

เทคนิคการกำหนดตำแหน่งและการจัดเรียงภาพ

Image Registration and Arrangement Techniques

ศิวพร ชุณหวิทย์ธีระ¹

บทคัดย่อ

การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่เป็นกระบวนการนำภาพย่อยๆ ที่ถ่าย ณ บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกัน มาเรียงต่อกันให้มีพิกัดจุดสอดคล้องกัน เพื่อให้ดูกลมกลืนเป็นภาพเดียวกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ด้าน เช่น งานภาพถ่ายดาวเทียม งานสำรวจพื้นที่ การทำแผนที่ การพยากรณ์อากาศ การประมวลผลภาพเพื่อการรักษาทางการแพทย์ เป็นต้น การวิจัยและพัฒนาเทคนิคต่างๆ การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง บทความนี้กล่าวถึงแนวคิดเบื้องต้นและเทคนิคของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ รวมทั้งกล่าวถึงพัฒนาการและอนาคตของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่

คำสำคัญ: การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่, การประมวลผลภาพ

Abstract

Image registration is a process to compose two or more nearly located images according to their coordinates and to fit them into the same geographical location. It is useful to apply image registration in several applications such as satellite photography, geography, cartography, weather forecasting, or medical image processing. Image registration techniques have been researched, invented, and developed continuously in order to function more appropriately and more efficiently. This article presents the basic concepts and techniques of image registration as well as the evolutions and the future of the arrangement techniques for incorporating small images into large ones.

Keywords: image registration, image processing

¹อาจารย์ประจำ สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

E-mail: siwaphon@eau.ac.th

ความนำ

Image Registration หรือการจัดเรียงภาพย่อย เพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่เป็นปัญหาพื้นฐานหนึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้งานทั้งทางด้าน Image Processing หรือการประมวลผลภาพ และ Computer Vision หรือคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ซึ่งได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างงานที่สำคัญของการทำ Image Registration คือ งานทางด้านแพทย์เช่นภาพเอ็กซเรย์ของคนไข้ (Antoine Maintz & Viergever, 1982; Livyatan, Yaniv & Joskowicz, 2003) การประกอบภาพเป็นแผนที่ของบริเวณที่ถูกถ่ายภาพ (Ton & Jain, 1989) การจัดเรียงภาพถ่ายจากดาวเทียม (Jae-Dong & Alain, 2004) เป็นต้น

การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่เป็นขั้นตอนแรกในการสร้างภาพใหญ่ทั้งหมด โดยเป็นการนำเอาภาพย่อยครั้งละสองภาพซึ่งถ่ายมาจากตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันมาทำการจัดเรียง และประกอบกันเป็นภาพใหญ่ภาพใหม่ โดยในภาพย่อย ๆ นั้น จะต้องมีส่วนที่ทับซ้อนกันอยู่บางส่วนและจะทำเช่นนี้กับทุก ๆ ภาพย่อยเพื่อให้ได้ภาพรวมใหญ่ทั้งหมดออกมาซึ่งในภาพรวมใหญ่นั้นเกิดจากรายละเอียดของภาพย่อย ๆ ทั้งหมดประกอบเข้าด้วยกัน

ความสำคัญของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่

ความสำคัญของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่นั้นเนื่องมาจากการถ่ายภาพนั้น บางครั้งเราไม่สามารถเก็บรายละเอียดของภาพที่ต้องการได้ทั้งหมด ซึ่งอาจเนื่องมาจากรายละเอียดต่าง ๆ ในภาพ ความละเอียดในการถ่ายภาพ รวมถึงความสามารถของกล้องในการย่อและขยายขนาดของภาพ ภาพถ่ายที่ได้จึงอาจมีรายละเอียดไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน หรือการนำไปวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจ หรือบางงานจำเป็นต้องใช้ภาพจำนวนมาก ๆ ภาพในการพิจารณา ดังนั้นเราสามารถถ่ายภาพหลาย ๆ ภาพต่อเนื่องกัน แล้วนำเอาภาพทั้งหมดมาทำการ

จัดเรียง และประกอบกันเข้าให้กลายเป็นภาพเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและวิเคราะห์ภาพ

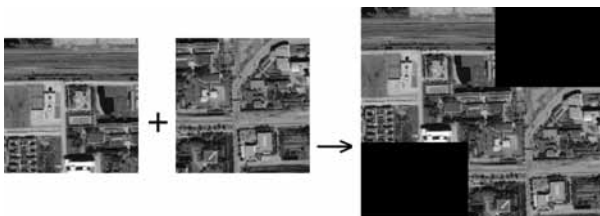
การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่นั้น เราใช้สมมติฐานที่ว่า บริเวณที่ถูกถ่ายภาพนั้นคงที่ สิ่งที่เปลี่ยนไปคือตำแหน่งกล้องที่ถ่ายภาพ ภาพถ่ายที่มีส่วนที่ทับซ้อนนั้นจึงเกิดจากการที่กล้องมีการเคลื่อนไหว หรือมีการเปลี่ยนแปลง หากเราหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ เราก็จะสามารถนำภาพมาประกอบกันได้ (Xiaohui, Jian & Bill, 2004; Summar & Chitsobhuk, 2005; Chunhavittayatera & Chitsobhuk, 2007) การเปลี่ยนแปลงที่สามารถเกิดขึ้นนี้ได้แก่ การเลื่อนตำแหน่งในแนวแกนนอน การเลื่อนตำแหน่งในแนวแกนตั้ง การหมุน การบิด การยืด และการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาพ โดยอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียง 1 ประเภทหรือมากกว่า แต่ส่วนใหญ่แล้วการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมักมีมากกว่า 1 ประเภท ด้วยแนวคิดเบื้องต้นนี้เอง ทำให้มีผู้พยายามศึกษาวิจัยเพื่อคิดค้นอัลกอริทึมต่าง ๆ ขึ้นมามากมายเพื่อให้สามารถหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างคู่ภาพทั้งสอง อันจะนำไปสู่การจัดเรียงและประกอบภาพใหม่ได้

เทคนิคการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่

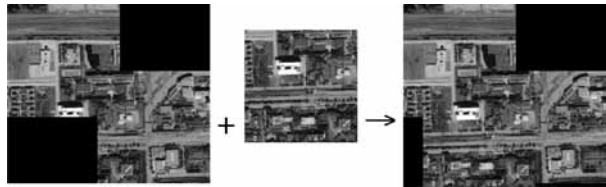
โดยปกติแล้ว การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่จะเป็นการประกอบภาพทีละคู่ภาพตามตำแหน่งที่ถูกต้องโดยอาศัยอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาแล้ว นั่นคือ เริ่มแรกจะนำภาพใด ๆ สองภาพมาการจัดเรียงและประกอบภาพในตำแหน่งที่ถูกที่ควร ผลที่ได้คือภาพรวมที่มีรายละเอียดของภาพทั้งสองอยู่อย่างกลมกลืนเป็นภาพเดียวกัน จากนั้นนำภาพดังกล่าวไปทำการจัดเรียงและประกอบภาพอีกครั้งกับภาพตั้งต้นภาพอื่น ก็จะได้ภาพรวมที่ใหญ่ขึ้นอีก ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนหมดภาพตั้งต้นสุดท้ายผลที่ได้คือ ภาพรวมขนาดใหญ่ที่มีรายละเอียดของทุก ๆ ภาพตั้งต้นในตำแหน่งที่ถูกต้อง ดูกลมกลืนเป็นภาพขนาดใหญ่ภาพเดียว หรืออาจจะทำการจัดเรียงและประกอบภาพกับทีละคู่ของภาพตั้งต้นก็ได้ แล้วนำภาพรวม

ของภาพตั้งต้นนั้นมาทำการจัดเรียงและประกอบภาพอีกจนกระทั่งได้ภาพรวมขนาดใหญ่ที่ดูกลมกลืนเป็นภาพเดียวกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ไม่จำเป็นต้องคำนึงว่าจะต้องเริ่มต้นจากภาพตั้งต้นคู่ใดก่อน

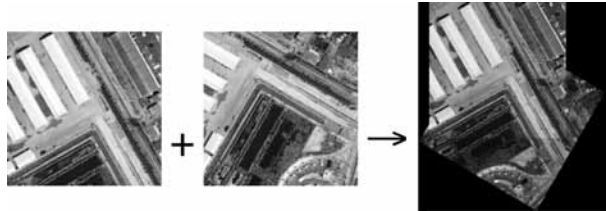
สิ่งหนึ่งที่ควรคำนึงถึงและเป็นกฎที่สำคัญในการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ นั่นคือ ภาพตั้งต้นทั้งสองจะต้องมีส่วนที่ซ้อนทับกันอยู่บางส่วน หรือเป็นภาพที่ถ่ายมาในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน มีส่วนเหลื่อมล้ำกัน เพื่อให้สามารถจับจุดอ้างอิงในการคำนวณหาความสัมพันธ์หรือ ความเปลี่ยนแปลงระหว่างภาพทั้งสองได้ การเลือกภาพใดในระหว่างคู่ภาพเป็นภาพตั้งต้นหรือภาพอ้างอิง และให้อีกภาพเป็นภาพอินพุตหรือภาพเป้าหมายนั้น หากเลือกสลับกันผลลัพธ์ที่ได้จะแตกต่างกันออกไปในเรื่องของมุมมองการมองเห็นเพราะการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ จะต้องมีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างคู่ภาพ ดังนั้นจึงต้องมีภาพหนึ่งที่ใช้เป็นหลักในการอ้างอิง เรียกว่า ภาพตั้งต้นหรือภาพอ้างอิง และภาพที่ต้องการหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น เรียกว่า ภาพอินพุตหรือภาพเป้าหมาย เพื่อหาว่าภาพอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาพอ้างอิงเท่าใด จากนั้นจึงเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของภาพอินพุตเพื่อให้เป็นไปในรูปแบบเดียวกับภาพอ้างอิงในมุมมองของการมองเห็นเดียวกันหรือสัมพันธ์กัน ดังตัวอย่างในภาพ โดยภาพ 1 และ 2 แสดงตัวอย่างของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่และภาพ 3 และ 4 แสดงผลลัพธ์ที่ต่างออกไปเมื่อเลือกภาพอ้างอิงต่างกัน



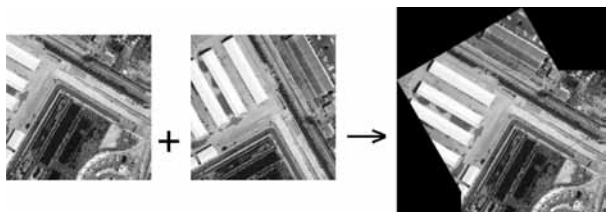
ภาพ 1 ตัวอย่างการทำ Image Registration



ภาพ 2 ตัวอย่างการทำ Image Registration



ภาพ 3 แสดงผลลัพธ์ของการทำ Image Registration ที่ต่างออกไปเมื่อเลือกภาพอ้างอิงต่างกัน



ภาพ 4 แสดงผลลัพธ์ของการทำ Image Registration ที่ต่างออกไปเมื่อเลือกภาพอ้างอิงต่างกัน

จากตัวอย่างของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ในรูปที่ 1 ภาพย่อยแรกทางซ้ายมือและภาพย่อยที่สองตรงกลางมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน คือ ภาพย่อยที่สองมีการเลื่อนตำแหน่งตัวรับภาพไปจากภาพย่อยแรกไปในระยะของแกนตั้งและแกนนอนจำนวนหนึ่ง แนวคิดสำคัญของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ของทั้งสองภาพนี้ก็คือการหาระยะของการเลื่อนตำแหน่งดังกล่าวให้ได้นั่นเอง จากนั้นจึงทำการจัดเรียงและประกอบภาพใหม่ขึ้น ดังภาพรวมทางขวามือซึ่งจะมีรายละเอียดของภาพย่อยทั้งสองครบถ้วนและดูกลมกลืนกัน และรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเราสามารถทำการจัดเรียงและประกอบภาพใหม่ได้เรื่อยๆ เพื่อให้ได้ภาพรวมที่ใหญ่ขึ้นอีกซึ่งจะเห็นได้ว่า เราได้นำภาพรวมที่เป็นผลลัพธ์จากภาพ 1 มามองเสมือนเป็นภาพย่อยภาพใหม่แล้วทำการจัดเรียงภาพและประกอบภาพอีกครั้ง ทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งมีรายละเอียดของภาพที่เราต้องการครบถ้วน

การเลือกภาพใดในระหว่างคู่ภาพเป็นภาพตั้งต้น และให้อีกภาพเป็นภาพอินพุตนั้นหากเลือกสลับกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะแตกต่างกันออกไปในเรื่องของมุมมองการมองเห็น ดังภาพ 3 และภาพ 4 โดยในรูปจะกำหนดให้ภาพย่อยแรกทางซ้ายมือเป็นภาพตั้งต้น และภาพย่อยที่สองตรงกลางเป็นภาพอินพุต จะสังเกตเห็นว่า ภาพ 3 และภาพ 4 มีการเลือกสลับกันระหว่างภาพตั้งต้นและภาพอินพุต ทำให้ภาพรวมที่ได้ทางขวามือมีความแตกต่างกันเรื่องมุมมองของการมองเห็น แต่อย่างไรก็ตามภาพรวมทั้งสอง สามารถรวบรวมรายละเอียดของภาพย่อยทั้งสองได้ครบถ้วนทุกประการและดูกลมกลืนกัน ดังนั้นหากไม่มีข้อกำหนดในเรื่องมุมมองของการมองเห็น เราสามารถเลือกภาพย่อยใดในภาพย่อยทั้งสองเป็นภาพตั้งต้นและให้ภาพย่อยอีกภาพเป็นภาพอินพุตได้เสมอ

พัฒนาการและอนาคตของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่

การสำรวจซึ่งครอบคลุมเทคนิควิธีต่างๆ ของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ถูกทำขึ้นในปี ค.ศ. 1992 โดย L. Gottesfeld Brown (1992, p. 325-376) และ B. Zitova, J. Flusser. ในปี 2003 (2003, p. 977-1000) แม้ว่าเมื่อเวลาจะผ่านไปกว่า 10 ปี มีเอกสารงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่มากกว่า 1000 เรื่อง แต่เทคนิควิธีการต่างๆ ที่ได้รับรวบรวมขึ้นโดย L. Gottesfeld Brown ก็เป็นเทคนิคพื้นฐานหรือกุญแจที่สำคัญของงานวิจัยในยุคต่อมา บางเทคนิควิธียังถูกนำมาใช้งานอย่างต่อเนื่องและได้รับการปรับปรุงให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ทั้งเทคนิคที่ทำงานบนโดเมนของจุดภาพ (Spatial Domain) ซึ่งเป็นการประมวลผลกับแต่ละจุดของภาพโดยตรง โดยไม่มีการแปลงภาพให้อยู่ในรูปแบบอื่นก่อนการคำนวณ เทคนิคแบบนี้มีการทำงานที่ตรงไปตรงมา เนื่องจากภาพยังคงมีลักษณะเช่นเดิมและการประมวลผลเป็นการประมวลผลกับจุดจริงบนภาพ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ H.J. Buiten, B. van Putten (1997, p.57-73) ที่ศึกษาการประเมินคุณภาพของการ

จัดเรียงภาพที่ได้จากถ่ายภาพระยะไกล (remote sensing) ด้วยเทคนิคจุดควบคุม (control point) พบว่าสามารถนำมาใช้จัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ได้เป็นอย่างดี และงานวิจัยของ Neil Ryan, Conor Heneghan และ Philip de Chazal (2004, p. 883-898) ซึ่งได้เสนอเทคนิคการจัดเรียงภาพเรตินาของม่านตาโดยใช้เทคนิคการกำหนดจุดสำคัญบนม่านตาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของการประกอบภาพเรตินาของม่านตาที่ดีที่สุด ซึ่งช่วยให้แพทย์สามารถวิเคราะห์ความผิดปกติในเรตินาของม่านตาได้ ขณะที่บางกลุ่มของนักวิจัยได้ทำการศึกษาเทคนิคของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ที่ทำงานบนโดเมนความถี่ (frequency domain) ซึ่งต้องทำการแปลงภาพจากภาพปกติซึ่งอยู่บนโดเมนของจุดภาพให้เป็นภาพที่อยู่บนโดเมนความถี่ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Li Zhongke, Yang Xiaohui และ Wu Lenan (2003, p. 956-959) ที่ได้ใช้เทคนิคเฟสคอรัลลีเรชั่น (phase correlation) ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งของเทคนิคการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็วทำให้ลดระยะเวลาของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ลงได้เป็นอย่างดีดีกว่าการใช้เทคนิคที่ทำงานบนโดเมนของจุดภาพ แต่ก็แลกมาด้วยความถูกต้องที่ลดลง

ปัจจุบันแม้ว่าปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ของการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่จะได้รับการแก้ไขไปด้วยเทคนิควิธีต่างๆ ที่มีการนำเสนอกันอย่างกว้างขวาง แต่การจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบเป็นภาพใหญ่ยังคงเป็นปัญหาที่เปิดกว้างอยู่ อาทิเช่น การจัดเรียงภาพเมื่อภาพย่อยมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือถูกบิดเบือนเฉพาะตำแหน่ง การจัดเรียงภาพอย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติ การจัดเรียงภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพระยะไกล การจัดเรียงภาพที่ได้จากกล้องหลากหลายชนิด การจัดเรียงภาพหลายมิติ (มากกว่า 2 มิติขึ้นไป) (Weiwei, Brady & J.M., 2006; Hyun & Myung, 2007; Gang & Yun, 2007; Stephen, Carole & Chris, 2008; Bunting, Labrosse, & Lucas, 2010; Robert, Douglas, Nikolay, Gerald, Pedro & Howe,

2012) ล้วนเป็นงานที่ทำหายนมากในขณะนี้

ปัญหาที่สำคัญของการจัดเรียงภาพหลายมิติ อยู่ที่การคำนวณอันสลับซับซ้อน แม้ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันได้ทวีความเร็วขึ้นเป็นอย่างมาก แต่ความต้องการ ลดระยะเวลาการคำนวณยังคงมีอยู่ ความสลับซับซ้อน ของการคำนวณนั้น แปรผันตรงกับขนาดข้อมูลที่ใหญ่ขึ้น อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องมาจากเทคโนโลยีของการถ่ายภาพ ไม่ว่าจะเป็นความละเอียดที่มากขึ้น มิติของภาพที่สูงขึ้น ขนาดของภาพที่ใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังต้องการความถูกต้อง แม่นยำเพิ่มขึ้นโดยบังคับให้ต้องมีการทำซ้ำหรือสามารถ

ตรวจสอบย้อนกลับได้ ยิ่งเพิ่มความสลับซับซ้อนของการ คำนวณให้มากยิ่งขึ้น

ในอนาคต วิธีการจัดเรียงภาพย่อยเพื่อประกอบ เป็นภาพใหญ่ที่ดีที่สุด คือ ต้องสามารถรับรู้ชนิดของงาน ที่กำหนดให้และสามารถตัดสินใจเลือกเทคนิคการแก้ปัญหา ได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) ที่อยู่บนพื้นฐานของการรวมกันระหว่าง เทคนิควิธีต่างๆ และมองหาข้อสรุปที่เฉพาะเจาะจงสำหรับ แก้ไขปัญหาการจัดเรียงภาพได้

เอกสารอ้างอิง

- Sylvie Daniel, Jae-Dong Jang, & Alain Viau. (2004). Airborne Multi-Spectral Image Registration Through Genetic Algorithm. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.*, 3046-3050.
- Livyatan H., Yaniv Z. & Joskowicz L. (2003). Gradient-based 2-D/3-D rigid registration of fluoroscopic X-ray to CT. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 22(11), 1395-1406.
- J.B. AntoineMaintz, M.A. Viergever. (1982). A survey of medical image registration. *Med. Image Anal*, 36.
- Ton J., Jain A.K. (1989). Registering Landsat images by point matching. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, 27(5), 642-65.
- Summar, B. Chitsobhuk, O. (2005). Image registration using phase correlation in wavelet domain. *Nonlinear Signal and Image Processing, IEEE-Eurasip*, 48.
- Siwaphon Chunhavittayatera and Orachat Chitsobhuk. (2007). Image Registration using Hough Transform, Phase Correlation and Best-first search algorithm. *IMECS.*, 1898 -1902.
- Xiaohui Yuan, Jian Zhang, Bill P. Buckles. (2004). Evolution strategies based image registration via feature matching. *Information Fusion*, 5(4), 269-282.
- L.G. Brown. (1992). A survey of image registration techniques. *ACM Computer Survey*, 325-376.
- B. Zitova, J. Flusser. (2003). Image registration methods: a survey. *Image Vis. Computer*, 977-1000.
- H.J. Buiten, B. van Putten. (1997). Quality assessment of remote sensing image registration — analysis and testing of control point residuals. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52(2), 57-73.

- Neil Ryan, Conor Heneghan & Philip de Chazal. (2004). Registration of digital retinal images using landmark correspondence by expectation maximization. *Image and Vision Computing*, 22(11), 883-898.
- Li Zhongke, Yang Xiaohui & Wu Lenan. (2003). Image Registration based on Hough transform and phase correlation. *IEEE Int. Conf. Neural Networks & Signal Processing*, 956-959.
- Weiwei Zhang Noble, Brady J.A. & J.M. (2006). Real time 3-D ultrasound to MR cardiovascular image registration using a phase-based approach. *Biomedical Imaging: Macro to Nano, IEEE International Symposium*, 666-669.
- Hyun Seok Hong & Myung Jin Chung. (2007). 3D pose and camera parameter tracking algorithm based on Lucas-Kanade image alignment algorithm. *Control, Automation and Systems*, 548-551.
- Stephen Marsland, Carole J. Twining and Chris J. Taylor. (2008). A minimum description length objective function for groupwise non-rigid image registration. *Image and Vision Computing*, 26(3), 333-346.
- Robert J. Schneider, Douglas P. Perrin, Nikolay V. Vasilyev, Gerald R. Marx, Pedro J. del Nido and Robert D. Howe. (2012). Real-time image-based rigid registration of three-dimensional ultrasound. *Medical Image Analysis*, 16(2), 402-414.
- Gang Hong & Yun Zhang. (2007). Combination of feature-based and area-based image registration technique for high resolution remote sensing image. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 377-380.
- P. Bunting, F. Labrosse, & R. M. Lucas. (2010). A multi-resolution area-based technique for automatic multi-modal image registration. *Image and Vision Computing*, 28(8), 1203-1219.