

บทที่ 6

ระบบการถ่ายภาพและการคำนวณตัวแปร

6.1 บทนำ

ขั้นตอนและกระบวนการทดลองและผลการทดลอง เริ่มจากการถ่ายภาพใบหน้ามนุษย์แบบสามมิติ โดยได้ทดลองสร้างระบบการถ่ายภาพสามมิติด้วยกล้องสองตัว เมื่อได้ข้อมูลภาพสามมิติมาแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละใบหน้า เก็บเข้าสู่ฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดภาพให้ตรงกันและซ้อนทับภาพ เพื่อการระบุตัวตนต่อไป

6.2 การถ่ายภาพด้วยเทคนิคสเตอริโอ [41]

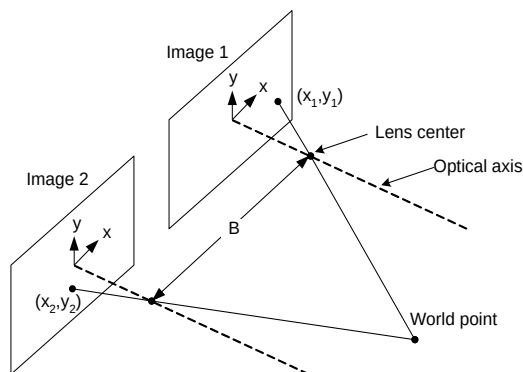
พิกัดต่างๆของวัตถุ สามารถคำนวณออกมาได้เมื่อใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบสเตอริโอ โดยการใช้กล้องถ่ายภาพ 2 ตัววางอยู่ในระนาบเดียวกันและมีแกนที่ขนานกันอย่างสมบูรณ์ อาจเรียกต่อไปว่ากล้องซ้ายและกล้องขวาซึ่งจะถ่ายภาพของวัตถุขึ้นเดียวกัน สามารถคำนวณ พิกัดสามมิติเมื่อเทียบกับพิกัดโลกได้ดังแสดงใน ภาพที่ 6.1 และคำนวณ พิกัดต่างๆได้ด้วยสมการ

$$Z = f - \frac{fB}{x_2 - x_1} \quad (6.1)$$

$$X = \frac{x_1}{f}(f - Z) \quad (6.2)$$

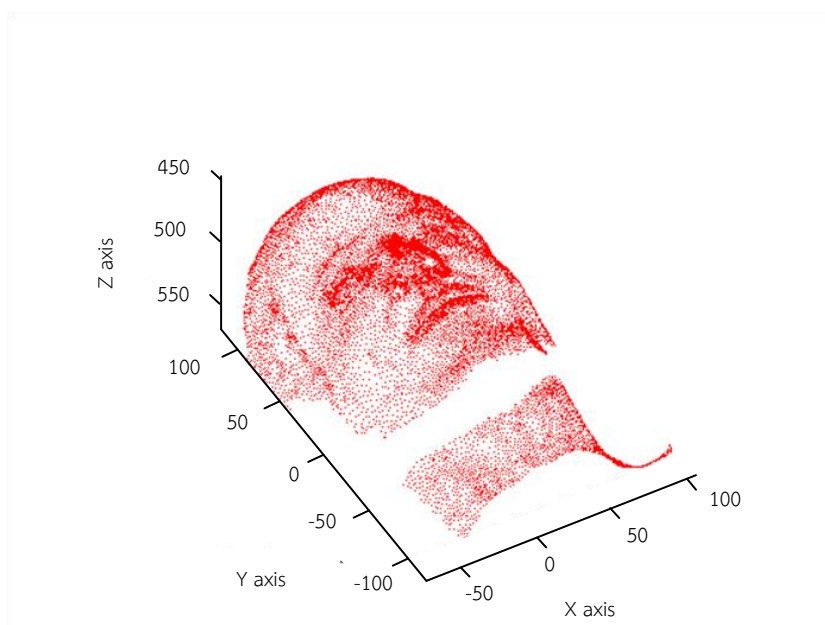
$$Y = \frac{y_1}{f}(f - Z) \quad (6.3)$$

เมื่อ (X, Y, Z) เป็นพิกัด 3 มิติของโลก (x_1, y_1) เป็นพิกัดของโลกในภาพซ้าย (x_2, y_2) เป็นพิกัดของโลกในภาพขวา B เป็นระยะระหว่างจุดศูนย์กลางกล้องซ้ายและกล้องขวาและ f เป็นความยาวโฟกัสของเลนส์ในกล้อง



ภาพที่ 6.1 ระบบการถ่ายภาพสเตอริโอ

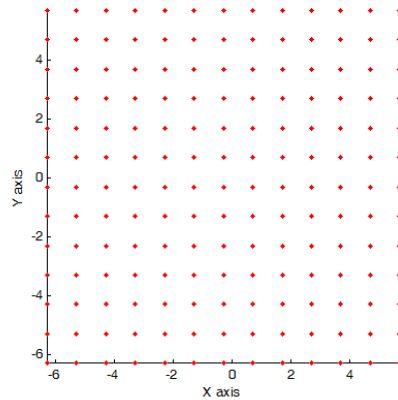
ต่อมาผู้วิจัยได้นำเครื่องสแกนภาพสามมิติแบบเลเซอร์เข้ามาทดลองใช้ เป็นรุ่น eScan3D ของบริษัท 3D digital corp. โดยให้ความละเอียดได้ 0.135-0.210 มิลลิเมตร ที่ระยะการทำงาน 300-650 มิลลิเมตร สแกนใบหน้าหุ่นจำลอง ได้ข้อมูลใบหน้าสามมิติของหุ่นจำลอง ดังภาพที่ 6.2 เป็นตัวอย่างภาพใบหน้าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องสแกนแบบเลเซอร์ ได้ข้อมูลจำนวน 14,837 จุดภาพ



ภาพที่ 6.2 ตัวอย่างข้อมูลภาพสามมิติ ของใบหน้าที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ

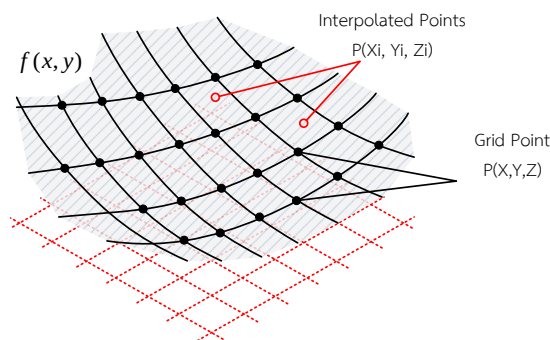
6.3 การสร้างภาพพื้นผิวสามมิติ

การสร้างภาพพื้นผิวสามมิติ ผู้วิจัยได้สร้างจุดกริดซึ่งเป็นเซตของพิกัด (X, Y) โดยคำนวณจาก ขนาดของใบหน้าโดยทั่วไปจะมีขนาดไม่เกิน 300x300 มิลลิเมตร ถ้าต้องการรายละเอียดของจุดภาพที่ 0.5 มิลลิเมตร จะต้องสร้างตารางจุดจำนวน 600x600 จุด ในการวิจัยครั้งนี้ได้สร้างตารางจุดจำนวน 600x600 จุด บนพื้นที่ที่สนใจขนาด 150x150 มิลลิเมตร ทำให้ได้รายละเอียดของจุดภาพในระนาบ (X, Y) ที่ 0.25 มิลลิเมตร ตัวอย่างการสร้างตารางจุดจำนวน 13x13 จุด บนพื้นที่ขนาด -2π ถึง 2π ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 ตัวอย่างการสร้างจุดตารางบนพื้นที่ -2π ถึง 2π จำนวน 13×13 จุด

จำนวนตารางจุดที่เหมาะสม ในการทดลองพบว่าจำนวนตารางจุดนั้นยังมีจำนวนจุดมากขึ้นก็จะให้รายละเอียดในการสร้างภาพที่สูงขึ้น แต่จะใช้เวลาในการประมวลผลนานขึ้นตามไปด้วย ผู้วิจัยจึงเลือกใช้จำนวนที่น้อยที่สุดเท่าที่พอจะยอมรับคุณภาพของภาพได้และไม่เกินความสามารถของเครื่องสแกนเลเซอร์ จากนั้นจึงคำนวณหาฟังก์ชัน Z บนจุด (X, Y) เพื่อให้ได้ฟังก์ชัน (X, Y, Z) โดยการประมาณค่าจากข้อมูลภาพสามมิติ $P(X_i, Y_i, Z_i)$ (Point cloud data) ดังภาพที่ 6.4

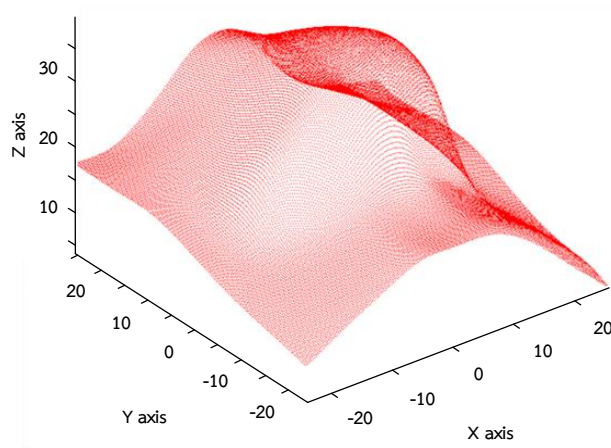


ภาพที่ 6.4 การหาฟังก์ชัน Z ณ ตำแหน่งตารางจุด (X, Y) จากข้อมูลภาพสามมิติ

โดย คำนวณ Z จาก Bicubic interpolation

$$Z(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j \quad (6.4)$$

เมื่อ a_{ij} เป็นสัมประสิทธิ์ จำนวน 16 ตัวที่สัมพันธ์กับ $Z(x, y)$
 $x^i y^j$ เป็นฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกับตารางจุด (x, y) มากที่สุดจำนวน 4 ฟังก์ชัน



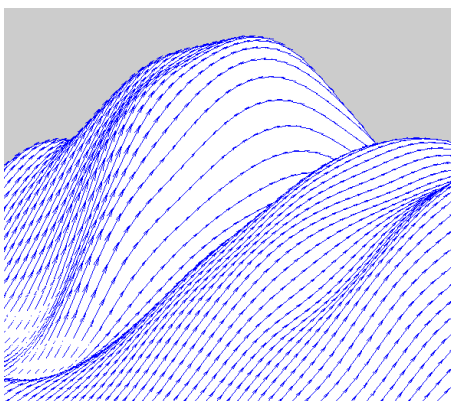
ภาพที่ 6.5 ข้อมูลพื้นผิวภาพ 3 มิติ ที่นำบริเวณปลายจมูกมาแสดงเท่านั้น

การสร้างพื้นผิวสามมิติดังภาพที่ 6.5 ซึ่งเป็นรูปตัวอย่างพื้นผิวบริเวณปลายจมูก จากการกำหนดให้สร้างพื้นผิว 3 มิติ ขึ้นจากตารางจุด (x, y) ที่ห่างกันจุดละ 0.25 มิลลิเมตร

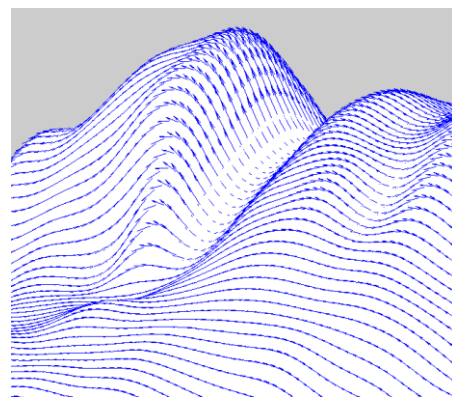
6.4 เวกเตอร์สัมผัส

นำข้อมูลผิวหน้าที่มีค่าพิกัดอนุพันธ์อันดับที่ 1 เพื่อหาเส้นสัมผัสของผิวหน้าเทียบกับแกน X และแกน Y ดังภาพที่ 6.6 ก. และ ข. ตามลำดับ แสดงเส้นสัมผัสผิวหน้าบริเวณปลายจมูก เส้นสัมผัสผิวหน้าเทียบกับแกน X และ Y คำนวณจาก

$$r^{(1,0)} = \frac{\partial r}{\partial u} \quad \text{และ} \quad r^{(0,1)} = \frac{\partial r}{\partial v} \quad (6.5)$$



ก. $(r^{1,0})$ เวกเตอร์



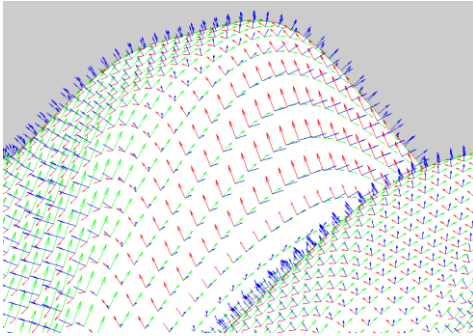
ข. $(r^{0,1})$ เวกเตอร์

ภาพที่ 6.6 ภาพเส้นสัมผัสผิวหน้าในแกน X และแกน Y [42]

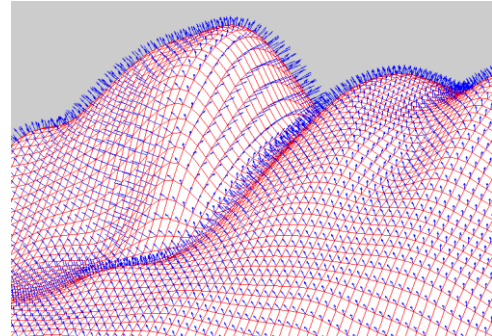
6.5 เวกเตอร์ปกติ

นำเส้นสัมผัสแกน X และ แกน Y มาคำนวณหา เวกเตอร์ตั้งฉากหรือเวกเตอร์ปกติได้ผลแสดงดังภาพที่ 6.7 ก. ซึ่งแสดงทั้งเวกเตอร์ปกติและเวกเตอร์ที่สัมผัสผิวหน้าในแนวแกน X และแกน Y ส่วนภาพที่ 6.7 ข.แสดงเวกเตอร์ปกติบริเวณปลายจุมก โดยคำนวณจาก

$$N = \frac{\langle r^{(1,0)} \times r^{(0,1)} \rangle}{|r^{(1,0)} \times r^{(0,1)}|} \quad (6.6)$$



ก. $(r^{1,0})$, $(r^{0,1})$ และเวกเตอร์ปกติ



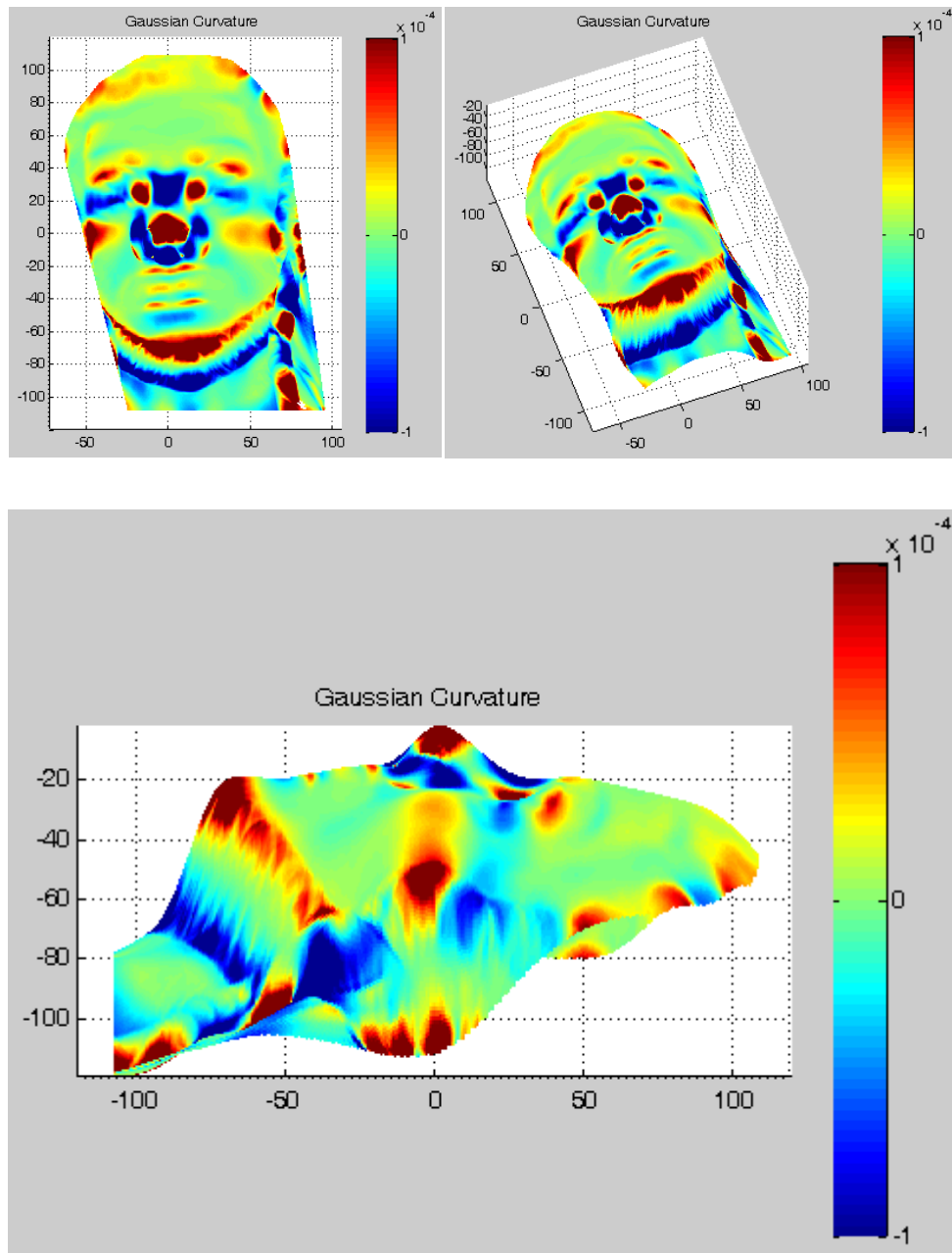
ข. เวกเตอร์ปกติ (N) ตั้งฉากกับผิวหน้า

ภาพที่ 6.7 ภาพเส้นสัมผัสผิวหน้าในแกน X และแกน Y และเวกเตอร์ปกติ [42]

6.6 คำนวณหาความโค้งเกาส์เซียน

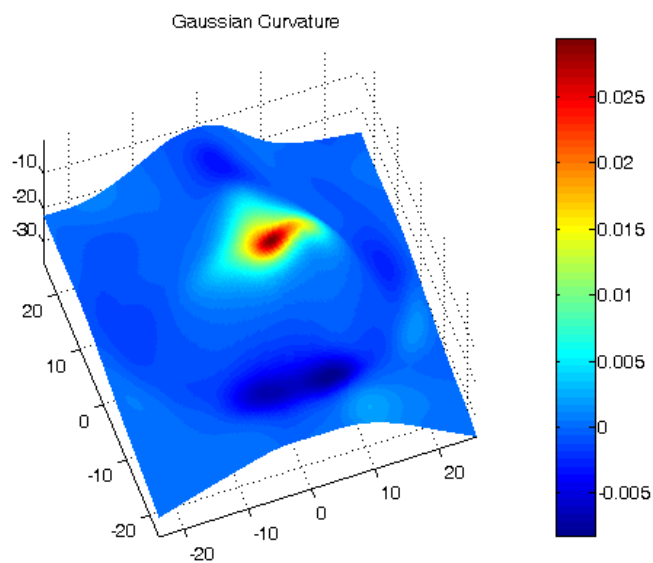
คำนวณความโค้งเกาส์เซียนส์ได้โดยคำนวณจากอัตราส่วนของดีเทอร์มิแนนท์ของพารามิเตอร์พื้นฐานที่สองและพื้นฐานที่หนึ่ง ภาพที่ 6.8 แสดงค่าระดับความโค้งเกาส์เซียน ที่มุมมองต่างๆ โดยมีแถบสีแสดงค่าความโค้งร่วมด้วย บริเวณสีแดงเข้มหมายถึงบริเวณที่มีค่าความโค้งเกาส์เซียนสูง (พื้นผิวนูนขึ้น) ส่วนบริเวณสีน้ำเงินเข้มหมายถึงบริเวณที่มีค่าความโค้งเกาส์เซียนต่ำ (พื้นผิวเว้าลง)

$$k_G = \frac{\det II}{\det I} = \frac{LN - M^2}{EG - F^2} \quad (6.7)$$

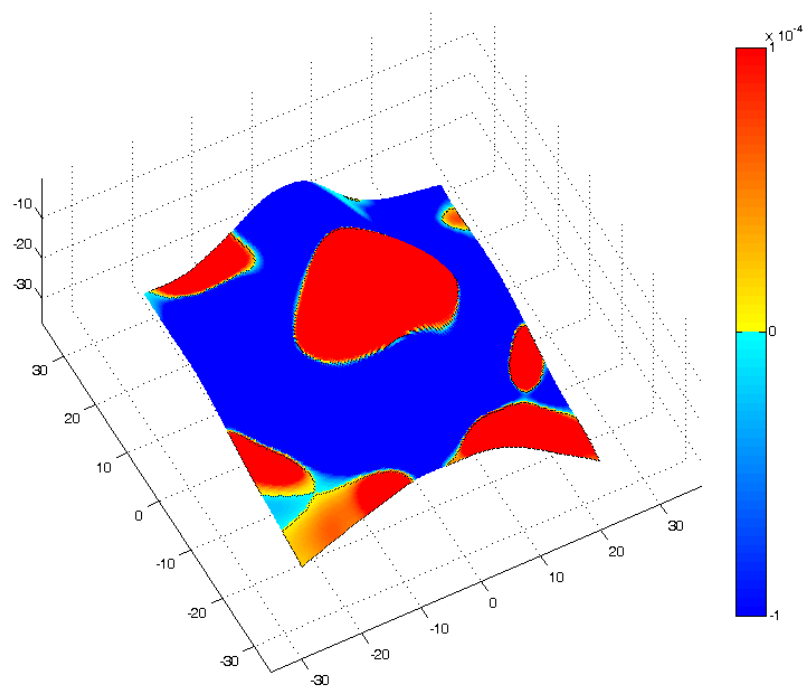


ภาพที่ 6.8 ความโค้งเกาส์เซียน

เพื่อให้เห็นขั้นตอนการทดลองที่ชัดเจนจึงขอภาพเฉพาะบริเวณปลายจมูกขึ้นมาแสดงเท่านั้น ดังในภาพที่ 6.9 เป็นภาพของความโค้งเกาส์เซียนบริเวณปลายจมูก แสดงให้เห็นว่ามีค่าความโค้งเกาส์เซียนประมาณ -0.005 ถึง ประมาณ 0.025 mm^{-2} ภาพที่ 6.10 เป็นภาพความโค้งเกาส์เซียนบริเวณปลายจมูกที่ปรับระดับการแสดงผลให้แสดงตั้งแต่ -0.1×10^{-4} ถึง 1×10^{-4} เพื่อให้แสดงรอยต่อของการเปลี่ยนแปลงค่าความโค้งจากค่าที่เป็นลบผ่านศูนย์สู่ค่าที่เป็นบวกอย่างชัดเจน



ภาพที่ 6.9 ความโค้งเกาส์เซียนบริเวณปลายจมูก



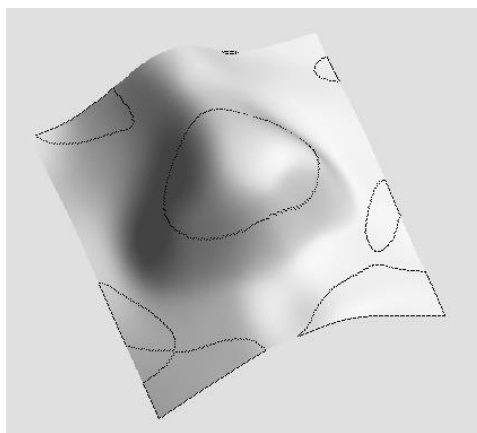
ภาพที่ 6.10 ความโค้งเกาส์เซียนบริเวณปลายจมูกที่ปรับระดับการแสดงผล

6.7 การคำนวณหาเส้นโค้งเชิงพาราโบลา

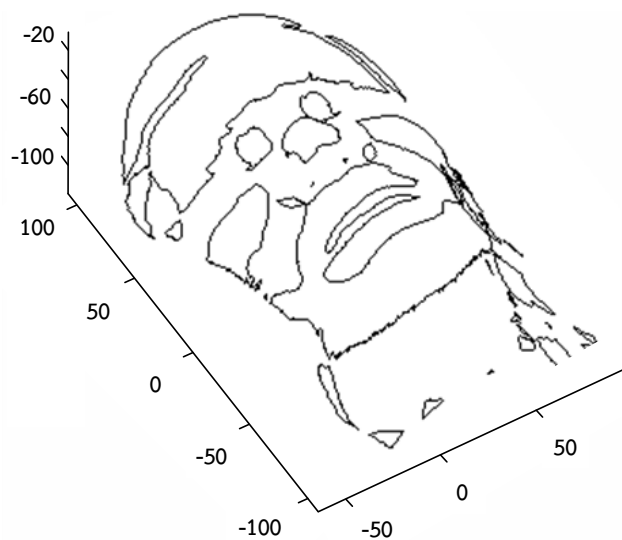
เส้นโค้งเชิงพาราโบลาคำนวณจากบริเวณที่ความโค้งเกาส์เซียนมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงบริเวณที่มีการโค้งของพื้นผิวที่เปลี่ยนรูปร่างจากรูปโค้งหงายเป็นโค้งคว่ำ

$$k_G = \frac{\det II}{\det I} = \frac{LN-M^2}{EG-F^2} = 0 \quad (6.8)$$

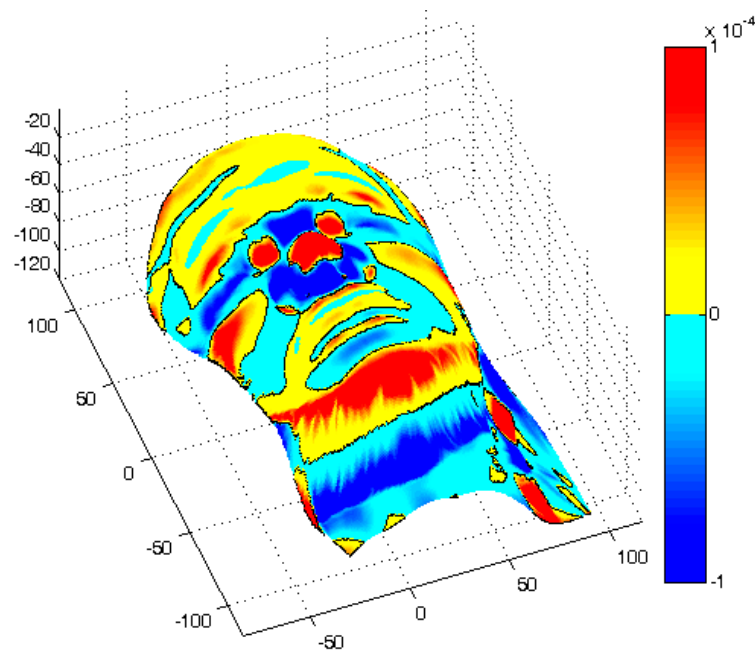
ภาพที่ 6.11 ภาพที่ 6.12 และ ภาพที่ 6.13 แสดงเส้นโค้งเชิงพาราโบลาริเวณปลายจมูกบนใบหน้า และ ความสัมพันธ์กับความโค้งเกาส์เซียน ตามลำดับ



ภาพที่ 6.11 เส้นโค้งเชิงพาราโบลาริเวณปลายจมูกซึ่งคำนวณจากบริเวณที่ค่าความโค้งเกาส์เซียนเท่ากับศูนย์



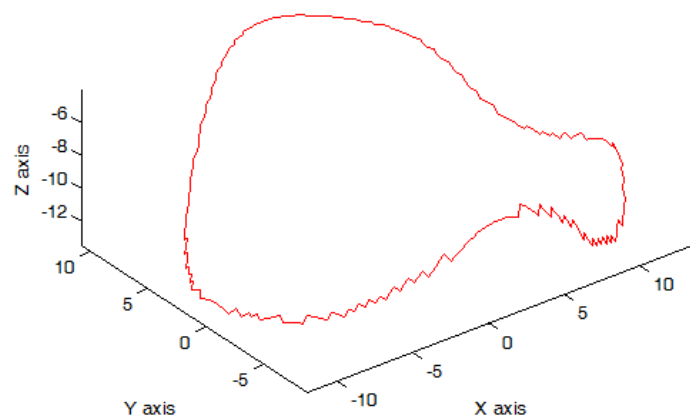
ภาพที่ 6.12 เส้นโค้งเชิงพาราโบลาริเวณบนใบหน้า



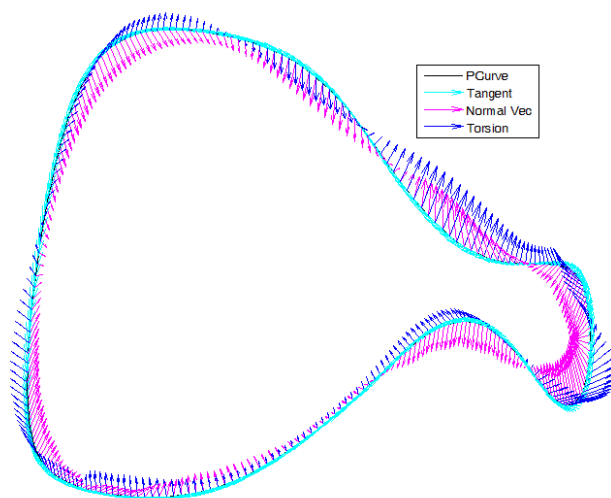
ภาพที่ 6.13 เส้นโค้งเชิงพาราโบลาที่แสดงอยู่บนใบหน้าระดับสีของความโค้งเกาส์เซียน

6.8 การคำนวณหาตำแหน่งจุดเด่นเอกลักษณ์

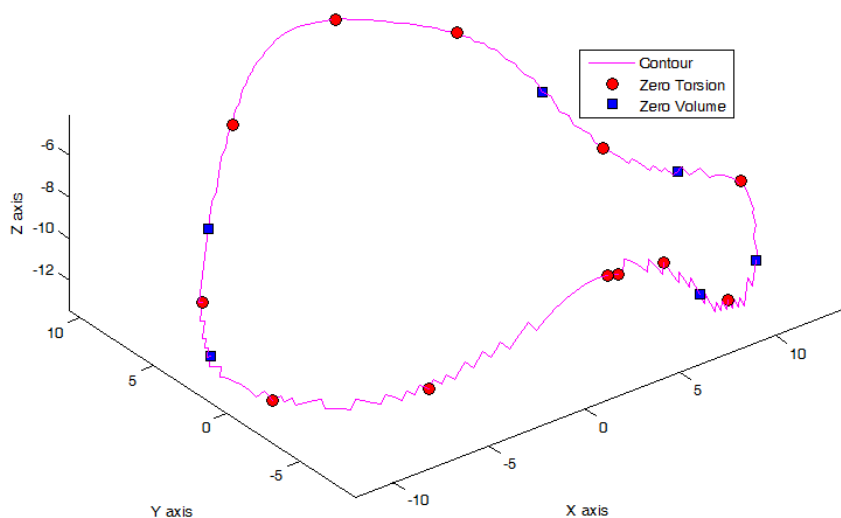
เป็นการคำนวณหาบริเวณที่มีการบิดงอ เปลี่ยนมุมหรือเปลี่ยนระนาบของเส้นโค้งเชิงพาราโบลา โดยคำนวณจากบริเวณที่ค่าปริมาตรเท่ากับศูนย์ และค่าแรงบิดเท่ากับศูนย์ โดยคำนวณจากผลลัพธ์ของสามเวกเตอร์ ค่าปริมาตรเท่ากับศูนย์ $v_1(t) = \langle r^{(0)}(t) \times r^{(1)}(t), r^{(2)}(t) \rangle$ ค่าแรงบิดเท่ากับศูนย์ $v_2(t) = \langle r^{(1)}(t) \times r^{(2)}(t), r^{(3)}(t) \rangle$ เมื่อ $r^{(0)}, r^{(1)}, r^{(2)}$ และ $r^{(3)}$ คืออนุพันธ์ลำดับต่างๆ ของเส้นโค้งเชิงพาราโบลา r ภาพที่ 6.14 เส้นโค้งเชิงพาราโบลาบริเวณปลายจมูก



ภาพที่ 6.14 เส้นโค้งเชิงพาราโบลามีบริเวณปลายจุ่ม



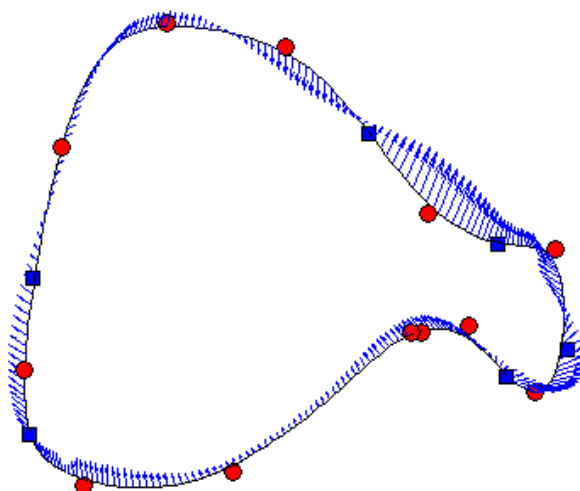
ภาพที่ 6.15 เส้นโค้งเชิงพาราโบลามีแสดงเวกเตอร์เส้นสัมผัสเป็นสีฟ้า เวกเตอร์ปกติเป็นสีชมพูและเวกเตอร์ที่แสดงแรงบิดเป็นสีน้ำเงิน



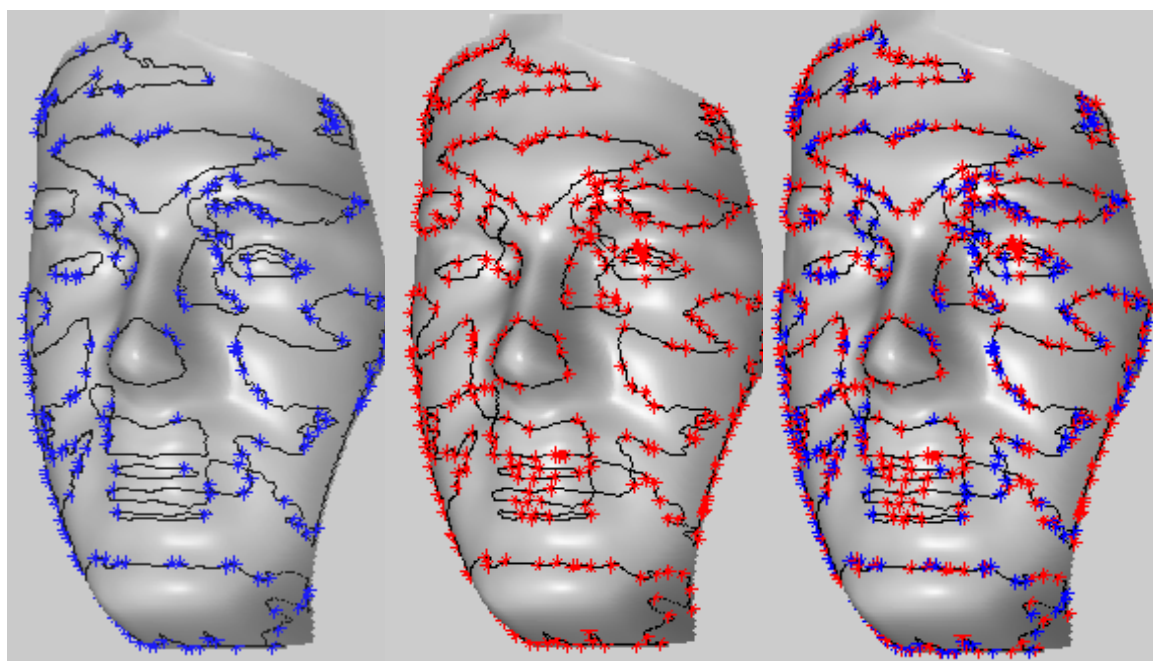
ภาพที่ 6.16 เส้นโค้งเชิงพาราโบลามีบริเวณปลายจุ่มแสดงจุดที่แรงบิดเป็นศูนย์ (จุดกลมสีแดง) และจุดที่ปริมาตรเป็นศูนย์ (จุดสี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน)

ภาพที่ 6.15 แสดงแรงบิดที่เกิดขึ้นบนเส้นโค้งเชิงพาราโบล่า ส่วนภาพที่ 6.16 แสดงตำแหน่งที่ปริมาตรสามเวกเตอร์และแรงบิดเท่ากับศูนย์ ภาพที่ 6.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

แรงบิดและตำแหน่งที่ปริมาตรสามเวกเตอร์และแรงบิดเท่ากับศูนย์ ภาพที่ 6.18 จุดเด่นเอกลักษณ์บนภาพใบหน้าตัวอย่าง



ภาพที่ 6.17 เส้นโค้งเชิงพาราโบลามีบริเวณปลายจุมูกแสดงจุดที่แรงบิดเป็นศูนย์ (จุดกลมสีแดง) จุดที่ปริมาตรเป็นศูนย์ (จุดสี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน)



ก. จุดปริมาตรเป็นศูนย์

ข. จุดแรงบิดเป็นศูนย์

ค. จุดปริมาตรเป็นศูนย์
และจุดแรงบิดเป็น
ศูนย์

ภาพที่ 6.18 จุดเอกลักษณ์บนใบหน้า (*) ที่อยู่บนเส้นโค้งเชิงพาราโบลามี

ก. จุดปริมาตรเป็นศูนย์ Zero-volume ($\mathcal{V}_1$) points

ข. จุดแรงบิดเป็นศูนย์ Zero-torsion ($\mathcal{V}_2$) points

ค. จุดปริมาตรเป็นศูนย์และจุดแรงบิดเป็นศูนย์ Zero-volume (V_1) points and Zero-torsion (V_2) points

บทที่ 7

ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

7.1 บทนำ

ผลการทดลอง แยกออกได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการทดลองเพื่อทดสอบความคงสภาพของความโค้งเกาส์เซียน เส้นโค้งเชิงพาราโบลาและจุดแรงบิดเป็นศูนย์ ส่วนที่สองเป็นการทดลองเพื่อจัดเรียงให้ตรงกันและลงทะเบียณภาพใบหน้าสามมิติ ในเงื่อนไขที่ข้อมูลภาพหายไปบางส่วนและใบหน้าที่แสดงอารมณ์สีหน้าที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลภาพสามมิติจากเครื่องสแกนภาพสามมิติแบบเลเซอร์ สแกนภาพใบหน้าของหุ่นจำลอง ภาพใบหน้าอาสาสมัคร และภาพใบหน้าจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการในการทดสอบทฤษฎีการประมวลผลภาพสามมิติ จากผลการทดลองพบว่าความคงสภาพของความโค้งเกาส์เซียน เส้นโค้งเชิงพาราโบลาและจุดแรงบิดเป็นศูนย์ มีความคงสภาพต่อการแปลงแอฟไฟน์ สามารถนำมาใช้ในการจัดให้ตรงกันและลงทะเบียณภาพใบหน้าสามมิติที่แสดงอารมณ์สีหน้าที่แตกต่างกันได้

แนวคิดในการออกแบบการทดลองคือ ทำการทดลองพื้นฐานก่อนแล้วเพิ่มระดับการทดลองสู่ความซับซ้อนที่สูงขึ้น เนื่องจากตัวแปรที่ซับซ้อนที่สุดในการทดลองคือ จุดแรงบิดเป็นศูนย์ คำนวณได้จากเส้นโค้งเชิงพาราโบลา เส้นโค้งเชิงพาราโบลาคำนวณได้จากความโค้งเกาส์เซียน และความโค้งเกาส์เซียนคำนวณได้จากพิกัดพื้นผิวของใบหน้า ดังนั้นจึงเริ่มทดลองจากตัวแปรพื้นฐานก่อนคือ ความโค้งเกาส์เซียน เมื่อทดสอบโปรแกรมจนมั่นใจความถูกต้องแล้วจึงเพิ่มระดับสู่ตัวแปรที่ซับซ้อนขึ้นคือเส้นโค้งเชิงพาราโบลา และจุดแรงบิดเป็นศูนย์ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรม Matlab เป็นเครื่องมือ การทดลองทั้งหมดประกอบด้วย หัวข้อที่ 7.2 การทดลองเกี่ยวกับความโค้งเกาส์เซียนและความคงสภาพ หัวข้อที่ 7.3 การทดลองเกี่ยวกับความคงสภาพของเส้นโค้งเชิงพาราโบลาและจุด