

บทที่ 2

การแปลงภาพโดยการมอร์ฟ

2.1 บทนำ

การมอร์ฟภาพ (Image Morphing) เป็นการแปลงภาพในลักษณะของของไหลที่มีการเปลี่ยนรูปร่างไปเรื่อยๆ จากรูปหนึ่งไปอีกรูปหนึ่ง ส่วนการแปลงภาพโดยการวาร์ป (Image Warping) เป็นการแปลงภาพโดยใช้ฟังก์ชันการแปลงพิกัดทางเรขาคณิตมีกระทำกับ feature ของลักษณะเด่นบนภาพที่ต้องการแปลง การแปลงภาพโดยการมอร์ฟหรือโดยการวาร์ป นั้นปรกติมักทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของรูปร่างหรือสีที่ไม่เป็นที่ต้องการจึงมักมีการทำการเกลี่ยสีหรือพิกัดของพื้นผิวภาพเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น [5]

ขั้นตอนแรกของการแปลงภาพโดยการมอร์ฟเริ่มจากการเลือกลักษณะเด่นที่จะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความสัมพันธ์ของการแปลงภาพต้นแบบและภาพปลายทาง โดยส่วนมากลักษณะเด่นที่นำมาใช้นั้นมักเป็น โหนด, เส้นตรง, เส้นโค้ง, จุด หลังจากทำการเลือกและกำหนดตำแหน่งของลักษณะเด่นที่นำมาใช้แล้ว ข้อมูลจากจุดลักษณะเด่นที่เลือกจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณ Mapping Function ซึ่งจะทำการกำหนดการแปลงค่าระหว่างจะลักษณะเด่นในภาพทั้ง 2 ภาพซึ่งลักษณะเด่นที่ใช้นี้จะมีความสำคัญมากเพราะหากลักษณะเด่นที่เลือกมาไม่มีความเหมาะสมจะทำให้ Warping Function ที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพซึ่งบางครั้งทำให้เกิดผลของ Artifact ที่ไม่ต้องการ [6] หากต้องการแก้ไขปัญหานี้ก็จำเป็นต้องทำการกำหนดจุดลักษณะเด่นใหม่หรืออาจต้องทำการเพิ่มจุดลักษณะเด่นที่ใช้ให้มากขึ้นเพื่อให้ Warping Function ที่ได้จากการคำนวณมีความถูกต้องมากขึ้นแต่ก็จะทำให้ความซับซ้อนของการคำนวณมีมากขึ้นและทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้นตามไปด้วย

ปัญหาอีกอันหนึ่งที่จะมีผลในการแปลงภาพโดยการมอร์ฟคือการกำหนดอัตราเร็วของการแปลงภาพ (Transition Control) โดยหากค่าของ Transition Control มีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงมีความแตกต่างออกไปด้วย

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการมอร์ฟนั้นจะสามารถทำได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยใดๆของการมอร์ฟทั้ง 3 กระบวนการคือ การกำหนด Feature, การคำนวณ Warping Process และการกำหนด Transition Control

กระบวนการแปลงภาพโดยการมอร์ฟสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทคือ

- Mesh Warping
- Field Morphing
- Radial Basic Function / Thin-Plate Spline (TPS)

- Energy Minimization Method
- Multiple Free-Form Deformation (MFFD)

โดยกระบวนการมอร์ฟที่ดีนั้นจะต้องหาความสมดุลระหว่างความซับซ้อนของการกำหนดจุดลักษณะเด่นกับ Warping Function ที่ต้องการและ การสูญเสียเวลาที่ใช้ในการคำนวณกับกระบวนการมอร์ฟที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

2.2 อัลกอริธึมของการมอร์ฟ

ก่อนที่การมอร์ฟจะถูกกำหนดขึ้นมานั้นการแปลงภาพจะใช้กระบวนการของ Cross Dissolve มาก่อน

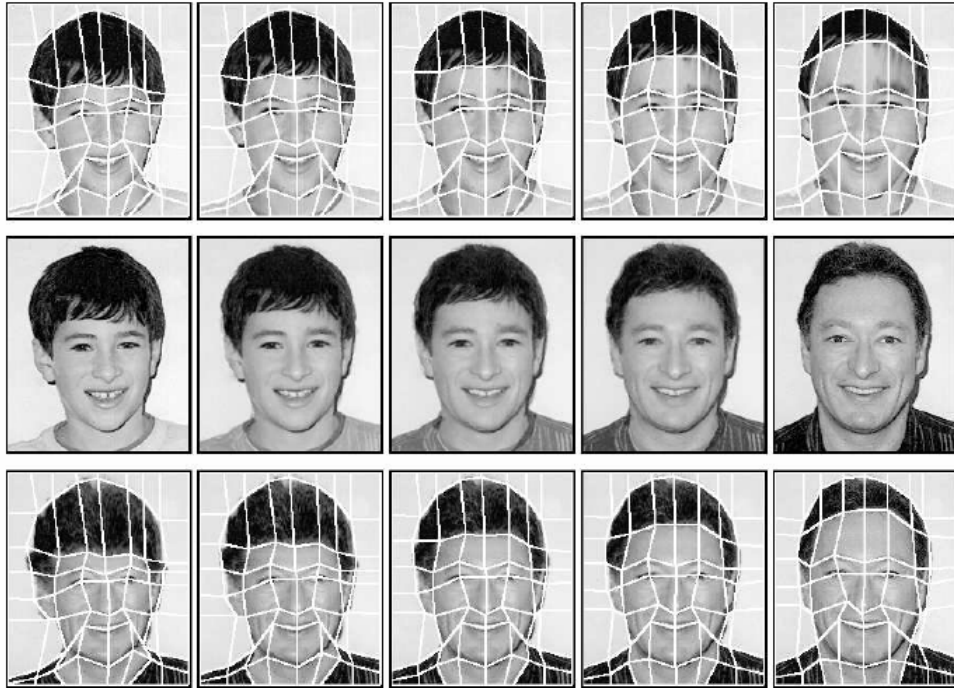


รูปที่ 2.1 ภาพการใช้วิธีการแปลงภาพโดย Cross Dissolve

กระบวนการแปลงภาพโดยการใช้ Cross Dissolve นั้นมีปัญหาในภาพช่วงกลางของกระบวนการเนื่องจากเป็นช่วงที่ภาพต้นแบบและภาพเป้าหมายมีการแสดงผลที่ใกล้เคียงกันทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความไม่ชัดเจนซึ่งการแปลงภาพโดยการมอร์ฟนั้นสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้

2.2.1 Mesh Morphing

Mesh Morphing ถูกคิดค้นโดยบริษัท Industrial Light & Magic (ILG) โดย Douglas Smythe โดยภาพของกระบวนการ Mesh Warping สามารถแสดงได้ดังนี้

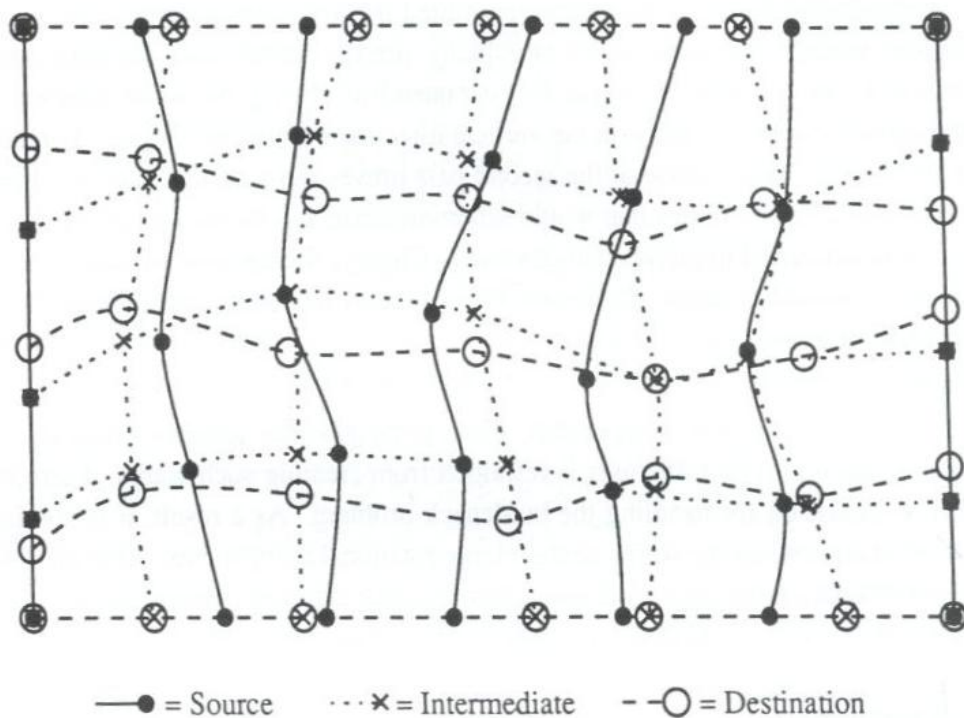


รูปที่ 2.2 ภาพแสดงกระบวนการมอร์ฟโดย Mesh Warping

โดยภาพที่แถวกลางแสดงผลของ Mesh Warping ของภาพในแถวบนและล่าง

เราจะทำการกำหนดให้ภาพต้นแบบ (Source Image) เป็น I_S และภาพปลายทาง (Destination Image) เป็น I_D และร่างแห Mesh ของภาพต้นแบบเป็น M_S , ร่างแห Mesh ของภาพปลายทางเป็น M_D โดยร่างแห Mesh ของภาพต้นแบบและภาพเป้าหมายจะเป็นลักษณะของจุดเด่นบนภาพใบหน้าที่จะนำมาผ่านการมอร์ฟเช่น ปาก, ตา, จมูกและส่วนของใบหน้าเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ Warping Function โดยร่างแห Mesh ที่ใช้นี้จะมีข้อกำหนดคือร่างแหต้องไม่มีการซ้อนทับกันหรือมีการขาดช่วงของร่างแหและ ส่วนขอบนอกสุดของร่างแห Mesh ในภาพต้นแบบและภาพเป้าหมายต้องมีขนาดเดียวกัน

กระบวนการในการหาความสอดคล้องจาก Node ต่างๆบนร่างแหทั้งสองนั้นจะแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน กระบวนการช่วงที่ 1 คือกระบวนการในการสร้างร่างแหของการประมาณความสอดคล้อง (Intermediate Mesh) โดยที่ Intermediate Mesh นี้จะมีพิกัดเป็น (x, y) ต่อมาจึงทำการสร้างเส้นร่างแหตามแนวตั้ง (Vertical Spline) ซึ่งพิกัดของ Vertical Spline นี้จะสามารถคำนวณได้โดยการประมาณค่ากลางเฉลี่ยของพิกัดของ Source Mesh และ Intermediate Mesh เข้าด้วยกัน ส่วนกระบวนการในช่วงที่ 2 จะเป็นการสร้างเส้นร่างแหตามแนวนอน (Horizontal Spline) โดยพิกัดของ Horizontal Spline จะหาได้จากการประมาณค่ากลางเฉลี่ยพิกัดของ Destination Mesh และ Intermediate Mesh เข้าด้วยกันเป็นขั้นตอนสุดท้าย [7]



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการคำนวณค่าต่าง ๆ บนร่างแหในกระบวนการ Mesh Warping

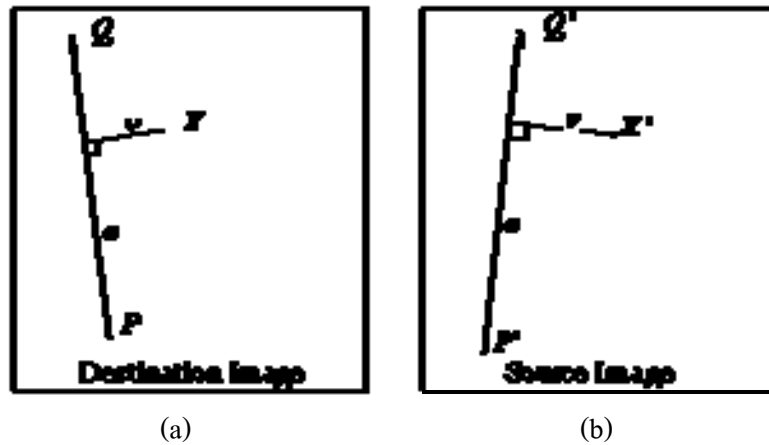
ส่วนการประยุกต์ใช้งานของ Mesh Warping นั้นสามารถพบได้ในอัลกอริทึมการแปลงภาพเช่นในกระบวนการของ Fant's Algorithm [8, 9]

วิธี Mesh Warping นั้นมีข้อจำกัดคือภาพที่มาทำการวาร์ปจะต้องเป็นบริเวณต่อเนื่องกันตลอดเพราะร่างแหที่ทำการสร้างขึ้นนั้นจะมีลักษณะที่ต่อเนื่องกันตลอดและส่วนของพื้นที่ในภาพที่ทำการวาร์ปจะต้องไม่มีทำให้ร่างแหเกิดการซ้อนทับกันอีกด้วย แต่กระบวนการนี้ก็มีข้อดีคือใช้เวลาในการคำนวณที่น้อย

2.2.2 Field Morphing

กระบวนการ Field Morphing ถูกคิดค้นโดย Beier และ Neely [6] โดยกระบวนการแปลงภาพของ Field Morphing นั้นจะช่วยลดข้อจำกัดของร่างแห Mesh ในกระบวนการแปลงภาพโดย Mesh Warping ลง ในกระบวนการ Field Morphing นี้จะทำการกำหนดเส้นควบคุมบนภาพต้นแบบและภาพปลายทางเพื่อใช้ในการคำนวณสมการ Mapping Function ของภาพทั้ง 2 ภาพ

การมอร์ฟแบบนี้จะอาศัยความสัมพันธ์ของจุดและระยะห่างระหว่างเส้นควบคุมกับจุดใดๆ มาทำการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างภาพต้นทางกับปลายทาง



รูปที่ 2.4 (a) ภาพแสดงกระบวนการ Field Morphing บนภาพปลายทาง

(b) ภาพแสดงกระบวนการ Field Morphing บนภาพต้นทาง

แนวคิดของการวาร์ปแบบ Feature Based Image Warping นี้สามารถทำการอธิบายได้จาก รูปที่ a และ b ได้เป็นอัลกอริธึมดังนี้

อัลกอริธึมสำหรับเส้นควบคุม 1 เส้น

- พิจารณาในภาพปลายทางที่จุด X และเส้นควบคุม PQ จากภาพจะทำการคำนวณ ค่าพารามิเตอร์ของความสอดคล้องคือ u_d และ v_d โดยสมการที่ใช้มีดังนี้

$$u = \frac{(X-P) \cdot (Q-P)}{\|Q-P\|^2}$$

$$v = \frac{(X-P) \cdot \text{Perpendicular}(Q-P)}{\|Q-P\|} \quad (2.1)$$

$$X' = P' + u \cdot (Q' - P') + \frac{v \cdot \text{Perpendicular}(Q' - P')}{\|Q' - P'\|}$$

- พิจารณาในภาพปลายทางเพื่อทำการหาจุด X' และเส้นควบคุม $P'Q'$ จากภาพเพื่อทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของความสอดคล้องคือ u_s และ v_s

- ทำการหาจุด X' และเส้น $P'Q'$ ใดๆที่ทำให้ u_d เท่ากับ u_s และ v_d เท่ากับ v_s

- กำหนดความสอดคล้องเพื่อแปลงระหว่างจุด X' และ X เข้าด้วยกัน

อัลกอริธึมสำหรับเส้นควบคุมหลายเส้น

ในกรณีที่เส้นควบคุมหลายเส้นนั้นจะต้องทำการพิจารณาพารามิเตอร์ของ Weight ด้วย โดยค่าของ Weight นั้นสามารถทำการคำนวณได้โดย

$$weight = \left(\frac{length^b}{(\alpha + dist)} \right) \quad (2.2)$$

โดย length คือ ค่าความยาวเส้นควบคุม

dist คือ ระยะตั้งฉากจากเส้นควบคุม $P'Q'$ หรือ PQ ไปยังจุด X' หรือ X

a, b, p คือ ค่าพารามิเตอร์สัมพัทธ์จากเส้นควบคุม

- ทำการกำหนดให้ Dsum และ WEIGHTsum เป็น 0

- ทำการคำนวณ u_d, u_s, v_d, v_s

- หาจุด X' และ X ที่สอดคล้องกันโดยใช้เงื่อนไขเดียวกับอัลกอริทึมสำหรับเส้นควบคุม 1 เส้น

- ทำการคำนวณค่าระยะห่างระหว่าง X' และ X (D_x) โดย $D_x = X' - X$

- ทำการคำนวณ Dsum และ WEIGHTsum โดย

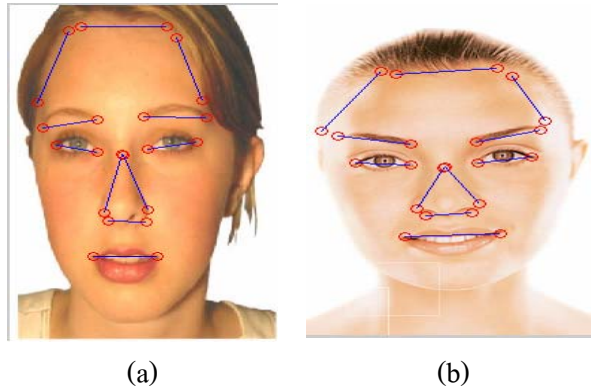
$$\begin{aligned} Dsum &= \sum_i (D_i \times weight) \\ WEIGHTsum &= \sum_i (weight_i) \end{aligned} \quad (2.3)$$

- นำค่า Dsum และ WEIGHTsum มาทำการคำนวณ X' ใหม่โดย

$$X' = \frac{X + Dsum}{WEIGHTsum} \quad (2.4)$$

- แล้วจึงได้ X' และ X ที่สอดคล้องกัน

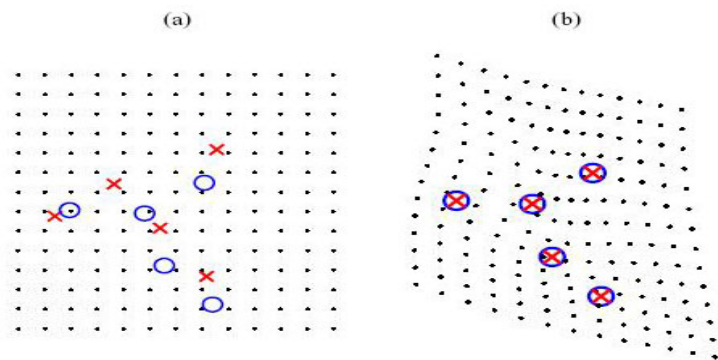
วิธี Field Morphing นั้นในกรณีของอัลกอริทึมแบบเส้นควบคุม 1 เส้นนั้นจะมีประสิทธิภาพที่ดีแต่ในกรณีของอัลกอริทึมแบบเส้นควบคุมหลายเส้นนั้นจะทำให้กระบวนการวอร์ปมีผลของการ Interpolation ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นเนื่องมาจากผลการคำนวณที่ได้จากเส้นควบคุมที่แตกต่างกันทำให้มีผลการวอร์ปหลายแบบดังนั้นหากภาพที่ทำการวอร์ปนั้นมีการกระจายของเส้นควบคุมมากก็ยิ่งทำให้ปัญหานี้อิ่งชัดเจนและทำให้เวลาในการคำนวณที่ใช้มากขึ้นตามจำนวนเส้นควบคุมที่ใช้



รูปที่ 2.5 (a) ภาพแสดงเส้นควบคุม Field Morphing บนภาพปลายทาง
(b) ภาพแสดงเส้นควบคุม Field Morphing บนภาพด้านทาง

2.2.3 Radial Basic Function and Thin-Plate Spline (TPS)

กระบวนการ Radial Basic Function และ Thin-Plate Spline นี้จะทำการใช้ลักษณะเด่นเป็นแบบจุดเท่านั้นเนื่องจากเส้นตรงและ เส้นโค้งใดๆก็สามารถแสดงได้โดยการเรียงต่อกันของจุดจึงไม่จำเป็นที่จะต้องนำเส้นมาใช้เป็นลักษณะเด่นในการคำนวณ Mapping Function โดยจุดที่นำมาใช้เป็นลักษณะเด่นบนภาพต้นแบบและภาพปลายทางนี้จะเรียกว่าจุดสอดคล้อง [10]



รูปที่ 2.6 ภาพแสดงจุดสอดคล้องในกระบวนการ Thin-Plate Spline

หากสมมติให้ภาพที่เป็นต้นแบบมีจุดเด่นทั้งหมด n จุดคือ p_i โดย $i = 1, \dots, n$ และภาพที่เป็นเป้าหมายมีจุดเด่นทั้งหมด n จุดคือ q_i โดย $i = 1, \dots, n$ เช่นเดียวกัน หลังจากที่เราทราบตำแหน่งของจุด Landmark บนภาพทั้ง 2 ภาพแล้วก็จะสามารถหาค่าเมตริกซ์ความสัมพันธ์ซึ่งประกอบด้วยเมตริกซ์ W และเมตริกซ์ A ได้จากสมการพื้นฐานดังนี้

$$Kw + Pa = V \quad (2.5)$$

$$P^T w = 0 \quad (2.6)$$

โดย K คือ matrix ค่าระยะห่างระหว่างจุด landmark ทุกจุดกับจุด landmark ทั้งหมดที่เหลือ

P คือ matrix ค่าพิกัดของจุด landmark บนภาพต้นแบบ

V คือ matrix ค่าพิกัดของจุด landmark บนภาพต้นเป้าหมาย

w คือ weight matrix

a คือ affine transform matrix

จากสมการพื้นฐานทั้ง 2 สมการหาคำนำมาทำการเขียนในรูปแบบของ matrix form จะได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} K & P \\ P^T & 0(3,3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ 0(3,3) \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

โดยเมตริกซ์ P และ V จะมีลักษณะดังนี้

$$P = \begin{bmatrix} 1 & px1 & py1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & pxn & pyn \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} 1 & qx1 & qy1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & qxn & qyn \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

โดยเมตริกซ์ W,A และ K จะมีลักษณะดังนี้ โดยเมตริกซ์ W คือ เมตริกซ์ของค่าน้ำหนักหรือค่า weight สมการนั่นเอง ส่วนเมตริกซ์ A คือเมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างทั้ง 2 ภาพที่แสดงในรูปแบบของเมตริกซ์ Affine Transform นั่นเอง

$$W = \begin{bmatrix} 0 & wx1 & wy1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & wxn & wyn \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & ax1 & ay1 \\ 0 & ax2 & ay2 \\ 0 & ax3 & ay3 \end{bmatrix}$$

$$K_{ij} = U(pi, pj) \quad (2.9)$$

$$K = \begin{bmatrix} 0 & U(r_{1,2}) & \cdots & U(r_{1,n-1}) & U(r_{1,n}) \\ U(r_{2,1}) & 0 & \cdots & U(r_{2,n-1}) & U(r_{2,n}) \\ \cdots & \cdots & 0 & \cdots & \cdots \\ U(r_{n-1,1}) & U(r_{n-1,2}) & \cdots & 0 & U(r_{n-1,n}) \\ U(r_{n,1}) & U(r_{n,2}) & \cdots & U(r_{n,n-1}) & 0 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$U(r_{i,j}) = r_{i,j}^2 \ln(r_{i,j}^2) \quad (2.11)$$

$$r_{i,j} = \sqrt{(px_i - px_j)^2 + (py_i - py_j)^2} \quad (2.12)$$

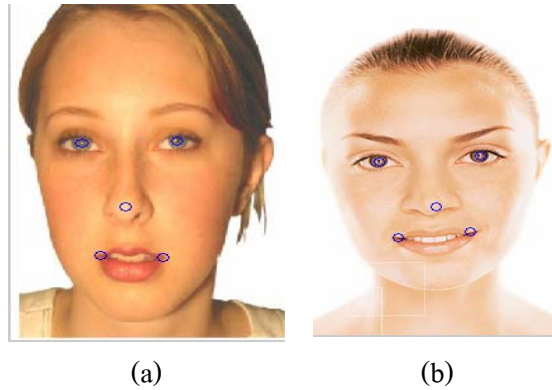
หลังจากที่ทำการคำนวณหาค่าเมตริกซ์ W และ A ได้แล้วจึงสามารถทำการคำนวณหาค่าพิกัดใหม่ของจุดต่างๆ(f_x, f_y)ได้จากสมการดังนี้

$$f_x(x, y) = ax_1 + ax_2x + ax_3y + \sum_{i=1}^n w_{xi} U(r_i) \quad (2.13)$$

$$f_y(x, y) = ay_1 + ay_2x + ay_3y + \sum_{i=1}^n w_{yi} U(r_i) \quad (2.14)$$

$$U(r_{i,j}) = r_i^2 \ln(r_i^2) \quad (2.15)$$

$$r_i = \sqrt{(px_i - x)^2 + (py_i - y)^2}$$



รูปที่ 2.7 (a) ภาพแสดงจุดสอดคล้องในกระบวนการ Thin-Plate Spline บนภาพปลายทาง

(b) ภาพแสดงจุดสอดคล้องในกระบวนการ Thin-Plate Spline บนภาพต้นทาง

วิธี Thin-Plate Spline นั้นจะเป็นวิธีที่ให้ผลการมอร์ฟที่ดีเมื่อเทียบกับวิธี Mesh Warping และ Field Morphing ส่วนเรื่องของเวลาที่ใช้ในการคำนวณจากมากกว่าแบบ Mesh Warping แต่น้อยกว่า แบบ Field Morphing

การประยุกต์ใช้งานของ Thin-Plate Spline นี้สามารถนำมาใช้ในการสร้างเป็น Thin-Plate Spline Surface Model ได้ [11, 12]

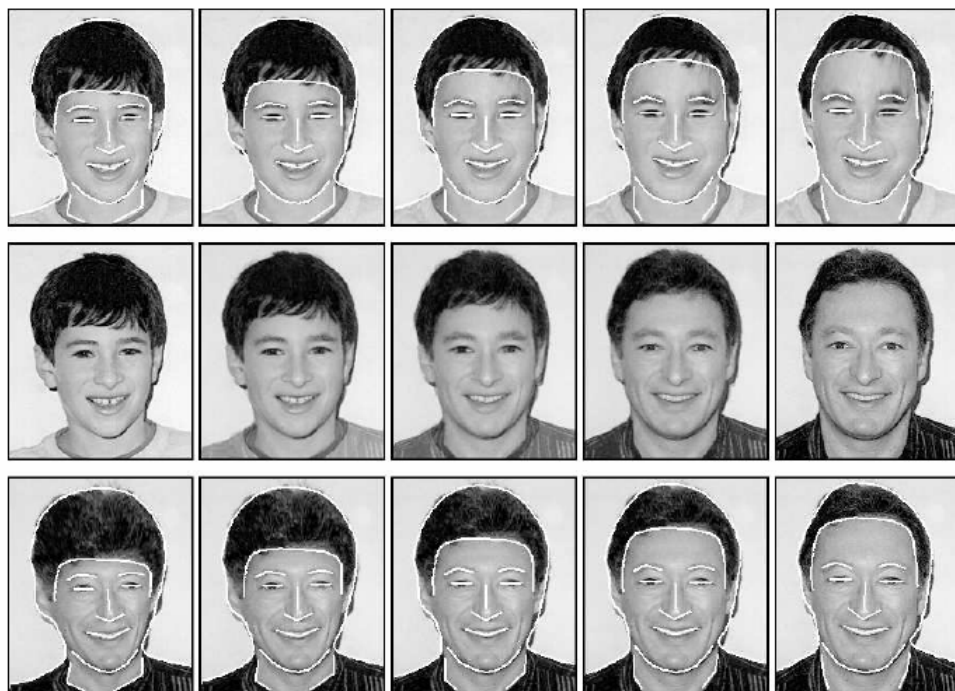
2.2.4 Energy Minimization

Energy-Minimizing Method หรือ Optimization Method วิธีการนี้มีแนวคิดหลักที่ตรงกันข้ามกับวิธีการแบบเดิมคือ วิธีการแบบอื่นที่นำเสนอมาข้างต้นนั้นมักทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆมาทำการประมาณความเหมือนกันระหว่างชุดข้อมูลแต่ในวิธีการนี้จะทำการกำหนดฟังก์ชันที่เรียกว่า Penalty Function (PF) ซึ่งจะทำการประมาณค่าความต่างระหว่างชุดข้อมูลต่างๆแทนข้อเสียของวิธีการนี้อยู่ที่ความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของตัว Penalty Function ซึ่งทำให้วิธีการนี้มีการสูญเสียเวลาในการคำนวณที่มาก [13]

2.2.5 Multiple Free-Form Deformation (MFFD)

หลักการของวิธีการมอร์ฟในวิธีนี้คือการกำหนดแบบจำลองมาตรฐานขึ้นมาแล้วจึงค่อยนำ Function ทางคณิตศาสตร์ใดๆมาใช้ในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแบบจำลองให้เป็นรูปร่างที่ต้องการ

โดยการประยุกต์ใช้งานที่พบมากนั้นเช่น Active Contour Model หรือแบบจำลอง Snake นั้นเอง [14]



รูปที่ 2.8 ผลการทำการมอร์ฟจาก MFFD

2.3 Transition Control (TC)

Transition Control เป็นตัวกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงในการแปลงภาพและอัตราการทำ Color Blending ในกระบวนการมอร์ฟ



รูปที่ 2.9 ผลการมอร์ฟที่ Transition Control ต่างกัน