quad (3)$$

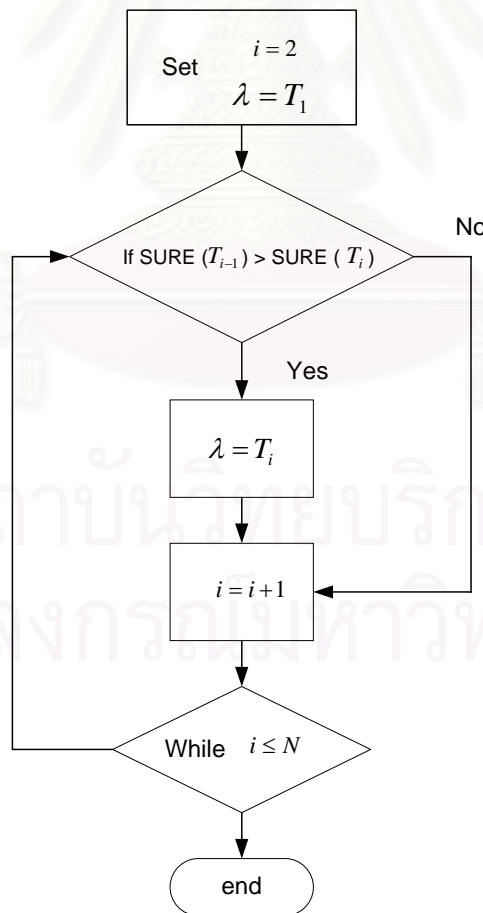
และ λ_d^F คือ การหาขีดเริ่มเปลี่ยนแบบ Universal Threshold

λ_s คือ การหาขีดเริ่มเปลี่ยนแบบ Sure ดังสมการที่ 1

จะหาพารามิเตอร์ตามสมการที่ 3 ก่อน แล้วนำพารามิเตอร์ทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน โดย ถ้า $s_d^2 \leq \gamma_d$ จะเป็น dense situations ซึ่งจะใช้ขีดเริ่มเปลี่ยนเป็น Universal threshold ซึ่งในนี้ กำหนดให้ $\sigma = 1$ จะได้ $\lambda_d^F = \sqrt{2 \log d}$ แต่ถ้า $s_d^2 > \gamma_d$ จะเป็น sparse situations ซึ่งจะใช้ขีดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.38) ขั้นตอนการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบ Hybrid นี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



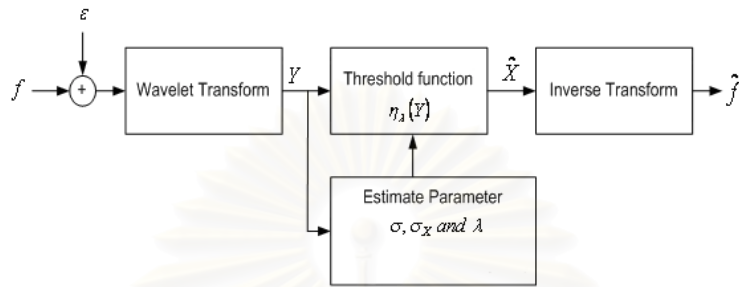
รูปที่ 2.5 แผนภาพการลดทอนสัญญาณรบกวน โดยวิธีการ SureShrink



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงการหาขีดเริ่มเปลี่ยน โดยวิธี SURE

วิธีที่สอง จะใช้วินโดว์ล้อมรอบสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต เพื่อจัดกลุ่มสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต แล้วจึงหาขีดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี BayesShrink

ขั้นตอนของการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี BayesShrink สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการหาขีดเริ่มเปลี่ยน โดยวิธี BayesShrink

ภายในกลุ่มย่อยนั้นๆ และนำค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้มาปรับค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่อยู่ตรงกลางของวินโดว์ $B_{j,k}$ ไต

4) นำสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่ได้ผ่านกระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวนแล้วมาสร้างกลับ (Inverse Discrete Wavelet Transform) จะได้ภาพที่ถูกลดทอนสัญญาณรบกวนแล้ว

ในงานวิจัยย่อยนี้จะเปรียบเทียบผลการลดทอนสัญญาณรบกวนของวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอกับวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้รับความนิยม ได้แก่ วิธี Wiener VisuShrink SureShrink BayesShrink และวิธี NeighShrink

2.4 ผลการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพ

โดยผลการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพจะแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีที่พัฒนากับกรรมวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นที่ได้มีการนำเสนอขึ้นในงานวิจัยก่อนหน้า

2.4.1 ผลการเปรียบเทียบสำหรับภาพ Lena

หัวข้อนี้จะเปรียบเทียบการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอกับการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ สำหรับภาพ Lena จากรูปที่ 2.8 (ก) แสดงภาพต้นฉบับของภาพ Lena และภาพที่ถูกลดทอนด้วยสัญญาณรบกวนที่ $\sigma = 20$ โดยมีค่า PSNR เท่ากับ 22.18 dB ดังรูปที่ 2.8 (ข) ซึ่ง

งานวิจัยย่อยฉบับนี้จะนำภาพทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกับผลการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอ และการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ



(ก) ภาพต้นฉบับ ของ Lena



(ข) ภาพที่ถูกกรองด้วยสัญญาณรบกวนที่

$$\sigma = 20$$



(ค) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี VisuShrink

แบบ Hard threshold



(ง) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี VisuShrink

แบบ Soft threshold



(จ) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี Wiener



(ฉ) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี SureShrink



(ข) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี BayesShrink



(ซ) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี NeighShrink ขนาดของวินโดว์เป็น 5×5 (5×5 NeighShrink)



(ฅ) การลดทอนสัญญาณที่นำเสนอวิธีที่หนึ่ง ที่ขนาดของวินโดว์เป็น 5×5



(ณ) การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สอง ขนาดของวินโดว์เป็น 7×7

รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ สำหรับภาพ Lena

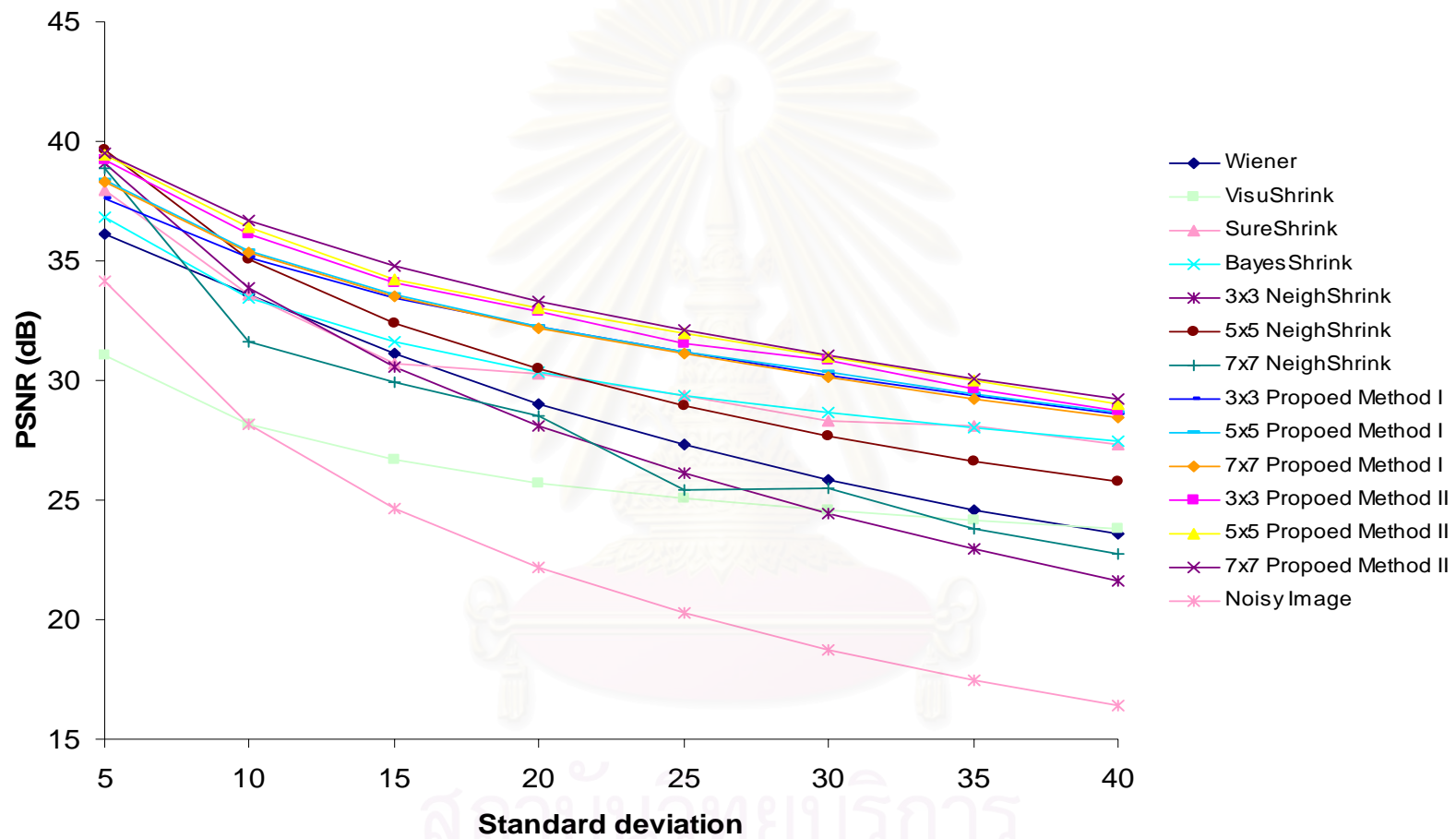
รูปที่ 2.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSNR ของภาพ Lena ของการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอ และการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ จากกราฟความสัมพันธ์จะพบว่า ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่ามากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนของทุกวิธีต่ำลง และวิธีการลดทอนสัญญาณที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนกว่าวิธีอื่นๆ โดยเฉพาะการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สอง ที่วินโดว์ขนาด 7×7 จะให้ค่า PSNR ที่สูงทุกๆ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยจากกราฟจะพบว่า วิธี Wiener จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าวิธี VisuShrink ที่ทุกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

และมากกว่าวิธี SureShrink วิธี BayesShrink วิธี 3×3 NeighShrink และวิธี 7×7 NeighShrink ในบางค่า

จากผลการลดทอนสัญญาณรบกวนสำหรับภาพ Lena พบว่า การลดทอนสัญญาณรบกวนรบกวนที่นำเสนอทั้งสองวิธีจะให้ค่า PSNR สูงกว่าการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ ทุกๆ ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานที่กำหนด และภาพที่ได้มีคุณภาพที่ดี และมีความคล้ายคลึงกับภาพต้นฉบับ โดยเฉพาะการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีที่สอง ที่ขนาดของวินโดวเป็น 7×7 ดังแสดงภาพตัวอย่างที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 20 เนื่องจากจะเป็นช่วงที่มีค่า PSNR สูงสุดดังรูปที่ 2.8 (ญ)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.9 ค่า PSNR สำหรับภาพ Lena ที่การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอกับการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ

2.4.2 ผลการเปรียบเทียบสำหรับภาพ Barbara

หัวข้อนี้จะเปรียบเทียบการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอกับการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ สำหรับภาพ Barbara จากรูปที่ 2.10 (ก) แสดงภาพต้นฉบับของภาพ Barbara และภาพที่ถูกลดทอนด้วยสัญญาณรบกวนที่ $\sigma = 20$ โดยมีค่า PSNR เท่ากับ 22.18 dB ดังรูปที่ 2.10 (ข) ซึ่งงานวิจัยย่อยฉบับนี้จะนำภาพทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกับวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอ และการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ



(ก) ภาพต้นฉบับ ของ Barbara



(ข) ภาพที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนที่

$\sigma = 20$



(ค) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี VisuShrink

แบบ Hard threshold

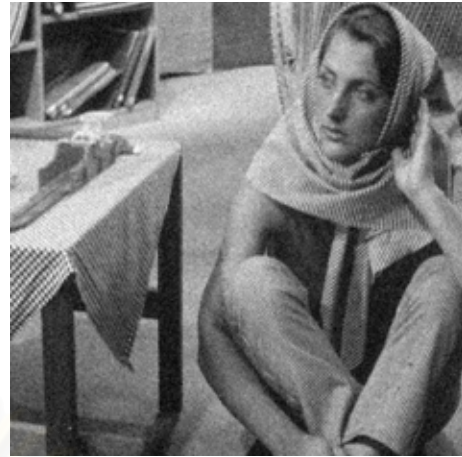


(ง) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี VisuShrink

แบบ Soft threshold



(จ) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี Wiener



(ข) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี SureShrink



(ค) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี
BayesShrink



(ง) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี NeighShrink
ขนาดของวินโดว์เป็น 3×3 (3×3 NeighShrink)



(ฉ) การลดทอนสัญญาณที่นำเสนอมวิธีที่หนึ่ง ที่
ขนาดของวินโดว์เป็น 7×7



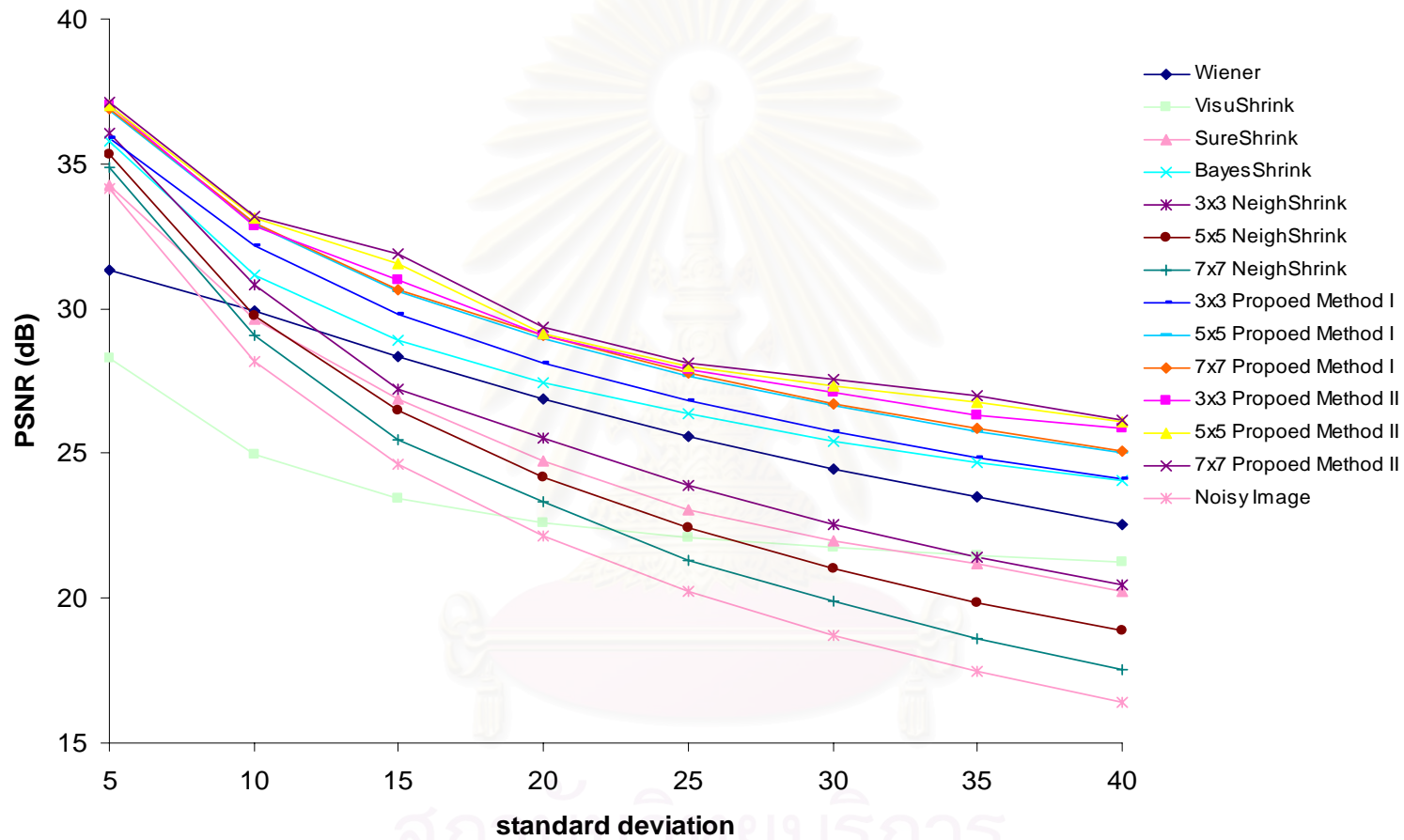
(ช) การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอมวิธีที่
สอง ขนาดของวินโดว์เป็น 7×7

รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ สำหรับภาพ
Barbara

จากรูปที่ 2.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSNR ของภาพ Barbara ที่การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอและการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ จะพบว่า ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่ามากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนของทุกวิธีต่ำลง และวิธีการลดทอนสัญญาณที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนกว่าวิธีอื่นๆ โดยเฉพาะการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สอง ที่ขนาดของวินโดว์เป็น 7×7 จะให้ค่า PSNR ที่สูงทุกๆ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อ $\sigma = 15$ จะพบว่า Wiener จะมีค่า PSNR มากกว่าวิธี VisuShrink ที่ทุกๆ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และมีค่า PSNR มากกว่าวิธี SureShrink วิธี 3×3 NeighShrink วิธี 5×5 NeighShrink และวิธี 7×7 NeighShrink ในบางค่า

จากผลการลดทอนสัญญาณรบกวนสำหรับภาพ Barbara พบว่า การลดทอนสัญญาณรบกวนที่เสนอทั้งสองวิธีจะให้ค่า PSNR สูงกว่าการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ และภาพที่ได้มีคุณภาพดี และมีความคล้ายคลึงกับภาพต้นฉบับ โดยเฉพาะการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีที่สอง ที่ขนาดของวินโดว์เป็น 7×7 ดังจะแสดงภาพตัวอย่างที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 20 เนื่องจากจะเป็นช่วงที่มีค่า PSNR สูงสุดดังรูปที่ 2.10 (ญ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



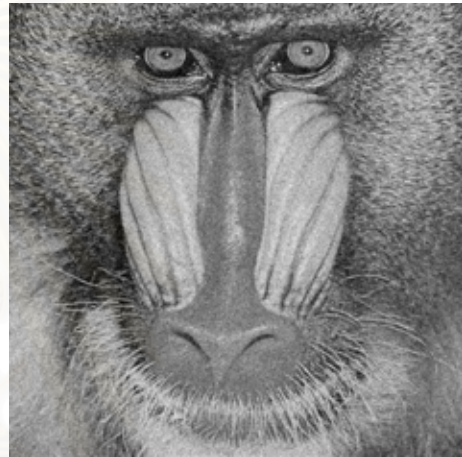
รูปที่ 2.11 ค่า PSNR ของภาพ Barbara ที่การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอกับการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ

2.4.3 ผลการเปรียบเทียบสำหรับภาพ Baboon

หัวข้อนี้จะเปรียบเทียบการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอกับการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ สำหรับภาพ Baboon จากรูปที่ 2.12 (ก) แสดงภาพต้นฉบับของภาพ Baboon และภาพที่ถูกลดทอนด้วยสัญญาณรบกวนที่ $\sigma = 20$ โดยมีค่า PSNR เท่ากับ 22.18 dB ดังรูปที่ 2.12 (ข) ซึ่งงานวิจัยย่อยนี้จะนำภาพทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกับวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอ และการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ



(ก) ภาพต้นฉบับ ของ Baboon



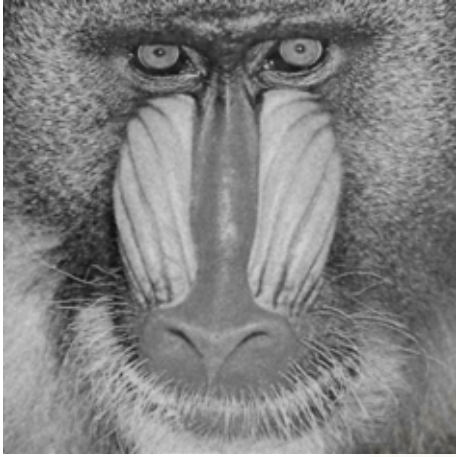
(ข) ภาพที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนที่ $\sigma = 20$



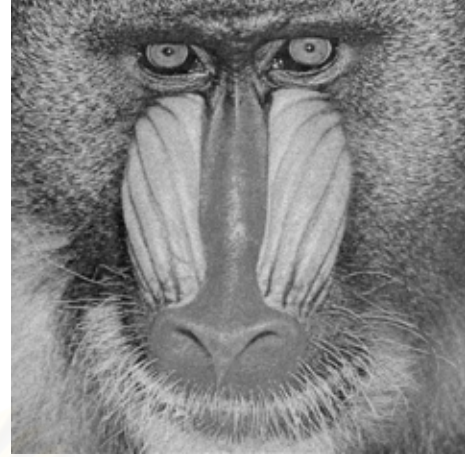
(ค) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี VisuShrink แบบ Hard threshold



(ง) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี VisuShrink แบบ Soft threshold



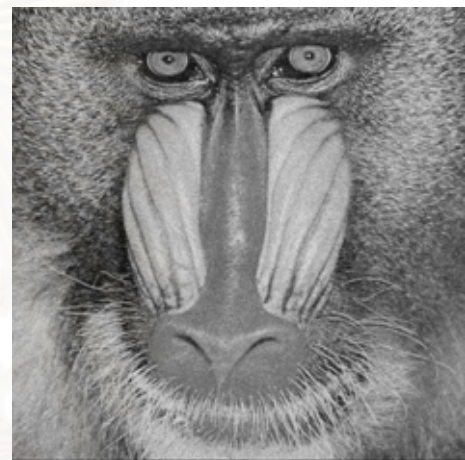
(จ) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี Wiener



(ข) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี SureShrink



(ค) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี BayesShrink



(ง) การลดทอนสัญญาณรบกวนวิธี

NeighShrink ขนาดของวินโดว์เป็น 5×5

(5×5 NeighShrink)



(ฉ) การลดทอนสัญญาณที่นำเสนอวิธีที่หนึ่ง ที่
ขนาดของวินโดว์เป็น 3×3



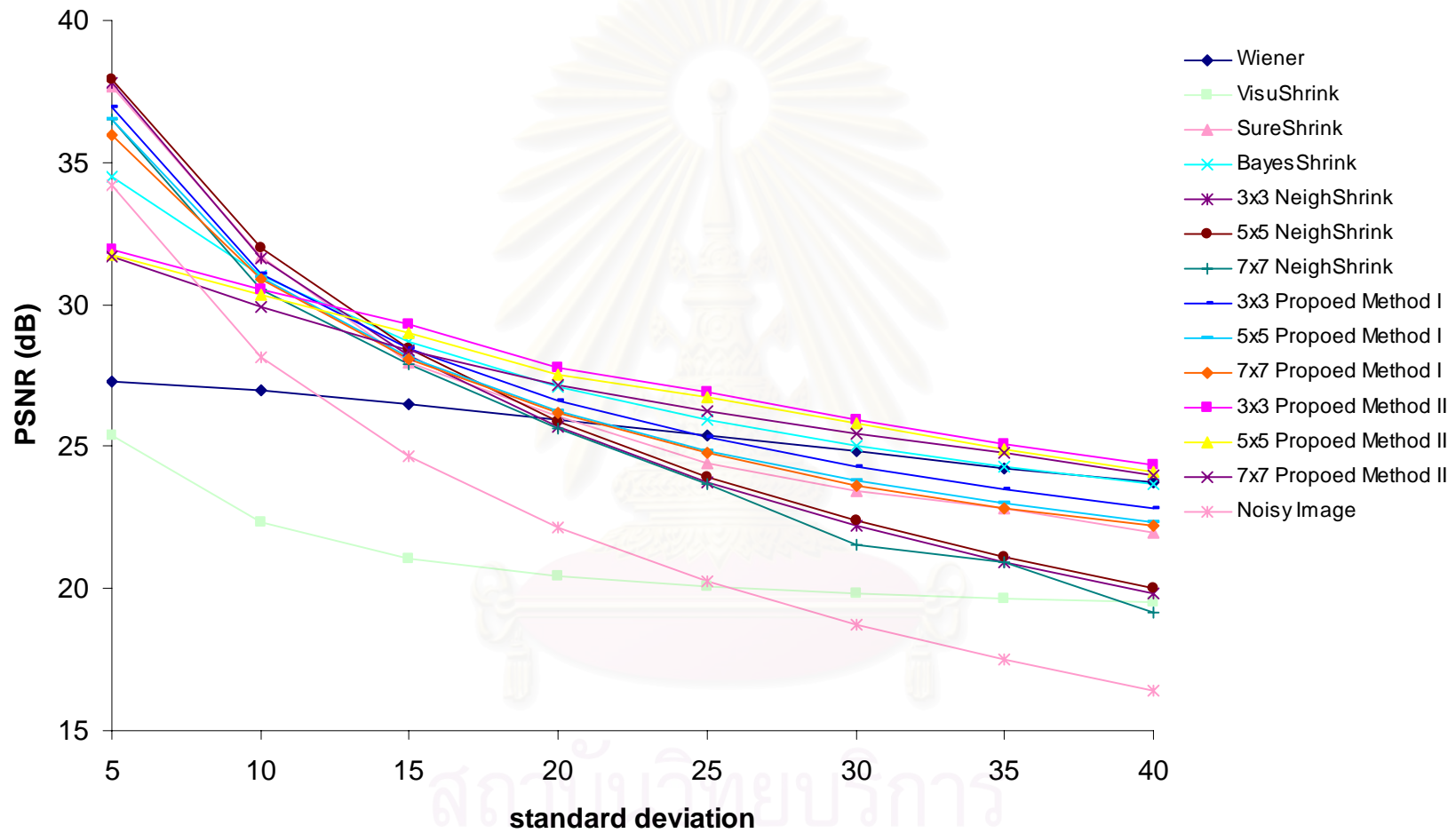
(ช) การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่
สอง ขนาดของวินโดว์เป็น 3×3

รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ สำหรับภาพ Baboon

รูปที่ 2.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSNR ของภาพ Baboon ของการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอ และการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีต่างๆ พบว่า ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่ามากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนของทุกวิธีที่ต่ำลง โดยการลดทอนสัญญาณที่นำเสนอวิธีที่สอง จะให้ค่า PSNR ที่สูงทุกๆ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเฉพาะที่วินโดว์ขนาด 3×3 แต่จากกราฟจะพบว่า เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มีค่ามากขึ้น วิธี Wiener จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี โดยจะมีค่า PSNR มากกว่าวิธี VisuShrink วิธี SureShrink วิธี BayesShrink และวิธี NeighShrink



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 ค่า PSNR สำหรับภาพ Baboon ที่ลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอกับการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ

2.5 การวิเคราะห์ผลจากการทดลอง

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอกับการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ จะพบว่า วิธีการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต จะมีประสิทธิภาพในการลดทอนภาพที่มีความถี่ต่ำ เช่น ภาพ Lena แต่เมื่อภาพมีความถี่สูงมาก เช่น ภาพ Baboon และภาพ Barbara การลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีเพียงพอ ทำให้ภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยเวฟเล็ตเกิดความผิดเพี้ยนจากภาพต้นฉบับ

ผลการเปรียบเทียบการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้จากวิธี VisuShrink แบบ Hard threshold สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แบบ Soft-threshold ลดทอนสัญญาณรบกวนได้ไม่ดีในบริเวณที่เป็นขอบของภาพ

ผลการเปรียบเทียบแบบการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้จากวิธี Wiener จะเห็นว่า สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดีในบริเวณที่เป็นขอบของภาพ แต่ยังคงลดทอนสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ต่ำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

ผลการเปรียบเทียบแบบการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้จากวิธี SureShrink จะเห็นว่าผลการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพคล้ายกับวิธี Wiener แต่วิธี SureShrink สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนบริเวณที่มีความถี่ต่ำได้ดีกว่าวิธี Wiener

ผลการเปรียบเทียบแบบการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้จากวิธี BayesShrink จะเห็นว่า สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนบริเวณที่มีความถี่ต่ำได้ดี แต่ยังไม่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนบริเวณขอบของภาพได้ดี

ผลการเปรียบเทียบแบบการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้จากวิธี NeighShrink จะเห็นว่า สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี ทั้งบริเวณที่มีความถี่ต่ำและบริเวณความถี่สูงได้ดีกว่าวิธี BayesShrink

ผลการเปรียบเทียบแบบการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่หนึ่ง จะเห็นว่า การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่หนึ่ง สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี ทั้งบริเวณที่มีความถี่ต่ำมากกว่าวิธี BayesShrink แต่ลดทอนสัญญาณรบกวนบริเวณความถี่ต่ำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

ผลการเปรียบเทียบแบบทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สอง จะเห็นว่าการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สองสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี เฉพาะบริเวณ แต่ยังไม่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนบริเวณที่มีความถี่สูงได้ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะภาพ Baboon การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สองจะให้ผลภาพที่ผิดเพี้ยนไปจากภาพต้นฉบับ

2.6 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยย่อยนี้ได้ศึกษาการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพ ที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก ด้วยการแปลงเวฟเล็ต เนื่องจากวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบนี้ เป็นวิธีที่ง่ายต่อการเข้าใจ มีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพ และมีความหลากหลายในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวน ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมเพื่อนำมาลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ตคือ การพิจารณาสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต โดยการหาขีดเริ่มเปลี่ยน แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ จะนำสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตมาเปรียบเทียบกับขีดเริ่มเปลี่ยนแบบทีละพจน์ ซึ่งขีดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้อาจมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่สำคัญ ทำให้สัมประสิทธิ์ที่สำคัญถูกลดทอนไปด้วย ซึ่งภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนอาจเกิดความผิดเพี้ยนไปจากภาพต้นฉบับ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะสนใจขั้นตอนวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยนำข้อมูลของสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่อยู่ข้างเคียงมาพิจารณา แบบการใช้วินโดว์ล้อมรอบสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาขีดเริ่มเปลี่ยนของสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต โครงสร้างของขั้นตอนวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนดังกล่าวนี้ได้ถูกเสนอในงานวิจัยก่อนหน้า แต่จากผลการทดสอบพบว่า การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้า จะให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี เมื่อนำมาลดทอนสัญญาณรบกวนภาพ เนื่องจากการหาขีดเริ่มเปลี่ยนของวิธีนี้ยังไม่เหมาะสมเพียงพอ ซึ่งจากการศึกษาการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพที่ถูกนำเสนอพบว่า ยังมีวิธีการหาขีดเริ่มเปลี่ยนวิธีอื่น ที่ทำให้ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณเพิ่มขึ้นกว่าวิธีการหาขีดเริ่มเปลี่ยนที่นำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้า

ดังนั้นงานวิจัยย่อยนี้เสนอการลดทอนสัญญาณรบกวน ด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยนำข้อมูลของสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่อยู่ข้างเคียงมาพิจารณา ด้วยวิธีการหาขีดเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้ลดทอนสัญญาณรบกวนได้เพิ่มขึ้น ซึ่งแบ่งวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอออกเป็นสองวิธีคือ การใช้วินโดว์ล้อมรอบสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต แล้วจึงหาขีดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี SureShrink และการใช้วินโดว์ล้อมรอบสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต แล้วจึงหาขีดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี BayesShrink

ซึ่งทั้งสองวิธีใช้วินโดว์แบบไม่ซ้อนทับกัน ในการล้อมรอบสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต โดยมีขนาดวินโดว์แตกต่างกัน เพื่อหาขนาดของวินโดว์ที่ให้ผลการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ดีที่สุด

จากผลการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอทั้งสองวิธีพบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพเหนือกว่าการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่น โดยทำการทดสอบการลดทอนสัญญาณรบกวนของภาพที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอทั้งสองวิธีให้ผลภาพเป็นที่น่าพอใจ และให้ค่า PSNR สูง โดยการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สองมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการลดทอนสัญญาณวิธีที่หนึ่ง และการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพเหนือกว่าการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ แต่เมื่อภาพมีรายละเอียดทั้งความถี่ต่ำ และความถี่สูงรวมกัน การลดทอนสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพเกือบเท่ากันทุกวิธี และเมื่อภาพมีความถี่สูงมาก การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพต่ำลง เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ แต่เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงขึ้น การลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนมากขึ้นกว่าการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่น โดยภาพที่ได้จากการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่สองให้ค่า PSNR ที่น่าพอใจกว่าการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอวิธีที่หนึ่ง และการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆ

2.7 ข้อเสนอแนะ

งานที่ควรจะได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไป คือ

- ศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีที่สามารถเลือกขนาดของวินโดว์ของวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอได้แบบอัตโนมัติ เพื่อลดความผิดพลาดในการเลือกขนาดของวินโดว์ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากยิ่งขึ้น และยังเพิ่มความสะดวกต่อการนำขั้นตอนวิธีไปประยุกต์ใช้
- ศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีของการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางเวลาได้
- ศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีของการลดทอนสัญญาณรบกวนที่นำเสนอที่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากยิ่งขึ้น โดยภาพที่ได้หลังจากการลดทอนสัญญาณรบกวนจะต้องไม่มีความผิดเพี้ยนไปจากภาพต้นฉบับ