

บทที่ 4

การซ้อนทับภาพพื้นผิวใบหน้าสามมิติ (3D Image Registration)

4.1 บทนำ

การซ้อนทับภาพ (Image Registration) เป็นกระบวนการหาจุดเด่นเอกลักษณ์ของภาพ ตั้งแต่สองภาพขึ้นไปแล้วนำมาจัดวางซ้อนทับกันตามความสอดคล้องของภาพนั้น ไม่ว่าจะเป็นภาพ สองมิติหรือสามมิติก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำผลภาพที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่น ทางการแพทย์ มีการ นำภาพที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีมาซ้อนทับกับภาพถ่ายรังสีขณะที่ฉีดสารทึบรังสี เพื่อการลบภาพ บางส่วนออกและทำให้ภาพมีความคมชัดและความเปรียบต่าง (contrast) มากขึ้น หรือการนำภาพที่ได้ จากเครื่องถ่ายภาพต่างชนิดกันของคนไข้คนเดิมมารวมกัน (Image Fusion) เช่นการนำภาพที่ได้ จากเครื่องโพสิตรอนอิมิสชันโทโมกราฟี (PET) มารวมกับภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) เป็นต้น ในการศึกษานี้ได้คำนวณหาเส้นโค้งเชิงพาราโบลาบนพื้นผิวใบหน้า โดยคำนวณจาก พื้นผิวใบหน้าที่ค่าความโค้งเกาส์เซียนเป็นศูนย์ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ไม่มีการโค้งงอของพื้นผิวหรือ บริเวณที่พื้นผิวเปลี่ยนความโค้งงอจากบวกเป็นลบหรือเปลี่ยนจากลบเป็นบวกก็ได้ จากนั้นจึง คำนวณหาจุดเด่นเอกลักษณ์ที่อยู่บนเส้นโค้งเชิงพาราโบลา โดยดูจากการบิดงอของเส้นโค้งเชิง พาราโบลา ณ จุดที่การบิดงอมีค่าแรงบิดเป็นศูนย์ ต่อมานำจุดเด่นเอกลักษณ์นี้ไปเปรียบเทียบกับ จุดเด่นเอกลักษณ์ของข้อมูลใบหน้าอื่น ถ้าตรงกันก็จะสามารถซ้อนทับภาพและจัดภาพให้ตรงกันได้

4.2 ประเภทของการซ้อนทับภาพ

การซ้อนทับภาพแบ่งเป็น 3 ประเภท [37]

4.2.1 การซ้อนทับภาพระหว่างภาพวัตถุเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน (Intra-object Intra-modality Registration)

การซ้อนทับภาพระหว่างภาพวัตถุเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน เป็นการถ่าย ยบุคคลเดิมด้วยเครื่องถ่ายภาพชนิดภาพเดิม แต่ต่างเวลากัน เช่นการถ่ายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์ คอมพิวเตอร์ ก่อนพบว่า มีเนื้องอกและหลังพบว่า มีเนื้องอก เมื่อนำภาพมาซ้อนทับกัน จะทำให้ สามารถหาขอบเขต ขนาด และการเติบโตของเนื้องอกได้ การถ่ายภาพสามมิติของใบหน้าที่ต้องการ ความสมบูรณ์ของภาพทุกมุมรอบศีรษะก็จัดอยู่ในประเภทนี้ เนื่องจากจำเป็นต้องถ่ายภาพจาก ทิศทางที่ต่างกันจากหลายมุมมอง เนื่องจากไม่สามารถสร้างภาพให้เห็นวัตถุโดยรอบ 360 องศา จาก การสแกนเพียงครั้งเดียวได้ จากนั้นจึงนำภาพมาเรียงต่อกันโดยต้องมีการซ้อนทับกันของภาพ บางส่วน แล้วนำภาพมาซ้อนทับและจัดเรียงให้ตรงกันต่อไป

4.2.2 การซ้อนทับภาพระหว่างภาพวัตถุเดียวกันและถ่ายภาพต่างวิธีกัน (Intra-object Inter-modality Registration)

การซ้อนทับภาพระหว่างภาพวัตถุเดียวกันและถ่ายภาพต่างวิธีกัน การซ้อนทับภาพระหว่างวัตถุเดียวกันและถ่ายภาพต่างวิธีกัน พบมากในการประยุกต์ใช้งานภาพในทางการแพทย์ ที่ต้องการนำเอาลักษณะเด่นของวิธีการถ่ายภาพมารวมกัน เช่นการถ่ายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ จะให้ภาพที่หารายละเอียดทางกายภาพของอวัยวะภายในร่างกายได้ดี แต่ไม่สามารถบ่งบอกถึงการทำงานของอวัยวะนั้นๆได้ว่ายังปกติดีอยู่หรือไม่ คงบอกได้เพียงแต่การเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการดูดกลืนรังสีที่เปลี่ยนไปแล้วเท่านั้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการดำเนินของโรคเกิดขึ้นมากแล้ว ในขณะที่การถ่ายภาพในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ มักเป็นการถ่ายภาพด้วยการใช้สารเภสัชรังสี ฉีดเข้าสู่ร่างกาย แล้วถ่ายภาพด้วยเครื่อง Positron Emission Tomography (PET) หรือเครื่อง Single Photon Emission Tomography (SPECT) หรือเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา ซึ่งเครื่องเหล่านี้จะให้ภาพที่มีรายละเอียดทางกายภาพต่ำแต่บ่งบอกถึงการทำงานของอวัยวะได้ดี เมื่อนำภาพจากเครื่องมือทั้งสองประเภทมาซ้อนทับกัน เป็นการช่วยทำให้สามารถวินิจฉัยโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4.2.3 การซ้อนทับภาพระหว่างภาพวัตถุต่างชนิดกัน (Inter-object Registration)

การซ้อนทับภาพระหว่างภาพวัตถุต่างชนิดกัน พบในการประยุกต์ใช้งานเพื่อการรู้จำ (Recognition) และการคัดแยก (Classification) การนำมาใช้กับการรู้จำบุคคล ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ คือต้องมีฐานข้อมูลภาพ เมื่อต้องการตรวจสอบดูว่าบุคคลที่สนใจ มีอยู่ในฐานข้อมูลหรือไม่ ก็จะนำภาพในฐานข้อมูลมาเปรียบเทียบกับภาพบุคคลนั้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการซ้อนทับภาพแล้วพิจารณาความแตกต่าง

4.3 วิธีการซ้อนทับภาพ (Registration Technique)

จากบทที่ 2-ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ได้จำแนกวิธีการซ้อนทับภาพออกเป็นแบบอาศัยความเข้มเป็นหลัก (Intensity Based Method) และแบบใช้ลักษณะเฉพาะเป็นหลัก (Feature Based Method) หรืออาจแบ่งตามวรรณกรรมของการซ้อนทับภาพสามมิติได้เป็นการซ้อนทับภาพแบบหยาบและแบบละเอียดแล้วนั้น จึงไม่ขอกล่าวซ้ำในที่นี้ โดยจะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการที่นำมาใช้ในการวิจัยเท่านั้น

ในการวิจัยนี้ เป็นการทดลองซ้อนทับภาพ ประเภทการซ้อนทับภาพระหว่างภาพวัตถุเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน โดยเป็นการซ้อนทับภาพใบหน้าสามมิติของบุคคลเดียวกันและใช้เครื่องสแกนแบบเลเซอร์ในการถ่ายภาพ เป็นการซ้อนทับภาพแบบใช้ลักษณะเด่นเอกลักษณ์เป็นหลัก ซึ่งหาได้จาก ความโค้งแกว่งเชียน เส้นโค้งเชิงพาราโบลา ค่าปริมาตรเป็นศูนย์และแรงบิดเป็นศูนย์

4.4 การคำนวณเส้นโค้งเชิงพาราโบลาเป็นจุดเด่นเอกลักษณ์เพื่อการซ้อนทับภาพสามมิติ

เส้นโค้งเชิงพาราโบลา เป็นชุดของจุดบนพื้นผิวใดๆที่คำนวณจากค่าความโค้งเกาส์เซียนของพื้นผิวเป็นศูนย์ ($K = k_1 k_2$) นั้นหมายความว่า k_1 หรือ k_2 ตัวใดตัวหนึ่งเป็นศูนย์ก็เพียงพอที่จะทำให้ความโค้งเกาส์เซียนเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นแนวจุดที่แสดงถึงความราบเรียบของพื้นผิวหรือการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวจากโค้งขึ้นเป็นโค้งลงหรือจากโค้งลงเป็นโค้งขึ้นก็ได้ แนวของจุดที่ค่าความโค้งเป็นศูนย์นี้เป็นคุณสมบัติภายในเฉพาะของพื้นผิวนั้นๆ ค่าความโค้งเกาส์เซียน (K) คำนวณได้จาก สมการที่ 5.1 เมื่อ k_1 และ k_2 คือความโค้งสูงสุดและความโค้งต่ำสุด

$$K = k_1 k_2 \propto \begin{vmatrix} e & f \\ f & g \end{vmatrix} \quad (4.1)$$

$$\text{และ } e = \langle N, r^{(2,0)} \rangle \quad , \quad f = \langle N, r^{(1,1)} \rangle \quad , \quad g = \langle N, r^{(0,2)} \rangle$$

$$\text{โดยที่เวกเตอร์ปกติ} \quad N = \frac{\langle r^{(1,0)} \times r^{(0,1)} \rangle}{|r^{(1,0)} \times r^{(0,1)}|}$$

$$r^{(1,0)} = \frac{\partial r}{\partial u} \quad , \quad r^{(0,1)} = \frac{\partial r}{\partial v} \quad , \quad r^{(2,0)} = \frac{\partial^2 r}{\partial u^2} \quad , \quad r^{(0,2)} = \frac{\partial^2 r}{\partial v^2} \quad ,$$

$$r^{(1,1)} = \frac{\partial^2 r}{\partial u \partial v}$$

$$\text{จากนั้นคำนวณหาเส้นโค้งเชิงพาราโบลาได้จาก} \quad eg - f^2 = 0 \quad (4.2)$$

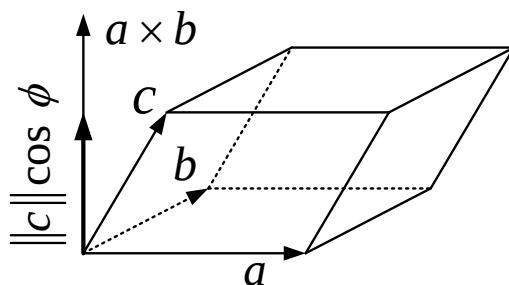
$$\text{หรือ ประมวลได้จาก} \quad \langle N, r^{(2,0)} \rangle \langle N, r^{(0,2)} \rangle - \langle N, r^{(1,1)} \rangle^2 = 0 \quad (4.3)$$

ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความโค้งจะคงตัวอยู่ได้ภายใต้การแปลงแบบเหมือนเท่านั้น แต่เส้นโค้งเชิงพาราโบลาจะคงตัวอยู่ได้ถึงระดับการแปลงแบบแอฟเฟน กล่าวได้ว่า พื้นผิวภายใต้การแปลงแบบแอฟเฟน จะมีเส้นโค้งเชิงพาราโบลากายใต้การแปลงแบบแอฟเฟนสอดคล้องกับเส้นโค้งเชิงพาราโบลาของพื้นผิวดั้งเดิม ส่วนความโค้งเกาส์เซียนก่อนและหลังการแปลงนั้น จะสอดคล้องเป็นสัดส่วนกับพารามิเตอร์ของการแปลงเท่านั้นแต่ไม่สอดคล้องกับพื้นผิว ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากภายใต้การแปลงแบบแอฟเฟนในระนาบสามมิติ ปริมาตรที่ได้จากเวกเตอร์ทั้งสามคือ $r^{(1,0)}$, $r^{(0,1)}$ และ $r^{(2,0)}$ โดยคิดจาก $\langle r^{(1,0)} \times r^{(0,1)}, r^{(2,0)} \rangle$ จะเป็นสัดส่วนที่คงที่

จากนั้นเราสามารถนำเส้นโค้งเชิงพาราโบลามาเป็นเส้นอ้างอิงที่จะใช้ในการจัดภาพให้ตรงกันและนำมาหาจุดอ้างอิงบนเส้นนี้อีกทีหนึ่งก็ได้ ซึ่งก็คือจุดที่มีแรงบิดของเส้น (Zero torsion point)

4.5 การคำนวณค่าปริมาตรเป็นศูนย์ และแรงบิดเป็นศูนย์เป็นจุดเด่นเอกลักษณ์ เพื่อการซ้อนทับภาพสามมิติ

เราสามารถคำนวณปริมาตร จากเวกเตอร์สามเวกเตอร์ได้ ดังภาพที่ 4.1 เมื่อ a, b และ c เป็นเวกเตอร์ ผลคูณของ a และ b เป็นพื้นที่ฐานเมื่อนำมาคูณกันกับความสูง $c \cos \phi$ ก็จะได้ เป็น ปริมาตร $\text{Volume} = \|a \times b\| \|c\| |\cos \phi|$ หรือ $\text{Volume} = |a \times b \cdot c|$ ปริมาตรจะเป็นศูนย์เมื่อเวกเตอร์ใดเวกเตอร์หนึ่งเป็นศูนย์หรือเวกเตอร์ทั้งสามอยู่ในระนาบเดียวกัน



ภาพที่ 4.1 การคำนวณหาปริมาตรจากสามเวกเตอร์

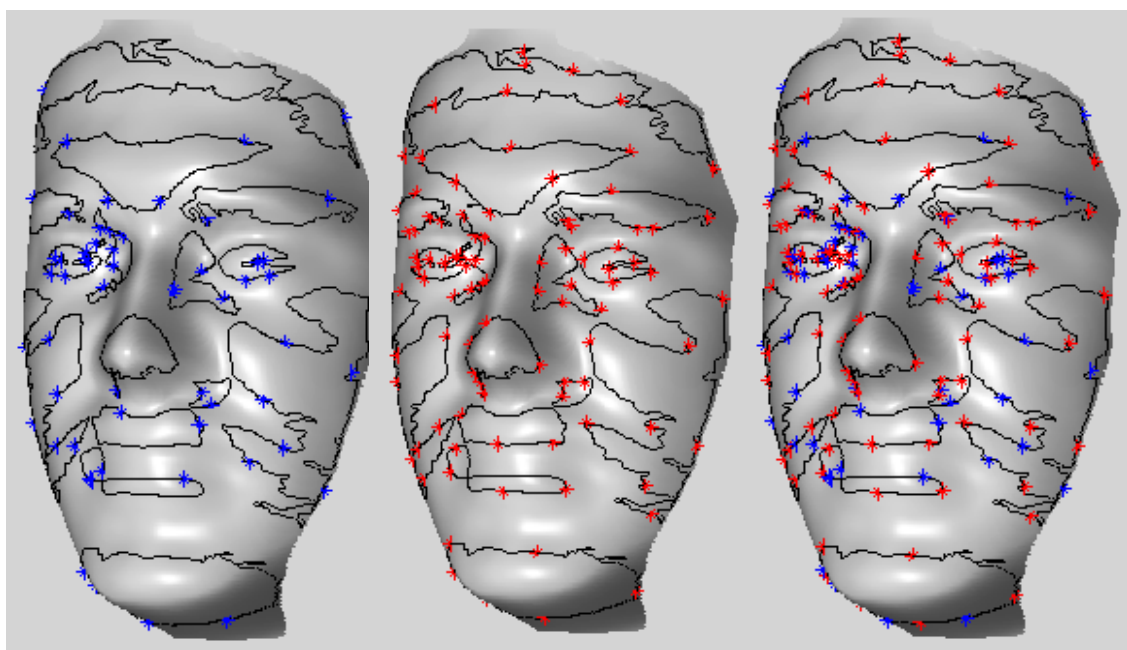
ดังนั้นถ้าให้ $r(t)$ เป็นเส้นโค้งเชิงพาราโบลา เราสามารถคำนวณปริมาตรจากอนุพันธ์อันดับต่างๆของเส้นโค้งได้จาก

$$v_1(t) = \langle r^{(0)}(t) \times r^{(1)}(t), r^{(2)}(t) \rangle \quad (4.4)$$

เมื่อ $r^{(0)}(t)$, $r^{(1)}(t)$ และ $r^{(2)}(t)$ เป็นอนุพันธ์อันดับศูนย์ หนึ่ง และ สอง ของจุดบนเส้นโค้งเชิงพาราโบลาที่ตำแหน่ง t ในขณะเดียวกันเราสามารถคำนวณปริมาตรอีกตัวหนึ่งได้จาก $r^{(1)}(t)$, $r^{(2)}(t)$ และ $r^{(3)}(t)$ เมื่อ $r^{(3)}(t)$ เป็นอนุพันธ์อันดับสามของจุดบนเส้นโค้งเชิงพาราโบลาที่ตำแหน่ง t

$$v_2(t) = \langle r^{(1)}(t) \times r^{(2)}(t), r^{(3)}(t) \rangle \quad (4.5)$$

เราจะเรียก v_1 และ v_2 เมื่อ $v_1(t) = 0$ และ $v_2(t) = 0$ เท่ากับศูนย์ว่า ค่าปริมาตรเป็นศูนย์ (Zero-volume) และค่าแรงบิดเป็นศูนย์ (Zero-torsion) ตามลำดับ เนื่องจาก เมื่อนำค่าอนุพันธ์อันดับสามมาคำนวณจะสัมพันธ์กับความหมายของการบิดตัวของเส้นโค้ง ดังนั้นที่จุดแรงบิดตัวเท่ากับศูนย์ หมายถึงจุดที่มีการบิดตัวของเส้นโค้งเชิงพาราโบลาซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่คงสภาพอยู่ได้ภายใต้การแปลงแบบแอฟเฟjne ตัวอย่างของจุดที่ค่าปริมาตรเป็นศูนย์ ค่าแรงบิดเป็นศูนย์บนเส้นโค้งเชิงพาราโบลาของใบหน้า ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 4.2 ก. จุดปริมาตรเป็นศูนย์ที่อยู่บนเส้นโค้งเชิงพาราโบลา ข. จุดแรงบิดเป็นศูนย์บนเส้นโค้งเชิงพาราโบลา และ ค. ทั้งจุดปริมาตรเป็นศูนย์และจุดแรงบิดเป็นศูนย์บนเส้นโค้งเชิงพาราโลาบนผิวหนัง



ก. จุดปริมาตรศูนย์

ข. จุดแรงบิดเป็นศูนย์

ค. จุดปริมาตรศูนย์ (v_1)
จุดแรงบิดเป็นศูนย์ (v_2)

ภาพที่ 4.2 จุดเด่นเอกลักษณ์ของเส้นโค้งเชิงพาราโบลานบนใบหน้า ก.จุดปริมาตรศูนย์ Zero-volume (v_1) points ข.จุดแรงบิดเป็นศูนย์ Zero-torsion (v_2) points และ ค.จุดปริมาตรศูนย์ และจุดแรงบิดเป็นศูนย์