

การปรับแต่งความชัดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบลงคะแนน

Fingerprint Image Enhancement Using Voting Algorithm

สำรวน เวียงสมุทร (Samruan Wiangsamut)^{1*}

คำรณ สุนัตติ (Khamron Sunat)²

สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา (Sirapat Chiewchanwattana)³

อุมาภรณ์ สายแสงจันทร์ (Umaporn Saisangchan)⁴

บทคัดย่อ

กระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ต้องการความถูกต้องสูง จำเป็นต้องอาศัยภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีคุณภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์และประมวลผล ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการใหม่ในการปรับแต่งความชัดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ โดยวิธีการคัดเลือกจุดโดยใช้ค่าเกรเดียนต์ (gradient) ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือจากการปรับแต่งด้วยวิธี Short Time Fourier Transform (STFT) และ ตัวกรองกาเบอร์ (Gabor filtering) แล้วนำผลจากการคัดเลือกไปประมวลผลเพื่อปรับความชัดของเส้นลายนิ้วมือด้วยวิธีการ STFT อีกครั้ง จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการปรับแต่งความชัดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถเพิ่มความชัดและเพิ่มคุณภาพให้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมืออย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับและเมื่อนำไปคำนวณหาอัตราร้อยละเฉลี่ยของการเปรียบเทียบรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือ (Minutiae Matching) พบว่าได้ค่าอัตราร้อยละเฉลี่ยสูงกว่าภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต้นฉบับ ที่ใช้เฉพาะการปรับแต่งด้วยวิธี STFT หรือ ตัวกรองกาเบอร์

Abstract

The performance of fingerprint identification highly depends upon the quality of input fingerprint images. We introduce a new method for enhancing the images by applying the concept of voting algorithm. The first step, the corresponding pixels of image enhanced by Short Time Fourier Transform (STFT) and the same image enhanced by Gabor filtering are voted by taking the one which has higher value of gradients. Step two, the enhanced image will be enhanced again with STFT algorithm. We measured the performance of our method by measuring the percentage of minutiae matching. Experimental results show that the percentage of minutiae matching of the proposed method is significantly higher than that of STFT algorithm and Gabor filtering.

คำสำคัญ: ปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ การคัดเลือกจุดภาพ

Keywords: Fingerprint Image Enhancement, Image Voting

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

³อาจารย์ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴อาจารย์ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

* corresponding author, e-mail: ruan2499@hotmail.com

บทนำ

การพิสูจน์และระบุตัวตนของบุคคลโดยใช้ข้อมูลไบโอเมตริกซ์ (Biometrics) เช่น ลักษณะลายนิ้วมือ ลักษณะใบหน้า ลักษณะม่านตา (Iris) เป็นต้น เป็นวิธีการที่ปลอดภัยสูงและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด (Anil et al., 2004; Uludag et al., 2004) เพราะข้อมูลไบโอเมตริกซ์ มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะบุคคล โดยเฉพาะลายนิ้วมือนั้นยังมีความคงสภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการพิสูจน์ตัวบุคคลโดยการตรวจสอบลายนิ้วมือจึงมีความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Zalev et al., 2004) และมีแนวโน้มที่จะใช้กันมากในอนาคต เพราะสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และตรวจสอบได้ง่ายกว่าวิธีการทางไบโอเมตริกซ์อื่นๆ (Xudong et al., 2004) แต่ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีรอยเปื้อน เส้นลายนิ้วมือขาดหาย และมีความคมชัดต่ำเป็นอุปสรรคต่อการประมวลผลที่ต้องการความถูกต้องและแม่นยำสูง เช่น การพิสูจน์ตัวตนของบุคคล เป็นต้น เพราะภาพพิมพ์ลายนิ้วมือมีคุณภาพต่ำจะทำให้การประมวลผลและการระบุตัวบุคคล เกิดความผิดพลาดจากอดีตจนถึงปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่พยายามคิดค้นและพัฒนาวิธีการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือให้มีคุณภาพโดยใช้ทฤษฎีและหลักการต่างๆ (Jiangang et al., 2002; Namiko et al., 2002; Shlomo et al., 2000; Xiping et al., 2000; Yuan-Ning et al., 2004) ซึ่งในแต่ละวิธีก็มีประสิทธิภาพและข้อบกพร่องที่แตกต่างกัน เช่น การปรับแต่งโดยใช้หลักการ Dyadic Scale-Space (Jiangang et al., 2002) ที่สามารถจัดสิ่งรบกวนและลบรอยเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีขนาดใหญ่ได้ การปรับแต่งด้วยวิธีการประมวลผลจุดภาพแบบขนาน (Pixel-Parallel Processing) (Namiko et al., 2002) สามารถปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เป็นหมึกพิมพ์ได้เป็นอย่างดี แต่ปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำได้ไม่ดี วิธีการปรับแต่งแบบภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้เทคนิคการกรอง (Filtering Techniques) (Shlomo et al., 2000) สามารถปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำได้ดี แต่ปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีเส้นลายนิ้วมือขาดได้ผลไม่ดี การปรับแต่ง

ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอาศัยองค์ความรู้ (Rules base) (Xiping et al., 2000) ปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีเส้นสันลายนิ้วมือขาดได้ดี แต่ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำและมีรอยเปื้อนได้ผลไม่ดี เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาและนำเสนอวิธีการใหม่ในการปรับแต่งความชัดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยอาศัยหลักการคัดเลือกแบบลงคะแนน (Voting) (Lin et al., 1996) เพื่อคัดเอาลักษณะเด่นของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธี Short Time Fourier Transform (STFT) (Sharat et al., 2005) ที่สามารถเพิ่มความชัดและเชื่อมเส้นสันลายนิ้วมือที่ขาดได้ดีแต่ยังปรับแต่งภาพที่มีความชัดต่ำมากได้ไม่ดี และวิธีการปรับแต่งด้วยตัวกรองกาเบอว์ (Lin et al., 1998) ที่สามารถคัดกรองเส้นสันลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำและลบรอยเปื้อนได้ดี แต่ปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีเส้นสันลายนิ้วมือที่ขาดได้ไม่ดี ซึ่งทำให้ได้ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการคัดเลือกมีโครงสร้างเส้นสันลายนิ้วมือที่สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น จากนั้นก็นำมาทำการปรับแต่งความชัดด้วยวิธีการ STFT อีกครั้งเพื่อให้เส้นสันลายนิ้วมือที่ได้จากการคัดเลือกมีความชัดเพิ่มขึ้น และทำให้ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการที่นำเสนอมีเส้นสันลายนิ้วมือที่เชื่อมต่อกันสนิท ไม่มีรอยเปื้อนหมึกและมีความชัดเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยฉบับนี้มีหัวข้อต่างๆ ดังนี้ หัวข้อที่สองวิธีการวิจัยซึ่งอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการที่นำเสนอ หัวข้อที่สามนำเสนอข้อมูลวิธีการทดลองและวิธีการวัดประสิทธิภาพของงานวิจัย หัวข้อที่สี่แสดงผลการทดลองของงานวิจัย หัวข้อที่ห้าสรุปผลการวิจัยและหัวข้อที่หาคือข้อเสนอแนะ

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการคัดเลือกจุดภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมืออย่างมีประสิทธิภาพ โดยคัดเลือกจากผลการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยวิธีการ STFT (Sharat et al., 2005) และการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอว์ (Lin et al., 1998) ซึ่ง

หลักการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือทั้ง 2 (Lin et al., 1998; Sharat et al., 2005) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้วิธีการ STFT

การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยการวิเคราะห์ STFT มีประสิทธิภาพในการเชื่อมเส้นลายนิ้วมือที่ขาดและขจัดสิ่งรบกวนเส้นลายนิ้วมือได้เป็นอย่างดี เพราะการวิเคราะห์แบบ STFT มีคุณสมบัติสามารถแยกคุณลักษณะเส้นสันและร่องลายนิ้วมือของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือได้ด้วยขั้นตอนดังรูปที่ 1 และรายละเอียดดังนี้

1.1 การวิเคราะห์ STF (Short Time Fourier Analysis)

การวิเคราะห์ STFT ในรูปแบบ 2 มิติสามารถวิเคราะห์หารูปแบบ (pattern analysis) ของเส้นสันลายนิ้วมือ (Ridge) ที่มีทิศทางและความถี่ไม่คงที่ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแสดงดังสมการ (1) (Sharat et al., 2005)

$$E(x, y) = \log \left\{ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |F(r, \theta)|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) W^*(x - T_1, y - T_2) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy} \right\} \quad (1)$$

เมื่อ X คือ space-frequency atoms (Sharat et al., 2005)

$I(x, y)$ คือ ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต้นฉบับ

T_1, T_2 คือ ตำแหน่งจุดบนภาพย่อย

$W(x, y)$

ω_1, ω_2 คือ ค่าพารามิเตอร์ของความถี่

คือ ภาพย่อยที่แบ่งจากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต้นฉบับเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เป็นส่วนๆ

การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยการวิเคราะห์ STFT มีขั้นตอนวิธีการปรับแต่ง ดังนี้

1.2 การประมาณหาทิศทางเส้นสันลายนิ้วมือ (Orientation Image Estimation)

การประมาณค่าของทิศทางของเส้นสันลายนิ้วมือนั้นใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ $p(\theta)$ โดยที่ θ คือทิศทางหรือมุมของเส้นสันลายนิ้วมือ

การประมาณค่าเฉลี่ยทิศทางเส้นสันลายนิ้วมือ $E(\theta)$ สามารถประมาณได้ดังสมการ

$$E(\theta) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{\int_{\theta} p(\theta) \sin(2\theta) d\theta}{\int_{\theta} p(\theta) \cos(2\theta) d\theta} \right\} \quad (2)$$

เมื่อ θ คือ ทิศทางหรือมุมของเส้นสันลายนิ้วมือ โดยที่ $\sin(2\theta)$ และ $\cos(2\theta)$ ทำหน้าที่ในการกวาดหาทิศทางที่ไม่ชัดเจนซึ่งอยู่ระหว่าง $\pm 180^\circ$

1.3 การประมาณหาความถี่ของเส้นสันลายนิ้วมือ (Frequency Image Estimation)

การประมาณค่าความถี่ของเส้นสันลายนิ้วมือนั้น ใช้วิธีการประมาณค่าที่คล้ายกับการประมาณค่าทิศทางโดยแทนฟังก์ชัน ความน่าจะเป็นของความถี่ด้วย ซึ่งค่าประมาณความถี่ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$E\{r\} = \int_r p(r) r dr \quad (3)$$

เมื่อ r คือ เส้นสันลายนิ้วมือ

1.4 การหาขอบเขตของการวิเคราะห์ (Region Mask Generation)

ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือประกอบด้วยส่วนที่เป็นลายนิ้วมือ ภาพพื้นหลัง และรอยเปื้อนต่างๆ ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกเฉพาะขอบเขตที่เป็นลายนิ้วมือเพื่อการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ แทนด้วยสัญลักษณ์ $E(x, y)$ ดังสมการ (4)

เมื่อ $F(r, \theta)$ คือ Fourier spectrum

ในส่วนรายละเอียดของขั้นตอนทั้ง 4 ที่ใช้ในการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือนั้นสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทความ (Sharat et al., 2005)

2. การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์

การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์ (Gabor filter) (Lin et al., 1998) เป็นวิธีการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีการหนึ่ง เพราะด้วยคุณสมบัติของตัวกรองกาเบอร์ที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของเส้นสันลายนิ้วมือที่มีความถี่และทิศทางไม่คงที่ เช่น ปรับทิศทางในการกรอง ปรับความถี่ในการกรอง ซึ่งสามารถขจัดรอยเปื้อนเส้นสันลายนิ้วมือ เป็นต้น ในงานวิจัย (Lin et al., 1998) ได้นำเสนอวิธีการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์ที่มีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 2 และรายละเอียดการปรับแต่งคุณภาพมีดังต่อไปนี้

2.1 การปรับภาพเบื้องต้น (Normalization)

การปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเบื้องต้นมีวัตถุประสงค์ในการปรับความแปรปรวนของระดับสีเทาของเส้นสันและร่องลายนิ้วมือให้อยู่ในระดับมาตรฐานเพื่อนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเส้นสันและร่องลายนิ้วมือของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ดังสมการ (5)

$$G(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{\text{VAR}_0(I(i, j) - M^2)}{\text{VAR}}} & \text{ถ้า } I(i, j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{\text{VAR}_0(I(i, j) - M^2)}{\text{VAR}}} & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases} \quad (5)$$

เมื่อ

$G(i, j)$ คือ ระดับค่าสีเทาของภาพที่ปรับแล้วที่จุดภาพ (i, j)

$I(i, j)$ คือ ค่าระดับสีเทาของจุด (i, j)

บนภาพ

M คือ ค่าประมาณเฉลี่ยของ I

VAR คือ ค่าแปรปรวนของ I

M_0 คือ ค่าประมาณค่าเฉลี่ยที่

ต้องการ

VAR_0 คือ ความแปรปรวนที่ต้องการ

2.2 การประมาณหาทิศทางเส้นสันลายนิ้วมือ (Orientation Image Estimation)

ขั้นตอนการประมาณหาทิศทางเส้นสันลายนิ้วมือเป็นการประมาณหาทิศทางของเส้นสันลายนิ้วมือตรงจุดนั้น ๆ และจุดที่อยู่ข้างเคียงเพื่อให้การปรับแต่งมีความถูกต้องมากที่สุด โดยเริ่มด้วยการแบ่งภาพที่ได้จากขั้นตอน 2.1 ออกเป็นภาพย่อยขนาด 16×16 จุดภาพ แล้วทำการคำนวณหาค่าเกรเดียนต์ $\partial_x(i, j)$ และ $\partial_y(i, j)$ ในแต่ละจุด (i, j) เพื่อทำการคำนวณหาทิศทางของเส้นสันลายนิ้วมือในแต่ละภาพย่อยที่แบ่งดังสมการ (6)

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right) \quad (6)$$

เมื่อ

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v) \quad (7)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (2\partial_x^2(u, v)\partial_y^2(u, v)) \quad (8)$$

จากนั้นก็ทำการกรองด้วย low-pass filter เพื่อให้สามารถประมาณหาทิศทางเนื่องจากเส้นสันหรือร่องลายนิ้วมือไม่ชัดเจนด้วยสมการ (9) และ (10)

$$\Phi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)) \quad (9)$$

$$\Phi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)) \quad (10)$$

คำนวณหาทิศทางเส้นสันลายนิ้วมือขั้นสุดท้ายที่จุด (i, j) ดังสมการ (11)

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\Phi_y'(i, j)}{\Phi_x'(i, j)} \right) \quad (11)$$

เมื่อ

Φ'_x, Φ'_y คือ ผลที่ได้จากการกรองด้วย

low-pass filter ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

2.3 การประมาณค่าความถี่เส้นส้นลายนิ้วมือ

(Frequency Image Estimation)

ขั้นตอนการประมาณค่าความถี่ของเส้นส้นลายนิ้วมือเป็นการคำนวณหาความถี่เส้นส้นลายนิ้วมือในแต่ละภาพย่อยที่แบ่งออกเป็นขนาด 16×16 จุดภาพ แล้วคำนวณหาความถี่เส้นส้นลายนิ้วมือสำหรับแต่ละภาพย่อยด้วยสมการ (12)

$$F(i, j) = \sum_{u=-w_0/2}^{w_0/2} \sum_{v=-w_0/2}^{w_0/2} W_1(u, v) \Omega'(i - uw, j - vw) \quad (12)$$

เมื่อ

W_1 คือ ตัวกรอง low-pass filter 2 มิติ

$$\Omega'(i, j) = \begin{cases} \Omega(i, j) & \text{ถ้า } \Omega(i, j) \neq -1 \\ \frac{\sum_{u=-w_0/2}^{w_0/2} \sum_{v=-w_0/2}^{w_0/2} W_g(u, v) \mu(\Omega(i - uw, j - vw))}{\sum_{u=-w_0/2}^{w_0/2} \sum_{v=-w_0/2}^{w_0/2} W_g(u, v) \delta(\Omega(i - uw, j - vw) + 1)} & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } x \leq 0 \\ x & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (14)$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } x \leq 0 \\ x & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (15)$$

$\Omega(i, j) = 1/T(i, j) \cdot T(i, j)$ คือ ค่าเฉลี่ยของจุดระหว่างจุดสูงสุด 2 จุดที่สามารถค้นหาได้ในแนวแกน x

$$u = i + \left(d - \frac{w}{2}\right) \cos(O(i, j)) + \left(k - \frac{1}{2}\right) \sin(O(i, j)) \quad (16)$$

$$v = j + \left(d - \frac{w}{2}\right) \sin(O(i, j)) + \left(\frac{1}{2} - k\right) \cos(O(i, j)) \quad (17)$$

เมื่อ O คือ ทิศทาง(มุม)ของเส้นส้นลายนิ้วมือ

2.4 การประมาณค่าขอบเขตของการวิเคราะห์ (Region Mask Generation)

ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือปกติประกอบด้วยลายนิ้วมือและพื้นหลัง ดังนั้นการประมาณค่าขอบเขตของการวิเคราะห์เป็นขั้นตอนการหาขอบเขตเส้นส้นและร่องลายนิ้วมือที่แท้จริง เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ ในขั้นตอนต่อไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยเลือกตามคุณสมบัติของรูปร่างคลื่น sinusoidal เป็นหลัก คือ ความสูงของคลื่น (α) ความถี่ (β) และความแปรปรวน (γ) โดยกำหนดให้ $X[1], X[2], \dots, X[M]$ เป็นค่า X ที่แทนด้วยภาพย่อยที่มีจุดกึ่งกลาง (i, j) และคุณสมบัติที่ตอบสนองจุด สามารถคำนวณได้ดังนี้

$(\alpha) = (\text{ความสูงที่สุดเฉลี่ย} - \text{ความลึกเฉลี่ยของร่องลายนิ้วมือ})$

$\beta = 1/T(i, j)$, เมื่อ $T(i, j)$ คือ ค่าเฉลี่ยระหว่างจุดที่สูงที่สุด 2 จุด

$$\gamma = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left(X[i] - \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I X[i] \right) \right)^2 \quad (18)$$

2.5 การกรองภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ (Filtering)

ตัวกรองกาเบอร์ (Gabor filter) มีคุณสมบัติสามารถเลือกปรับความถี่และทิศทางในการกรองได้อย่างเป็นอิสระ การกรองภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์สามารถลบรอยเปื้อนบนโครงสร้างเส้นส้นและร่องลายนิ้วมือได้ ตัวกรองกาเบอร์ even-symmetric สามารถเขียนในรูปแบบดังสมการ (19)

$$h(x, y; \phi, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_\phi^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\phi^2}{\delta_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi f x_\phi) \quad (19)$$

$$x_\phi = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (20)$$

$$y_\phi = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (21)$$

เมื่อ ϕ คือ ทิศทาง(มุม) ของตัวกรองกาเบอร์

f คือ ความถี่ของระนาบคลื่น sinusoidal

δ_x, δ_y คือ ขอบเขตของเกาส์เซียน (Gaussian)

ในแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ

ส่วนรายละเอียดของหลักการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์ที่ไม่ได้นำเสนอสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทความ (Lin et al., 1998)

วิธีการที่นำเสนอ

การคัดเลือกจุดของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

ขั้นตอนวิธีการคัดเลือกจุดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเป็นการคัดเลือกด้วยหลักการลงคะแนน(voting) (Lin et al., 1996) ซึ่งเป็นการคัดเลือกเอาจุดภาพที่ดีที่สุดระหว่างภาพที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการกรองด้วยตัวกรองกาเบอร์ (Lin et al., 1998) และวิธีการ STFT (Sharat et al., 2005) โดยการเปรียบเทียบค่าเกรเดียน (gradient) แบบจุดต่อจุดเพื่อนำไปประกอบเป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือใหม่ ที่มีคุณภาพ ดังสมการ (22)

$$I'(i, j) = \begin{cases} STF_{ij} & \text{เมื่อ } GD_{ij}^{STF} \geq GD_{ij}^{GF} \\ GF_{ij} & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (22)$$

เมื่อ

STF_{ij} คือ จุดของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธี STFT

GF_{ij} คือ จุดของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยตัวกรองกาเบอร์

GD_{ij}^{STF} คือ ค่าเกรเดียนของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่จุด (i,j) จากการปรับแต่งด้วยวิธี STFT

GD_{ij}^{GF} คือ ค่าเกรเดียนของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่จุด (i,j) จากการปรับแต่งด้วยตัวกรองกาเบอร์

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ (<http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/>) ที่มีปัญหาที่ระดับสี่เทา 3 ลักษณะ คือ ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีลักษณะเส้นลายนิ้วมือที่ขาดหายไปบางส่วน ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีสิ่งรบกวนหรือรอยเปื้อน และภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำ(<http://bias.csr.unibo.it/>

fvc2002/) จำนวนทั้งหมด 240 ภาพ แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยฐานข้อมูลที่เก็บภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ 3 ลักษณะ คือ

1. ข้อมูลชุดที่ 1 เก็บข้อมูลแบบ optical sensor “TouchView II” by Identix ขนาดภาพ 388x374 จุดภาพ ความละเอียด 500 dpi (dots-per-inch) จำนวน 80 ภาพ

2. ข้อมูลชุดที่ 2 เก็บข้อมูลแบบ capacitive sensor “100 SC” by Precise Biometrics ขนาดภาพ 300x300 จุดภาพ ความละเอียด 500 dpi จำนวน 80 ภาพ

3. ข้อมูลชุดที่ 3 เก็บข้อมูลแบบ synthetic fingerprint generation ขนาดภาพ 288x384 จุดภาพ ความละเอียด 500 dpi จำนวน 80 ภาพ

วิธีการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดการคัดเลือกแบบลงคะแนนมาประยุกต์ใช้ในการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้ในการคัดเลือกจุดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือจากผลที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT และตัวกรองการเบอร์เพื่อนำมาประกอบเป็นภาพพิมพ์ลายนิ้วมือใหม่ซึ่งจะได้เส้นลายนิ้วมือที่สมบูรณ์ขึ้น แล้วนำผลที่ได้จากการคัดเลือกมาปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT จะทำให้ได้ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือมีความชัดและคุณภาพเพิ่มขึ้น ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 4

จากขั้นตอนการทดลองจะเห็นว่าขั้นตอนของวิธีการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอมีขั้นตอนการปรับแต่งเพิ่มขึ้นจากวิธีการทั้ง 2 (Lin et al., 1998; Sharat et al., 2005) ซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่วิธีการ STFT ใช้เวลา 12.859 วินาทีต่อภาพ วิธีการตัวกรองกาเบอร์ใช้เวลา 4.316 วินาทีต่อภาพ และวิธีการที่นำเสนอใช้เวลา 26.278 วินาทีต่อภาพ โดยที่ขั้นตอนการคัดเลือกใช้เวลา 0.56 วินาที (ภาพที่ใช้มีขนาด 388x374 จุดภาพ, ซีพียู 2.8 GHz , แรม 256 MHz) แต่วัตถุประสงค์ของการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอนี้ได้ให้ความสำคัญ

และนำเสนอประสิทธิภาพของวิธีการและผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีคุณภาพที่ดีกว่าทั้ง 2 วิธี ดังที่นำเสนอในส่วนของผลการวิจัย

การวัดประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการใหม่ในการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีประสิทธิภาพและดีกว่าวิธีการเดิม (Lin et al., 1998; Sharat et al., 2005) ดังนั้นจึงมีการวัดประสิทธิภาพเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้คาร์รียละเอียดของการเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia Matching) (Tsai-Yang et al, 2005) ที่ให้ผลการเปรียบเทียบถูกต้องแทนด้วยสัญลักษณ์ P_{avg} ดังสมการที่ (23)

$$P_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N P_r(i)}{N} \quad (23)$$

เมื่อ

$P_r(i)$ คือ อัตราร้อยละของการเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือ (minutia) ภาพที่ ให้ผลการเปรียบเทียบถูกต้อง

N คือ จำนวนภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เปรียบเทียบรายละเอียด

รายละเอียดลายนิ้วมือ (minutia) ที่ใช้เปรียบเทียบในงานวิจัยนี้นั้นหมายถึง จุดแยกและจุดสิ้นสุดของเส้นสันลายนิ้วมือ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งทำการเปรียบเทียบแบบจุดต่อจุดของรายละเอียดลายนิ้วมือที่ค้นพบโดยมีจุดอ้างอิงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ (Tsai-Yang et al, 2005) ซึ่งลักษณะการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 6

ผลการศึกษา

1. ผลการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

1.1 การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีเส้นลายนิ้วมือขาด

การทดลองปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีปัญหาเส้นลายนิ้วมือขาดผลการทดลองจากภาพที่ 7 คอลัมน์ที่ 2 พบว่าวิธีการปรับคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอ(แถวที่ 6 คอลัมน์ที่2) สามารถเชื่อมต่อเส้นลายนิ้วมือที่ขาดได้อย่างสมบูรณ์มากเมื่อเทียบกับการปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT (แถวที่ 3 คอลัมน์ที่ 2) และตัวกรองกาเบอร์ (แถวที่ 4 คอลัมน์ที่ 2) ที่เชื่อมต่อเส้นลายนิ้วมือได้แต่ยังไม่สมบูรณ์เพราะจุดที่เชื่อมต่อง่ายยังสามารถมองเห็นร่องรอยเส้นลายนิ้วมือที่เคยขาดได้อย่างชัดเจนแต่วิธีการที่นำเสนอนั้นร่องรอยเส้นลายนิ้วมือที่เคยขาดกลับเชื่อมต่อกันได้อย่างกลมกลืนกับเส้นลายนิ้วมือเดิมจนมองไม่เห็นร่องรอยของเส้นลายนิ้วมือที่เคยขาด

1.2 การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีรอยเปื้อนหมึก

ผลทดลองจากภาพที่ 7 คอลัมน์ที่ 3 พบว่า การปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีปัญหาเส้นลายนิ้วมือมีรอยเปื้อนจะให้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควรทั้งวิธีการปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT ตัวกรองกาเบอร์ และวิธีการที่นำเสนอ แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้ววิธีการที่นำเสนอนั้นให้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพดีกว่าทั้ง 2 วิธี เห็นได้จากเส้นลายนิ้วมือที่ตำแหน่งกึ่งกลางของนิ้วที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ (แถวที่ 5 คอลัมน์ที่3) มีความคลาดเคลื่อนจากเส้นลายนิ้วมือต้นฉบับน้อยกว่าการปรับแต่งแบบ STFT (แถวที่ 3 คอลัมน์ที่ 3) และ ตัวกรองกาเบอร์ (แถวที่ 4 คอลัมน์ที่ 3) ซึ่งจะทำให้โครงสร้างและรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือมีความคงสภาพและสมบูรณ์มากกว่าอีกด้วย

1.3 การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำ

การทดลองปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำด้วยวิธีการที่นำเสนอ ผลการทดลองจากภาพที่ 7 (แถวที่ 6 คอลัมน์ที่ 4) ให้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT (แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 4) และตัวกรองกาเบอร์ (แถวที่ 3 คอลัมน์ที่ 4) ถึงแม้ว่าการปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT และตัวกรองกาเบอร์จะสามารถได้โครงสร้างและรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือที่มากกว่าวิธีการที่นำเสนอ แต่โครงสร้างและรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนและผิดไปจากเส้นลายนิ้วมือต้นฉบับ แต่วิธีการที่นำเสนอนั้นกลับได้โครงสร้างและรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือที่มีความถูกต้องตรงกับลายนิ้วมือต้นฉบับ

2. ผลการเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia Matching) ที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพ

จากการทดลองพบว่าภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ทำการปรับแต่งคุณภาพสามารถค้นพบรายละเอียดลายนิ้วมือ (minutia) ที่มากขึ้นและถูกต้อง แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งทำให้การเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia Matching) มีอัตราร้อยละของวิธีการที่นำเสนอ (75%) สูงกว่าภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ไม่ได้ปรับแต่งคุณภาพ (13%) วิธีการปรับแต่งด้วยตัวกรองกาเบอร์ (Lin et al., 1998) (66%) และ วิธีการปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT (Sharat et al., 2005) (74%) ดังนั้นจากผลการทดลองทดลองที่แสดงดังตารางที่ 1 สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 ข้อมูลชุดที่ 1

จากผลการทดลองเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือตามตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าร้อยละความถูกต้องของวิธีการที่นำเสนอประมาณ 75.37 เปอร์เซนต์ ซึ่งสูงกว่าวิธีการปรับแต่งแบบ STFT (75.18%) และตัวกรองกาเบอร์ (74.50%) ซึ่งแสดงว่าผลที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอมີคุณภาพดีกว่าทั้ง 2 วิธี

2.2 ข้อมูลชุดที่ 2

ผลการทดลองจากตารางที่ 1 พบว่าร้อยละความถูกต้องในการเปรียบเทียบรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอมีค่าประมาณ 77.31 เปอร์เซนต์ ซึ่งสูงกว่าการปรับแต่งคุณภาพด้วยวิธีการปรับแต่งแบบ STFT (68.99%) และตัวกรองกาเบอร์ (74.20%) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต้นฉบับพบว่าค่าความถูกต้องสูงกว่าประมาณ 36 เปอร์เซนต์

2.3 ข้อมูลชุดที่ 3

ในการเปรียบเทียบร้อยละความถูกต้องของรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพกับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือข้อมูลชุดที่ 3 พบว่าวิธีการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอได้ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุดคือ 76.81 เปอร์เซนต์ สูงกว่าวิธีการปรับแต่งแบบใช้ตัวกรองกาเบอร์ (74.4%) และ แบบ STFT (70.31%)

จากผลการทดลองเปรียบเทียบร้อยละความถูกต้องรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพทั้ง 3 ชุดข้อมูล พบว่าร้อยละเฉลี่ยความถูกต้องเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ วิธีการปรับแต่งที่นำเสนอ (76.5 %) วิธีการปรับแต่งแบบใช้ตัวกรองกาเบอร์ (74.37 %) และ วิธีการปรับแต่งแบบ STFT (71.49 %) ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าวิธีการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่นำเสนอสามารถปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือดีกว่าวิธีการทั้ง 2 (Lin et al., 1998; Sharat et al., 2005)

ในการทดลองคัดเลือกโดยใช้เงื่อนไขการคัดเลือกจากค่าเกรเดียนที่น้อยกว่าพบว่าผลการทดลองปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้มีความชัดน้อยกว่าการคัดเลือกแบบใช้เงื่อนไขการคัดเลือกจากค่าเกรเดียนที่มากกว่า และเมื่อนำไปคำนวณหาร้อยละความถูกต้องในการเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือพบว่า การคัดเลือกแบบใช้ค่าเกรเดียนน้อยกว่ายังได้ค่าร้อยละน้อยกว่าการคัดเลือกแบบใช้ค่าเกรเดียนมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการคัดเลือกคุณภาพโดยใช้ค่าเกรเดียนที่มากกว่าเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการคัดเลือกคุณภาพ

สรุปผลการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเพื่อเพิ่มความชัดและคุณภาพของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีปัญหา เส้นลายนิ้วมือขาดหาย มีรอยเปื้อนเส้นลายนิ้วมือ และมีความชัดต่ำ โดยประยุกต์ใช้หลักการคัดเลือกเพื่อทำการคัดเลือกเอาจุดภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ดีที่สุดระหว่างภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพด้วยวิธีการ STFT และ ตัวกรองกาเบอร์ ด้วยการเปรียบเทียบค่าเกรเดียนต์ โดยคัดเลือกค่าเกรเดียนต์ที่สูงที่สุดซึ่งจะให้ผลการปรับแต่งคุณภาพดีกว่าการเลือกค่าเกรเดียนต์ที่ต่ำกว่า ซึ่งจะทำได้เส้นลายนิ้วมือที่มีรายละเอียดที่สมบูรณ์ขึ้น แล้วปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT อีกครั้ง เพื่อให้เส้นลายนิ้วมือมีความชัดเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่าภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการที่นำเสนอมีรายละเอียดและความชัดของเส้นลายนิ้วมือเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของรายละเอียดเส้นลายนิ้วมือนับด้วยหลักการ Minutiae Matching พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่าร้อยละของความถูกต้องเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการปรับแต่งคุณภาพแบบ STFT และตัวกรองกาเบอร์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ยังมีจุดอ่อนในการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่เก็บข้อมูลแบบ optical sensor “FX2000” by Biometrika ทำให้การประมาณหาทิศทางและความถี่ของเส้นลายนิ้วมือของวิธีการปรับแต่งคุณภาพทั้ง 2 วิธี (Lin et al., 1998; Sharat et al., 2005) ผิดพลาดและส่งผลให้ได้ผลการคัดเลือก (Voting) คลาดเคลื่อนตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Anil, K.J., Pankanti, S., Prabhakar, S., Lin, H. and Ross, A. 2004. **Biometrics: a grand challenge**. *IEEE Transactions on Pattern Recognition* 9(2): 935–942.
- Fingerprint Verification Competition. BioLab University of Bologna (<http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/>)
- Jiangang, C., Jie, T. and Tanghui, Z. 2002. **Fingerprint enhancement with dyadic scale-space**. *Pattern Recognition* 9(1): 200 – 203.
- Lin, H., Jian, A., Pankanti, S. and Bolle, R. 1996. Fingerprint enhancement. Applications of Computer Vision. **Proceedings 3rd IEEE Workshop** 2(1): 202 – 207.
- Lin H., Yifei, W. and Anil, J. 1998. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation. **Pattern Analysis and Machine Intelligence** 20(8): 777 – 789.
- Namiko, I., Nakanishi, M., Fujii, K., Hatano, T., Shigematsu, S., Adachi, T., Okazaki, Y. and Kyuragi, H. 2002. **Fingerprint image enhancement by pixel-parallel processing**. *Pattern Recognition* 3(3): 752–755.
- Sharat C., Cartwright, A.N. and Govindaraju, V. 2005. Fingerprint Image Enhancement Using STFT Analysis. **International Conference on Advances in Pattern Recognition** 14(2): 20–29.
- Shlomo G., Mayer A., Daniel K. and Itshak D. 2000. Fingerprint Image Enhancement Using Filtering Techniques. **Pattern Recognition** 7(3): 322–325.

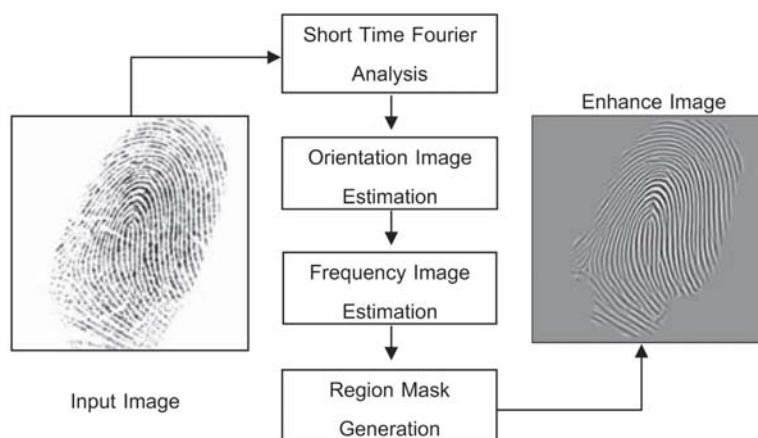
- Tsai–Yang, J. and Venu G. 2005. A minutia–based partial fingerprint recognition system. **Pattern Recognition** 38(10): 1672–1684.
- Uludag, U., Pankanti, S., Prabhakar, S. and Jain, A.K. 2004. **Biometric cryptosystems: issues and challenges. Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers** 92(6): 948– 960.
- Xiping, L. and Jie, T. 2000. **Knowledge based fingerprint image enhancement. Pattern Recognition** 7(4): 783–786.
- Xudong J., Liu, M. and Kot, A.C. 2004. **Reference point detection for fingerprint recognition. Pattern Recognition** 9(1): 540–543.
- Yuan–Ning L. and Zhi–Hui L. 2004. Research on fingerprint Enhancement and Classification Algorithm. **Computer and Information Technology**: 199 – 204.
- Zalev, J. and Sedaghat, R. 2004. **Automatic fingerprint recognition algorithm. Electrical and Computer Engineering Conference** 12(4): 2263–2266.

ตารางที่ 1 ร้อยละความถูกต้องของการเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยวิธีการต่างๆ

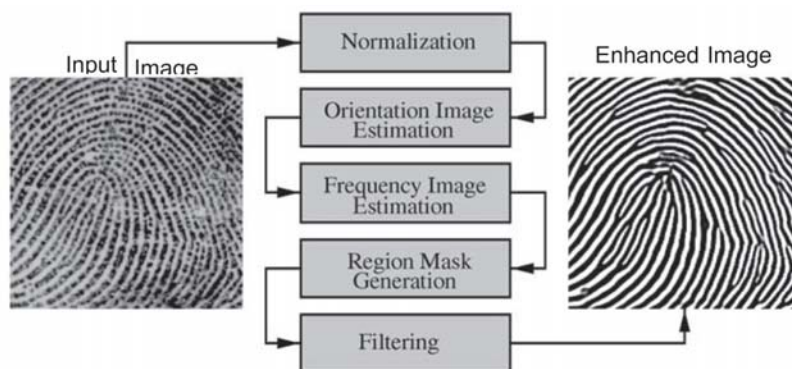
	ไม่ได้ปรับแต่ง คุณภาพ	ปรับแต่งคุณภาพ ด้วย STFT	ปรับแต่งคุณภาพ ด้วยตัวกรอง กาเบอร์	ปรับแต่งคุณภาพ ด้วยวิธีการ คัดเลือก	ปรับแต่งคุณภาพ ด้วยวิธีการที่ นำเสนอ
ข้อมูลชุดที่ 1	69.51428571	75.18571429	74.5	71.72857143	75.37142857
ข้อมูลชุดที่ 2	41.52857143	68.98571429	74.2	76.82857143	77.31428571
ข้อมูลชุดที่ 3	63	70.31428571	74.42857143	74.61428571	76.81428571
เฉลี่ย	58.01428571	71.4952381	74.37619048	74.39047619	76.5

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบร้อยละความถูกต้องของการเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยวิธีการคัดเลือกด้วยค่าเกรเดียนต์ที่น้อยกว่าและมากกว่า

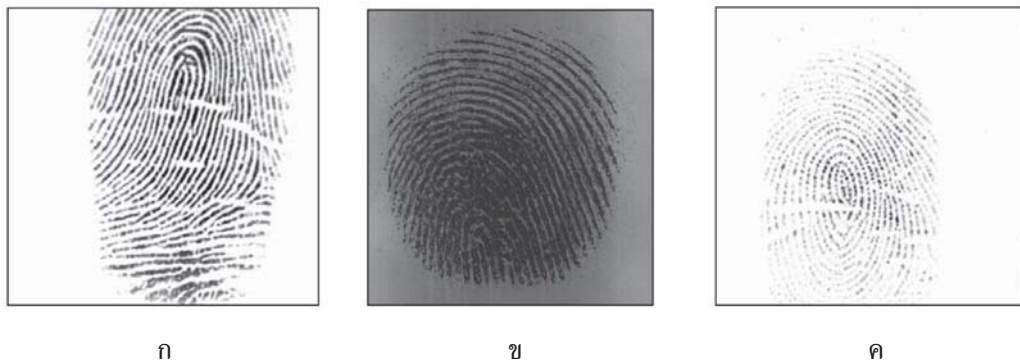
	ปรับแต่งคุณภาพโดยใช้ค่าเกรเดียนต์ น้อยกว่า	ปรับแต่งคุณภาพโดยใช้ค่าเกรเดียนต์ มากกว่า
ข้อมูลชุดที่ 1	74.85714286	75.37142857
ข้อมูลชุดที่ 2	76.15714286	77.31428571
ข้อมูลชุดที่ 3	72.91428571	76.81428571
เฉลี่ย	74.64285714	76.5



รูปที่ 1 ขั้นตอนวิธีการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยวิธีการ STFT (Sharat et al., 2005)

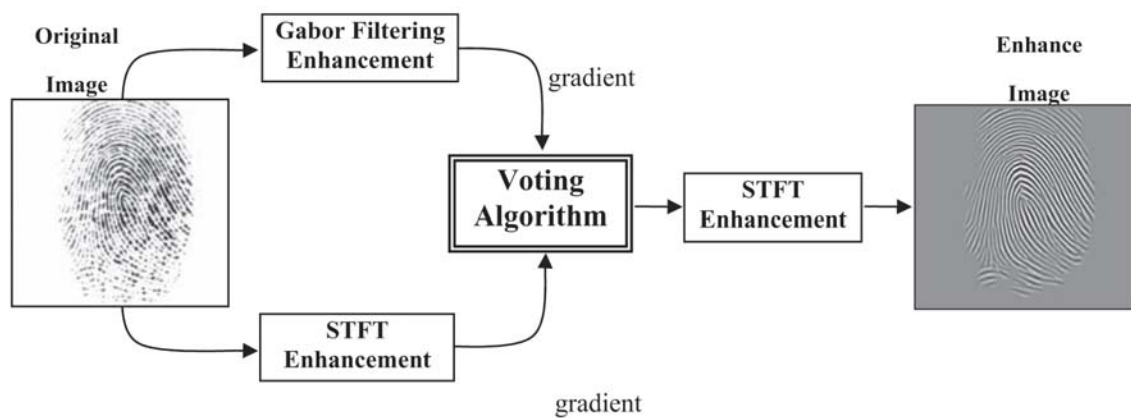


รูปที่ 2 ขั้นตอนวิธีการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์ (Lin et al., 1998)

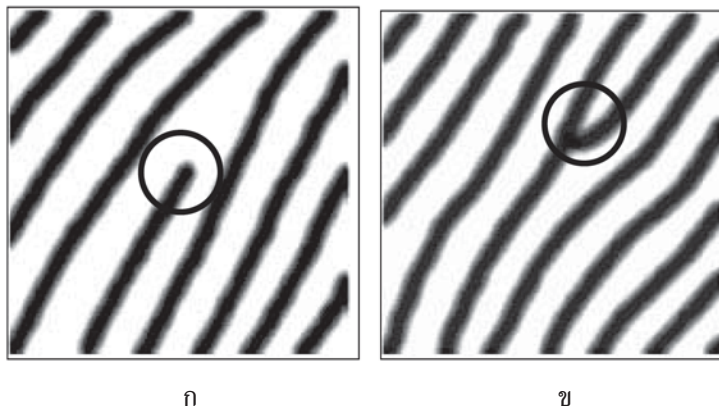


รูปที่ 3 ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีปัญหาลักษณะต่างๆ

(ก) เส้นลายนิ้วมือขาด (ข) ลายนิ้วมือเบลอ (ค) ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำ



รูปที่ 4 ขั้นตอนการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่น่าเสนอ



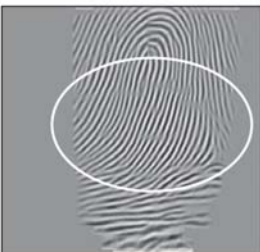
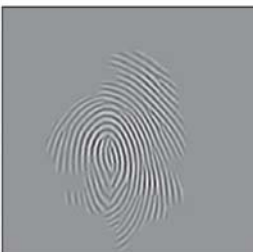
รูปที่ 5 ลักษณะรายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutiae)

(ก) จุดสิ้นสุดเส้นสันลายนิ้วมือ (Ridge ending)

(ข) จุดแยก (แตกแขนง) เส้นสันลายนิ้วมือ (Ridge bifurcation)



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบรายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutiae) ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ 2 ภาพ ของบุคคลคนเดียว

	ลักษณะภาพพิมพ์ ลายนิ้วมือที่มีเส้น ลายนิ้วมือขาด	ลักษณะภาพพิมพ์ ลายนิ้วมือที่มีรอยเปื้อน	ลักษณะภาพพิมพ์ ลายนิ้วมือที่มีความชัดต่ำ
ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ก่อนการปรับแต่ง			
ผลการปรับแต่งด้วย วิธีการ STFT			
ผลการปรับแต่งด้วย ตัวกรองเกาเบอรี			
ผลการปรับแต่งด้วย วิธีการคัดเลือก			
ผลการปรับแต่งด้วย วิธีการที่นำเสนอใน งานวิจัย			

รูปที่ 7 ผลการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ



ก

ข

ค



ง

จ

รูปที่ 8 รายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia) ที่ค้นพบจากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต้นฉบับและการปรับแต่งคุณภาพด้วยวิธีการที่นำเสนอ

(ก) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต้นฉบับ

(ข) รายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia) ที่ค้นพบในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือต้นฉบับ

(ค) รายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia) ที่ค้นพบในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยตัวกรองกาเบอร์

(ง) รายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia) ที่ค้นพบในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการ STFT

(จ) รายละเอียดลายนิ้วมือ (Minutia) ที่ค้นพบในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ