

บทที่ 11

แนวคิดและทฤษฎีของการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ โดยอาศัยความไม่แปรผันทางเรขาคณิต

11.1 การสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มจุด minutiae

จากกลุ่มจุด minutiae ที่ได้จากภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบและภาพลายพิมพ์นิ้วมือนับ มี การพิจารณาจำนวนสามเหลี่ยมที่จะสร้างได้เป็นสามกรณีตามชนิดของการแปลงทางเรขาคณิต นั่นคือ การแปลงแบบ rigid, affine และแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear transformation) โดยกำหนดให้จำนวน minutiae เท่ากับ m จุด ดังนั้นจำนวนสามเหลี่ยมที่เป็นไปได้ซึ่งสร้างจากจุด minutiae สามจุดที่ไม่ได้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน คือ $\binom{m}{3}$ ในกรณีของการแปลงแบบ rigid จะใช้การสร้างสามเหลี่ยม Delaunay [55] ทำให้ได้จำนวนสามเหลี่ยมที่เป็นไปได้คือ m รูป และนำความยาวของด้าน มุมและพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมมาใช้เป็นคุณลักษณะที่ไม่แปรผันสัมบูรณ์ (absolute invariant) เพื่อใช้ในการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ส่วนในกรณีของการแปลงแบบ affine การสร้างสามเหลี่ยมจะอาศัยหลักการของ convex hull [69-71] ดังนั้นได้จำนวนสามเหลี่ยมที่เป็นไปได้มีจำนวนน้อยกว่า m รูป และใช้อัตราส่วนของพื้นที่ของสามเหลี่ยมเป็นคุณลักษณะที่ไม่แปรผันสัมบูรณ์ และในกรณีของการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น จะใช้คุณลักษณะที่ไม่แปรผันสัมบูรณ์ของการแปลงแบบ rigid และ affine มาใช้ร่วมกัน เนื่องจากในภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่มีการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น ยังคงมีบางบริเวณที่สามเหลี่ยมที่สร้างได้มีการแปลงแบบ rigid และ affine อยู่

11.2 การจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือโดยอาศัยจุด minutiae

ขั้นตอนโดยรวมของการจับคู่และการจัดวางภาพลายพิมพ์นิ้วมือแสดงดังภาพที่ 11.1 โดยเริ่มจากการสร้างรูปสามเหลี่ยมจากจุด minutiae ของทั้งภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบและภาพต้นฉบับ และเรียงลำดับสามเหลี่ยมตามพื้นที่จากค่าน้อยไปหาค่ามาก หลังจากผ่านขั้นตอนการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อนี้ จะได้คู่ของสามเหลี่ยมที่สอดคล้องกัน และสามารถนำพิกัดของจุดยอดหรือ minutiae ที่สอดคล้องกันนี้มาคำนวณหาเมตริกซ์การแปลง เพื่อจัดวางภาพที่ต้องการตรวจสอบกับภาพต้นฉบับให้ตรงกัน ท้ายที่สุด จะมีการคำนวณหาค่าความ

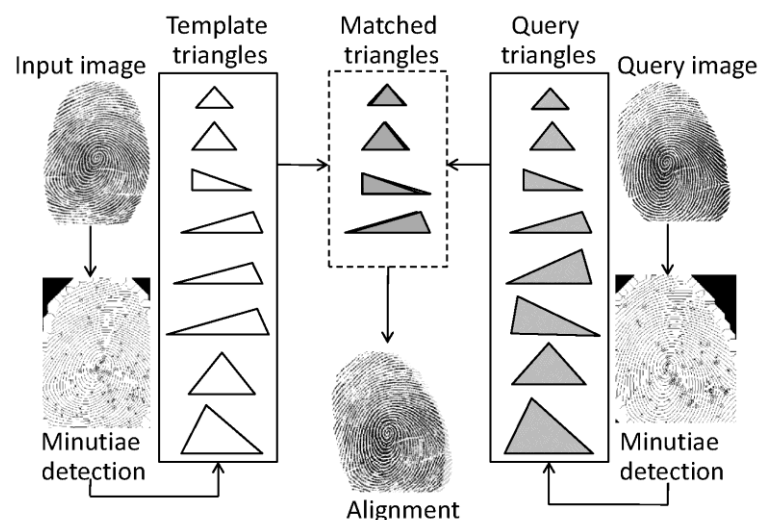
ผิดพลาดเฉลี่ยระหว่างภาพลายพิมพ์นิ้วมือทั้งสอง เพื่อนำไปใช้ในการระบุหรือยืนยันตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือต่อไป

11.2.1 การจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือในกรณีการแปลงแบบ rigid

กรณีที่พบว่าภาพลายพิมพ์นิ้วมือมีการแปลงแบบ rigid คือกรณีที่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ ได้มาจากการใช้เครื่องสแกนลายพิมพ์นิ้วมือเครื่องเดียวกันกับที่ใช้สแกนภาพต้นฉบับ โดยภาพที่ต้องการตรวจสอบมีการหมุนหรือตำแหน่งของภาพต่างจากภาพต้นฉบับ โดยในกรณีนี้จะมีการสร้างสามเหลี่ยม Delaunay จากจุด minutiae ซึ่งมีความไม่แปรผันต่อการแปลงแบบ rigid [55] เพื่อนำมาใช้ในการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ โดยใช้ความยาวของด้าน มุม และพื้นที่ของสามเหลี่ยมเป็นคุณลักษณะที่ไม่แปรผัน

อัลกอริทึมสำหรับหาสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันจากชุดของสามเหลี่ยมที่ได้จากภาพต้นฉบับและภาพที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 11.2 มีขั้นตอนดังนี้คือ

- 1) สร้างชุดของรูปสามเหลี่ยม Delaunay จากจุด minutiae ของภาพต้นฉบับและภาพที่ต้องการตรวจสอบ แสดงดังภาพที่ 11.2(a) และ 11.2(g) ตามลำดับ
- 2) เรียงลำดับรูปสามเหลี่ยมตามขนาดพื้นที่โดยเรียงจากค่าน้อยไปหาค่ามาก แสดงดังภาพที่ 11.2(b) และ 11.2(f) ตามลำดับ



ภาพที่ 11.1 ขั้นตอนโดยรวมของการจับคู่และการจัดวางภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

- 3) จัดทิศทางของแต่ละรูปสามเหลี่ยมให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน คือ กำหนดด้านที่มีความยาวมากที่สุดเป็นฐานของสามเหลี่ยม และด้านที่ยาวรองลงมาคือด้านที่ติดกับฐานในทิศตามเข็มนาฬิกา

นาฬิกา รูปสามเหลี่ยมในรูปแบบมาตรฐานของภาพต้นฉบับและภาพที่ต้องการตรวจสอบ แสดงดังภาพที่ 11.2(c) และ 11.2(e) ตามลำดับ

- 4) ใช้อัลกอริทึม list-matching [72], [73] เพื่อหาคู่ของสามเหลี่ยมที่เหมือนกันจากสามเหลี่ยมของภาพต้นฉบับและภาพที่ต้องการตรวจสอบ โดยจะหาค่าความแตกต่างของคุณลักษณะของสามเหลี่ยมที่ได้จากภาพที่ต้องการตรวจสอบและที่ได้จากภาพต้นฉบับ โดยเปรียบเทียบทุกคุณลักษณะของภาพที่ต้องการตรวจสอบกับทุกคุณลักษณะที่ได้จากภาพต้นฉบับในลักษณะวน ค่าความแตกต่างของคุณลักษณะสามารถหาได้ตามสมการที่ 11.1

$$\% \varepsilon^2 = \frac{\|F_i - F_j\|^2}{\|F_i\|^2} \times 100 < \xi \quad (11.1)$$

โดยที่ $F_i = F_i(d_1, d_2, d_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, A)$ คือ เวกเตอร์คุณลักษณะของสามเหลี่ยมรูปที่ i ดังแสดงในภาพที่ 11.3 โดยมี d_1, d_2 และ d_3 เป็นความยาวของด้านของสามเหลี่ยม, α_1, α_2 และ α_3 เป็นมุมของสามเหลี่ยม, A เป็นพื้นที่ของสามเหลี่ยม และกำหนดให้ ξ เป็นค่าระดับกัน (threshold) ค่าหนึ่ง

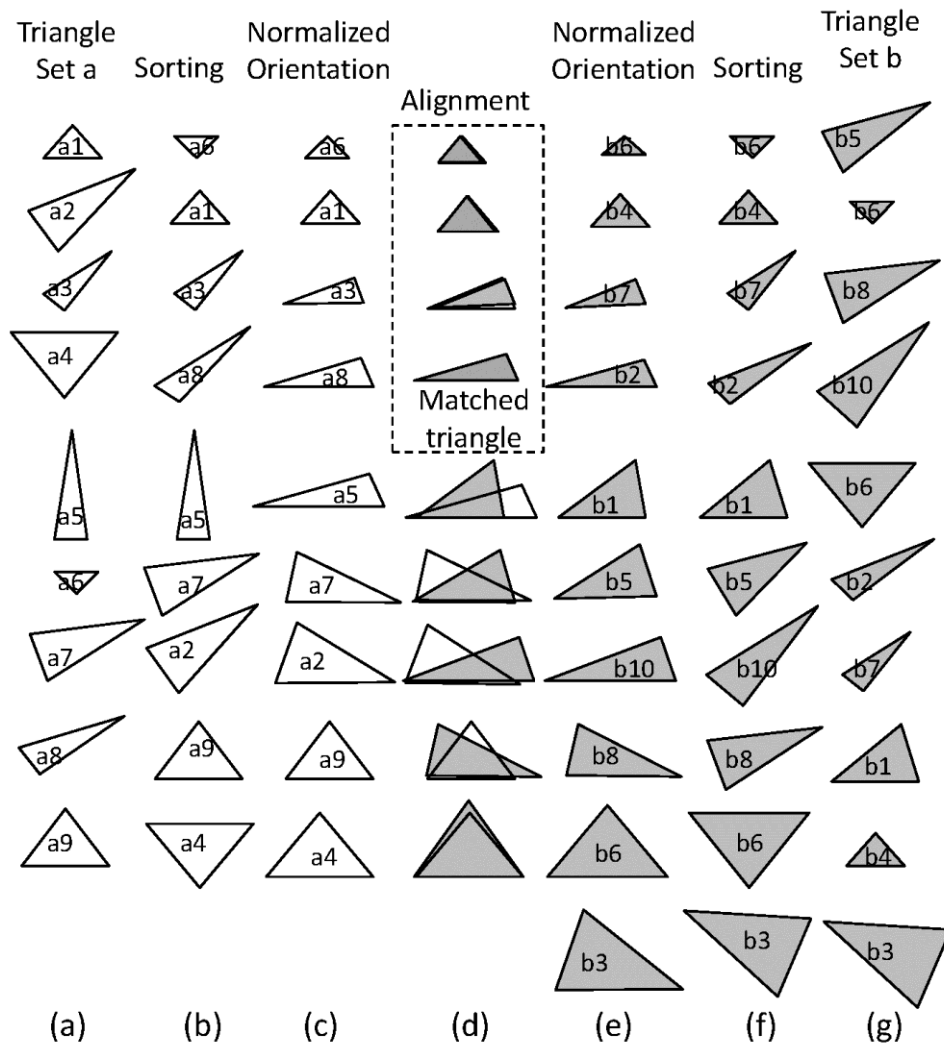
- 5) จากสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กัน (ที่ให้ค่าความแตกต่างน้อยกว่าค่าระดับกัน) ที่อยู่ติดกันซึ่งอาจพบมากกว่าหนึ่งชุด ชุดของคู่สามเหลี่ยมที่จะนำมาใช้คือจำนวนคู่ของสามเหลี่ยมที่ต่อเนื่องกันยาวที่สุด และให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยคำนวณจาก $\frac{\sum_i \% \varepsilon_i^2}{N}$

3.2.2 การจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือในกรณีการแปลงแบบ affine

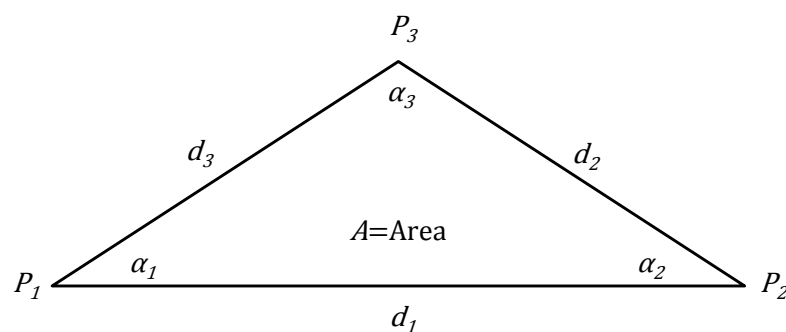
เนื่องจากสามเหลี่ยม Delaunay แปรผันต่อแปลงแบบ affine จึงต้องมีการสร้างสามเหลี่ยมชนิดอื่นโดยอาศัยหลักการ convex hull [69-71] โดยสามเหลี่ยม convex hull จะสร้างจาก minutiae ที่อยู่ใกล้กับตำแหน่ง minutia ที่สนใจมากที่สุด minutiae ที่อยู่โดยรอบหาได้จาก การสร้างสามเหลี่ยมจาก minutiae สองจุดใดๆ กับจุด minutia ที่สนใจ จุดโดยรอบใดที่เป็นส่วนประกอบของสามเหลี่ยมและทำให้ได้พื้นที่สามเหลี่ยมน้อยที่สุด (ไม่นับรวมพื้นที่เล็กผิดปกติ) จะถือว่าจุด minutiae นั้นเป็น minutiae ที่อยู่ใกล้ตำแหน่ง minutiae ที่สนใจมากที่สุด (nearest neighbors) โดยกำหนดให้หาจุดที่อยู่ใกล้ตำแหน่ง minutiae ที่สนใจที่สุดจำนวน N จุด

หลังจากได้ minutiae ที่อยู่โดยรอบใกล้กับตำแหน่ง minutiae ที่สนใจใดๆ จำนวน n จุด สามเหลี่ยม convex hull ที่จะสร้างได้ คือ $\binom{n}{3}$ โดยสามเหลี่ยม convex hull คือ สามเหลี่ยมที่สามารถสร้างได้ทั้งหมดจากจุดโดยรอบ minutia ที่สนใจ ดังนั้นจำนวนสามเหลี่ยม

ทั้งหมดที่ได้บนภาพลายพิมพ์นิ้วมือ คือ $m \cdot \binom{n}{3}$ โดยที่ m คือจำนวน minutiae ทั้งหมดบนภาพลายพิมพ์นิ้วมือ รูปสามเหลี่ยมทั้งหมดที่ได้ในแต่ละกลุ่มจะถูกนำมาเรียงลำดับตามขนาดพื้นที่ เพื่อที่จะนำไปหาคุณลักษณะที่ไม่แปรผันต่อการแปลงแบบ affine ต่อไป



ภาพที่ 11.2 การจับคู่รูปสามเหลี่ยมในกรณีที่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือมีการแปลงแบบ rigid



ภาพที่ 11.3 เวกเตอร์คุณลักษณะของรูปสามเหลี่ยม โดยที่ d_1, d_2 และ d_3 เป็นความยาวของด้านของสามเหลี่ยม, α_1, α_2 และ α_3 เป็นมุมของสามเหลี่ยม, A เป็นพื้นที่ของสามเหลี่ยม

ในกรณีที่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบมีการเงื่อนไขของภาพ ภาพที่ได้จะอยู่ในกรณีการแปลงแบบ affine มากกว่าที่จะเป็นการแปลงแบบ rigid ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ด้านและมุมของรูปสามเหลี่ยมมาเป็นคุณลักษณะที่ไม่แปรผันได้อีก แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมยังคงเป็นคุณลักษณะที่ไม่แปรผันสัมพัทธ์ (relative invariant) นั่นคือรูปสามเหลี่ยมของภาพต้นฉบับและของภาพที่ต้องการตรวจสอบมีความสัมพันธ์กันด้วยค่า determinant ของเมตริกซ์การแปลงเชิงเส้น T โดยมีฟังก์ชันการแปลงคือ (T, b) โดย b คือเวกเตอร์ของการย้ายตำแหน่ง กำหนดให้พื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมที่เรียงลำดับกันของภาพต้นฉบับคือ $[A_a(1), \dots, A_a(n)]$ และพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมที่เรียงลำดับกันของภาพที่ต้องการตรวจสอบคือ $A(k)$ รูปสามเหลี่ยมของทั้งสองภาพที่สอดคล้องกันหรือเป็นคู่กันจะมีความสัมพันธ์กันด้วยความไม่แปรผันสัมพัทธ์

$$A_a(k) = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} A(k), k = 1, 2, \dots, n \quad (11.2)$$

โดยที่ $|T|$ คือ determinant ของเมตริกซ์การแปลงเชิงเส้น T เนื่องจากเราไม่ทราบค่าเมตริกซ์การแปลงเชิงเส้น จึงทำการหาความไม่แปรผันต่อ affine สัมบูรณ์ (absolute affine invariant) โดยการหาอัตราส่วนของพื้นที่สามเหลี่ยมที่อยู่ติดกันในลำดับที่เรียงจากค่าน้อยไปหาค่ามาก เพื่อตัดค่า determinant ของเมตริกซ์การแปลงเชิงเส้น T ทิ้งออกไป ดังนั้นจะได้ความไม่แปรผันสัมบูรณ์แสดงดังสมการที่ 11.3 และ 11.4

$$I_a(k) = \frac{\pm A_a(k)}{|A_a(k+1) \bmod n|} \quad (11.3)$$

และ

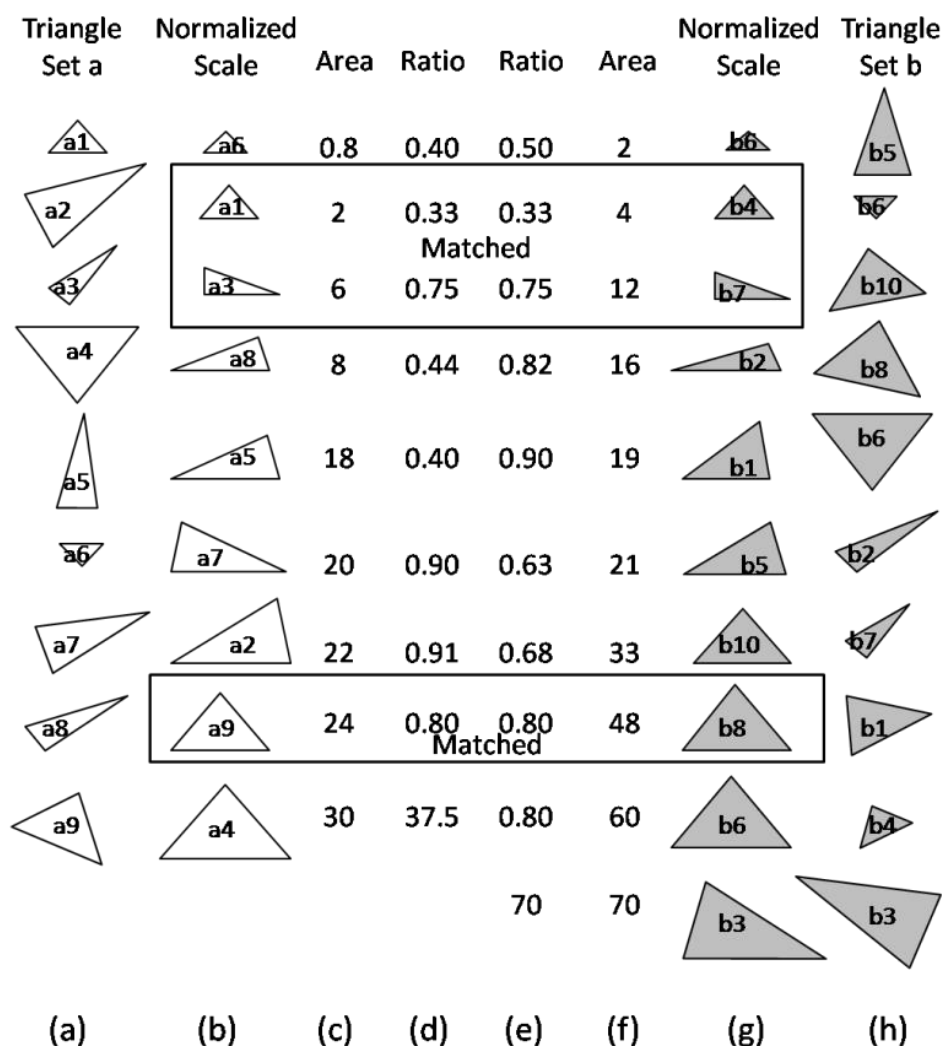
$$I(k) = \frac{\pm A(k)}{|A(k+1) \bmod n|} \quad (11.4)$$

หับ $k = 1, 2, \dots, n$ ในกรณีที่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบไม่มีสัญญาณรบกวน ค่าความไม่แปรผันสัมบูรณ์ของภาพต้นฉบับ จะมีค่าเท่ากับความไม่แปรผันสัมบูรณ์ของภาพที่ต้องการตรวจสอบ ส่วนในกรณีที่ภาพที่ต้องการตรวจสอบมีสัญญาณรบกวน และมีภาพลายพิมพ์นิ้วมือบางส่วนขาดหายไป ยังคงมีคุณลักษณะที่ไม่แปรผันจากทั้งสองภาพที่เป็นคู่กัน โดยกำหนดให้คุณลักษณะที่ไม่แปรผันที่เป็นคู่กันมีค่าความแตกต่างกันไม่เกินค่าระดับกันค่าหนึ่ง โดยในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5% ค่าความแตกต่างของคุณลักษณะที่ไม่แปรผัน ของรูปสามเหลี่ยมที่ได้จากภาพต้นฉบับและภาพที่ต้องการตรวจสอบคำนวณได้ตามสมการนี้

$$\%e^2 = \frac{(I(i) - I_a(j))^2}{I(i)^2} \times 100 < \xi . \quad (11.5)$$

คู่ของรูปสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กัน จะตัดสินจากจำนวนคู่ของสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กัน (M) ต่อเนื่องกันยาวที่สุด และให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยคำนวณจาก $\frac{\sum_i \%e_i^2}{M}$

หลังจากหารูปสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันได้แล้ว จุดยอดของรูปสามเหลี่ยมจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าเมตริกซ์การแปลงแบบ affine อัลกอริทึมสำหรับการจับคู่สามเหลี่ยมที่ได้จากภาพต้นฉบับและภาพที่ต้องการตรวจสอบในกรณีที่มีการแปลงแบบ affine แสดงดังภาพที่ 11.4



ภาพที่ 11.4 การจับคู่รูปสามเหลี่ยมของภาพลายพิมพ์นิ้วมือในกรณีที่ภาพที่ต้องการตรวจสอบมีการแปลงแบบ affine; (a) ชุดของรูปสามเหลี่ยมที่ได้จากภาพต้นฉบับ; (b) รูปสามเหลี่ยมซึ่งเรียงลำดับจากพื้นที่น้อยไปมาก; (c) พื้นที่ของ (b); (d) อัตราส่วนของพื้นที่ (c); (h) ชุดของรูปสามเหลี่ยมที่ได้จากภาพที่ต้องการตรวจสอบ; (g) รูปสามเหลี่ยมซึ่งเรียงลำดับจากพื้นที่น้อยไปมาก; (f) พื้นที่ของ (g); (e) อัตราส่วนของพื้นที่ (f); สามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันระหว่าง (d) และ (e) แสดงในกรอบสี่เหลี่ยม

11.2.3 การจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือในกรณีการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น

ในขณะที่มีการเก็บภาพลายพิมพ์นิ้วมือ นิ้วมือที่กดลงบนเซนเซอร์ด้วยแรงที่ไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ได้ภาพลายพิมพ์ที่มีการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่ ridges และ valleys บนภาพจะมีลักษณะชิดกันหรือห่างกันมากกว่าบนนิ้วมือจริง เนื่องจากการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นสามารถประมาณค่าได้จากบางตำแหน่งบนภาพที่มีการแปลงแบบ affine หรือบางตำแหน่งบนภาพที่มีการแปลงแบบ rigid ดังนั้น ในการจับคู่ภาพลายพิมพ์นิ้วมือในกรณีการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ จะทำการหารูปสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันเฉพาะที่ในบริเวณที่มีการแปลงแบบ rigid หรือการแปลงแบบ affine โดยอาศัยคุณลักษณะของรูปร่างซึ่งนำเสนอในหัวข้อที่ 11.2.1 ร่วมกับคุณลักษณะที่ไม่แปรผันต่อการแปลง affine ซึ่งนำเสนอในหัวข้อที่ 11.2.2 และมีการถ่วงน้ำหนักแต่ละคุณลักษณะตามความเหมาะสม โดยที่การหาคู่ของรูปสามเหลี่ยมเพียง 2-3 คู่ก็สามารถนำมาใช้ในการหาพารามิเตอร์ของการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้

เวกเตอร์คุณลักษณะที่ได้จากสามเหลี่ยมที่สร้างจากจุด minutiae ประกอบด้วยชนิดของ minutiae, จำนวนของรูปสามเหลี่ยม, รูปสามเหลี่ยมที่อยู่โดยรอบ minutia ที่สนใจ และอัตราส่วนของพื้นที่ของสามเหลี่ยมที่เรียงติดกัน โดยชนิดของ minutiae ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ จุดสิ้นสุด (ending) และ จุดแยก (bifurcation) การจับคู่เวกเตอร์คุณลักษณะที่ได้กล่าวไปแล้ว ทำได้โดยหาความเหมือนระหว่างคุณลักษณะที่แสดงรูปร่างและขนาดของรูปสามเหลี่ยม ดังที่นำเสนอในหัวข้อที่ 11.2.1 ร่วมกับคุณลักษณะที่ไม่แปรผันต่อการแปลง affine ซึ่งก็คืออัตราส่วนของพื้นที่สามเหลี่ยม ดังที่นำเสนอในหัวข้อที่ 11.2.2 อัลกอริทึมประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

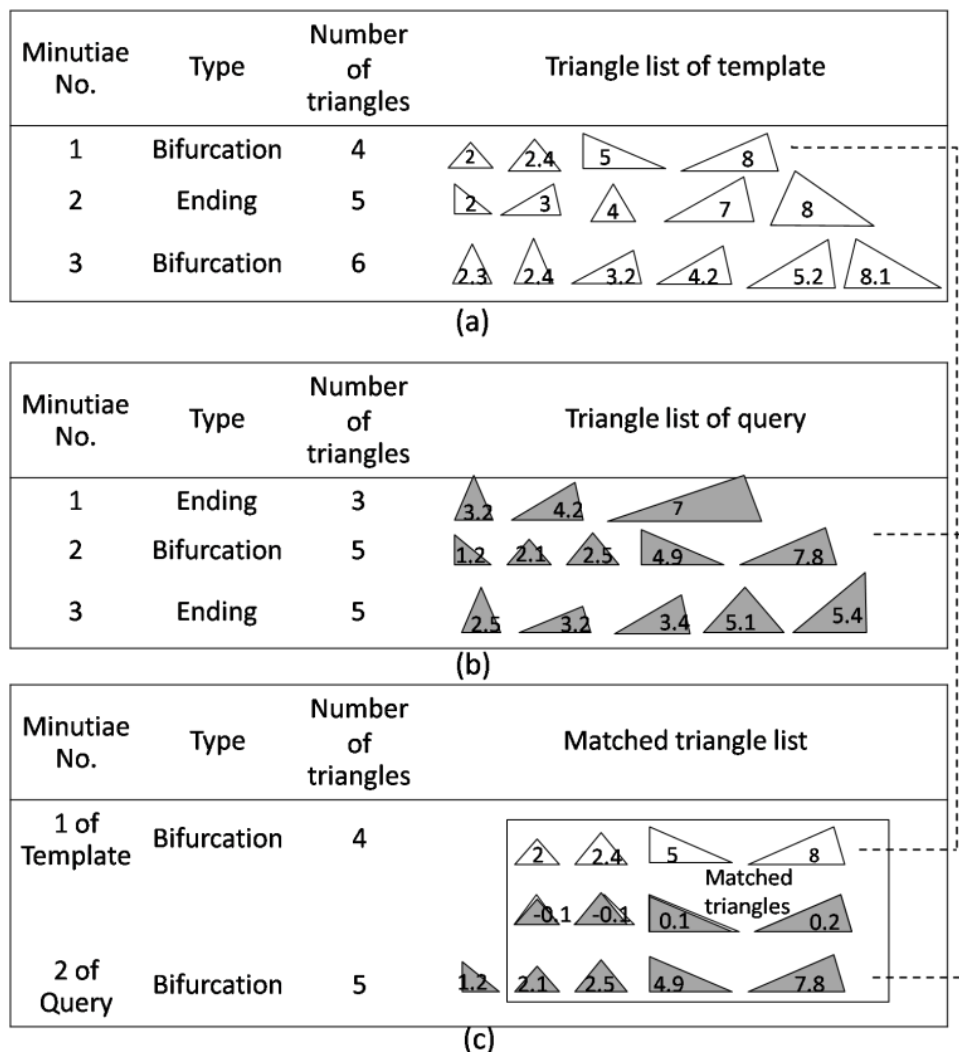
- 1) หาเวกเตอร์คุณลักษณะจากภาพลายพิมพ์นิ้วมือนับนิ้ว นั่นคือ ที่จุด minutia จุดใดๆ ที่สนใจ ทำการสร้างรูปสามเหลี่ยม convex hull ตามวิธีการในหัวข้อที่ 11.2.2 ซึ่งเป็นการสร้างสามเหลี่ยมจากจุด minutiae จำนวน N จุด ที่อยู่โดยรอบ minutia ที่สนใจ โดยที่ minutiae ที่อยู่โดยรอบนี้เป็น minutiae ที่อยู่ใกล้ที่สุด และทำให้ได้พื้นที่สามเหลี่ยมน้อยที่สุดเมื่อมีการสร้างสามเหลี่ยมจาก minutia ที่สนใจกับ minutiae ที่อยู่โดยรอบ การสร้างสามเหลี่ยม convex hull นี้ จุด minutia ที่สนใจ จะไม่ถูกนำไปสร้างสามเหลี่ยม convex hull ด้วย ดังนั้น เวกเตอร์คุณลักษณะที่ได้ต่อหนึ่งจุดของ minutia ที่สนใจ จะเท่ากับ $\binom{n}{3}$ รูป โดยเวกเตอร์คุณลักษณะนี้ ประกอบด้วยชนิดของ minutiae, จำนวนของรูปสามเหลี่ยมที่อยู่โดยรอบ minutia ที่สนใจ และอัตราส่วนของพื้นที่ของสามเหลี่ยมที่เรียงติดกันซึ่งอยู่โดยรอบจุด minutia เดียวกัน ภาพที่ 11.5(a) แสดงตัวอย่างเวกเตอร์คุณลักษณะที่ได้จากภาพลายพิมพ์นิ้วมือนับนิ้ว
- 2) หาเวกเตอร์คุณลักษณะจากภาพลายพิมพ์นิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ แสดงดังภาพที่ 11.5(b)
- 3) ที่จุด minutia ใดๆ ของภาพที่ต้องการตรวจสอบ ทำการหา minutia ของภาพต้นฉบับที่เป็นคู่กัน โดยหาจากค่าความเหมือน (similarity) ระหว่างเวกเตอร์คุณลักษณะระหว่างภาพที่ต้องการตรวจสอบกับภาพต้นฉบับ ซึ่งค่าความเหมือนคำนวณได้จาก $S = 1/E$ โดยที่ E คำนวณได้จาก

สมการดังนี้

$$E = \alpha \frac{\sum_i \% \varepsilon_i^2}{N} + (1 - \alpha) \frac{\sum_i \% e_i^2}{M} \quad (11.6)$$

โดยที่ α คือแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก มีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq \alpha \leq 1$ โดยค่าของ α หาได้จากสัดส่วนของ $\frac{N}{N+M}$ โดยที่ N และ M คือจำนวนของสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันและอยู่ติดกันยาวที่สุด, $\% \varepsilon_i^2$ และ $\% e_i^2$ คำนวณได้จากสมการที่ (11.1) และ (11.5) คู่ของเวกเตอร์คุณลักษณะที่มีค่าความต่างไม่เกิน ค่าระดับที่กำหนด จะตัดสินว่าเป็นสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กัน โดยกำหนดให้ค่าระดับกันเท่ากับ 5%

4) จุด minutiae ที่สอดคล้องเป็นคู่กัน จะถูกนำไปหาเมตริกซ์การแปลง แล้วแปลงภาพที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อจัดวางให้อยู่ในพิกัดเดียวกับภาพต้นฉบับ หรือภาพที่ถูกเลือก (candidate)



ภาพที่ 11.5 การจับคู่สามเหลี่ยมในกรณีที่มีการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น (a) เวกเตอร์คุณลักษณะของภาพต้นฉบับ (b) เวกเตอร์คุณลักษณะของภาพที่ต้องการตรวจสอบ (c) ขั้นตอนการหา minutia ที่เป็นคู่กัน จากรูปแสดงการเปรียบเทียบเวกเตอร์คุณลักษณะของจุด minutia ที่หนึ่งของภาพต้นฉบับกับจุด minutia ที่สองของภาพที่ต้องการตรวจสอบ คู่ของสามเหลี่ยมที่ได้แสดงในกรอบสี่เหลี่ยม ตัวเลขที่ระบุในรูปสามเหลี่ยมคือค่าความไม่แปรผันสัมพัทธ์

11.3 การตรวจสอบและการระบุตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือ

หลังจากการจัดวางหรือแปลงภาพที่ต้องการตรวจสอบ ให้อยู่ในพิกัดเดียวกับภาพต้นฉบับ (กรณีการตรวจสอบภาพลายพิมพ์นิ้วมือ) หรือภาพที่ถูกเลือก (กรณีระบุตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือ) แล้ว จะมีการหาจุด minutiae บนภาพต้นฉบับหรือภาพที่ถูกเลือกที่อยู่ใกล้ที่สุดกับจุด minutiae บนภาพที่ต้องการตรวจสอบที่แปลงมา การหาจุดที่อยู่ใกล้ที่สุด และหาระยะระหว่างจุดที่สอดคล้องกันนี้ จะหาโดยวิธี distance map ทำให้ได้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างจุด minutiae ที่สอดคล้องกันทั้งหมด (average distance map error) บนภาพทั้งสอง ในการระบุตัวบุคคล ที่มี candidates จำนวนมากกว่าหนึ่งนิ้ว (คน) การเปรียบเทียบภาพที่ต้องการตรวจสอบและภาพที่ถูกเลือก ที่ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยนี้น้อยที่สุด จะได้ว่า ภาพที่ต้องการตรวจสอบมาจากนิ้วนั้นหรือคนนั้นที่ถูกเลือกมา (candidate) ส่วนในการยืนยันตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ภาพที่ต้องการตรวจสอบจะมาจากนิ้วเดียวกับภาพต้นฉบับ ก็ต่อเมื่อค่าผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าค่าระดับที่กำหนด

นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้คุณลักษณะของลายพิมพ์นิ้วมือภายในรูปสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันร่วมกับการหาค่าผิดพลาดเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างจุด เพื่อใช้ในการยืนยันหรือระบุตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือ โดยคุณลักษณะภายในรูปสามเหลี่ยม หาได้จากการใช้ฟิลเตอร์แบบหลายทิศทางกระทำกับเส้นลายพิมพ์นิ้วมือภายในรูปสามเหลี่ยมที่เป็นคู่กันของภาพที่ถูกแปลงมาและภาพต้นฉบับ (หรือภาพที่ถูกเลือกมา) การฟิลเตอร์ภาพแบบหลายทิศทาง ริเริ่มโดย Bamberger and Smith [74] ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการประมวลผลภาพที่มีลักษณะเป็นทิศทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นการวิเคราะห์วัตถุหรือตัวอักษร การแยกองค์ประกอบ การกำจัดสัญญาณรบกวน การแยกส่วนและการปรับปรุงภาพ การรับรู้ระยะไกล และการวิเคราะห์ข้อมูล [75] เหตุผลที่การฟิลเตอร์แบบหลายทิศทางเหมาะสมในการนำมาใช้ในการการยืนยันหรือระบุตัวบุคคลด้วยภาพลายพิมพ์นิ้วมือ คือ 1) ภาพลายพิมพ์นิ้วมือประกอบด้วยพื้นหน้าและพื้นหลังเท่านั้น นั่นคือ ridges และ valleys 2) ภาพลายพิมพ์มีลักษณะเป็นทิศทางในตัวเอง