การค้นคืนข้อมูลพระเครื่องจากภาพดิจิทัล โดยเทคนิคการสกัดคุณลักษณะและวิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด

Buddha Amulet Information Retrieval using Digital Images Combined with Feature Extraction and K-nearest Neighbor Techniques

ปฐมพล ฟักทอง (Patompon Fugthong)* และ พยุง มีสัจ (Phayung Meesad)*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการค้นคืนข้อมูลพระเครื่องจากภาพดิจิทัลโดยใช้เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้สุดมีวิธีการคือ นำภาพพระเครื่องแม่แบบ และภาพทดสอบจากกล้องดิจิทัลที่ถ่ายภาพในสภาวะควบคุม อาทิเช่น การควบคุมระยะห่างระหว่างกล้องถ่ายภาพ ชิ้นพระเครื่อง ความเข้มของแสงในการถ่ายภาพ และพื้นหลังของวัตถุ เป็นต้น งานวิจัยนี้เน้นการค้นคืนข้อมูลพระเครื่องแบบเนื้อผง คุณสมบัติที่ใช้ในการสกัดข้อมูลภาพ ใช้การวิเคราะห์โครงร่างพื้นผิวภาพด้วยเมทริกซ์ระดับเทา (Gray-Level Co-Occurrence Matrices : GLCM) โดยเก็บค่าการคำนวณทางสถิติจากการวิเคราะห์โครงร่างพื้นผิวภาพ 10 รูปแบบ และทำการทดสอบระบบโดยใช้แบบพระเครื่องชนิดเนื้อผงทั้งหมด 44 แบบ มีภาพทั้งสิ้น 1,400 ภาพ แบ่งเป็นข้อมูลภาพต้นแบบ จำนวน 880 ภาพ ข้อมูลภาพทดสอบเป็นภาพที่ระบบได้รู้จำแล้ว จำนวน 440 ภาพ ภาพที่ระบบยังไม่ได้รู้จำ จำนวน 440 ภาพ ผลของการประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำ (Precision) ของระบบ เท่ากับ 98.87% สำหรับภาพที่ไม่ได้รับการรู้จำ

คำสำคัญ: สกัดคุณลักษณะ วิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด วิเคราะห์โครงร่างของภาพ เมทริกซ์ระดับเทา พระเครื่อง

Abstract

The purpose of this research is to develop an information retrieval system to aid the identification of Buddha amulets. The information will be processed based on the K-nearest neighborhood technique which will identify each type of small or large Buddha amulet from a database. The texture analysis technique was applied in order to extract 10 features from images taken with a digital camera in the retrieval process. Moreover, a white paper background was used in each picture to insure a high standard of resolution, as most amulets are made from soil it is necessary to photograph them at close range. The study used the characteristics of Buddha amulets to design the classification algorithms, which consisted of ten feature extractions with texture analysis from Gray-Tone Spatial-Dependence Matrices or (Gray-Level Co-Occurrence Matrices: GLCM) to find the statistical texture measure. The experiments were conducted on more than 1,400 images from 40 different kinds of small Buddha amulets. The training data set was at around 880 Buddha amulet images. The system was tested using 440 images from the training data set and 440 images from the non-training data set. The result of these experimental tests yielded precision at 98.87% from the un-train test set. In conclusion, this developed system achieved all goals successfully.

Keyword: Feature Extraction, K-nearest neighborhood, GLCM, Texture Analysis, Buddha amulet.

* *ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

1. บทนำ

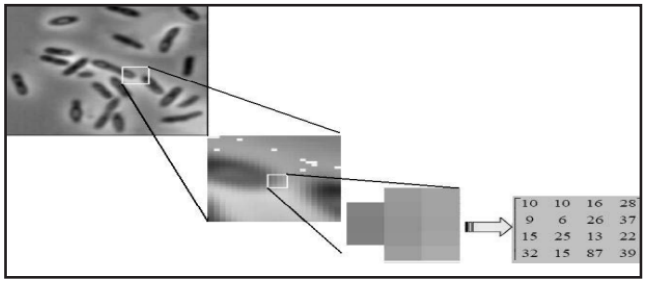
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พระเครื่องรางของขลัง หรือเรียกสั้นๆ ว่า พระเครื่อง เป็นวัตถุขนาดเล็กที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ และมีรูปแบบเฉพาะทางพุทธศิลป์ การจำแนกชนิดของพระเครื่อง ส่วนใหญ่ใช้การสังเกตเนื้อมวลสาร พุทธศิลป์ในองค์พระตามประสบการณ์ที่เคยพบเห็นพระเครื่องชนิดนั้น ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศมีส่วนช่วยในการสืบค้นสิ่งต่างๆ บนระบบสารสนเทศ โดยใช้คีย์เวิร์ด (Keyword) ผลลัพธ์ที่ได้ มีความแม่นยำหรือไม่แม่นยำ ขึ้นกับการระบุคีย์เวิร์ด กรณีการสืบค้นพระเครื่องถ้าผู้สืบค้นไม่เคยพบเห็นพระเครื่องชนิดนั้นมาก่อน ข้อมูลที่ค้นคืนอาจไม่ถูกต้องตามต้องการ แต่ถูกต้องตามคีย์เวิร์ดที่ระบุไว้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีถูกต้องตรงตามต้องการ ภาพดิจิทัลเป็นแนวทางที่น่าสนใจ และช่วยเพิ่มความแม่นยำ รวมไปถึงความถูกต้องมากขึ้น โดยการค้นหาข้อมูลจากภาพดิจิทัลใช้การหาลักษณะเด่นหรือโครงร่างบนพื้นผิวภาพเป็นวิธีในการรู้จำรูปแบบ เทคนิคการสกัดคุณลักษณะของภาพมีวิธีที่หลากหลาย ภาพพระเครื่องชนิดพระผงเป็นภาพที่มีลักษณะทางพื้นผิวที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างด้านกายภาพ เหมาะกับการสกัดค่าโครงร่างทางพื้นผิวของภาพ โดยอาศัยวิเคราะห์เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระดับสีเทาซ้ำๆ ในโครงร่างของภาพ (GLCM: Gray-Level Co-Occurrence Matrices)

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการค้นคืนข้อมูลพระเครื่องด้วยภาพด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โครงร่างของภาพ (Texture Analysis) เพื่อนำภาพดิจิทัลมาวิเคราะห์แบบข้อมูลเชิงเนื้อหา (Texture) โดยการวิเคราะห์โครงร่างของภาพจากเมทริกซ์ค่าระดับสีเทา ที่เรียกว่า Gray-Tone Spatial-Dependence Matrices หรือ (Gray-Level Co-Occurrence Matrices : GLCM) พิจารณาจากการเกิดค่าระดับเทาซ้ำๆ กันในโครงร่างของภาพนำมาคำนวณหาค่าสถิติลำดับที่ 2 และนำคุณลักษณะบางประการใช้เก็บค่าลักษณะโครงร่างของพื้นผิวภาพเพื่อจำแนก และค้นคืนข้อมูลของภาพด้วยเทคนิคเพื่อนบ้านใกล้สุด (K-Nearest neighborhood)

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยเกี่ยวกับการจำแนกหรือรู้จำพระเครื่องจากภาพยังมีน้อยมากแต่สามารถประยุกต์วิธีการจำแนกวัตถุใดๆ จากภาพที่มีการนำเสนองานวิจัยโดยใช้เทคนิคต่างๆ ผสมกันเพื่อให้การจำแนกวัตถุจากภาพนั้นมีความแม่นยำมากขึ้น วัตถุที่นิยมนำมาทดสอบการจำแนกจากภาพ คือ เหรียญชนิดต่างๆ สาเหตุเป็นเพราะเหรียญใช้เพื่อซื้อสิ่งของตามตู้จำหน่ายสินค้าอัตโนมัติต่างๆ อย่างแพร่หลาย และมีตัวอย่างการทดลองอื่นๆ อีก เช่น การจำแนกใบไม้ [1] หรือการจำแนกเม็ดยา [2] เป็นต้น ขั้นตอนการจำแนกแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ การสกัดคุณลักษณะจากภาพ และนำมาเก็บไว้เป็นข้อมูลต้นแบบ เพื่อนำมาสู่การจำแนกหรือรู้จำวัตถุโดยใช้วิธีการต่างๆ ก่อนที่จะเข้าสู่การสกัดคุณลักษณะจากภาพสิ่งที่จำเป็นที่สุด คือ การลดขนาดของข้อมูลภาพลง ด้วยการแปลงข้อมูลจากภาพสีให้เป็นภาพโทนสีเทา (Grayscale) เพราะ ภาพสีประกอบด้วย จุดภาพ (pixel) มาเรียงต่อกันเป็นภาพ ในระบบสี RGB ประกอบด้วยเมทริกซ์ขนาด 2D ซ้อนกันจำนวน 3 เมทริกซ์ ซึ่งแสดงค่าความเข้มของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินอย่างละ 8 บิต รวม 24 บิต ซึ่งมีขนาดใหญ่ จึงย่อให้เป็นภาพโทนสีเทาซึ่งมีระดับสี คือ 0-255 (8 บิต) [3] ทำให้สามารถย่อขนาดของข้อมูลลงได้มาก

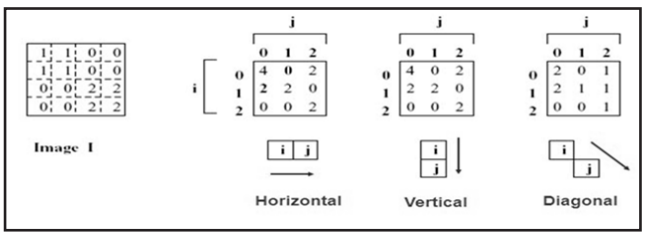


ภาพที่ 1 *ลักษณะค่าในแต่ละจุดภาพของภาพระดับสีเทา*

2.1 การสกัดคุณลักษณะจากภาพ

เป็นวิธีสำหรับหาจุดเด่นของภาพเพื่อนำมาเป็นตัวแทนของภาพโดยการแปลความข้อมูลภาพ ของมนุษย์ในการวิเคราะห์ภาพสี (Color Image) ใช้ข้อมูล 3 ประเภท ได้แก่ 1) ข้อมูลเชิงความถี่ (Spectral) คือ ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงโทนสี (Tone) ในช่วงความถี่ต่างๆ 2) ข้อมูลเชิงพื้นผิว (Textural) คือ การกระจายเชิงพื้นที่การเปลี่ยนแปลงโทนสีภายในช่วงความถี่ 3) ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Contextual) คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ ซึ่งความแตกต่างระหว่างข้อมูลเชิงความถี่โทนสี และข้อมูลเชิงพื้นผิวโทนสี คือ ข้อมูลเชิงความถี่เน้นหาค่าสีเทาของจุดภาพ ส่วนข้อมูลเชิงพื้นผิวเน้นการกระจายของโทนสีเทาทั้งภาพ [4] วิธีการ

หาค่าลักษณะเด่นมีหลากหลาย เช่น การหาขอบภาพ และตัดขอบภาพ (Edge Detection) ใช้เพื่อหาขอบวัตถุ และลวดลายบนภาพข้อดี คือ สามารถเห็นความแตกต่างของวัตถุได้ดีใช้กันมากในกลุ่มตัวอย่างที่รูปทรงแตกต่างกัน และรายละเอียดบนวัตถุมีน้อย ข้อเสีย คือ การหาค่าตรวจสอบ (Threshold) ให้มีประสิทธิภาพทำได้ยาก และขึ้นอยู่กับความละเอียดลายบนวัตถุ [5], [6] การใช้เทคนิค Unwrap Image เป็นวิธีการลอกลายรูปภาพโดยหาจุดศูนย์กลางจุดหมุน และคลี่ออกเป็นแผ่นเพื่อเก็บค่าคุณลักษณะเหมาะสำหรับวัตถุกลม [7] โดยการใช้ฮีสโตรแกรมกราฟ (Histogram Graph) วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนภาพให้เป็นภาพโทนเทา เพราะใช้การเก็บค่าแม่สี RGB แต่ละจุดยอดมาเป็นค่าคุณลักษณะเฉพาะ [8] การเก็บภาพในแต่ละทิศทางการหมุน (Rotation Invariance) เป็นการเปลี่ยนทิศทางการวางของวัตถุให้ต่างกัน และเก็บค่าคุณลักษณะเฉพาะในแต่ละทิศทางแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบ [6] การหาพื้นที่ภายในวัตถุจากภาพแบบต่าง ๆ เช่น Ripple Feature, Vein Feature เป็นการกำหนดค่าของการตรวจสอบ (Threshold) ที่เหมาะสมในการหาขอบภาพ หรือการตัดขอบภาพแล้วนับจำนวน pixel ในพื้นที่นั้น วิธีนี้เหมาะสำหรับวัตถุที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น ใบไม้ เทคนิคการสกัดคุณลักษณะที่เลือก คือการสกัดคุณลักษณะจากข้อมูลเชิงพื้นผิวภาพ โดยเทคนิควิเคราะห์ภาพด้วยสถิติลำดับที่ 2 ที่เรียกว่า ค่าเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระดับเทา (GLCM:Gray-Level Co-Occurrence Matrices) พิจารณาจากการนับจำนวนคู่จุดภาพ (k, l) และ (m, n) ที่อยู่ใกล้กัน (Neighboring Cells) มาสร้างเมทริกซ์จำนวนความสัมพันธ์ (Count Matrix) สามารถพิจารณาได้ 4 ระดับคือแนวนอน (Horizontal) ที่ 0° ระดับแนวตั้ง (Vertical) ที่ 90° หรือแนวทแยงมุม (Diagonal) ที่ 45° และ135°ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 *นับจำนวนคู่จุดภาพแนวตั้งและแนวนอน*

เมื่อได้เมทริกซ์จำนวนความสัมพันธ์ นำมาทำเป็นเมทริกซ์สมมาตร (Symmetrical matrix) จากนั้นนำมารวมกับเมทริกซ์จำนวนความสัมพันธ์เดิม เมื่อได้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ใหม่แล้วทำการแปลงให้เป็นเมทริกซ์ความน่าจะเป็น (Probability Matrix) จากสมการที่ (1) โดยที่ เป็นเมทริกซ์ความสัมพันธ์

$$P(m,n) = \frac{1}{All_pair_of_pixel_used} C_d(m,m) \quad (1)$$

เมื่อได้ค่าความเป็นไปได้ของการเกิดความสัมพันธ์ (Co-occurrence) สามารถนำเมทริกซ์ความสัมพันธ์ที่ได้สร้างค่าวัดเนื้อภาพได้เช่น Autocorrelation, Dissimilarity, Correlation, Entropy, Sum Entropy, Difference Entropy, Information measure of correlation, Sum Variance, Cluster Shade, Homogeneity

2.2 เทคนิคการจำแนกและการรู้จำ

การจำแนกและการรู้จำนั้น เป็นการนำค่าคุณลักษณะเฉพาะที่หาด้วยวิธีต่าง ๆมาเป็นข้อมูลเรียนรู้ (Training Data) เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของการจำแนกโดยส่วนมากจะเป็นเทคนิควิธีการที่ใช้การหาระยะห่างของข้อมูลเปรียบเทียบความใกล้เคียงกัน โดยมีเทคนิคให้เลือกตามความเหมาะสมของกลุ่มตัวอย่าง คือ K-Nearest Neighborhood เป็นวิธีการจำแนกแบบ Non Parametric estimation มีประสิทธิภาพดี สำหรับข้อมูลที่มีการกระจัดกระจายมาก มีขั้นตอน คือ กำหนดขนาดขอบเขตของ K โดยคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลที่ต้องการพิจารณากับข้อมูลตัวอย่างเรียงลำดับของระยะห่าง และเลือกพิจารณาชุดข้อมูลที่ใกล้จุดที่ต้องการวิธีนี้เหมาะกับข้อมูลอินพุตที่มาก [1] ในวิธีการที่ใช้การหาระยะห่างของข้อมูลอีกวิธีหนึ่ง คือ Eigenspace Approach โดยใช้หลักการ Euclidean Distance ในการเปรียบเทียบระยะทาง [9] ในการใช้ Vector Space Model เป็นอีกวิธีหนึ่งในการหาระยะห่างโดยการใช้ Fourier Coefficients [5] การใช้หลักทางสถิติ (Statistical Approach) มาใช้เทียบเคียงกับค่าคุณลักษณะเฉพาะที่มีอยู่ [8] การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ (Neural Network) ใช้มากในงานวิจัยเกี่ยวกับเหรียญที่มีกลุ่มคำตอบ (Target) ที่ไม่มากเกินไป [10], [11], [12]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้อง

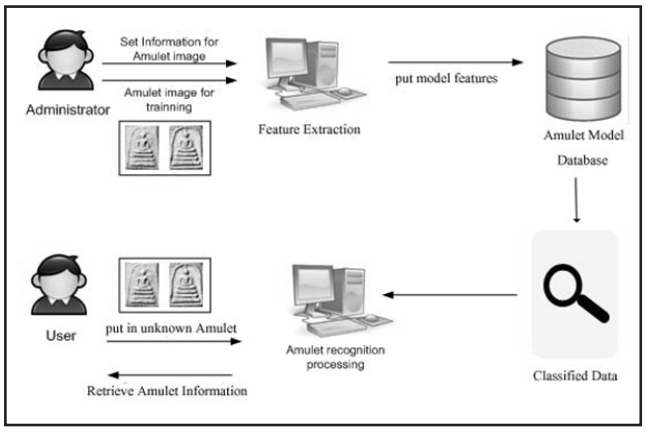
ปัญหาที่พบในการค้นคืนข้อมูลข้อมูลพระเครื่อง คือการใช้คีย์เวิร์ดตัวอักษร ผู้สืบค้นต้องรู้คำสำคัญเกี่ยวกับพระเครื่องจึงระบุคำค้นที่ต้องการได้ สำหรับผู้ที่ไม่มีคำค้นที่ตรงกับพระเครื่อง เมื่อสืบค้นโดยระบบสารสนเทศในการค้นคืนทำให้ยากต่อการสืบค้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้เสนอการค้นคืนข้อมูลพระเครื่องด้วยภาพดิจิทัลโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการสกัดคุณลักษณะแบบวิเคราะห์โครงร่างเชิงพื้นผิวของภาพและวิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด เพื่อค้นคืนข้อมูลพระเครื่องให้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

3.2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบงาน

3.2.1 ภาพรวมของระบบ

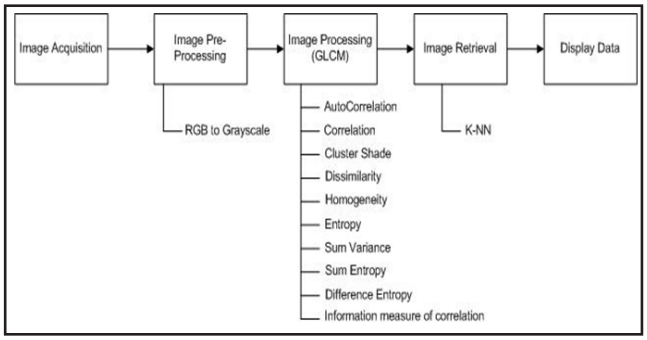
ทำการเก็บรวบรวมภาพพระเครื่องที่มีไว้ในคอมพิวเตอร์จากนั้นทำการสกัดคุณลักษณะจากภาพด้วยการวิเคราะห์โครงร่างเชิงพื้นผิว 10 แบบ จากนั้นทำการค้นหาข้อมูลภาพ เพื่อระบุภาพและข้อมูลพระเครื่องที่ถูกต้องพร้อมแสดงผลทางจอภาพดังภาพที่ 3



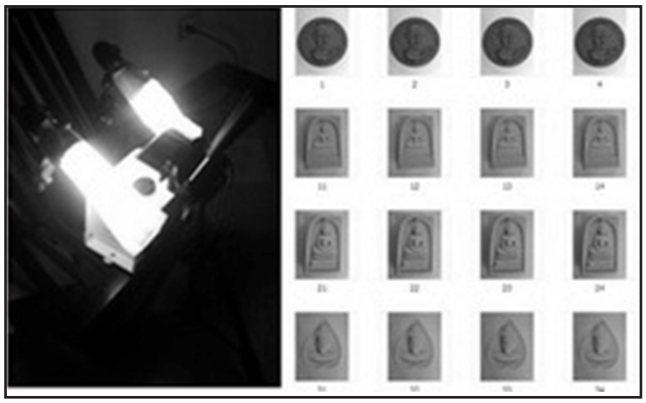
ภาพที่ 3 *แนวคิดในการออกแบบภาพรวม*

การออกแบบระบบ ระบบประกอบด้วย 5 ส่วนคือ 1) การนำภาพเข้าสู่ระบบ 2) การปรับแต่งภาพก่อนการประมวลผล 3) การประมวลผลภาพ 4) การค้นคืนข้อมูลภาพ 5) การแสดงผลข้อมูลพระเครื่องตามภาพที่ 4

ขั้นตอนที่ 1 นำภาพพระเครื่องเข้าในระบบจากกล้องดิจิทัลที่ถ่ายในสถานที่ควบคุมแสงและระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 *แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบ*



ภาพที่ 5 *การเก็บข้อมูลภาพถ่ายพระเครื่อง*

ขั้นตอนที่ 2 ทำการแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale) เพื่อลดขนาดมิติของข้อมูลโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ (2) [7]

$$\text{Gray} = 0.299 \times \text{R} + 0.587 \times \text{G} + 0.114 \times \text{B} \qquad (2)$$

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าคุณลักษณะโครงร่างเชิงพื้นผิวจากค่าสถิติลำดับที่ 2 ใช้ค่าความน่าจะเป็นที่ได้จาก Co-Occurrence Matrix มาคำนวนหาค่าสถิติดังสมการที่ 3 ถึงสมการที่ 12

โดยที่ i, j แสดงถึงค่าระดับสีเทา n เป็นจำนวนของระดับ

$$\text{Entropy} = -\sum_i \sum_j p(i,j) \log(p(i,j)) \qquad (3)$$

$$\text{Autocorrelation} = \frac{\sum_{u=0}^{n}\sum_{v=0}^{n} I(u,v)I(u+x,v+y)}{\sum_{u=0}^{n}\sum_{v=0}^{n} I^2(u,v)} \qquad (4)$$

$$\text{Correlation} = \frac{\sum_i \sum_j (ij) p(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \qquad (5)$$

$$Cluster\ Shade = \sum_{i=0}^{G-1}\sum_{j=0}^{G-1}\{i+j-\mu_x-\mu_y\}^3 \times p(i,j) \quad (6)$$

$$\text{Dissimilarity} = \sum_{ij=1}^{n} p_d|i-j| \quad (7)$$

$$\text{Homogeneity} = \sum_{ij=1}^{n} \frac{p_d}{1+|i-j|} \quad (8)$$

$$\text{Dissimilarity} = \sum_{i=2}^{2ng}(i-f8)^2 p_{x+y}(i) \quad (9)$$

$$\text{Sum entropy} = -\sum_{i=2}^{2ng} p_{x+y}(i)\log\{p_{x+y}(i)\} \quad (10)$$

$$\text{Difference entropy} = -\sum_{i=0}^{n_g-1} p_{x-y}(i)\log\{p_{x-y}(i)\} \quad (11)$$

สีเทาบนภาพเป็นความน่าจะเป็นของพิกเซลตำแหน่งแถวที่ *i* หลักที่ *j* ในแต่ละภาพ เป็นค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากเมทริกซ์ GLCM และเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในเมทริกซ์ GLCM เมื่อหาค่าที่ได้จากการวิเคราะโครงร่างเชิงพื้นผิวทั้ง 10 แบบแล้ว จะนำ 2 ค่าคือค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในแต่ละแบบเก็บเป็นชุดข้อมูลแม่แบบ (Data Set)

ขั้นตอนที่ 4 การจำแนกพระเครื่องโดยใช้เทคนิควิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด (K-Nearest Neighborhood) โดยหาค่า Euclidean Distance โดยใช้สมการที่ (12)

$$wpSim(a_s,b) = \max(wSim(a_s,b_1),..., wSim(a_s,b_n)) \quad (12)$$

ระหว่างค่าคุณลักษณะ 10 แบบของข้อมูลต้นแบบกับค่าคุณลักษณะ 10 แบบของชุดข้อมูลทดสอบ กำหนดค่า K = 3 ซึ่งเป็นค่าขอบเขตความใกล้เคียงข้อมูล 3 ค่าแล้วโหวตคลาสที่ใกล้เคียงที่สุดตามลำดับความห่าง

3.3 เครื่องมือที่ใช้การพัฒนาระบบ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ในส่วนของการสกัดคุณลักษณะพิเศษจากภาพด้วยการวิเคราะห์โครงร่างพื้นผิวภาพ และการทดสอบการค้นคืนข้อมูลพระเครื่องจากภาพ ด้วยเทคนิคของการค้นคืนข้อมูลแบบวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbourhood) ด้วยโปรแกรม Matlab R2012a และระบบจัดการฐานข้อมูลใช้โปรแกรม Microsoft SQL Server 2008 R2 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลภาพพระเครื่อง และค่าการวิเคราะห์โครงร่างทางพื้นผิวภาพทั้ง 10 แบบ

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบงาน

การค้นคืนข้อมูลพระเครื่องด้วยรูปภาพด้วยเทคนิคการสกัดคุณลักษณะและวิธีเพื่อนบ้านใกล้สุด การทดสอบประสิทธิภาพของระบบงาน โดยวัดค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำ (Precision)

4. ผลการทดลอง

การทดลองใช้ข้อมูลพระเครื่องจำนวน 44 แบบมีจำนวนภาพต้นแบบ 20 ภาพ ต่อ 1 แบบพระ และมีชุดภาพทดสอบที่ถ่ายในสภาพแวดล้อมเดียวกันกับภาพแม่แบบ (Non-Training Data) 10 ภาพ รวมทั้งสิ้นมากกว่า 1,400 ภาพ และภาพที่ใช้มีขนาด 320x427 pixel นามสกุลเป็นแบบ .jpg และใช้ค่าการวิเคราะห์โครงร่างเชิงพื้นผิว 10 วิธี คือ Autocorrelation, Correlation, Information measure of correlation, Entropy, Dissimilarity, Homogeneity, Cluster Shade, Sum Entro-py, Sum Variance, Difference Entropy โดยผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 1

5. สรุปผลการทดลอง

การค้นคืนข้อมูลโดยนำเอาเทคนิคการสกัดคุณลักษณะแบบวิเคราะห์โครงร่างเชิงพื้นผิวภาพมาใช้ในการสกัดหาค่าสถิติลำดับที่ 2 เพื่อใช้เป็นคุณลักษณะพิเศษเฉพาะภาพ และใช้การจำแนกข้อมูลแบบเพื่อนบ้านใกล้สุดในการจำแนกภาพพระเครื่องเพื่อสืบค้นข้อมูลพระเครื่องจากการวิจัยพบว่าในการใช้การวิเคราะห์โครงร่างเชิงพื้นผิวภาพจำนวน 10 แบบทำให้การค้นคืนได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 98.87% อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจำแนกพระเครื่องยังมีน้อยและจำนวนแบบและรุ่นของพระเครื่องมีมากจึงต้องใช้เวลาในเก็บข้อมูลพระเครื่องและอาจใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะแบบพื้นผิวร่วมกับวิธีการอื่นๆ อาจทำให้การค้นคืนมีความแม่นยำขึ้นและแก้ไขข้อจำกัดในการควบคุมสภาวะของแสงกับระยะห่างที่มีผลต่อความแม่นยำของการค้นคืนด้วย

ตารางที่ 1 *ผลการทดสอบ*

ชื่อพระเครื่อง	จำนวนภาพ	ค้นหาถูกต้อง	ค้นหาไม่ถูกต้อง
พระเทพวิสุทธิโสภณ	10	10	0
หลวงพ่อองค์แสน	10	9	1
พระไพรีพินาศ	10	10	0
หลวงพ่อคูณ ปริสุทโธ	10	10	0
พระสมเด็จ	10	10	0
พระพุทธชินสีห์	10	10	0
พระสมเด็จนางพญา	10	10	0
สมเด็จพระสมณโคดม	10	10	0
พระนางพญาเข่าโค้ง	10	10	0
พระสมเด็จ	10	10	0
พระมหาบัว-หลวงพ่อเชิด	10	10	0
หลวงพ่อพระกาพ	10	10	0
พระพุทธโธคลัง	10	10	0
พระไพรีพินาศ	10	10	0
สมเด็จพุฒาจารย์ โต	10	10	0
พระสมเด็จ	10	10	0
พระแม่ย่าเมืองสุโขทัย	10	10	0
หลวงพ่อทวด	10	10	0
พระพิฆเนศวร	10	10	0
พระเทพวิสุทธิญาณ	10	10	0
พระสมเด็จพุฒาจารย์	10	10	0
พระพุทธนวมินทรมหาจักรี	10	10	0
หลวงพ่อคูณ ปริสุทโธ	10	10	0
พระสมเด็จ	10	9	1
พระพุทธสิริกิติ์ทีฆายุมงคล	10	10	0
พระสมเด็จ	10	10	0
พระปิดตาหลวงปู่โต๊ะ	10	10	0
พระสมเด็จ	10	10	0
พระสมเด็จ	10	9	1
หลวงพ่อหมอ	10	10	0
พระเนื้อผงสังฆจาย	10	9	1
หลวงพ่อทวด	10	10	0
หลวงพ่อเขียว	10	10	0
พระพุทธชยันตี	10	10	0

ตารางที่ 1 *ผลการทดสอบ*

ชื่อพระเครื่อง	จำนวนภาพ	ค้นหาถูกต้อง	ค้นหาไม่ถูกต้อง
หลวงปู่แดง อิมโล	10	10	0
หลวงพ่อยิด	10	10	0
หลวงพ่อทวด	10	10	0
หลวงพ่อบ้านแหลม	10	9	1
หลวงพ่อพุทธโสธร	10	10	0
หลวงพ่อเปิ่น	10	10	0
พระปิดตามหาลาภ	10	10	0
สมเด็จพระพุทธเจ้าเมตตา	10	10	0
รวม	**440**	**455**	**5**

6. เอกสารอ้างอิง

[1] C. Pornpanomchai, S. Rimdusit, P. Tanasap and C. Chaiyod. "Thai Herb Leaf Image Recognition System (THLIRS)." *Nat. Sci*., pp. 551-562, 2005.

[2] จารวี ฉันทสิทธิพร. *การจำแนกชนิดยาเม็ดจากภาพถ่ายโดยใช้เทคนิคเครือข่ายใยประสาท*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548.

[3] ณัฐนันท์ ปรัชญาธิวัฒน์. *การตรวจจับ ติดตาม และการแทรกภาพโฆษณาบนลำดับภาพกีฬาฟุตบอล*. โครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

[4] S. Selvarajah and S.R. Kodituwakku. "Analysis and Comparison of Texture Features for Content Based Image Retrieval." *International Journal of Latest Trends in Computing*, Vol. 2, Issue 1, pp. 108-113, March, 2011.

[5] P. Chomtip. "Buddhist Amulet Recognition System (BARS)." *Second International Conference on Computer and Network Technology*, *IEEE*, pp. 495-499, 2009.

[6] P.Thumwarin, S.Malila, P.Janthawong and W.Pibulwej. "A Robust Coin Recognition Method with Rotation Invariance." *International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings*, *IEEE*, pp. 520-523, 2006.

[7] C.Huahua. "Chinese Coin Recognition Based on Unwrapped Image and Rotation Invariant Template Matching." *Third International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, pp. 5-7, 2010.

[8] R.Hussein and Al-Zoubi. "Efficient Coin Recognition Using a Statistical Approach." *IEEE.*, 2010.

[9] H.Reinhold Huber. "Classification of coins using an eigenspace approach." *Advanced Computer Vision GmbH – ACV.*, Elsevier B.V., Pattern Recognition Letters 26 , pp. 61–75, 2005.

[10] F.Minoru. "Rotation-Invariant Neural Pattern Recognition System with Application to Coin Recognition." *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol. 3, No. 2, pp. 272-279, March, 1992.

[11] M.Shatrughan. "Automated Coin Recognition System using ANN." *International Journal of Computer Applications*, pp. 13-18, July, 2011.

[12] R. Bremananth, B. Balaji, M. Sankari and A. Chitra. "A New Approach to Coin Recognition using Neural Pattern Analysis." *Indicon 2005 Conference*, *IEEE*, pp. 366-370, Dec, 2005.