

บทที่ 10

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ และการยืนยันหรือระบุตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

10.1 บทนำ

คุณลักษณะหรือพฤติกรรมของมนุษย์ที่นำมาใช้เป็นมาตรวัดทางชีววิทยา สำหรับการรู้จำหรือการแยกแยะบุคคล ตัวอย่างเช่น ใบหู ใบหน้า ความร้อนหรือรูปร่างทางเรขาคณิตของมือ ลายพิมพ์นิ้วมือ ม่านตา เรตินา ลายมือ หรือเสียง เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดังนี้ การรักษาความปลอดภัยของอาคาร ธนาคาร รวมถึงการเข้าถึงระบบอินเทอร์เน็ตหรือคอมพิวเตอร์ การใช้หนังสือเดินทาง การแยกแยะตัวบุคคลเพื่อการบริการทางด้านสุขภาพและสังคม เป็นต้น ซึ่งในบรรดาคุณลักษณะเหล่านี้ ลายพิมพ์นิ้วมือถือเป็นลักษณะทางกายภาพที่มีความนิยมในการนำมาใช้เป็นมาตรวัดทางชีววิทยา เนื่องจากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทุกคนจะต้องมีการใช้นิ้วมือในกิจกรรมต่างๆ ยกเว้นในกรณีของผู้ที่มีความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับมือ ซึ่งนำไปใช้ประกอบกับงานสอบสวนทางด้านอาชญากรรม หรือนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

คุณลักษณะทางโครงสร้างของลายพิมพ์นิ้วมือที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ส่วนที่เป็นแนวสัน (ridges) และส่วนที่เป็นร่อง (valleys) ของนิ้วมือ โดยในภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ส่วนที่เป็น ridges จะปรากฏเป็นสีดำ ส่วนที่เป็น valleys จะปรากฏเป็นสีขาว โดยรายละเอียดของ ridges สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับคือ ระดับที่หนึ่ง global level เป็นการวนของ ridges ทำให้เกิดเป็นจุดที่มีลักษณะเฉพาะขึ้นเรียกว่า loop และ delta ซึ่งมีประโยชน์ในการแยกประเภทและการบ่งชี้ลายนิ้วมือ แต่ไม่มีความจำเพาะเพียงพอที่จะนำมาใช้เพื่อการจับคู่ที่ถูกต้อง ระดับที่สองเป็นรูปแบบของจุด minutiae (local level) ซึ่งหาได้จากจุดที่ไม่มีความต่อเนื่องของ ridges เช่น จุดสิ้นสุด (ridge ending) หรือจุดที่มีการแยก (bifurcation) ของ ridges โดยทั่วไปจุด minutiae นี้จะไม่เปลี่ยนแปลงและคงทนต่อลายพิมพ์นิ้วมือที่มีแรงกดมาก และระดับที่สามเป็นรายละเอียดภายใน ridges โดยรายละเอียดที่สำคัญคือจุดเล็กๆ (sweat pores) ภายใน ridges

วิธีการจับคู่ลายพิมพ์นิ้วมือ [48] แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ Correlation-based techniques, Minutiae-based methods, และ Non-minutiae feature-based matching techniques โดยวิธี Correlation-based techniques ทำได้โดยนำภาพลายพิมพ์นิ้วมือทั้งสองมาซ้อนทับกันพอดี จากนั้นทำการหาฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลที่สอดคล้องกัน เพื่อนำไปหาเมตริกซ์ของการแปลง วิธี

ที่สองคือ Minutiae-based methods เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด โดยหาตำแหน่งของจุด minutiae ในภาพลายพิมพ์นิ้วมือทั้งสอง แล้วนำมาเก็บไว้ในรูปของชุดข้อมูลของจุด จากนั้นสามารถหาเมตริกซ์การแปลงได้จากจุดที่สอดคล้องกันของภาพทั้งสอง วิธีที่สามคือ Non-minutiae feature-based matching techniques จะใช้กับภาพลายนิ้วมือที่มีคุณภาพไม่ดีทำให้ยากต่อการหาจุด minutiae จึงใช้คุณลักษณะของรูปแบบของ ridges อย่างอื่นแทน เช่น ทิศทางการเรียงตัว จำนวนของ ridges ต่อหนึ่งหน่วยความยาว หรือรูปร่างของ ridges เป็นต้น

10.2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจับคู่โดยวิธี Minutiae-based methods [49-51] เป็นการจับคู่โดยอาศัยจุด minutiae ซึ่งเป็นคุณลักษณะระดับ local ที่มีคุณสมบัติในการไม่แปรผันต่อการแปลง จึงมีความเหมาะสมในการนำมาหาคู่ โดยไม่ต้องมีการจัดวางลายพิมพ์นิ้วมือในระดับ global ก่อน โดยเป็นการจับคู่รูปแบบของจุด (point pattern matching) [52], [53] เพื่อหาจุดที่เป็นคู่สอดคล้องกันระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ต้องการตรวจสอบ วิธีการสร้างสามเหลี่ยมจากจุด minutiae ยังเป็นวิธีหนึ่งที่เป็นที่สนใจกันอยู่ในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การสร้างสามเหลี่ยมแบบ Delaunay จากจุด minutiae [54] เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งและทิศทางที่สัมพันธ์กันของแต่ละ minutiae ที่มีต่อจุดที่อยู่ใกล้เคียงที่ได้จากการสร้างสามเหลี่ยมนั้นๆ หรือการดึงคุณลักษณะต่างๆ จากรูปสามเหลี่ยมที่สร้างจาก minutiae [55]-[57] แล้วนำพิกัดของรูปสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันมาใช้คำนวณหาเมตริกซ์การแปลง เพื่อจัดวางภาพลายพิมพ์นิ้วมือทั้งสองภาพให้ตรงกัน หรือการนำวิธีการสร้างสามเหลี่ยมแบบ Delaunay จากจุด minutiae มาใช้ร่วมกับเทคนิค growing and fusing regions [58]

การจับคู่ลายพิมพ์นิ้วมือโดยวิธี Minutiae-based methods ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ในกรณีที่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือมีการแปลงเรขาคณิตแบบเชิงเส้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในกรณีที่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือมีการแปลงเรขาคณิตแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear transformation) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความยืดหยุ่นของนิ้วมือ ดังนั้นเมื่อมีการกดนิ้วมือลงบนเซนเซอร์ของเครื่องสแกนลายพิมพ์นิ้วมือ อาจทำให้รายละเอียดของนิ้วมือซึ่งเป็นสามมิติซ้อนทับกันหรือตำแหน่งบิดเบือน และแรงกดของนิ้วมือที่ไม่ตั้งฉากกับพื้นผิวของเซนเซอร์ทำให้ได้ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ ridge อยู่ใกล้กันหรือห่างกันมากกว่าความเป็นจริง จึงมีนักวิจัยที่พยายามศึกษาและค้นคว้าเพื่อแก้ไขปัญหา

ในการแก้ไขปัญหาข้อจำกัดในกรณีที่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือมีการแปลงเรขาคณิตแบบไม่เป็นเชิงเส้น มีนักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาแบบจำลองการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นจากระยะทางระหว่าง

ridges เฉพาะที่ [59] และจากการกระจายตัวของจุด minutiae [60], [61] จากนั้นนำแบบจำลองที่ได้มาใช้ในการจัดวางภาพต้นฉบับกับภาพที่ต้องการตรวจสอบ จนกระทั่งค่าความผิดพลาดของการจัดวางมีค่าน้อยที่สุด โดยที่ Chen และคณะ [60] ได้นำเสนอการจับคู่โดยอาศัยคุณลักษณะ fuzzy จากรูปสามเหลี่ยมเฉพาะที่ของทั้งสองภาพลายพิมพ์นิ้วมือ Ratha และคณะ [62] ทำการหา minutiae ที่สอดคล้องกันจากโครงสร้างใกล้เคียงเฉพาะที่ Wahab และคณะ [63] ได้ทำการหาคุณลักษณะจากโครงสร้างเฉพาะที่ของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ เพื่อนำมาหาจุดสอดคล้องบนภาพ ข้อเสียของการหาแบบจำลองการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นจากการกระจายตัวของ minutiae คือ เนื่องจากการกระจายตัวของ minutiae จะกระจายอยู่ทั่วภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ทำให้มีข้อจำกัดในการจับคู่ภาพที่มีบางส่วนของลายพิมพ์นิ้วมือขาดหายไป ทำให้ข้อมูลของ minutiae ขาดหายไปด้วย นอกจากนี้ Ross และคณะ ได้นำเสนอการหาเส้นโค้ง ridges ที่สอดคล้องกันเพื่อประมาณค่าการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งทำได้โดยเริ่มจากการหา minutiae ที่สอดคล้องกันก่อน แล้วจึงหาเส้นโค้ง ridges ที่สัมพันธ์กับ minutiae นั้น จากนั้นจุดแยกและจุดที่ดึงมาจากเส้นโค้ง ridges จะถูกนำมาใช้ในการหาพารามิเตอร์การแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น การหาจุดสอดคล้องโดยอาศัยเส้นโค้ง ridges มีข้อดีกว่าวิธีที่อาศัย minutiae อยู่ 2 แ่ง คือ จำนวนจุดบนเส้นโค้ง ridges มีจำนวนมาก และเส้นโค้ง ridges มีการกระจายตัวทั่วทั้งภาพ รวมทั้งบริเวณที่ไม่มี minutiae ปรากฏอยู่ แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของเส้นโค้ง ridges คือแปรผันต่อการแปลงที่ซับซ้อนกว่าการแปลงแบบ similarity จึงไม่เหมาะสมกับภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่มีการแปลงแบบ affine หรือแบบไม่เป็นเชิงเส้น

ในปัจจุบัน มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอคุณลักษณะอื่นที่ไม่ใช่ minutiae เพื่อใช้ในการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ เช่นการหาคุณลักษณะจากรูปแบบของ ridges ในรูปของรูปร่างและความถี่ [59], [61], [64], [65] ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะในระดับ global ซึ่งแตกต่างจาก minutiae ที่เป็นคุณลักษณะในระดับเฉพาะที่ (local) ตัวอย่างของการใช้คุณลักษณะจากรูปแบบ ridges คือการใช้ทิศทางการวางตัวของ ridges [66] และการใช้จุดที่เป็นเอกลักษณ์ (singularity) ของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ แต่อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะเหล่านี้มีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก โดยสามารถแก้ปัญหาได้ตามที่นำเสนอใน [67] นอกจากนี้ Jain และคณะ [65] ได้นำเสนอคุณลักษณะที่อาศัยการใช้ฟิลเตอร์แบบหลายทิศทาง เรียกว่า Gabor filter หรือ Gabor filterbank เพื่อหาคุณลักษณะทั้งในระดับ global (ridges และ valleys) และ local (minutiae) ของภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ถือได้ว่าเป็นวิธีการจับคู่แบบผสมผสาน เช่นเดียวกับวิธีของ Gu และคณะ [68] ที่ใช้ทิศทางการวางตัวของลายพิมพ์นิ้วมือเป็นคุณลักษณะระดับ global ร่วมกับคุณลักษณะของ minutiae ที่เป็นระดับ local ในการลงทะเบียนภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

ในงานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือโดยอาศัยความไม่แปรผันทางเรขาคณิตสัมบูรณ์ ซึ่งได้จากรูปสามเหลี่ยมที่สร้างจากกลุ่มจุดของ minutiae เพื่อนำมาใช้ในการยืนยันหรือระบุตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ในขั้นตอนของการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ หลังจากได้คู่ของรูปสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันจากทั้งสองภาพลายพิมพ์นิ้วมือแล้ว จุดยอดของสามเหลี่ยมเหล่านี้จะถูก

นำมาใช้หาค่าเมตริกซ์การแปลง เพื่อจัดวาง (fingerprint alignment) ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ (query fingerprint) เข้ากับภาพลายพิมพ์นิ้วมือนับแบบ (template fingerprint) นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอค่าฟังก์ชันความผิดพลาดเพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ในตรวจสอบว่าทั้งสองภาพลายพิมพ์นิ้วมือมาจากนิ้วเดียวกันหรือไม่ (fingerprint verification) หรือเพื่อระบุว่าภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบมาจากนิ้วใดหรือคนใด (fingerprint identification) ซึ่งเป็นขั้นตอนหลังจากที่มีการจัดวางภาพลายพิมพ์นิ้วมือให้ตรงกันแล้ว โดยค่าความผิดพลาดนี้จะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างจุด minutiae ที่อยู่ใกล้กันของทั้งสองภาพลายพิมพ์นิ้วมือ (distance map error) ร่วมกับค่าความต่างของคุณลักษณะที่ได้จากการใช้ฟิลเตอร์แบบหลายทิศทาง (directional filterbank features: DFB)