

การพัฒนาโปรแกรมเปรียบเทียบความเหมือนของภาพ ด้วยความถี่สะสมของระดับสีพิกเซล

วิทยา บุญสุข^{1*}, จิม ยีร์นัน¹ และ ยอดรัก สายสิญจน์¹

Applying for Image Comparison with the Cumulative Frequency of The Pixel Color Scale

Witthaya Boonsuk^{1*}, Jim Yernnan¹ and Yodrak Saisin¹

¹ Dept. of information Technology, Faculty of Management Sciences and Information Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

*Corresponding author: witthaya5773@gmail.com

Received: September 29, 2022; Revised: October 19, 2022; Accepted: October 21, 2022

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการศึกษานี้ เพื่อพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความเหมือนกันของภาพ วิธีการศึกษาและออกแบบพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความเหมือนของภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานที่ต้องการตรวจสอบภาพถ่ายทั่ว ๆ ไป โดยใช้หลักการตรวจหาความเข้มของระดับสีในแต่ละ Pixel และความถี่สะสมของระดับสีในแต่ละช่วง

ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วย อัลกอริทึมที่พัฒนาใหม่ จากกลุ่มภาพถ่ายอย่าง 30 ภาพ ในระดับความเท่ากันของ Pixels 8,000 ถึง 10,000 จะมี 63.33 % ระดับความเหมือนของภาพถือว่ามาก ในระดับความเท่ากันของ Pixels 7,000 ถึง 8,000 มี 23.33 % ระดับความเหมือนของภาพถือว่า ปานกลางและในระดับความเท่ากันของ Pixels 6,000 ถึง 7,000 มี 13.33 % ระดับความเหมือนของภาพถือว่าพอใช้

สรุปผลประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบของภาพในระดับ Pixels 8,000 ถึง 10,000 ค่อนข้างเที่ยงตรงและมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในการประมวลผลในการเปรียบเทียบความเหมือนกันของภาพ แต่ควรนำระบบที่พัฒนาไปทดสอบเปรียบเทียบกับระบบหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาความเที่ยงตรงของระบบที่พัฒนาขึ้นและจะสามารถนำไปประยุกต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพต่อไป

คำสำคัญ: ความถี่สะสม, ประมวลผลภาพ , ระดับสี, ภาพ, ซอฟต์แวร์ประยุกต์

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

Abstract

The objective of this study aims to develop a prototype program for comparing the similarity of images. The methodology of comparing the similarity images can be applied to tasks which require general photographic review. It uses the principle of detecting the intensity of the color level in each pixel and the cumulative frequency of the color level in each range.

The results of measuring system performance of 30 sample images based on newly developed algorithm illustrate that the image similarity at pixels 8,000 to 10,000 is high level (63.33 %), the image similarity at pixels 7,000 to 8,000 is moderate level (23.33 %) and the image similarity at pixels 6,000 to 7,000 is fair level (13.33 %).

In summary, the image similarity at pixels 8,000 to 10,000 is quite accurate and suitable for comparison the image processing. However, the developed system should be tested and compared with the systems or relevant researches to determine the accuracy of the developed system and apply to further improve the quality.

Keywords: Cumulative Frequency, Image Processing, Color Scale, Digital Image, Application Software

บทนำ

ในปัจจุบันระบบการตรวจสอบและระบุตัวบุคคล จะใช้ข้อมูลทางกายภาพของคนเท่านั้นซึ่งเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ จึงจะสามารถทำได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ ข้อมูลเหล่านั้นได้แก่ ดีเอ็นเอ (DNA : Deoxyribonucleic acid) ลายนิ้วมือ ม่านตา และภาพใบหน้า ส่วน ดีเอ็นเอ เป็นระบบการตรวจสอบและระบุตัวบุคคลที่มีความแม่นยำสูงและไม่สามารถปลอมแปลงได้ อย่างไรก็ตามการตรวจสอบ ดีเอ็นเอ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบข้อมูล ดีเอ็นเอภายในห้องปฏิบัติการและมีค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่สะดวกและยากที่จะทำได้ในทางปฏิบัติ แต่การตรวจสอบลายนิ้วมือ ม่านตา และใบหน้า เป็นข้อมูลทางกายภาพของแต่ละบุคคล สามารถตรวจสอบได้ในระยะเวลาสั้น โดยใช้การเปรียบเทียบข้อมูลนั้นกับฐานข้อมูลของระบบ (Lin, 2000; Rathi et al, 2012; Hamid et al, 2010, December) ผู้พัฒนาได้มองเห็นความจำเป็นในงานด้านที่กล่าวมา จึงได้ศึกษาและออกแบบทำการพัฒนาโปรแกรมในการเปรียบเทียบความเหมือนของภาพพื้นฐานทั่วไป ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานที่ต้องตรวจสอบเฉพาะด้านทางกายภาพทั่วไป โดยเน้นที่ภาพถ่ายดิจิทัลหรือแม้แต่การตรวจสอบและระบุตัวบุคคล ก็มีการเปรียบเทียบทางกายภาพเป็นพื้นฐานแรกเพราะค่าใช้จ่ายต่ำ เมื่อเทียบกับการตรวจสอบทาง ดีเอ็นเอ แม้จะให้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือต่ำ

ผู้พัฒนาได้มองเห็นความจำเป็นในงานด้านที่กล่าวมา จึงได้ทำการศึกษาและออกแบบพัฒนาโปรแกรมในการเปรียบเทียบความเหมือนของภาพ การเปรียบเทียบภาพบุคคลหรือภาพสิ่งต้องสงสัยจากกล้องวิดีโอวงจรปิด และใช้เป็นแนวทางสำหรับการค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ในอนาคต

วัตถุประสงค์

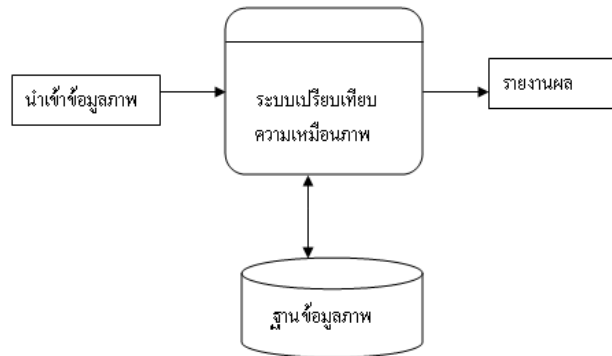
เพื่อพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความเหมือนกันของภาพ

วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการพัฒนาระบบ

1. Context Diagram ของระบบ

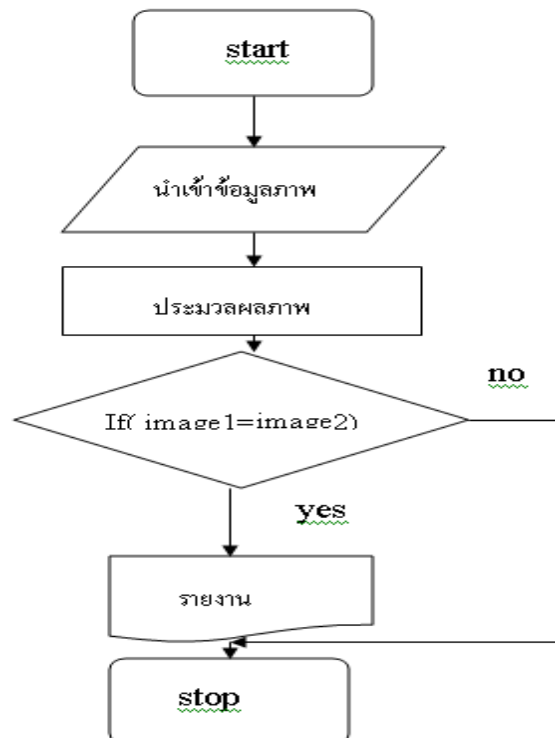
ในภาพรวม (Context Diagram) ของระบบเริ่มจากรับข้อมูลรูปภาพเข้ามาสู่ระบบ ระบบทำการประมวลผลเปรียบเทียบจากภาพในฐานข้อมูลทำการเปรียบเทียบ แล้วสรุปและส่งออกรายงานผล ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมของ context Diagram ของระบบ

2. Data Flow Diagram ของระบบ

ในภาพรวม (Data Flow Diagram) ทำงานของระบบเริ่มจากรับข้อมูลเข้าสู่ระบบ ระบบทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูลทำการเปรียบเทียบ Pixels แต่ละ Pixels ระหว่าง 2 ภาพ จนครบและสมบูรณ์ทั้งหมด แล้วสรุปและส่งออกรายงานผล ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Data Flow Diagram ของการทำงานในระบบ

3. Input Image

เป็นขั้นตอนการเก็บภาพใบหน้าบุคคลที่เป็นภาพนิ่งที่จะนำไปวิเคราะห์เข้าสู่ระบบเพื่อนำไปเก็บลงสู่ฐานข้อมูลหรือทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อไป

3.1 การปรับขนาดภาพ (Resize)

ข้อมูลภาพที่รับเข้ามานั้นอาจจะไม่อยู่ในระบบมาตรฐานเดียวกัน เช่น ชนิดของภาพ ซึ่งหากนำภาพนั้น ๆ ไปจำแนกภาพแล้วอาจจะมีผลถึงประสิทธิภาพของกระบวนการเปรียบเทียบภาพ

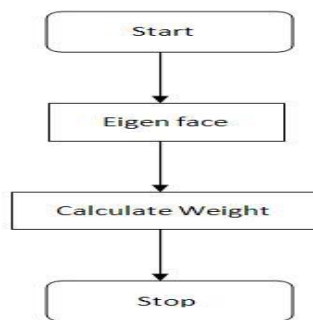
3.2 ข้อมูลภาพที่นำเข้ามาจึงต้องนำเข้ามาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพขั้นต้นเสียก่อนเพื่อปรับให้อยู่มาตรฐานความละเอียดเดียวกันก่อนนำไปเข้ากระบวนการอื่น ๆ ต่อไป จึงต้องทำการกำหนดความละเอียดภาพให้มีขนาดเดียวกัน เช่นปรับให้มีความละเอียดที่ 100*100 พิกเซล



รูปที่ 3 การปรับขนาดของภาพใบหน้าในกลุ่มการเรียนรู้

4. กระบวนการเรียนรู้และจดจำเดิม (Training Process)

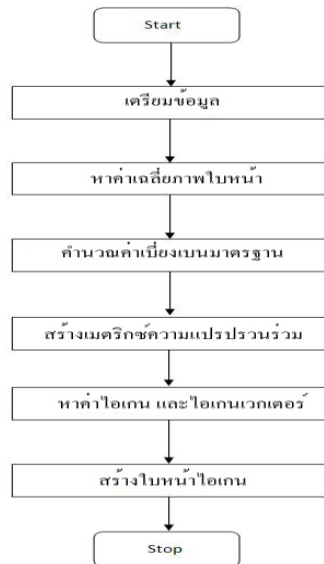
เป็นกระบวนการที่ทำเพื่อหารูปแบบหรือโมเดล โดยค่าที่เก็บไว้ในโมเดลจะมีค่าเป็นน้ำหนัก (Weight) เพื่อนำไปใช้ในการจำแนกตัวบุคคล ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (ทรรค จอมชนธิพล, 2565; สนั่น ศรีสุข และคณะ; Robert Nowak, n.d.)



รูปที่ 4 ขั้นตอนในการทำงานของกระบวนการเรียนรู้

จากรูปที่ 4 ขั้นตอนในการทำงานของกระบวนการเรียนรู้ สามารถอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.1 ขั้นตอนการสร้างใบหน้าไอเจนหลังจากได้ข้อมูลภาพที่เป็นมาตรฐานเดียวกันแล้ว จะนำข้อมูลนั้นมาสร้างเป็นใบหน้าไอเจน ด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA: Principal Component Analysis) (Gonzalez et al, 2004) ซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้



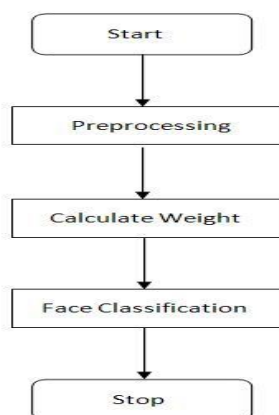
รูปที่ 5 ขั้นตอนในการสร้างใบหน้าไอเจน

4.2 คำนวณค่าน้ำหนักของภาพกลุ่มเรียนรู้ (Calculate Weight)

เป็นการคำนวณค่าน้ำหนักของภาพกลุ่มเรียนรู้เพื่อนำไปสร้างเป็นต้นแบบหรือโมเดล สำหรับนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักของภาพที่นำมาทดสอบในการจดจำใบหน้าของบุคคล

4.3 กระบวนการทดสอบ (Testing Process)

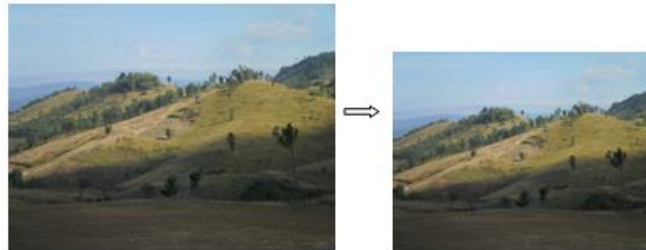
เป็นกระบวนการที่ใช้หาตัวแทนของภาพที่นำมาทดสอบซึ่งจะเก็บอยู่ในรูปของค่าน้ำหนัก เพื่อนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปเปรียบเทียบกับโมเดลที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 6 ขั้นตอนในการทดสอบ

4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเบื้องต้น (Preprocessing)

ในขั้นตอนนี้ จะนำภาพใบหน้าที่เตรียมไว้สำหรับการทดสอบมากรองข้อมูลที่ไม่จำเป็นทิ้ง เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จึงต้องทำการปรับขนาดของภาพให้มีขนาดเดียวกัน โดยนำภาพมาปรับให้มีขนาดเหลือ 100*100 พิกเซล



รูปที่ 7 การปรับขนาดของภาพใบหน้าในกลุ่มการทดสอบ

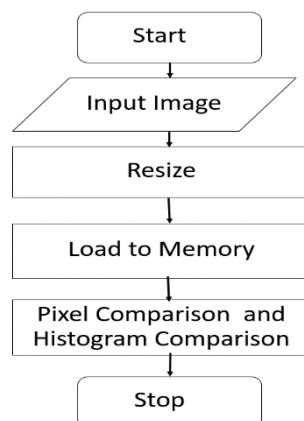
4.3.2 คำนวณค่าน้ำหนักของภาพกลุ่มทดสอบ (Calculate Weight)

เป็นการคำนวณค่าน้ำหนักของภาพกลุ่มทดสอบเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักของภาพกลุ่มเรียนรู้

4.3.3 การจำแนกภาพใบหน้าบุคคล (Face Classification)

เป็นการจำแนกภาพใบหน้าบุคคลโดยนำค่าโมเดลของกระบวนการเรียนรู้ และค่าน้ำหนักที่ได้จากกระบวนการทดสอบ มาคำนวณหาค่าระยะห่างสองกลุ่ม

5. ขั้นตอนวิธีการทำการเปรียบเทียบความเหมือนของภาพด้วยอัลกอริทึมที่ได้ทำการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้พัฒนาโปรแกรม



รูปที่ 8 รูปขั้นตอนการเปรียบเทียบภาพในโปรแกรม

5.1 Input Image

เป็นขั้นตอนการป้อนข้อมูลภาพที่เป็นภาพนิ่งที่จะนำไปวิเคราะห์เข้าสู่ระบบเพื่อนำไปทำการโหลดสู่หน่วยความจำเก็บในค่าตัวแปรต่อไป (Gonzalez et al, 2004; Sourav, n.d.; Mark, 2005)

```
FILE*fp;
unsigned char i[100][100];
int m,n;
if((fp = fopen("test.bmp","r+")) == 0)
{ printf("Just can not open the specified file.\n");
  exit(1);
}
```

5.2 การปรับขนาดภาพ (Resize)

ข้อมูลภาพที่รับเข้ามานั้นอาจจะไม่อยู่ในระบบมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งหากนำภาพนั้น ๆ ไปทำการเปรียบเทียบแล้วอาจจะมีผลถึงประสิทธิภาพของกระบวนการในขั้นตอนต่าง ๆ ได้ ดังนั้นข้อมูลภาพที่นำเข้ามาจึงต้องนำเข้ามาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้นเสียก่อนเพื่อปรับให้อยู่มาตรฐานเดียวกันก่อนนำไปเข้ากระบวนการอื่น ๆ ต่อไป จึงต้องปรับขนาดของข้อมูลภาพให้มีขนาดเดียวกัน โดยนำภาพมาปรับให้มีขนาดเหลือ 100*100 พิกเซล เพื่อให้ได้มาตรฐานเดียวกันในการนำไปทดสอบเพราะขนาดต่างกันคุณภาพของภาพก็ต่างกัน

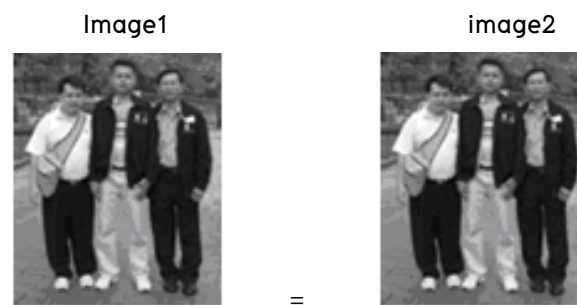


รูปที่ 9 ตัวอย่างข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบ

5.3 การโหลดภาพ ลงสู่หน่วยความจำ (Load to memory)

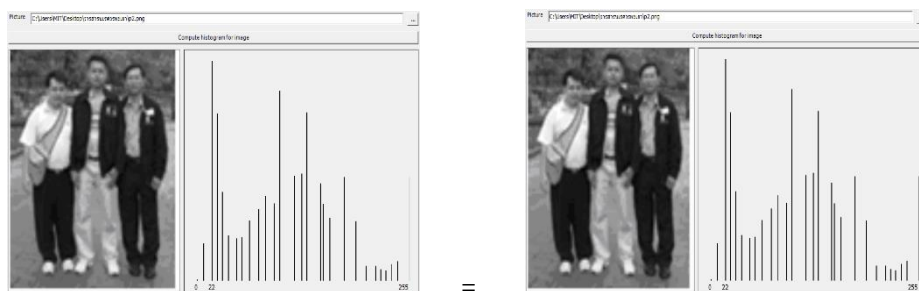
```
for(m=0;m<100;m++)
{
    for(n=0;n<100;n++)
    { fscanf(fp,"%c",&i[m][n]);
    }
}
fclose(fp);
getch();
```

5.4 กระบวนการเปรียบเทียบภาพ (Comparison Process)



รูปที่ 10 ตัวอย่างข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบความเท่ากัน

5.4.1 การเปรียบเทียบด้วยค่าสมมาตรของ Histogram (Jia et al, 2006, October; Wong et al, 2002, September)



รูปที่ 11 ตัวอย่างข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบความสมมาตรของ Histogram

5.4.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบภาพ (Wikipedia, n.d.; software test technique; software test technique)

```
for(m=0;m<100;m++)
{
for(n=0;n<100;n++)
{
if (image1[m][n] == image2[m][n])
{ check="true";
Sumpixel_true++; // เก็บค่า ถ้าระดับความเข้มของค่า พิกเซล เท่ากัน
}
Else
{
Sumpixel_false++; // เก็บค่า ถ้าระดับความเข้มของค่า พิกเซล ไม่เท่ากัน
check="false";
}
If ((image1[m][n] && (image2[m][n])) >= 200 ) {
Maxover200= Maxover200+1;
} else
If ((image1[m][n] && (image2[m][n])) >= 150 ) {
Maxover150= Maxover150+1;
} else
If ((image1[m][n] && (image2[m][n])) >= 100 ) {
Maxover100= Maxover100+1;
} else
If ((image1[m][n] && (image2[m][n])) >= 50 ) {
Maxover50= Maxover50+1;
} else
Min= Min+1;
}
}
fclose(fp);
```

ผลการศึกษา

1. การนำเข้าข้อมูล (Input Image)

เป็นขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลภาพที่เป็นภาพนิ่งที่จะนำไปวิเคราะห์เข้าสู่ระบบเพื่อนำไปโหลดสู่หน่วยความจำเก็บในค่าตัวแปรต่อไป



Image 1



Image 2

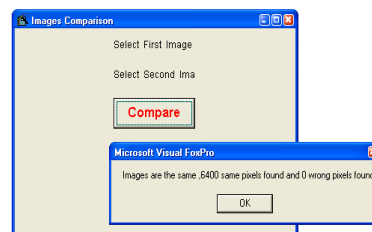
รูปที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบเปรียบเทียบ

2. หน้าจอการทำงาน (User Interface)



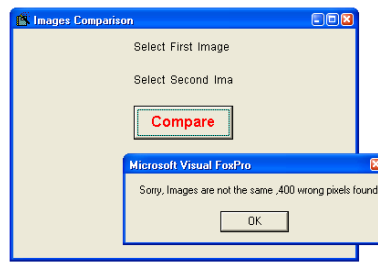
รูปที่ 13 ตัวอย่างหน้าจอต้นแบบ

2.1 กรณีที่ภาพมีความเหมือนกัน



รูปที่ 14 ตัวอย่างหน้าจอ กรณีที่ภาพมีความเหมือนกัน

2.2 กรณีที่ภาพมีความต่างกัน



รูปที่ 15 ตัวอย่างหน้าจอ กรณีที่ภาพมีความต่างกัน

3. เกณฑ์การประเมินระดับความเหมือนของภาพ (Wikipedia, n.d.; software test technique; software test technique)

ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในระบบเปรียบเทียบภาพประเภทต่าง ๆ ที่มีการวัดความเที่ยงตรง

Method	Number of images in the training set	Success rate
Principal Component Analysis	400	79.65%
Principal Component Analysis + Relevant Component Analysis	400	92.34%
Independent Component Analysis	170	tanh function 69.40%
	40	Gauss function 81.35%
Hidden Markov Model	200	84%
Active Shape Model	100	78.12-92.05%
Wavelet Transform	100	80-91%
Support Vector Machines	-	85-92.1%
Neural Networks	-	93.7%
Eigenfaces Method	70	92-100%

รูปที่ 15 ตารางการเปรียบเทียบภาพของระบบรู้จำประเภทต่างๆ

ที่มา: www.sciencedirect.com

กลุ่มตัวอย่างทดลอง กรณีกำหนดข้อมูลภาพนำเข้าขนาด 100 * 100 Pixels

ตารางที่ 1 ระดับความเหมือนของภาพ

ขนาดของภาพ Pixels	ระดับความเท่ากันของ Pixels	% ของความเหมือน	ระดับความเหมือน
10,000	8,000 ถึง 10,000	มากกว่า 80 %	มาก
10,000	7,000 ถึง 8,000	70--> 80 %	ปานกลาง
10,000	6,000 ถึง 7,000	60 --> 70%	พอใช้
10,000	น้อยกว่า 6,000	0 -- > 60%	ต่ำสุด

4. การประเมินประสิทธิภาพของโปรแกรม

การประเมินหาประสิทธิภาพของการเปรียบเทียบความเหมือนของภาพ กรณีทดสอบ จากกลุ่มตัวอย่างรูปภาพ แสดงค่าเฉลี่ยในเชิงปริมาณและค่าเฉลี่ยในเชิงคุณภาพ จากฐานข้อมูลรูปภาพที่นำมาทดสอบจำนวน 30 ภาพ หลังจากที่ได้นำระบบนี้ไปทดสอบตามวิธีการแบบ Black Box เรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการนำระบบงานนี้ไปประเมินเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบและเป็นการทดสอบเพื่อยอมรับระบบโดยผู้ใช้ (Acceptance Test by User) ซึ่งกระบวนการประเมินระบบนี้ เป็นการประเมินเพื่อหาประสิทธิภาพของงานทางระบบสารสนเทศและซอฟต์แวร์ ซึ่งจะมีการแบ่งการประเมินระบบออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ (GitHub Pages, 2019; Taylor, 1997; Taylor, 1999; Metz, 1978, October; Wu, 1991)

1. Function Requirement Test
2. Function Test
3. Usability Test
4. Security Test

แต่ในกรณีนี้ ต้องการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบหรือซอฟต์แวร์อย่างเดียว จึงเลือกใช้การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมโดยใช้ เกณฑ์ทดสอบทางประสิทธิภาพของการทำงานของซอฟต์แวร์คือ แบบทดสอบทาง Function Test

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปรียบเทียบภาพจากกลุ่มภาพทดสอบ จำนวน 30 ภาพ

มิติด้านการเปรียบเทียบจากขนาด ของภาพ 10,000 Pixels	ค่าสถิติ				
	ความถี่ (F)	ร้อยละ (%)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่า SD.	ระดับความ เหมือนของภาพ
1. ระดับความเท่ากันของ Pixels 8,000 ถึง 10,000	19	63.33	9,242.11	323.19	มาก
2. ระดับความเท่ากันของ Pixels 7,000 ถึง 8,000	7	23.33	7,614.29	167.62	ปานกลาง
3. ระดับความเท่ากันของ Pixels 6,000 ถึง 7,000	4	13.33	6,675.00	150.00	พอใช้
4. ระดับความเท่ากันของ Pixels ต่ำกว่า 6,000	-	-	-	-	ต่ำสุด

สรุปผลและอภิปรายผล

จากผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการประมวลผลภาพด้วย อัลกอริทึมที่พัฒนาใหม่ จากกลุ่มภาพตัวอย่าง 30 ภาพ ในระดับความเท่ากันของ Pixels 8,000 ถึง 10,000 จะมี 63.33 % ระดับความเหมือนของภาพถือว่า มาก ในระดับความเท่ากันของ Pixels 7,000 ถึง 8,000 มี 23.33 % ระดับความเหมือนของภาพถือว่า ปานกลางและในระดับความเท่ากันของ Pixels 6,000 ถึง 7,000 มี 13.33 % ระดับความเหมือนของภาพถือว่า พอใช้ สำหรับการกระจายของจำนวนเท่ากันของ Pixels ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 150.00 ถึง 332.19 แสดงว่าประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบของภาพในระดับที่ค่อนข้างเที่ยงตรงและมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในการประมวล

ซึ่งหลักการเปรียบเทียบภาพด้วยระดับความเข้มในแต่ละ Pixels และจำนวนระดับความถี่สะสมของความเข้ม 0-250 ยังประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบของภาพ แต่ควรนำระบบที่พัฒนาไปทดสอบเปรียบเทียบกับระบบหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาความเที่ยงตรงของระบบที่พัฒนาขึ้นและจะสามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาใหม่ ไปประยุกต์ใช้งานด้านการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากคณบดี ทีมผู้บริหารทุกท่านของ คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนครพนม ที่กรุณาให้การสนับสนุนทุนทำวิจัย คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตลอดจนสถานที่ทำวิจัย ห้องปฏิบัติการของคณะฯ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของผู้บริหารและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- ทรรศ จอมขันธิพล. (2565). *ระบบจดจำใบหน้า*. สืบค้นจาก <http://cpe.rsu.ac.th/ut/courses/T151/cpe489/portfolio/482316/FaceRecognition.ppt>.
- สนั่น ศรีสุข, คำรณ สุนันติ, และ วีระศักดิ์ คุรุรัช. (ม.ป.ป.). *การค้นหภาพใบหน้าโดยใช้ใบหน้าไอเกนและการวิเคราะห์ สหสัมพันธ์*. สืบค้นจาก <http://dspace.bru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/6999>.
- GitHub Pages. (2019). *The Database of Faces (AT&T)*. Retrieved from https://git-disl.github.io/GTDLBench/datasets/att_face_dataset.
- Gonzalez R. C. Woods R. E. & Eddins S. L. (2004). *Digital Image Processing using MATLAB*, USA: Pearson Prentice: Hall Upper Saddle River, NJ Publisher.
- Hamid, R. A., & Thom, J. A. (2010, December). Criteria that have an effect on users while making image relevance judgments. In *Proceedings of the fifteenth Australasian document computing symposium* (pp. 76–83). Australia.
- Jia, W., Zhang, H., He, X., & Wu, Q. (2006, October). Image matching using colour edge cooccurrence histograms. In *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (Vol. 3, pp. 2413–2419). IEEE.
- Lin, S. H. (2000). An introduction to face recognition technology. *Informing Sci. Int. J. an Emerg. Transdiscipl*, 3, 1–7.
- Mark Rouse. (2005). *Comparing Images Using GDI+*. Retrieved from <http://www.codeproject.com/KB/GDI-plus/comparingimages.aspx>.
- Metz, C. E. (1978, October). Basic principles of ROC analysis. In *Seminars in nuclear medicine* (Vol. 8, No. 4, pp. 283–298). WB Saunders.
- Rathi, R., Choudhary, M., Tech, M., & Chandra, B. (2012). An Application of Face Recognition System using Image Processing and Neural Networks. *Int. J. Comp. Tech. Appl*, 3(1), 45–49.
- Robert Nowak. (n.d.). *Digital Image Processing Basics*. Retrieved from <http://cnx.org/content/m10973/2.2>.
- software test technique. <http://www.slideshare.net/Softwarecentral/software-test-technique>.
- software test technique. <http://www.springerlink.com/index/t14421u508822507.pdf>
- Sourav Banerjee. (n.d.). *Image Comparison in C#*. Retrieved from <http://www.dotnetspider.com/resources/19811-Image-Compare-C.aspx>.

Taylor, J. (1997). *Introduction to error analysis, the study of uncertainties in physical measurements* (2nd ed.). NY: University Science Books.

Taylor, J. (1999). *An Introduction to Error Analysis the Study of Uncertainties in Physical Measurements*. NY: University Science Books.

Wikipedia. (n.d.). *Principal component analysis*. Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis

Wong, K. M., Cheung, C. H., & Po, L. M. (2002, September). Merged-color histogram for color image retrieval. In *Proceedings. International Conference on Image Processing* (Vol. 3, pp. 949–952). IEEE.

Wu, X. (1991). Efficient statistical computations for optimal color quantization. In *Graphics Gems II* (pp. 126–133). Morgan Kaufmann.