

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พระจอมเกล้าลาดกระบัง
- 5 ส.ค. 2552

วิธีการตรวจหาใบหน้าโดยอาศัยโครงสร้างที่เป็นองค์ประกอบของใบหน้า

Face Detection Using Structure of Facial Components

สุเมธ รัตนจันทร์ และนวลสวาท หิรัญสกกลงศ์

Sumeth Rattanajun and Nualsawat Hiransakolwong

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

การตรวจหาใบหน้ามีความสำคัญและเป็นส่วนที่จำเป็นยิ่งสำหรับระบบการรู้จำใบหน้า ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบการยืนยันบุคคล ระบบรักษาความปลอดภัย หรือระบบติดต่อกับผู้ใช้ เป็นต้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจหาใบหน้าจากภาพ โดยใช้ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์จากสามเหลี่ยมด้านเท่าโดยมุมของสามเหลี่ยมอยู่ที่ตำแหน่งสองข้างกับปลายจมูกและบริเวณที่ตรวจพบว่าเป็นผิวหนัง ซึ่งขั้นตอนวิธีของงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการตรวจหาบริเวณผิวหนังทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในภาพ หลังจากนั้นจึงทำการตรวจหาตำแหน่งของดวงตา ที่ปรากฏอยู่แต่ละเลเบลที่เป็นบริเวณผิวหนังที่อยู่ภายในภาพ แล้วจึงใช้การคำนวณหาตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์ในทุกเลเบลที่เป็นบริเวณผิวหนังที่ตรวจพบว่ามีดวงตาเพื่อใช้เป็นตำแหน่งในการอ้างอิงสำหรับหาบริเวณพื้นที่ที่เป็นส่วนของใบหน้า สุดท้ายเป็นการหาตำแหน่งของใบหน้า โดยใช้จุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนังเพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตของใบหน้าที่ปรากฏในภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การหาตำแหน่งและขอบเขตของใบหน้าจากภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นบริเวณพื้นที่ของใบหน้าโดยไม่มีส่วนของลำคอ, แขน, หัวไหล่หรือส่วนของผิวหนังส่วนอื่นติดมากับภาพที่เป็นผลลัพธ์ด้วย โดยจะสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงกับระบบการรู้จำใบหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ของการทดลองกับข้อมูลภาพทั้งหมด 635 ภาพ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหาใบหน้าได้ถูกต้อง 98.24% จากข้อมูลภาพทั้งหมดที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ : การค้นหาภาพใบหน้า, การค้นหาสีผิวมนุษย์, การรู้จำใบหน้า

Abstract

Face detection is very important for automatic face recognition. Face recognition is used to develop authentication, security system or users' interfaces etc. This research proposes the face detection by finding skin regions and centroid of an equilateral triangle whose angles consist of eyes and nose. Regions which are likely to contain human skin in the image are first detected, and then the locality of eyes in each labeled skin is found. Second, centroid is calculated in all labeled eyes. Finally scope of the face using centroid and skin region is found. This research addresses the position and boundary of the face by reducing unwanted part in the result of face detection. The results of precise face detection can be used to apply for face recognition with high performance. Of the 635 pictures of face dataset, the experimental results showed that the face detection of this proposed method detected face correctly 98.24% from these datasets.

Keywords: Computer Vision, Face detection, Face recognition

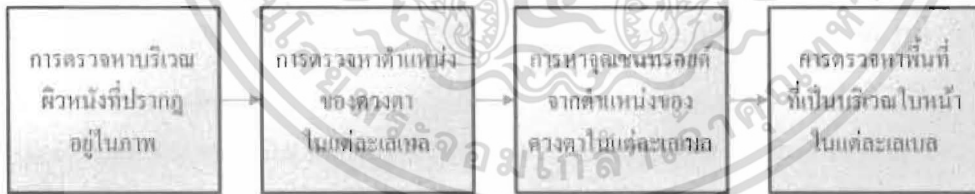
1. บทนำ

ระบบการตรวจหาใบหน้าจากภาพสีนั้นส่วนมากจะอาศัยการตรวจหาเอาเฉพาะส่วนของบริเวณผิวหนังมาทำการพิจารณาภาพใบหน้าซึ่งจะทำให้มีปัญหาส่วนของผลลัพธ์ที่ออกมา โดยบ่อยครั้งที่ผลลัพธ์ที่ออกมาได้ส่วนเกินอื่นๆ ออกมาด้วยไม่ว่าจะเป็นร่างกายส่วนต่างๆ หรือบริเวณที่มีส่วนของสีคล้ายกับผิวหนัง งานวิจัยของ Kapur [1-2] จึงได้นำเสนอการตรวจหาใบหน้าจากภาพสี ซึ่งอาศัยการประมวลผลภาพด้วยการทำเทรชโฮลด์ (Threshold) และมอร์โฟโลยี (Morphology) เพิ่มเข้ามาเพื่อช่วยในการคัดแยกเอาส่วนเกินที่ไม่ใช่ภาพใบหน้าออกจากผลลัพธ์ แต่ก็ยังคงพบกับปัญหาในเรื่องของขอบเขตของภาพใบหน้าที่ใหญ่จะได้ส่วนของลำคอ, ไหล่หรือแขนปรากฏอยู่กับภาพใบหน้าที่เป็นผลลัพธ์หรือได้ขอบเขตของภาพที่มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณใบหน้าแท้จริงซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งของใบหน้าที่แน่นอนได้

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการตรวจหาภาพใบหน้าโดยเริ่มทำการตรวจหาส่วนของบริเวณผิวหนัง แล้วเพิ่มการหาดวงตาที่เป็นองค์ประกอบของใบหน้าเพื่อใช้สำหรับการหาจุดเซนทรอยด์ (Centriod) สำหรับนำไปอ้างอิงหาตำแหน่งและขอบเขตของใบหน้า โดยจะนำมาพิจารณาร่วมกับบริเวณผิวหนังที่ได้จากการตรวจหาออกมาก่อนหน้านี้แล้ว ซึ่งทำให้สามารถตรวจหาตำแหน่งและขอบเขตของบริเวณใบหน้าที่ต้องการจากภาพสีออกมาได้

2. ขั้นตอนวิธีการตรวจหาใบหน้า

ขั้นตอนวิธีการตรวจหาใบหน้าจากภาพนั้นจะใช้ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนัง [รูปที่ 1] ซึ่งขั้นตอนวิธีของงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการตรวจหาบริเวณผิวหนัง [3-5] ทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งใช้การแปลงระนาบของสีที่ปรากฏอยู่ในภาพจาก R, G และ B ให้เป็นค่าสีส้ม, ความเข้มตัวของสีและลายผิว แล้วทำการพิจารณาว่าค่าสีส้ม, ความเข้มตัวของสีและลายผิว อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเพื่อทำการกำหนดส่วนที่เป็นผิวหนังที่ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งบริเวณผิวหนังในแต่ละส่วนที่ตรวจพบภายในภาพจะถูกแบ่งออกเป็นเลเบล ขั้นตอนที่สองจะทำการตรวจหาตำแหน่งของดวงตา [6] ที่ปรากฏในแต่ละเลเบลที่อยู่ในภาพที่ได้จากกระบวนการตรวจหาบริเวณผิวหนังในขั้นตอนแรก โดยจะใช้ภาพสเกลสีเทาเพื่อนำไปประมวลผลภาพด้วยกระบวนการเทรซโฮลและกระบวนการมอโฟโลยี แล้วจึงหาตำแหน่งของดวงตาทั้งสองข้างจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการหาจุดเซนทรอยด์และเพื่อตรวจสอบว่ามีใบหน้าอยู่ในภาพนั้นจริง ขั้นตอนที่สามจะเป็นการคำนวณหาตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์ในทุกเลเบลที่ตรวจพบว่ามีดวงตาเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับหาบริเวณพื้นที่ที่เป็นส่วนของใบหน้า ในขั้นตอนที่สี่จะเป็นการหาตำแหน่งของใบหน้าโดยใช้จุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนังเพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตของใบหน้าที่ปรากฏในภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การหาตำแหน่งและขอบเขตของใบหน้าจากภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นบริเวณพื้นที่ของใบหน้าโดยไม่มีส่วนของลำคอ, แขน, หัวไหล่หรือส่วนของผิวหนังส่วนอื่นติดมากับภาพที่เป็นผลลัพธ์ด้วย โดยจะสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงกับระบบการรู้จำใบหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการตรวจหาใบหน้าโดยใช้ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนัง

2.1 การตรวจหาบริเวณผิวหนัง

เป็นการนำภาพมาทำการแปลงด้วยสมการที่มาจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจหาผิวหนัง [3-5] เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสีสันและความอึมตัวของสี โดยจะให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าสีสันและความอึมตัวของสีออกมา ซึ่งจะเปลี่ยนจากค่าคงที่ที่นำมาหารจากเดิม 320 ไปเป็นค่าสูงสุดระหว่างค่าความกว้างกับความสูงของภาพนั้นๆ โดยจะได้สมการเป็น

$$SCALE = \frac{(HEIGHT + WIDTH)}{\max(HEIGHT, WIDTH)}$$

หลังจากนั้นทำการหาค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด, ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมทริกซ์ลายผิว, เมทริกซ์สีสันและเมทริกซ์ความอึมตัวของสี โดยจะทำการหาค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด, ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกับทุกๆ ภาพที่นำมาวิเคราะห์หาค่าสีสัน, ความอึมตัวของสีและลายผิวเพื่อหาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยของภาพทั้งหมดและหาค่าเฉลี่ยของเมทริกซ์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์เพื่อที่จะสามารถนำไปแทนในสมการ การหาค่าพื้นที่ผิวหนัง โดยจะมีสมการเป็นดังนี้

$$Texture < (mean_{Texture} + (AVG S.D._{Texture} \times C))$$

$$\text{และ } \min_{mean-Hue} - (AVG S.D._{Hue} \times C) < Hue < \max_{mean-hue} + (AVG S.D._{Hue} \times C)$$

$$\text{และ } \min_{mean-Sat} - (AVG S.D._{Sat} \times C) < Saturation < \max_{mean-Sat} + (AVG S.D._{Sat} \times C)$$

2.2 การตรวจหาตำแหน่งของดวงตา

ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจหาลักษณะเด่นที่ปรากฏบนใบหน้าโดยจะพิจารณาว่าลักษณะเด่นใดบ้างที่คาดว่าจะเป็นดวงตาทั้งสองข้าง สำหรับขั้นตอนการหาตำแหน่งของดวงตามีขั้นตอนเหมือนกับงานวิจัยเรื่องการตรวจหาดวงตาของมนุษย์อย่างอัตโนมัติจากภาพภายใต้พื้นหลังที่ซับซ้อน [6] ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำบริเวณผิวหนังของแต่ละเลเบลที่ตรวจพบได้จากขั้นตอนที่ 2.1 มาทำการตรวจหาตำแหน่งของดวงตาที่ละเลเบล โดยเมื่อได้ค่าเริ่มต้น T_0 มาแล้วนั้นจึงทำการแปลงภาพใบหน้าที่อยู่ในรูปแบบสเกลสีเทาให้เป็นแบบภาพลักษณะฐานสองโดยใช้ค่าเริ่มต้นเป็น T_0 ที่ได้มาแล้วจึงทำการพิจารณาเลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาโดยอาศัยคุณสมบัติของดวงตากับองค์ประกอบต่างๆ ของใบหน้าที่ได้จากข้อมูลของภาพที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งจะมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- 1) ระยะห่างระหว่างเลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาทั้งสองนั้นจะต้องอยู่ในช่วงที่แน่นอนระหว่าง 20 จุดภาพถึง 60 จุดภาพและมีขนาดไม่น้อยกว่า 70% ของความกว้างของใบหน้า
 - 2) ไม่มีเลเบลอื่นใด อยู่ภายใต้พื้นที่ของเลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาของแต่ละข้างซึ่งช่วงของระยะใต้พื้นที่ของเลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาจะอยู่ในช่วง 30 จุดภาพสำหรับภาพที่มีขนาดไม่เกิน 250X250 จุดภาพ
 - 3) ระยะห่างในแนวตั้งระหว่างเลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาทั้งสองข้างต้องอยู่ในช่วงที่แน่นอนคือ 0-10 พิกเซลสำหรับภาพที่มีขนาดไม่เกิน 250X250 จุดภาพ
 - 4) เลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาทั้งสองข้างมีขนาดอยู่ในช่วง 10 จุดภาพถึง 50 จุดภาพ โดยขนาดในการตรวจหาดวงตาที่ได้กำหนดไว้จะใช้กับภาพที่มีขนาดไม่เกิน 250X250 จุดภาพ
 - 5) ไม่มีเลเบลอื่นใด อยู่ระหว่างพื้นที่ของเลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาทั้งสองข้าง
 - 6) เลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาทั้งสองนั้นจะต้องมีลักษณะที่คล้ายกับวงกลม โดยการคำนวณหาลักษณะของเลเบลที่เป็นวงกลมของรูปภาพนั้นจะใช้การคำนวณหาจากอัตราส่วนของพื้นที่ของเลเบลต่อพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมที่ใหญ่ที่สุดที่ล้อมรอบรูปวงกลม โดยถ้าเลเบลของดวงตาเป็นวงกลมจริง ก็จะได้ค่าของอัตราส่วนที่มีค่าเข้าใกล้ค่า $\frac{\pi}{4}$ ซึ่งจะมีสมการดังนี้

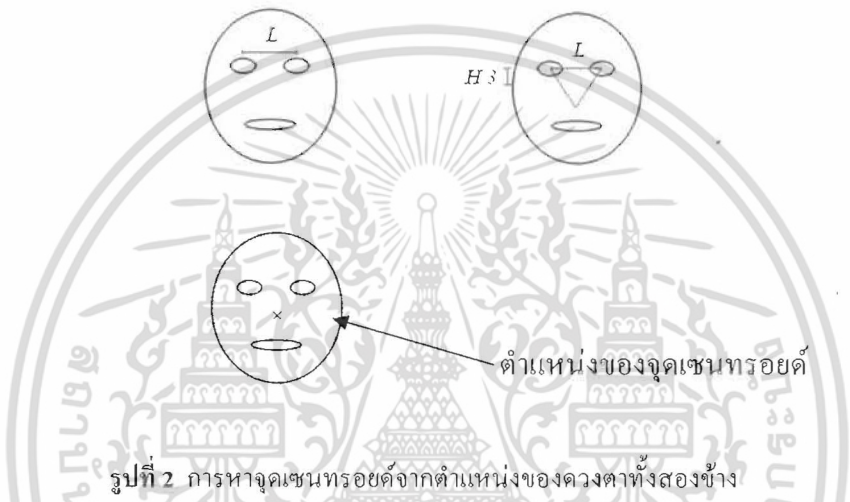
$$\frac{Area}{Boundary} \cong \frac{\pi}{4}$$
- และจากการนำข้อมูลที่มีวิเคราะห์ทำให้พบว่าเลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตาซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวงกลมจะมีค่าของผลต่าง $\left| \frac{Area}{Boundary} - \frac{\pi}{4} \right| < 0.35$ (ในที่นี้อาจถือว่า $\mathcal{E} = 0.35$)
- 7) เลเบลใดๆ ที่อยู่ใกล้กับขอบของภาพทั้ง 4 ด้านภายในระยะ 10 จุดภาพจะไม่ใช้เลเบลที่คาดว่าจะเป็นดวงตา

2.3 การหาจุดเซนทรอยด์จากตำแหน่งของดวงตา

การหาตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์จะใช้การคำนวณหาจากตำแหน่งของดวงตาที่หาได้จากขั้นตอนที่ 2.2 ซึ่งการคำนวณหาจุดเซนทรอยด์นั้นจะทำการกำหนดรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าขึ้นมาจากตำแหน่งของดวงตาทั้งสองข้างแล้วจึงทำการคำนวณหาตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์ของรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าดังนี้

- 1) คำนวณหาจุดกึ่งกลางของเลเบลที่เป็นดวงตาทั้งสองข้าง โดยการคำนวณหาจากเลเบลที่เป็นดวงตาที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 2.2
- 2) คำนวณหาค่าของเส้นตรง L ระหว่างตำแหน่งของดวงตาทั้งสองข้าง

- 3) เมื่อได้เส้นตรง L แล้วจึงทำการคำนวณหาค่าความสูง H ของรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าจากสมการ $H = \frac{\sqrt{3}}{2} L$
- 4) คำนวณหาตำแหน่งที่เป็นจุดกึ่งกลางของเส้นตรง L
- 5) เมื่อได้จุดกึ่งกลางของเส้นตรง L แล้วจึงทำการคำนวณหาตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์จากจุดกึ่งกลางและค่าความสูง $H/3$ ของรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การหาจุดเซนทรอยด์จากตำแหน่งของดวงตาทั้งสองข้าง

2.4 การหาใบหน้าโดยใช้ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนัง

เมื่อได้จุดเซนทรอยด์สำหรับใช้อ้างอิงในการหาขอบเขตของใบหน้าแล้ว จึงนำตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์ที่ได้นั้นไปอ้างอิงกับภาพที่แสดงส่วนของผิวหนังในขั้นตอนที่ 2.1 แล้วจึงทำการเริ่มวิเคราะห์ทางของผิวหนังจากจุดเซนทรอยด์ที่ได้นั้นไปในแนวตั้ง โดยนับจำนวนขึ้นไปด้านบนและด้านล่างเรื่อยๆ จนกระทั่งสุดขอบของผิวหนังในด้านบนและล่าง แล้วจึงนับในแนวนอนทั้งทางด้านซ้ายและทางด้านขวาออกไปจนกระทั่งสุดขอบของผิวหนัง โดยในแนวตั้งนั้นจะนับบริเวณที่เป็นผิวหนังขึ้นไปทางด้านบนแทนด้วย D_U และทางด้านล่างแทนด้วย D_D ส่วนแนวนอนจะนับบริเวณที่เป็นผิวหนังไปทางด้านซ้ายแทนด้วย D_L และทางด้านขวาแทนด้วย D_R ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการพิจารณาค่าของ D_U , D_D , D_L และ D_R ซึ่งจะพิจารณาได้จากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- 1) D_U และ D_D ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า L
- 2) D_L และ D_R ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า $\frac{L}{2}$
- 3) $D_L + D_R$ ต้องมีค่ามากกว่า L

แล้วจึงนำค่าของ D_U , D_D , D_L และ D_R ที่ได้มาพิจารณาหาขอบเขตของใบหน้า โดยในการกำหนดขอบเขตของใบหน้านั้นจะใช้การพิจารณาค่า $D_{Vertical}$, $D_{Horizontal}$, L และ H ด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- 1) ค่าของ $D_{Vertical}$ ที่ได้ต้องมีค่ามากกว่าค่า H
 - 2) ค่าของผลลัพธ์ของ $D_{Horizontal}$ เมื่อคูณด้วยค่าคงที่ 2 ต้องมีค่ามากกว่าค่า L
- เมื่อได้ขอบเขตของใบหน้าตามเงื่อนไขแล้วจึงทำการหาจุดมุมซ้ายบน โดยใช้ขนาดของ $D_{Vertical}$, $D_{Horizontal}$ และจุดเซนทรอยด์อ้างอิงเพื่อเป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการสร้างขอบเขตของใบหน้าขึ้นเป็นลำดับต่อไป

เมื่อได้พื้นที่ผิวหนึ่งและตำแหน่งของจุดมุมซ้ายบนของใบหน้าและขนาดของขอบเขตของใบหน้า $D_{Vertical}$, $D_{Horizontal}$ จึงนำมาใช้อ้างอิงกับภาพใบหน้าเพื่อระบุตำแหน่งของใบหน้าที่ปรากฏอยู่ในภาพ

3. ผลการวิจัย

3.1 ความถูกต้องของการตรวจหาใบหน้า

จากข้อมูลภาพทั้งหมดจำนวน 635 ภาพ [7] ที่นำมาใช้ในการทดสอบวิธีการตรวจหาใบหน้า จากภาพจะใช้ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนึ่ง ในงานวิจัยนี้สามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้ถูกต้อง 98.24% โดยสามารถตรวจพบใบหน้ามนุษย์ได้ 502 ใบหน้าจากภาพใบหน้าทั้งหมด 511 ภาพ [ตารางที่ 1, รูปที่ 3]

ตารางที่ 1 ความถูกต้องของการตรวจหาใบหน้าด้วยวิธีการตรวจหาใบหน้าจากภาพโดยใช้ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนึ่ง

การตรวจหาใบหน้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ	ผลการวิเคราะห์			
	ถูกต้อง		ผิดพลาด	
	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
ข้อมูลภาพสีที่มีใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพ	502	98.24	9	1.76
ข้อมูลภาพสีที่ไม่มีใบหน้าปรากฏอยู่ในภาพ	122	98.39	2	1.61
ข้อมูลภาพทั้งหมด	624	98.27	11	1.73



รูปที่ 3 รูปตัวอย่างของผลการทดลอง

3.2 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะใช้เวลาในการประมวลผลต่อ 1 ภาพกับข้อมูลภาพทั้งหมดจำนวน 635 ภาพ โดยนำเสนอเป็นเวลาโดยเฉลี่ย เวลาที่มากที่สุดและเวลาที่น้อยที่สุดซึ่งแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลการทดลอง

ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล	วินาทีต่อภาพ
น้อยที่สุด	0.48
มากที่สุด	45.78
โดยเฉลี่ย	11.05

4. สรุป

จากผลการทดลองซึ่งใช้ข้อมูลภาพทั้งหมดจำนวน 635 ภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้ถูกต้อง 98.24% โดยสามารถตรวจพบใบหน้ามนุษย์ได้ 502 ใบหน้า จากภาพใบหน้าทั้งหมด 511 ภาพ และใช้ระยะเวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ย 11.05 วินาทีต่อภาพ น้อยที่สุด 0.48 วินาทีต่อภาพ และมากที่สุด 45.78 วินาทีต่อภาพตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของภาพใบหน้าที่ได้ไม่มีส่วนเกินต่างๆ ที่ไม่ใช่ส่วนของบริเวณใบหน้าติดมากับผลลัพธ์ด้วย อีกทั้งยังสามารถตรวจหาตำแหน่งของใบหน้าได้ถูกต้องถึง 98.24 %

โดยที่ข้อจำกัดของการตรวจหาใบหน้าของมนุษย์ด้วยการใช้ตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์และบริเวณผิวหนังที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ก็คือ การที่ใบหน้าที่ปรากฏในภาพมีสิ่งบดบังแล้วทำให้บริเวณผิวหนังที่เป็นส่วนของใบหน้าถูกบดบังไปด้วยหรือถูกแบ่งออกเป็นอีกเลเบล อาทิเช่น การที่ภาพใบหน้าที่มีแว่นตาขนาดใหญ่แบ่งส่วนของใบหน้าระหว่างหน้าผากกับได้จมูกลงมาจนถึงบริเวณคาง หรือมีผ้าคาดผ่านบริเวณปากหรือจมูกทำให้บริเวณผิวหนังที่เป็นส่วนของใบหน้าแยกออกจากกันหรือมีวัตถุอื่นๆ มาบดบัง โดยที่บดบังจนทำให้เห็นใบหน้าด้านซ้ายหรือด้านขวาด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว และหากภาพที่นำมาพิจารณานั้นมีแสงสว่างมากเกินไปจนทำให้บริเวณผิวหนังในส่วนของใบหน้ากลมกลืนไปกับพื้นฉาก หรือภาพที่มีผลกระทบจากแสงและเงามากเกินไปจนทำให้ไม่สามารถหาบริเวณผิวหนังได้ทั้งหมด นอกจากนี้หากภาพใบหน้าที่บริเวณดวงตาหรือบริเวณรอบดวงตาถูกบดบังแล้วทำให้ไม่สามารถหาคุณลักษณะของดวงตาได้แล้ว ก็จะทำให้ไม่สามารถกำหนดจุดเซนทรอยด์เพื่อหาขอบเขตของใบหน้าได้อย่างถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kapur, Jay P., **Face Detection in Color Images**, REU Final Report, May-Aug. 2005. pp. 29-38.
- [2] Kapur, Jay P., **Face Detection in Color Images**,
[Online]. Available: <http://www.geocities.com/jaykapur/face.html>. 2006.
- [3] Fleck Margaret M. and Forsyth David A., **Automatic Detection of Human Nudes**, Boston : Kluwer Academic Publishers. 1999.
- [4] Fleck Margaret M. Forsyth David A. and Bregler, Chris, **Finding Naked People**, 1996 European Conference on Computer Vision, Vol. 2, 1996. pp. 592-602.
- [5] Forsyth David A. and Fleck Margaret M., **Identifying nude pictures**, IEEE Workshop on the Applications of Computer Vision, 1996. pp. 103-108.
- [6] Tao, L. and Kwan H.K., **Automatic Localization of Human Eyes in Complex Background**, IEEE International Symposium. Vol 5, 2002, pp. 669-672.
- [7] Huang Gary B., Ramesh Manu, Berg Tamara and Learned-Miller Erik, **Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments**,
[Online]. Available: <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/>. 2007.