



การพัฒนาระบบค้นคืนภาพแบบกระจายร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลานเ  
**Distributed Image Retrieval System with Delaunay Triangulation Technique**

ณัฐพล แก้วปหนอง

**Natthapol Kaewpontong**

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณทิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Engineering in Computer Engineering**

**Prince of Songkla University**

**2559**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การพัฒนาระบบค้นคืนภาพแบบกระจายร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน่  
ผู้เขียน                นายณัฐพล แก้วปันทอง  
สาขาวิชา              วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

(ดร.สมชาย หลิมศิริโรรัตน์)

.....ประธานกรรมการ

(ดร.อนันต์ ชกสุริวงศ์)

.....กรรมการ

(ดร.สมชาย หลิมศิริโรรัตน์)

.....กรรมการ

(ดร.เดือนเพ็ญ กชกรจารุพงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้  
สำหรับการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
คอมพิวเตอร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ดร.สมชัย หลิมศิริรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายณัฐพล แก้วปนทอง)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายณัฐพล แก้วปันทอง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบค้นคืนภาพแบบกระจายร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดลานู
ผู้เขียน	นายณัฐพล แก้วปันทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการค้นคืนภาพเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลอันเนื่องมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในอนาคต ซึ่งใช้ระบบการประมวลผลแบบกระจาย (Distributed System) ไว้รองรับการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดลานู (Delaunay Triangulation) มาใช้เป็นโครงข่ายเพื่อจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของภาพ เนื่องจากสามเหลี่ยมเดลานูมีคุณสมบัติพิเศษในการจัดกลุ่มที่สามารถลดความซับซ้อนของข้อมูลได้ โดยออกแบบให้มีการใช้สามเหลี่ยมเดลานูหลาย ๆ ชั้นสำหรับจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษต่าง ๆ

การทดสอบประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลของระบบ โดยสกัดคุณลักษณะพิเศษของสีในระบบสีแบบ RGB มาจัดเก็บในโครงข่ายสามเหลี่ยมเดลานู 3 มิติ แบบ 2 ชั้น ผลการทดลองพบว่าให้ประสิทธิภาพความถูกต้องในการจับคู่ภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้เวลาโดยรวมในการประมวลผลลดลงไป 99.13 เปอร์เซ็นต์ และใช้หน่วยความจำในการประมวลผลลดลงไป 90.52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สามเหลี่ยมเดลานู 6 มิติ เพียงชั้นเดียว และยังพบอีกว่าเมื่อนำขั้นตอนดังกล่าวไปประมวลผลแบบกระจายทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้กับงานอื่น ๆ ได้

คำสำคัญ            การค้นคืนภาพ สามเหลี่ยมเดลานู การจับคู่ภาพ การประมวลผลแบบกระจาย

<b>Thesis Title</b>	Distributed Image Retrieval System with Delaunay Triangulation Technique
<b>Author</b>	Mr. Natthapol Kaewpontong
<b>Major Program</b>	Computer Engineering
<b>Academic Year</b>	2015

### **ABSTRACT**

This thesis aims to design and develop the infrastructure for image retrieval system to handle the increase of digital images due to technological advances in the future. The system uses distributed processing system to support the storage and processing of big data by using Delaunay Triangulation technique to store feature vector of images, Because Delaunay Triangulation has special features for clustering that simplify the data by design the multiple Delaunay Triangulation for various features vector.

The performance testing of data processing system is tested by extracted features of color in RGB space for storage with double layers' 3D Delaunay triangulation. The results showed the efficiency, accuracy in image matching 100%, the time overall process decreased 99.13% and memory usage decreased 90.52% to compare with single layer 6D Delaunay Triangulation. Using this approach on distributed processing system is more efficient. It can lead to further development in other applications.

**Keywords:** Image Retrieval, Delaunay Triangulation, Image Matching, Distributed Processing

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.สมชัย หลิมศิริโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนและฝึกฝนการทำวิจัย ตลอดจนขัดเกลากระบวนการคิด ทั้งยังให้กำลังใจและเอาใจใส่เป็นอย่างมาก กระตุ้นให้ผู้วิจัยได้มีความมุ่งมั่นในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเรื่อยมา รวมทั้งช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.อนันต์ ชกสูริวงค์ ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทั้งยังเป็นกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยและตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.เดือนเพ็ญ กชกรจารุพงศ์ ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยรวมถึงตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาสนับสนุน “ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์” แก่ผู้วิจัยระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2554

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ที่ขาดไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้า ครอบครัวเพื่อน ๆ ที่สนับสนุนและเป็นกำลังในการศึกษาด้วยดีเสมอมา รวมทั้งเป็นกำลังใจและเป็นแรงบันดาลใจ จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ หากวิทยานิพนธ์นี้มีความดีอันใด ผู้วิจัยขอให้ปกตเวทิตาแต่บิดา มารดา และบูรพาจารย์ทุกท่าน แต่ถ้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอนอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ณัฐพล แก้วปนทอง

## สารบัญ

## หน้า

สารบัญ .....	(8)
รายการตาราง .....	(10)
รายการภาพประกอบ .....	(11)
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ .....	4
2.1 แนวคิดพื้นฐานในการค้นคืนภาพ .....	4
2.1.1 การค้นคืนภาพด้วยพื้นฐานทางตัวอักษร .....	4
2.1.2 การค้นคืนภาพด้วยเนื้อหาของภาพ .....	4
2.2 เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาเน่ .....	8
2.3 การประมวลผลข้อมูลแบบกระจาย .....	11
2.4 MapReduce .....	12
2.5 สรุปทฤษฎีและหลักการ.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	16
3.1 ภาพโดยรวมวิธีดำเนินการวิจัย .....	16
3.2 เครื่องมือที่ใช้ .....	17
3.2.1 โปรแกรมที่ใช้ทำงาน .....	17
3.2.2 เครื่องที่ใช้ในการประมวลผล .....	17
3.3 การจับคู่ภาพ.....	17
3.3.1 แนวทางการทดลอง .....	17
3.3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	18



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การทดลองการประมวลผลแบบกระจาย.....	31
3.3.1 แนวทางการทดลอง .....	31
3.3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	34
4.1 ผลการทดลองการจับคู่ภาพ .....	34
4.1.1 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลานเหลายมิติ.....	34
4.1.2 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลานเมิติขนาดกลางหลาย ๆ ชั้น .....	46
4.1.3 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลานเ 3 มิติหลายชั้นแบบกระจาย .....	50
4.2 ผลการทดลองการประมวลผลแบบกระจาย .....	51
4.2.1 ผลการทดลองการประมวลผลแบบกระจายที่จำนวนเครื่องแตกต่างกัน .....	51
4.2.2 ผลการทดลองการประมวลผลแบบกระจาย โดยปรับปรุงขั้นตอน MapReduce .....	52
4.3 สรุป.....	54
บทที่ 5 บทสรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ .....	55
5.1 บทสรุป .....	55
5.2 อภิปรายผล .....	56
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	57
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก .....	59
ภาคผนวก ก Natthapol Kaewpontong and Somchai Limsiroratana. 2016. "Image matching with multi medium Delaunay triangulation." <i>KKU ENGINEERING JOURNAL</i> 43 (3).....	65
ประวัติผู้เขียน .....	72

## รายการตาราง

หน้า

ตารางที่	4.1 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ .....	3
ตารางที่	4.2 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 6 มิติ .....	37
ตารางที่	4.3 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 9 มิติ .....	40
ตารางที่	4.4 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ .....	42
ตารางที่	4.5 ผลการค้นคืนภาพที่จำนวน 64 ภาพของสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายมิติ .....	45
ตารางที่	4.6 เวลาและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายชั้น .....	47
ตารางที่	4.7 ผลการค้นคืนภาพที่จำนวน 1,000 ภาพของสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติหลายชั้น .....	49
ตารางที่	4.8 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติหลายชั้นแบบกระจาย .....	50
ตารางที่	4.9 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ .....	51
ตารางที่	4.10 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลของ MapReduce แบบเก่าและแบบที่ปรับปรุง .....	52

## รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างระบบการค้นคืนภาพด้วยเนื้อหาของภาพ .....	6
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของสี .....	7
ภาพที่ 2.3 ลักษณะของรูปร่าง.....	7
ภาพที่ 2.4 ลักษณะของพื้นผิว .....	8
ภาพที่ 2.5 ลักษณะสี RGB .....	8
ภาพที่ 2.6 แผนผังไวโรนอย .....	9
ภาพที่ 2.7 สามเหลี่ยมเคอแลนบนแผนผังไวโรนอย .....	10
ภาพที่ 2.8 องค์ประกอบของสามเหลี่ยมเคอแลน .....	10
ภาพที่ 2.9 คุณลักษณะพิเศษ Empty Circumcircle.....	11
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างสามเหลี่ยมเคอแลนที่สร้างด้วย Qhull Library.....	12
ภาพที่ 2.11 กระแสข้อมูลของ MapReduce .....	14
ภาพที่ 2.12 การทำงานของ MapReduce ที่แบ่งงานออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ .....	14
ภาพที่ 2.13 MapReduce ที่ดำเนินการกับ JobTacker และ TaskTracker .....	15
ภาพที่ 2.14 ขั้นตอนการอ่านไฟล์จาก HDFS .....	15
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของงานวิจัย .....	18
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเคอแลนหลายมิติ .....	20
ภาพที่ 3.3 ข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเคอแลนหลายมิติ .....	21
ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเคอแลน 3 มิติ.....	21
ภาพที่ 3.5 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเคอแลน 6 มิติ .....	22
ภาพที่ 3.6 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเคอแลน 9 มิติ .....	22
ภาพที่ 3.7 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเคอแลน 12 มิติ.....	23
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทดลองการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเคอแลนหลายมิติ .....	24
ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างสามเหลี่ยมเคอแลน 2 มิติ (ก) 3 มิติ (ข) และ 2 มิติ หลาย ๆ ชั้น (ค) .....	25
ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการสร้างไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเคอแลนหลายมิติหลายชั้น .....	26
ภาพที่ 3.11 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเคอแลน 3 มิติ 2 ชั้น.....	27
ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเคอแลน 3 มิติ 2 ชั้น.....	27
ภาพที่ 3.13 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเคอแลน 3 มิติ 4 ชั้น.....	28
ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเคอแลน 3 มิติ 4 ชั้น.....	29

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

### หน้า

ภาพที่ 3.15 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 8 ชั้น .....	29
ภาพที่ 3.16 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 16 ชั้น .....	30
ภาพที่ 3.17 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 32 ชั้น .....	30
ภาพที่ 3.18 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 64 ชั้น .....	30
ภาพที่ 3.19 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 128 ชั้น .....	31
ภาพที่ 3.20 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 256 ชั้น .....	31
ภาพที่ 3.21 ขั้นตอนการทดลองจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายมิติหลายชั้นแบบกระจาย ...	32
ภาพที่ 3.22 ขั้นตอนทดลองการประมวลผลแบบกระจายที่จำนวนเครื่องแตกต่างกัน .....	34
ภาพที่ 3.23 ขั้นตอนทดลองการประมวลผลแบบกระจายที่ปรับปรุงใหม่ .....	35
ภาพที่ 4.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ .....	36
ภาพที่ 4.2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ .....	37
ภาพที่ 4.3 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ .....	37
ภาพที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ 6 มิติ .....	39
ภาพที่ 4.5 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 6 มิติ .....	39
ภาพที่ 4.6 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 6 มิติ .....	40
ภาพที่ 4.7 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ 9 มิติ .....	41
ภาพที่ 4.8 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 9 มิติ .....	42
ภาพที่ 4.9 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 9 มิติ .....	42
ภาพที่ 4.10 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ .....	44
ภาพที่ 4.11 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ .....	44
ภาพที่ 4.12 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ .....	45
ภาพที่ 4.13 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มิติแตกต่างกัน .....	46
ภาพที่ 4.14 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มิติแตกต่างกัน .....	46
ภาพที่ 4.15 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มิติแตกต่างกัน .....	47
ภาพที่ 4.16 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายชั้น .....	49
ภาพที่ 4.17 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายชั้น .....	49
ภาพที่ 4.18 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายชั้น .....	50
ภาพที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบผลลัพธ์การประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ .....	53

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

### หน้า

ภาพที่ 4.20 เวลาเฉลี่ยที่ใช้การประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ระหว่าง MapReduce แบบเก่าและแบบที่ปรับปรุงที่ภาพจำนวน 20,000 ภาพ.....	54
ภาพที่ 4.21 เวลาเฉลี่ยที่ใช้การประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ระหว่าง MapReduce แบบเก่าและแบบที่ปรับปรุงที่ภาพจำนวน 200,000 ภาพ.....	55

# บทที่ 1

## บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของการวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในยุคศตวรรษที่ 21 วิวัฒนาการทางเทคโนโลยีได้พัฒนาไปแบบก้าวกระโดด กล่าวได้ว่าการพัฒนาอยู่ทุกวัน โดยเฉพาะในด้านมัลติมีเดีย ไม่ว่าจะเป็นกล้องถ่ายรูป อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ กล้องดิจิทัล รวมไปถึงโทรศัพท์หรือที่เรียกว่าสมาร์ทโฟน ซึ่งทำให้เกิดข้อมูลสื่อผสม(Multi-Media) เพราะอุปกรณ์ต่าง ๆ ล้วนแต่สามารถถ่ายภาพได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาพดิจิทัลสามารถพบได้มากมายทั้งภาพจากกล้องดิจิทัล โทรศัพท์เคลื่อนที่ สแกนเนอร์ อินเทอร์เน็ต เป็นต้น ทำให้ภาพดิจิทัลมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ฐานข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บต้องมีพื้นที่จัดเก็บขนาดใหญ่ตามไปด้วย ภาพเหล่านั้นมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น ในทางการค้า เพื่อตรวจสอบเครื่องหมายทางการค้าที่จดทะเบียน (สาธิต แสงประดิษฐ์, 2546) ในทางการแพทย์ เพื่อนำไปค้นคืนภาพฉายรังสีเอ็กซเรย์สำหรับการวิเคราะห์ วินิจฉัยในผู้ป่วยที่คล้ายกัน (Avni U. et al, 2011) ในทางดาราศาสตร์ ใช้ค้นคืนภาพเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของกาแลกซีต่าง ๆ (Cui Y. et al, 2014) และในทางภูมิศาสตร์ได้ใช้ภาพจากดาวเทียมเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโลกทั้งในด้านภูมิศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ (Espinoza-Molina D. and Detcu M., 2013) เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดความท้าทายทางด้านเทคนิคการค้นคืนภาพของระบบคอมพิวเตอร์ จึงได้มีการประยุกต์นำการค้นคืนภาพไปสร้างระบบเพื่อช่วยในการดำเนินงานระบบค้นคืนภาพ (Image Retrieval System) เริ่มเป็นที่รู้จักมากขึ้น เนื่องจากความต้องการประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลภาพที่มีปริมาณมากในฐานข้อมูล ระบบการค้นคืนภาพในอดีตนั้น จะใช้การค้นคืนภาพด้วยพื้นฐานทางตัวอักษร (Text-Based Image Retrieval, TBIR) โดยใช้ชื่อไฟล์ในการค้นคืนภาพ หรือใช้คำอธิบายเกี่ยวกับภาพนั้น ๆ แต่เนื่องจากภาพแต่ละภาพมีองค์ประกอบหลายอย่างทำให้ผู้ใช้งานแต่ละท่านให้คำนิยามไม่เหมือนกัน และไม่เหมาะสมกับฐานข้อมูลภาพที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้การค้นคืนภาพที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้มีประสิทธิภาพลดลง จึงเป็นข้อจำกัดของระบบค้นคืนภาพและการจัดการฐานข้อมูลแบบเดิม

ปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนาขั้นตอนวิธีการค้นคืนภาพออกมามากมายเช่น การค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิครวมกันของการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform, DWT) และ Local Binary Pattern (LBP) (Mistry Y., Ingole D. and Ingole M., 2016), การค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิค Upper-Lower of Local Binary Pattern (UL-LBP) มาอธิบายคุณลักษณะเฉพาะแบบภาพรวมและใช้ Scale Invariant Feature Transform algorithm (SIFT) มาอธิบายคุณลักษณะเฉพาะส่วนต่าง ๆ ภายในภาพ (Douik A., Abdellaoui M. and Kabbai L., 2016), การค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิค Improving Precision Priority (IPP) (Song J. and He Z., 2015), การค้นคืนภาพจากบริเวณของสีที่เด่นของภาพ (An J., Lee H. and Cho N., 2014), การค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิคการผสมผสานกันของ Color Moment และ Local Binary Pattern (Choudhary R. et al, 2014) เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวนี้ได้ใช้การค้นคืนภาพโดยใช้เนื้อหาของภาพ (Content-Based Image Retrieval, CBIR) เป็นพื้นฐาน การค้นคืนภาพโดยใช้เนื้อหาของภาพ จะใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) ที่อยู่ในภาพออกมาเป็นตัวแทนในการค้นหา ซึ่งคุณลักษณะเฉพาะ (Feature) ส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ สี (Color) รูปร่าง (Shape) และ พื้นผิวของภาพ (Texture) อย่างไรก็ตามงานวิจัยทั้งหมดนั้นได้พยายามนำเสนอในส่วนของคุณลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้อธิบายภาพ แต่ยังไม่มียงานวิจัยไหนที่นำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับจับคู่คุณลักษณะพิเศษของภาพ (Feature Matching) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในการค้นคืนภาพโดยใช้เนื้อหาของภาพ

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการจับคู่คุณลักษณะเฉพาะของภาพโดยใช้โครงสร้างพื้นฐานของระบบเพื่อจัดเก็บคุณลักษณะสีของภาพที่มีในฐานข้อมูล โดยได้นำแนวคิดของ Boris Nikolaevich Delaunay ที่เรียกว่าสามเหลี่ยมเดอลานเ (Delaunay Triangulation) ซึ่งถูกนิยามให้เป็นกราฟเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลานเ เป็นวิธีการสร้างสามเหลี่ยมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเพราะมีขั้นตอนวิธีที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งสามารถจัดการกับกลุ่มของจุดที่กระจัดกระจายไว้ด้วยกัน (Shewchuk J., 2012) มีงานวิจัยมากมายที่นำเสนอวิธีการนี้ในการจับคู่หรือเปรียบเทียบโดยเฉพาะอย่างยิ่ง งานวิจัยการจับคู่ลายนิ้วมือเพื่อใช้ระบุตัวบุคคลโดยใช้เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลานเ (Yang W., Hu J. and Stojmenovic M. 2012), (สุนันท์ ตันทชุน, 2550), (Wang C. et al, 2006), (Liu N., Yin Y. and Zhang H., 2005) และการใช้เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลานเร่วมกับเอกสารข้อมูลเพื่อค้นคืนภาพ (Dang Q. et al, 2016) โดยงานวิจัยที่กล่าวมานั้นได้ใช้สามเหลี่ยมเดอลานเมาเป็นคุณลักษณะพิเศษเพื่อจับคู่ภาพซึ่งดำเนินการภาพต่อภาพ ส่วนงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ในการจัดกลุ่มภาพได้เป็นโครงข่ายที่มีคุณสมบัติพิเศษซึ่งทำให้สามเหลี่ยมที่ได้มีเอกลักษณ์เฉพาะ โดยนำไปใช้ระบุคุณลักษณะพิเศษของภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกันให้อยู่ในบริเวณเดียวกันได้โดยไม่เกิดการซ้อนทับ ซึ่งจะทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้เพื่อให้การค้นคืนภาพจากจำนวนภาพมหาศาลในฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ให้มีความรวดเร็วขึ้นนั้น จำเป็นต้องมีระบบที่ถูกออกแบบเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการทำงานบนคลัสเตอร์ขนาดใหญ่ ที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบกระจาย และมีคุณสมบัติที่คงทนต่อความผิดพลาด โดยสามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน เพื่อขยายขีดความสามารถในการเพิ่มขึ้นของข้อมูลในอนาคตได้ จึงมีงานวิจัยที่ได้นำเสนอระบบค้นคืนภาพแบบกระจายบนพื้นฐาน MapReduce (Zhang J. et al, 2011) แนวความคิดในการค้นคืนภาพบนฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ดังกล่าวยังมีการจัดเก็บข้อมูลที่ซับซ้อน แต่ก็มีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการประมวลผลแบบรวมศูนย์ที่มีหน่วยประมวลผลเพียงเครื่องเดียว ซึ่งถ้ามีข้อมูลภาพจำนวนมหาศาลแล้วจำเป็นต้องมีหน่วยประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย แต่เพราะมีราคาแพงทำให้ไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับการใช้การประมวลผลแบบกระจาย ดังนั้นจึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่นำมาพัฒนาเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้จึงมีเป้าหมายในการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบที่เหมาะสม สำหรับการค้นคืนภาพในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบกระจาย โดยประยุกต์ร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน่ ที่มีคุณสมบัติพิเศษในการจัดกลุ่มของข้อมูลภาพมาเป็น โครงสร้างพื้นฐาน เพื่อให้ระบบนั้นมีประสิทธิภาพและลดเวลาในการค้นคืนภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพแบบกระจายร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน่
- 1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการประมวลผลของระบบ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 พัฒนาระบบการค้นคืนภาพแบบกระจายร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน่ โดยประยุกต์ร่วมกับสภาพแวดล้อมของ Hadoop ได้
- 1.3.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการค้นคืนภาพแบบกระจายบนพื้นฐาน MapReduce ได้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ระบบค้นคืนภาพแบบกระจายที่มีประสิทธิภาพ สามารถลดเวลาในการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่เพื่อรองรับการขยายตัวของระบบและข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงสร้างที่ใช้ในการค้นคืนภาพ ได้แก่ การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานโดยใช้เทคนิคสามเหลี่ยมเดลตาเน่ เป็นโครงสร้างในการจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของภาพทั้งหมดไว้รวมกัน และการพัฒนาระบบการค้นคืนภาพ รวมไปถึงการใช้ Apache Hadoop (White, T, 2011) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์คสำหรับจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลแบบกระจายและรองรับข้อมูลที่มีปริมาณมากดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 2.1 แนวคิดพื้นฐานในการค้นคืนภาพ

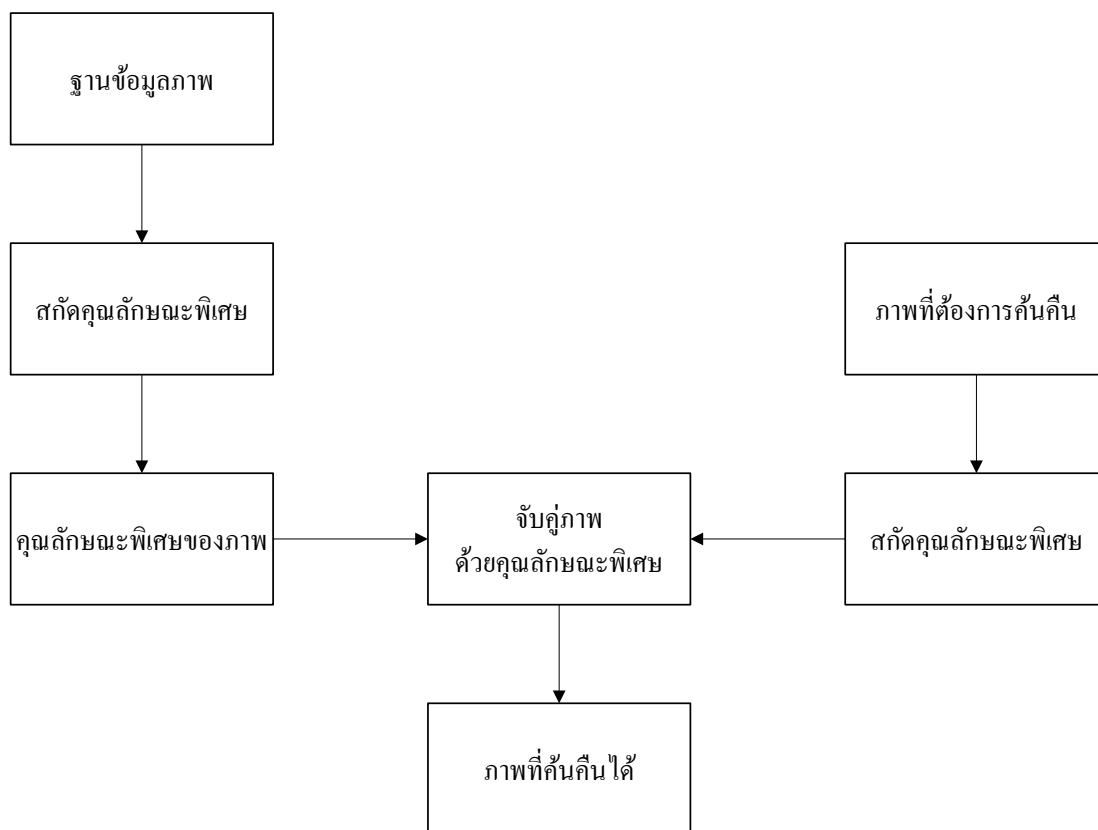
เทคนิคของการค้นคืนภาพในปัจจุบัน ถ้าแบ่งตามลักษณะการค้นคืนภาพด้วยหลักเกณฑ์พื้นฐานจะมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกันคือ การค้นคืนภาพด้วยพื้นฐานทางตัวอักษร และการค้นคืนภาพด้วยเนื้อหาของภาพ ซึ่งโดยแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน

##### 2.1.1 การค้นคืนภาพด้วยพื้นฐานทางตัวอักษร

การค้นคืนภาพด้วยพื้นฐานทางตัวอักษรหรือข้อความนั้นภาพแต่ละภาพจะถูกอธิบายด้วยคำสำคัญและทำการค้นคืนภาพโดยเปรียบเทียบหาคำสำคัญที่ตรงกับคำหรือข้อความที่สอบถาม ข้อเสียคือต้องมีการป้อนคำสำคัญให้กับภาพเข้าสู่ระบบก่อนที่จะทำการค้นคืนภาพ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนระบุคำสำคัญให้กับรูปภาพไม่ตรงกันทำให้การค้นคืนภาพด้วยพื้นฐานทางตัวอักษรนั้นมีประสิทธิภาพน้อยลง

##### 2.1.2 การค้นคืนภาพด้วยเนื้อหาของภาพ

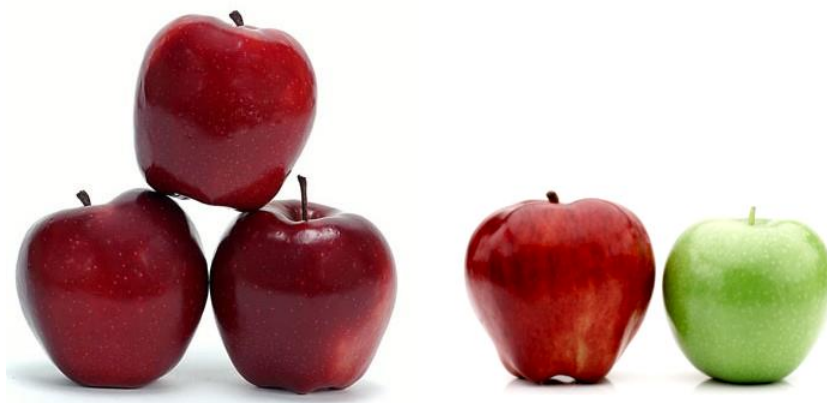
ภาพแต่ละภาพจะถูกวิเคราะห์หาลักษณะเด่นที่สำคัญเพื่อหาตัวแทนของภาพสำหรับใช้แสดงถึงภาพนั้น ๆ โดยอัตโนมัติจึงสะดวกในการใช้งาน ซึ่งมีงานวิจัยมากมายใช้เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยเนื้อหาของภาพ มาเป็นเทคนิคต้นแบบเพื่อพัฒนาการค้นคืนภาพ โดยระบบจะทำการแยกคุณลักษณะพิเศษเนื้อหาของภาพแต่ละภาพในฐานข้อมูลออกมา ให้อยู่ในรูปของค่าตัวเลขที่เรียกว่า เวกเตอร์คุณลักษณะพิเศษ (Feature vector) เพื่อใช้เป็นดัชนีสำหรับการจัดเก็บภาพในฐานข้อมูล เมื่อต้องการค้นคืนภาพ ผู้ใช้จะทำการเลือกภาพสอบถามแล้วส่งภาพเข้าสู่ระบบดำเนินการ จากนั้นระบบจะทำการดึงเอาเวกเตอร์คุณลักษณะพิเศษของภาพสอบถามมาทำการเปรียบเทียบกับเวกเตอร์คุณลักษณะพิเศษของภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล เพื่อค้นคืนภาพที่มีลักษณะเฉพาะคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมาเป็นผลลัพธ์ วิธีการดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างระบบการคันคั้นภาพด้วยเนื้อหาของภาพ

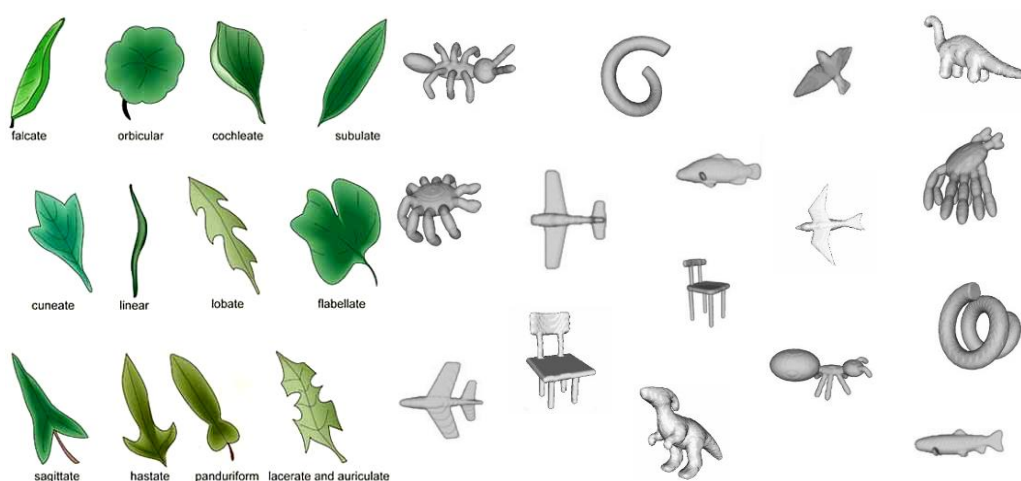
โดยคุณลักษณะพิเศษของภาพนั้น สามารถแยกสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในภาพออกมาเป็นตัวแทนในการคันคั้น ซึ่งคุณลักษณะพิเศษส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ สี, รูปร่าง และพื้นผิวของภาพ

- สี เป็นคุณลักษณะพิเศษที่มีบทบาทสำคัญในระบบคันคั้นภาพ เนื่องจากสีเป็นสิ่งที่โดดเด่นสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากการมองภาพ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการแยกแยะสิ่งต่าง ๆ ภายในภาพออกจากกันได้ดี เช่น สีฟ้าของท้องฟ้าหรือทะเล สีเขียวของต้นไม้หรือใบไม้ สีแดงของแอปเปิ้ล เป็นต้น ดังภาพที่ 2.2 ดำเนินการโดยดึงเอารหัสสีที่ใกล้เคียงกันออกมาจากภาพเพื่อทำการจัดกลุ่ม (Cluster) โดยอาศัยหลากหลายทฤษฎีเช่น การนับความถี่ของสี (Histogram) เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของสี (นัฐพงศ์ ส่งเนียม, 2554)

- รูปร่าง เป็นคุณลักษณะพิเศษของภาพแบบหนึ่งที่ใช้อธิบายถึงรูปร่างและลักษณะ รวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพ ทำให้สามารถแยกแยะระหว่างวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้ ซึ่งรูปร่างเป็นส่วนที่แสดงถึงโครงสร้างที่ปรากฏถูกกำหนดด้วยขอบเขตของแสง สี หรือเงา ลักษณะของ รูปร่าง เช่น เส้นขอบฟ้าที่แบ่งส่วนของท้องฟ้าและพื้นดิน สีเหลืองที่เป็นสัดส่วนของตึก อาคารต่าง ๆ หรือสัดส่วนของต้นไม้ เป็นต้น ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งคุณสมบัติในส่วนนี้นำมาใช้ประโยชน์มากในการดึงข้อมูลบนพื้นฐานของรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน เช่น วงกลม หรือโพลีกอน เป็นต้น ซึ่งในการเปรียบเทียบรูปภาพนั้นรูปร่างจะถูกระบุไปพร้อม ๆ กับตำแหน่ง ซึ่งมีทฤษฎีมากมายที่สามารถนำมาใช้เช่น Wavelet Transform, Tensor Scale Descriptor with Influence Zones (F.A. Andalo' et al, 2010) เป็นต้น



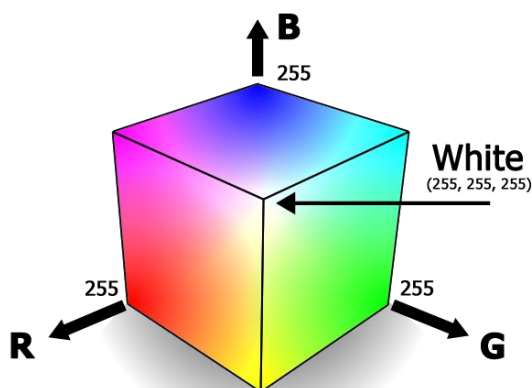
ภาพที่ 2.3 ลักษณะของรูปร่าง (นัฐพงศ์ ส่งเนียม, 2554)

- พื้นผิว เป็นคุณลักษณะพิเศษที่ใช้อธิบายความหยาบ ความละเอียด หรือความซับซ้อนของพื้นผิววัตถุภายในภาพ ซึ่งภาพแต่ละภาพอาจจะประกอบไปด้วยวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไป เป็นส่วนที่สื่อออกมาให้รับรู้ถึงความรู้สึก การวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้น เช่น การแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพเสือดาว ซึ่งมีลายเป็นจุด กับเสือชนิดอื่นซึ่งมีลายเป็นริ้วหรือแถบยาว ออกจากกันได้ หรือภาพที่มีลักษณะเป็นหนังหรือเรียบ มันวาว เป็นต้น ดังภาพที่ 2.4 มีหลายทฤษฎีที่นำมาใช้ในการสกัดคุณสมบัติพื้นผิว เช่น Fuzzy color histogram, Gabor wavelet transform เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของพื้นผิว (นัฐพงศ์ ส่งเนียม, 2554)

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยเนื้อหาของภาพมาดำเนินการโดยใช้คุณสมบัติของสีเป็นหลัก เนื่องจากสามารถดำเนินการได้ง่ายและมีความแม่นยำ โดยทั่วไปคุณลักษณะพิเศษสีของภาพจะอยู่ในรูปสัญญาณสีแดง สัญญาณสีเขียว และสัญญาณสีน้ำเงิน หรือที่เรียกว่า “RGB Color space” ดังภาพที่ 2.5 เมื่อนำภาพมาประมวลผลเพื่อให้ได้เวกเตอร์ของภาพที่มีขนาด 24 บิตต่อพิกเซล จะทำให้แต่ละสีมีข้อมูลได้ 8 บิต ดังนั้นแต่ละพิกเซลสามารถแทนค่าสีได้ถึง 16,777,216 สี

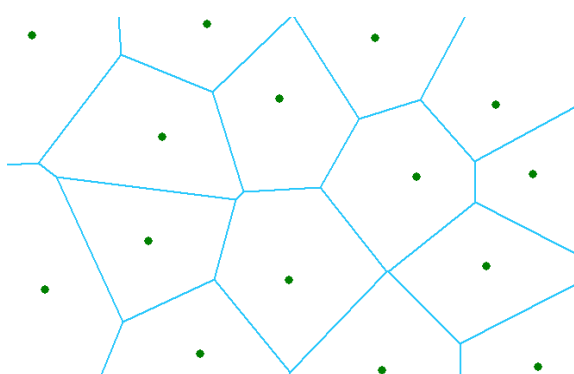


ภาพที่ 2.5 ลักษณะสี RGB (Medialooks., 2015)

แต่ถ้าหากนำค่าสีที่ได้มาดำเนินการ Normalization ผลลัพธ์ของค่าสีที่ได้จะมีทศนิยม 6 ตำแหน่ง จึงเพิ่มความแตกต่างของแต่ละภาพได้มากขึ้น โอกาสที่จะซ้ำกันของค่าสีนั้นมีน้อยมาก งานวิจัยนี้จึงได้เสนอคุณลักษณะของสีมาดำเนินการเป็นหลัก

## 2.2 เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลานเ

เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลานเได้พัฒนามาจากแผนผังโวโรนอย (Voronoi Diagram) แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับสามเหลี่ยมเดอลานเและแผนผังโวโรนอย นิยามโดยใช้การคำนวณทางเรขาคณิต แผนผังโวโรนอยถูกคิดค้นโดย Georgy Fedosievych Voronoi ซึ่งแผนผังโวโรนอยหมายถึง แผนผังที่ได้แบ่งโดเมนออกเป็นกลุ่มของรูปสามเหลี่ยม โดยถ้ากำหนดให้มีจุดต่อภายในโดเมน  $\{P_k\}$   $k=1, \dots, n$  เราสามารถสร้างพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยม (Region)  $\{V_k\}$ ,  $k=1, \dots, n$  ล้อมรอบจุดดังกล่าว โดยแต่ละพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมจะล้อมรอบจุดเพียงจุดเดียว ซึ่งจะทำให้ระยะห่างจากจุดต่อไปยังขอบของรูปหลายเหลี่ยมจะเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด เมื่อเทียบกับระยะห่างจากจุดต่อจุดของพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมที่ลากมายังขอบรูปสามเหลี่ยมดังกล่าวดังภาพที่ 2.7



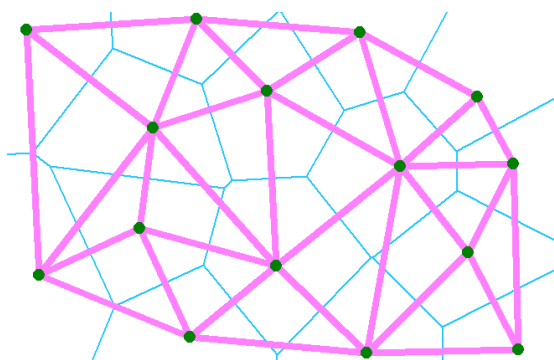
ภาพที่ 2.6 แผนผังโวโรนอย

ดังนั้นจากนิยามข้างต้นได้แสดงความหมายของแผนผังโวโรนอย ในรูปแบบของสมการได้ดังสมการที่ 1

$$V_i = \{P_j : |P - P_i| < |P - P_j|\} \forall P \neq P_i \quad (1)$$

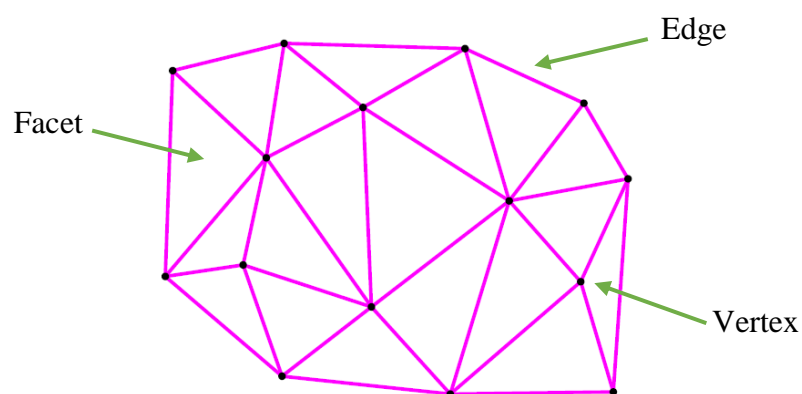
จากสมการ สามารถกล่าวได้ว่า แผนผังโวโรนอยแต่ละด้านจะต้องวางอยู่ตรงกึ่งกลางระหว่างจุดต่อจุดสองจุดที่มีขอบร่วมกัน ถ้าหากทุกจุดต่อที่อยู่ภายในแผนผังโวโรนอยถูกเชื่อมต่อกันด้วยเส้นตรง โดยการลากเส้นตรงเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อจุดสองจุดที่มีขอบร่วมกัน

รูปสามเหลี่ยมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวจะถูกเรียกว่าสามเหลี่ยมเดอลานเอดังภาพที่ 2.6 เส้น  
หน้าคือสามเหลี่ยมเดอลานเอด้านบน เส้นบางคือแผนผังโวโรนอย



ภาพที่ 2.7 สามเหลี่ยมเดอลานเอด้านบนแผนผังโวโรนอย

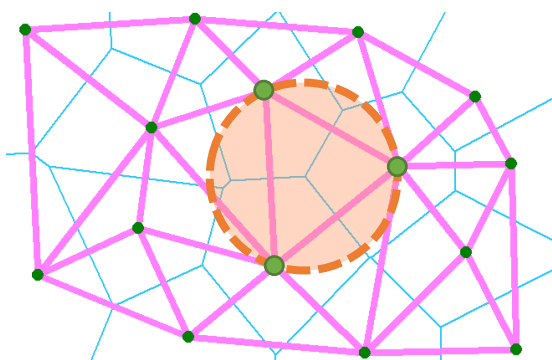
สามเหลี่ยมเดอลานเอดูกคิดค้น โดย Boris Nikolaevich Delaunay ในทางทฤษฎี  
กราฟ สามเหลี่ยมเดอลานเอดูกนิยามให้เป็นกราฟแบบหนึ่ง ประกอบไปด้วย จุด (Vertex), เส้นที่  
เชื่อมกัน (Edge) และหน้ารูปสามเหลี่ยม (Facet) ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 องค์ประกอบของสามเหลี่ยมเดอลานเอด้านบน

เมื่อลากวงกลมผ่านจุดปลายทั้งสามล้อมรอบสามเหลี่ยม จะต้องไม่มีจุดอื่นภายใน  
วงกลมดังกล่าว ยกเว้นจุดปลายทั้งสามของสามเหลี่ยมที่อยู่บนเส้นวงกลมที่ล้อมรอบ คุณลักษณะนี้  
ถูกเรียกว่า Empty circumcircle ดังภาพที่ 2.9 คุณลักษณะนี้ถูกนิยามให้เป็นคุณลักษณะพิเศษของ  
สามเหลี่ยมเดอลานเอด้านบน เพราะไม่ทำให้เกิดการซ้อนทับกันของรูปสามเหลี่ยม ทำให้ได้โครงข่าย  
สามเหลี่ยมที่มีเอกลักษณ์เฉพาะนำไปใช้ระบุให้คุณลักษณะพิเศษให้กับภาพ ซึ่งมีวิธีการสร้างที่ไม่  
ซับซ้อน จึงมีงานวิจัยมากมายที่นำเสนอวิธีการนี้ในการจับคู่หรือเปรียบเทียบ โดยปัจจุบันมี  
แอปพลิเคชันหลายประเภทที่นำสามเหลี่ยมเดอลานเอด้านบนมาใช้ เช่น การจำลอง การประมาณพื้นผิว การ

หาตำแหน่งใกล้เคียง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในงานที่หลากหลาย อาทิเช่น การทำ Reconstruction, Path Planning, Mashing เป็นต้น

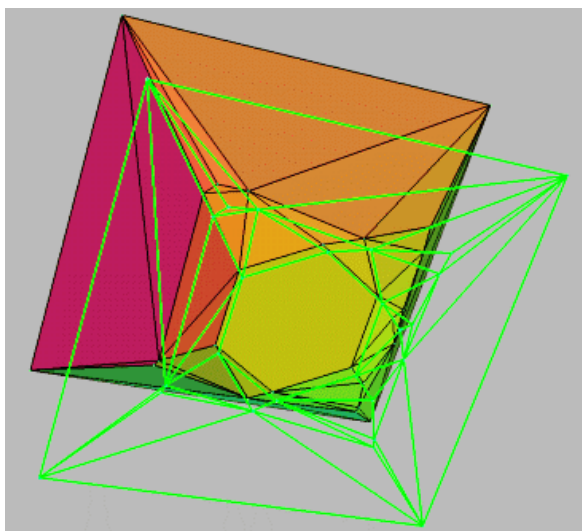


ภาพที่ 2.9 คุณลักษณะพิเศษ Empty Circumcircle

เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลานเ เป็นวิธีการสร้างสามเหลี่ยมที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะมีขั้นตอนวิธีที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งมีหลักการสำคัญคือ สามเหลี่ยมเดอลานเจะต้องเป็นสามเหลี่ยมที่มีคุณลักษณะพิเศษ Empty Circumcircle ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้สามเหลี่ยมที่ได้นั้นมีความเป็นเอกลักษณ์ (Unique) (Yang W., Hu J. and Stojmenovic M. 2012), (Liu N., Yin Y. and Zhang H., 2005) เทคนิคนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจับคู่ได้โดยใช้เป็นโครงข่ายที่รวมเอาคุณลักษณะพิเศษของภาพทั้งหมดในฐานข้อมูลมาจัดกลุ่ม โดยคุณลักษณะพิเศษของภาพที่คล้ายกันจะถูกจัดวางไว้ในตำแหน่งบริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้การค้นคืนภาพมีความเร็วขึ้น และยังมีงานวิจัยที่ได้นำเสนอการดำเนินการกับสามเหลี่ยมเดอลานเในลักษณะหลายมิติในด้านต่าง ๆ เช่น การศึกษาเกี่ยวกับขอบเขตของสามเหลี่ยมเดอลานเในมิติใด ๆ กับการกระจายของจุดต่าง ๆ และความยาวของขอบในกราฟสามเหลี่ยมเดอลานเเพื่อลดพลังงานในการกำหนดเส้นทางทางภูมิศาสตร์บนเครือข่ายไร้สาย (Esther M. et al, 2011) การศึกษาขอบเขตและจำนวนแผ่นที่รวมกันเป็นแผ่นเดอลานเ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับจำนวนจุดและจำนวนมิติ เพื่อมาใช้ในการประมาณค่าความหนาแน่นและการบีบอัดของข้อมูล (Shores R. and Wegman E., 2010) เป็นต้น เพื่อให้การค้นคืนภาพนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการจับคู่ จำเป็นต้องดำเนินการกับสามเหลี่ยมเดอลานเในลักษณะหลายมิติ (Multidimensional) การทำงานในลักษณะสองมิติหรือสามมิติเพียงชั้นเดียว ไม่เพียงพอต่อการดำเนินการจับคู่เพื่อให้มีความแม่นยำสูงได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคของสามเหลี่ยมเดอลานเมาทดลองจับคู่ภาพในโครงข่ายลักษณะต่าง ๆ ทั้งในลักษณะสามเหลี่ยมเดอลานเหลายมิติ และสามเหลี่ยมเดอลานเหลาย ๆ ชั้น โดยใช้ Qhull Library มาเป็นเครื่องมือในการสร้างสามเหลี่ยมเดอลานเ (ดังภาพที่ 2.10) ซึ่งเป็นโปรแกรมรหัสเปิด (Open source) ที่ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา C และ C++ ที่มีการใช้งานแพร่หลายใน

การจัดการกับโครงสร้างข้อมูลที่มีหลายมิติ โดยส่วนใหญ่มีการนำมาประยุกต์ในด้านต่าง ๆ เช่น วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ และสถิติ เป็นต้น



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่สร้างด้วย Qhull Library (Qhull., 2012)

### 2.3 การประมวลผลข้อมูลแบบกระจาย

เนื่องจากข้อจำกัดของการประมวลผลแบบรวมศูนย์ที่ต้องใช้หน่วยประมวลผลประสิทธิภาพสูงซึ่งมีราคาแพง จึงต้องมีการกระจายข้อมูลและทรัพยากรต่าง ๆ ไปให้หน่วยประมวลผลหลาย ๆ ตัวช่วยกันทำงานทำให้การประมวลผลมีความรวดเร็วมากขึ้น โดยที่คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะต้องเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายที่เรียกว่า เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Network Computer) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแบบ Client / Server โดยที่เครื่องแม่ข่าย (Server) จะทำการแจกจ่ายงาน การประมวลผล และข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายด้วยตนเองหรือคอมพิวเตอร์ลูกข่ายให้ทำงานที่ได้รับมอบหมาย จึงทำให้การประมวลผลมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ระบบการประมวลผลแบบกระจายเป็นการประมวลผลที่ได้รับการพัฒนาในขั้นต่อมา โดยมีการกระจายภาระงานประมวลผลไปยังเครื่องต่าง ๆ ที่เชื่อมกันอยู่เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มารวมกัน ซึ่งวิธีนี้ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลของระบบโดยรวม และยังสามารถลดจำนวนข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่าย ทำให้ใช้เวลาตอบสนองได้เร็วขึ้นตามคำสั่งของผู้ใช้งาน

เทคโนโลยีประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Computing) เป็นเทคโนโลยีที่นำเอาคอมพิวเตอร์ธรรมดา ๆ หลาย ๆ ตัวมาเชื่อมต่อกันแบบขนานมาร่วมกันทำการประมวลผล ซึ่งมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่อง Super Computer ดังนั้น ระบบเครือข่ายที่กระจายหน้าที่เป็น

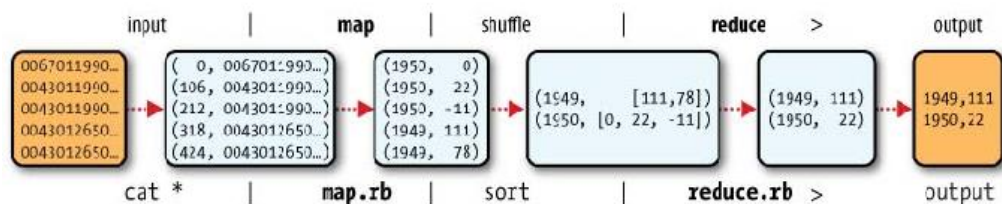


ศูนย์บริการ และเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยจุดประสงค์ต่าง ๆ กัน ในมาตรฐาน TCP/IP ซึ่งเป็นที่ยอมรับทั่วโลก ทำให้เครื่องทั้งหมดสามารถสื่อสารกันได้ ประมวลผลร่วมกันได้ ในปัจจุบันมีปัญหาจำนวนมากที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียว เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมหาศาล การนำเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกระจายจึงมีความสำคัญมากในการนำมาใช้งานในปัจจุบัน (สคไอ คลยา, 2550)

งานวิจัยนี้ได้นำการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายมาดำเนินการ เพื่อให้รองรับการค้นคืนภาพที่มีจำนวนมากและเพื่อให้มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงตามงานแต่ละประเภทตามความต้องการของผู้ใช้ ทั้งทางด้านการจัดเก็บรูปภาพที่สามารถปรับขยายได้เมื่อต้องการ และทางด้านการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของระบบปฏิบัติการ โดยใช้ MapReduce ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีอยู่ใน Hadoop ของ Apache

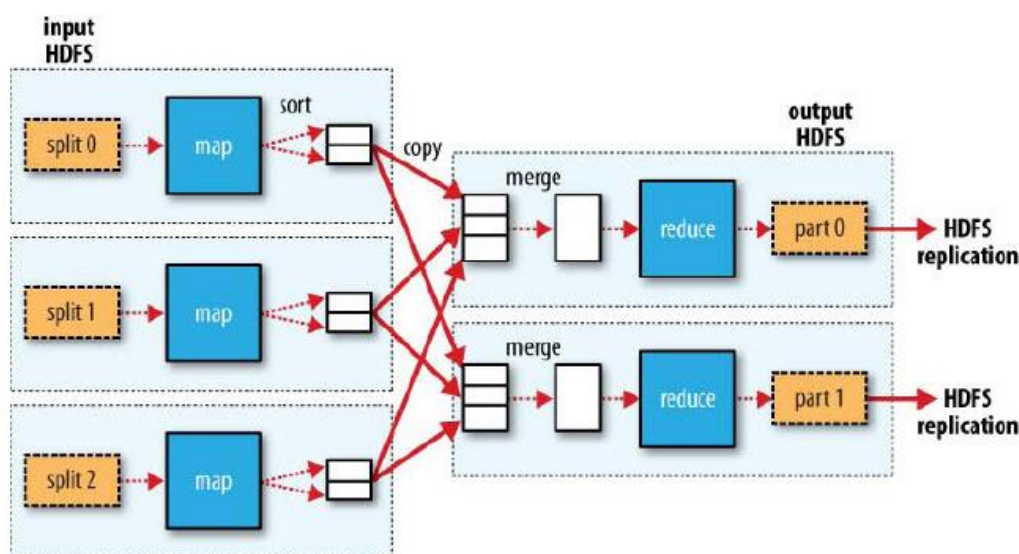
## 2.4 MapReduce

MapReduce เป็นส่วนที่ปฏิบัติงานบนระบบของ Hadoop งานวิจัยนี้ได้นำมาใช้เพื่อให้เหมาะกับการทำงานดังกล่าวซึ่ง Hadoop เป็นเฟรมเวิร์คที่มีการทำงานบนระบบคอมพิวเตอร์แบบกระจายสำหรับดำเนินการกับแอปพลิเคชันบนคลัสเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสนับสนุนการทำงานแบบขนาน (Parallel) โดยมีชุดคำสั่ง (API) เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกแก่นักพัฒนาแอปพลิเคชันที่จะสร้างระบบค้นคืนหรือวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ Hadoop เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพที่สามารถแก้ไขปัญหาค้นคืนภาพจากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยการใช้งานบนสถานะแวดล้อมของ Hadoop อันเนื่องมาจากการประมวลผลแบบกระจายของ Hadoop นั้นมีคุณสมบัติที่คงทนต่อความผิดพลาด และสามารถทำงานในสถานะแวดล้อมที่ต่างกันทำให้ขยายขีดความสามารถได้ และถือว่าเป็นวิธีการที่ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบรวมศูนย์ (Zhang J. et al, 2010) ระบบ Hadoop ทำงานได้ดีทั้งในการจัดเก็บและการจัดการกับข้อมูลเพื่อไม่ให้ข้อมูลที่มีอยู่จำนวนมากสูญหายไป และสามารถจัดการให้มีความง่ายต่อการเรียกใช้งาน โดย Hadoop จะแยกงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ เพื่อให้เวลาในการประมวลผลน้อยลง (Chang F. and Huang H., 2007) Hadoop จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ MapReduce เป็นส่วนที่ปฏิบัติงานในการวิเคราะห์ข้อมูล มีลักษณะการไหลของข้อมูลดังภาพที่ 2.11 และมี Hadoop Distributed File System (HDFS) ซึ่งสามารถจัดเก็บและดำเนินการกับข้อมูลขนาดใหญ่ได้ดังภาพที่ 2.14



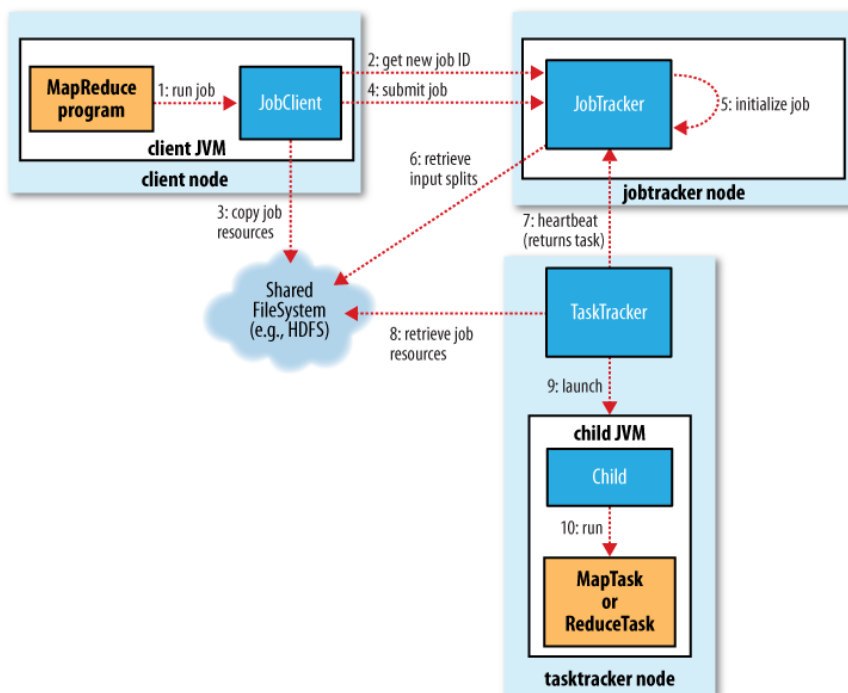
ภาพที่ 2.11 กระแสข้อมูลของ MapReduce (White. T, 2011)

MapReduce เป็นการประมวลผลข้อมูลแบบกระจาย ซึ่ง Amazon, Google, Facebook หรือ Yahoo ได้ใช้ MapReduce มาดำเนินการ ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมบน MapReduce ได้หลายภาษา เช่น C++, Java, Python หรือ Ruby เป็นต้น MapReduce ยังสามารถทำงานแบบคู่ขนาน ซึ่งมีประสิทธิภาพมากเมื่อจัดการกับข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ กระบวนการทำงานของ MapReduce แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ Map และ Reduce โดยแบ่งย่อยงานออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ สำหรับนำไปดำเนินการต่อดังภาพที่ 2.12



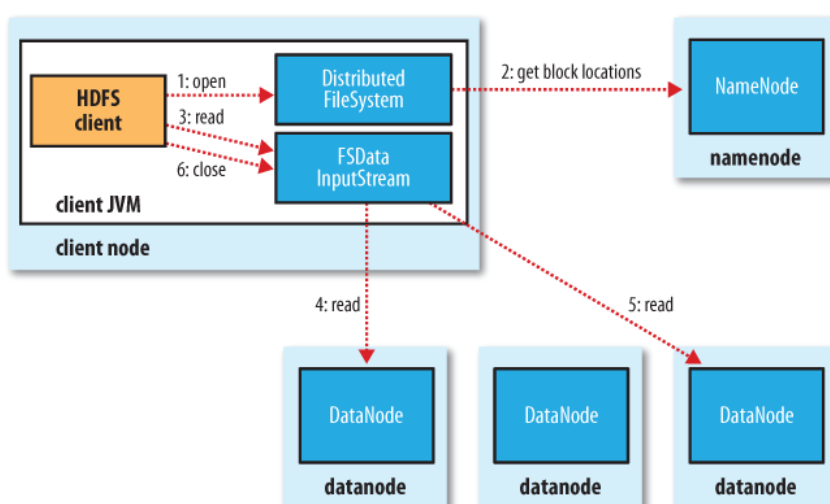
ภาพที่ 2.12 การทำงานของ MapReduce ที่แบ่งงานออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (White. T, 2011)

โดยงานที่ถูกแบ่งเป็นชิ้นเล็ก ๆ นั้น MapReduce จะส่งชิ้นงานดังกล่าวออกไปดำเนินการทำงานกับโหนดอีกสองโหนดคือ JobTracker และ TaskTrackers เพื่อควบคุมขั้นตอนการทำงานย่อยของระบบดังภาพที่ 2.13 โดยที่ JobTracker ทำงานบนระบบ ที่สร้างตารางงานเพื่อส่งไปให้ TaskTrackers ดำเนินการกับงานที่ได้รับ เมื่อเสร็จก็จะส่งรายงานกลับมายัง JobTracker โดยแสดงระเบียบข้อมูลของแต่ละงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว หากการทำงานมีความผิดพลาดในส่วนของ TaskTrackers ทาง JobTracker จะสั่งเริ่มการทำงานใหม่อีกครั้งให้กับ TaskTracker ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2.13 MapReduce ที่ดำเนินการกับ JobTacker และ TaskTracker (White. T, 2011)

ในส่วนการจัดเก็บข้อมูลนั้น HDFS จะเป็นตัวดำเนินการจัดการไฟล์บนระบบแบบกระจายของ Hadoop ที่มีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการกระจายข้อมูลไปเก็บไว้ยังโหนดต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ขั้นตอนการอ่านไฟล์จาก HDFS (White. T, 2011)

จากภาพที่ 2.14 แสดงให้เห็นลำดับของการอ่านไฟล์จาก HDFS ขั้นตอนที่ 1 เมื่อ Client Node ต้องการอ่านไฟล์ จะเรียกใช้ฟังก์ชัน Open() เพื่อไปดำเนินการที่ Distributed File System (DFS) ขั้นตอนที่ 2 DFS จะเรียกไปที่ NameNode ซึ่งเป็นส่วนที่จัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับไฟล์ระบบของ Hadoop เพื่อขอตำแหน่งบล็อกของไฟล์นั้น ๆ ที่อยู่บน DataNode จากนั้น Client Node จะทำการคัดลอกบล็อกจาก DataNode จากตำแหน่งที่ได้รับมาผ่าน FSData InputStream

## 2.5 สรุปทฤษฎีและหลักการ

งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบ โครงสร้างข้อมูลให้เหมาะสมกับการค้นคืนภาพที่มีจำนวนมากอันเนื่องมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โดยใช้เทคนิค CBIR มาดำเนินการร่วมกับเวกเตอร์คุณลักษณะสีของภาพเพื่อนำไปสร้างสามเหลี่ยมเดอลานน์ สำหรับเป็นโครงสร้างในการรวมเอาคุณลักษณะสีของรูปที่คล้ายคลึงกันมาอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน โดยจะใช้ MapReduce เพื่อประมวลผลแบบกระจายมาดำเนินการให้รองรับกับจำนวนภาพที่เพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งในส่วนรายละเอียดการดำเนินการทดลองการค้นคืนภาพและการประมวลผลแบบกระจายได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3

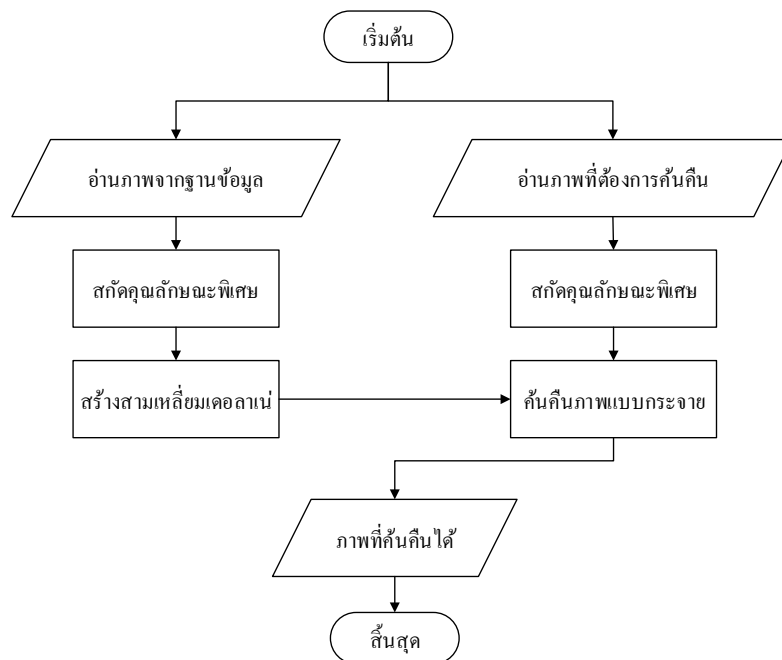
### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกรอบแนวความคิดการวิจัย วิธีการทดลอง การดึงคุณลักษณะพิเศษของรูปภาพ การสร้างโครงสร้างของระบบในการจับคู่ภาพ และการค้นคืนภาพที่ประมวลผลแบบกระจาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 3.1 ภาพโดยรวมวิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวความคิดการวิจัยที่สำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาโครงสร้างการค้นคืนภาพแบบกระจายร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดลานะนั้นคือการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานหลักให้มีประสิทธิภาพและลดเวลาในการค้นคืนภาพ โดยจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของรูปภาพที่ใกล้เคียงกันนำมาอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันเพื่อให้เร็วต่อการค้นคืน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะต้องมีความแม่นยำสูง และเพื่อให้ได้ระบบค้นคืนภาพที่มีความยืดหยุ่น สามารถใช้งานได้ในทุกสภาพแวดล้อม ทนทานต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระบบที่ใช้ในการประมวลผล และเพื่อรองรับการขยายเพิ่มของข้อมูลในอนาคตอันเนื่องมาจากวิวัฒนาการทางเทคโนโลยี ในการทดลองนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การจับคู่ภาพ (Image Matching) และการประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Processing) มารวมกันจนเป็นผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของงานวิจัย

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้

#### 3.2.1 Data Set งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลภาพจาก 2 ฐานข้อมูล ประกอบไปด้วย

- Corel Image Gallery ซึ่งฐานข้อมูลภาพ Corel นั้นประกอบไปด้วย 10,800 ภาพ ได้ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลภาพและใช้กันมากในสังคมงานวิจัย CBIR เนื่องจากประกอบไปด้วยภาพหลากหลายกลุ่มเช่น เครื่องบิน เสือ ตู๊กตา ต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งบางภาพมีเนื้อหาความหมายแตกต่างกันแต่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และบางภาพเนื้อหาความหมายเดียวกันแต่อยู่คนละกลุ่มกันในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยภาพมากกว่า 100 ภาพ ด้วยเหตุนี้ฐานข้อมูล Corel จึงถูกนำมาใช้ประเมินผลของแนวความคิดในการค้นคืนภาพ

- IAPR TC-12 Benchmark ที่มีจำนวน 20,000 ภาพ ประกอบไปด้วยภาพของกีฬาที่แตกต่างกันและการกระทำ รูปถ่ายของคน สัตว์ เมือง ทิวทัศน์และด้านอื่น ๆ ทั้งหมด 12 กลุ่ม ซึ่งเป็นภาพที่มีคุณภาพสูง

#### 3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ทำงานซึ่งเป็นโปรแกรมรหัสเปิด (Open source) ทั้งหมด

- โปรแกรม Hadoop รุ่น 1.2.1
- โปรแกรม OpenCV
- โปรแกรม Qhull Library

#### 3.2.3 เครื่องที่ใช้ในการประมวลผล

- เครื่องคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป Intel® Core™ i5 ความเร็ว 2.50GHz หน่วยความจำ 16GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 8

- สภาพแวดล้อมเครื่องเสมือนของ Oracle VM VirtualBox เพื่อติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 64bit รุ่น 14.04 เป็นระบบปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.3 การจับคู่ภาพ

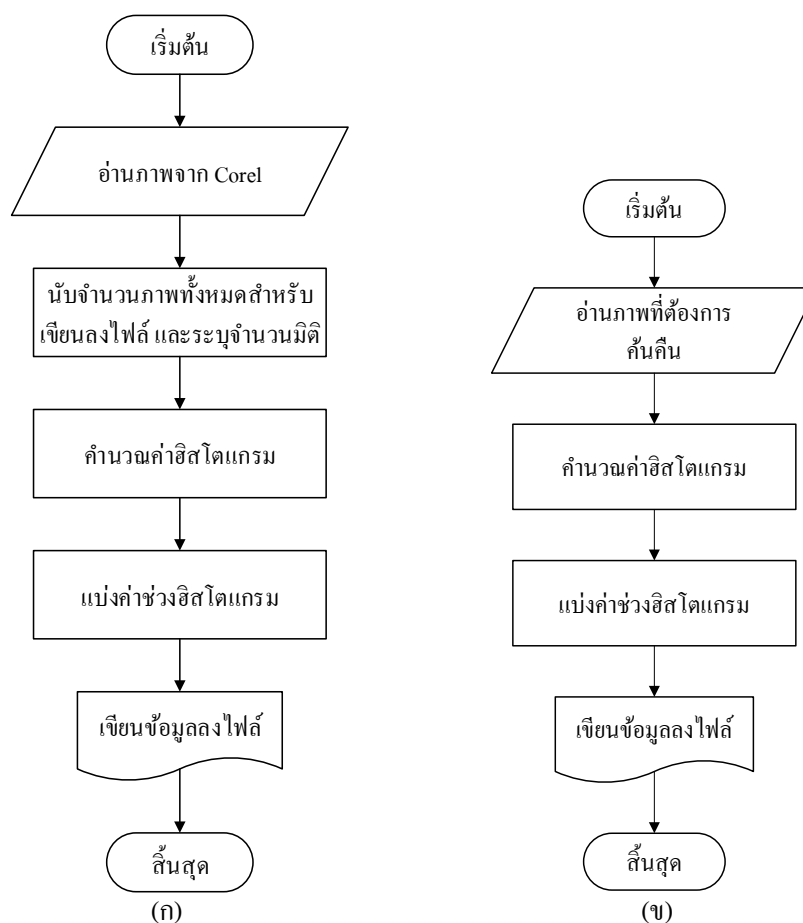
#### 3.3.1 แนวทางการทดลอง

แนวทางการทดลองในส่วนนี้เพื่อให้ได้โครงสร้างพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพสำหรับจัดเก็บคุณลักษณะของภาพที่คล้ายกันให้อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน โดยใช้สามเหลี่ยมเดอลาเน่มาดำเนินการ เริ่มจากการนำสามเหลี่ยมเดอลาเน่มาจับคู่ภาพในโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองนั้นจะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเพื่อให้ได้โครงสร้างที่เหมาะสมโดยสร้างสามเหลี่ยมเดอลาเน่ที่มีมิติต่าง ๆ กันสำหรับจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของรูปภาพ ส่วนที่สองเพื่อป้องกันปัญหา

ที่เรียกว่าปัญหาของมิติข้อมูล (Curse of dimensionality) ซึ่งเกิดจากข้อมูลที่มีมิติจำนวนมาก เมื่อเกิดการกระจายของข้อมูลแล้วอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการจัดกลุ่มของข้อมูล รวมทั้งยังสิ้นเปลืองทรัพยากร เช่น เวลาและหน่วยความจำ เป็นต้น จึงได้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่มีมิติขนาดกลางหลาย ๆ ชั้นมาจับคู่ภาพแทน

### 3.3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

- ขั้นตอนการทดลองที่ 1 จากสมมติฐานที่ว่าโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถรวมคุณลักษณะพิเศษของภาพทั้งหมดเอาไว้ด้วยกันจะทำให้การจับคู่ภาพนั้นเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่มีมิติต่าง ๆ โดยใช้ค่าเฉลี่ยฮิสโตแกรมของแต่ละภาพในฐานข้อมูล และใช้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพที่ต้องการค้นคืนมาดำเนินการที่ 3 มิติ, 6 มิติ, 9 มิติ และ 12 มิติ โดยสร้างไฟล์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบไปด้วย 2 ส่วนซึ่งจะมีวิธีการที่แตกต่างกันคือไฟล์ที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ และไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์หลายมิติ

โดยไฟล์ที่ใช้ในการสร้างสามเหลี่ยมเดอลานะนั้นจะต้องมีโครงสร้างเป็นไปตามเงื่อนไขของ Qhull ดังภาพที่ 3.3 (ก) โดยบรรทัดแรกจะหมายถึงจำนวนมิติ บรรทัดที่สองจะหมายถึงจำนวนจุดทั้งหมดสำหรับสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ หลังจากนั้นแต่ละบรรทัดจะประกอบด้วยค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพต่าง ๆ ส่วนไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนจะเก็บค่าฮิสโตแกรมของภาพนั้นแยกตามบรรทัดดังภาพที่ 3.3 (ข)

บรรทัดที่ 1 จำนวนมิติที่สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่	บรรทัดที่ 1 ค่าฮิสโตแกรม R
บรรทัดที่ 2 จำนวนจุดทั้งหมดที่นำมาสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่	บรรทัดที่ 2 ค่าฮิสโตแกรม G
บรรทัดที่ 3 ค่าตำแหน่งขึ้นอยู่กับมิติ	บรรทัดที่ 3 ค่าฮิสโตแกรม B
...	...

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.3 ข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายมิติ

ตัวอย่างไฟล์ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองที่ 1 โดยสมมติให้ไฟล์ที่ใช้ทดลองมีลักษณะ 3 มิติ (บรรทัดที่ 1 ระบุค่า 3) สร้างที่จำนวน 32 จุด (บรรทัดที่ 2 ระบุค่า 32) ซึ่งแต่ละจุดหมายถึงค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพแต่ละภาพ (บรรทัดที่ 3 หมายถึง ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีแดง ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีเขียว ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีน้ำเงิน ของภาพที่ 1 ตามลำดับ) โดยค่าฮิสโตแกรมของการทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่ 3 มิตินั้น คำนวณจากนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 0 ถึง 255 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ ดังนั้นบรรทัดที่ 4 หมายถึงค่าฮิสโตแกรมของภาพที่ 2 ตามลำดับไปจนถึงบรรทัดที่ 34 ซึ่งหมายถึงภาพที่ 32 ดังภาพที่ 3.4 (ก) ส่วนไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนก็ใช้วิธีคำนวณหาค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยเช่นเดียวกับไฟล์ที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ ดังภาพที่ 3.4 (ข)

```

3
32
170.454544 131.578946 140.186915
95.541403 107.913673 72.815533
27.522936 128.205129 25.906735
111.940294 88.235298 60.240966
129.310343 93.167701 33.860046
176.470595 100.671145 43.731777
129.203540 133.928570 59.760958
148.979589 132.743364 136.363640
100.000003 89.285714 77.319583
223.333326 138.888886 54.744525
132.743364 137.614677 129.310343
223.333326
138.888886
54.744525 |

```

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ



ถ้าสมมติให้ไฟล์ที่ใช้ทดลองมีลักษณะ 6 มิติ (บรรทัดที่ 1 ระบุค่า 6) สร้างที่จำนวน 32 จุด (บรรทัดที่ 2 ระบุค่า 32) ซึ่งแต่ละจุดหมายถึงค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพแต่ละภาพ (บรรทัดที่ 3 หมายถึง ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีแดงช่วงที่ 1 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีเขียวช่วงที่ 1 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีน้ำเงินช่วงที่ 1 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีแดงช่วงที่ 2 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีเขียวช่วงที่ 2 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีน้ำเงินช่วงที่ 2 ของภาพที่ 1 ตามลำดับ) โดยการคำนวณค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของการทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่ 6 มิติ นั้น คำนวณจากนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 0 ถึง 127 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 1 และนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 128 ถึง 255 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 2 (ดังภาพที่ 3.5) แล้วเพิ่มค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพอื่น ๆ เรียงบรรทัดตามลำดับไปจนถึงบรรทัดที่ 34 ซึ่งหมายถึงภาพที่ 32 ส่วนไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนก็ใช้วิธีคำนวณหาค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยเช่นเดียวกับไฟล์ที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติ

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.5 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติ

กรณีสร้างไฟล์ทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่ 9 มิติ โดยค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของการทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่ 9 มิติ นั้น คำนวณจากนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 0 ถึง 84 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 1 นำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 85 ถึง 170 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 2 และนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 171 ถึง 255 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 3 (ดังภาพที่ 3.6)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

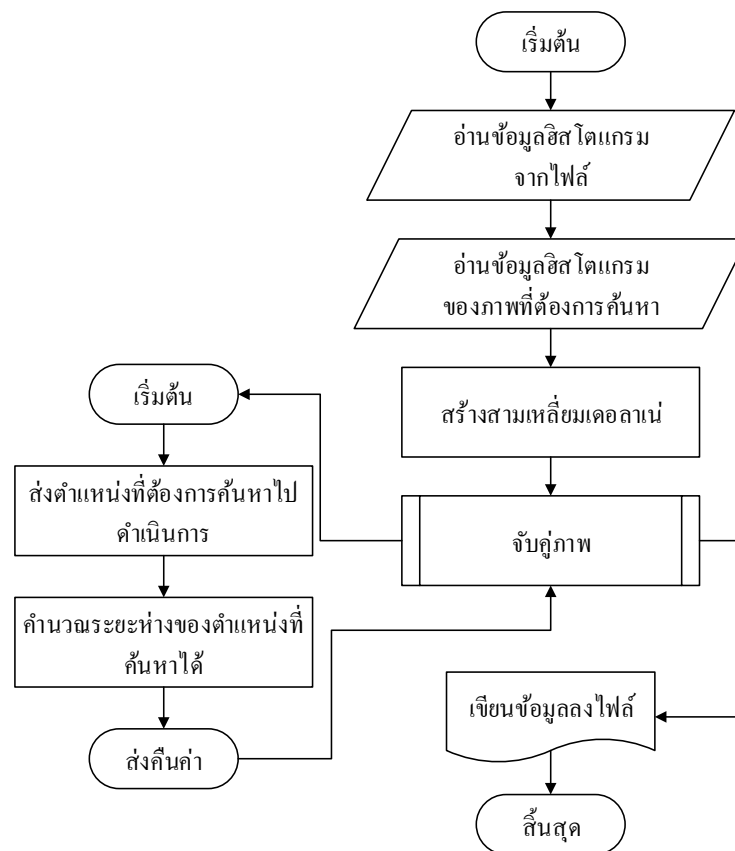
ภาพที่ 3.6 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน์ 9 มิติ

กรณีสร้างไฟล์ทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่ 12 มิติ โดยค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของการทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่ 12 มิติ นั้น คำนวณจากนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 0 ถึง 63 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 1 นำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 64 ถึง 127 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 2 นำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 128 ถึง 191 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 3 และนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 192 ถึง 255 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 4 (ดังภาพที่ 3.7)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.7 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน์ 12 มิติ

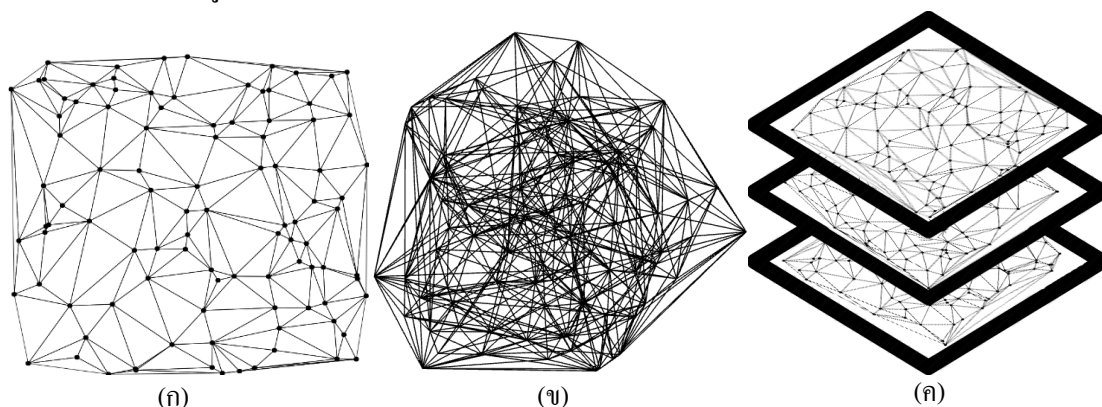
เมื่อผ่านขั้นตอนการสร้างไฟล์ตามภาพที่ 3.2 แล้วนำไฟล์ที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์หลายมิติซึ่งมีวิธีดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทดลองการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์หลายมิติ

โดยเริ่มจากกระบวนการสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ ซึ่งเรียกใช้งานผ่าน Qhull Library ที่ได้แก้ไขรหัสให้เหมาะกับการทดลองของงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่แต่ละจุด (Vertex) แสดงถึงค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพแต่ละภาพ (1 จุดหมายถึง 1 ภาพ) หลังจากนั้นนำจุดของภาพที่ต้องการค้นคืนส่งไปในกระบวนการจับคู่ภาพ ซึ่งจะทำการค้นคืนจุดดังกล่าวในโครงข่ายสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่สร้างไว้ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นด้านของสามเหลี่ยมเดอลาน์ (Facet) ซึ่งประกอบไปด้วยจุดที่ใกล้เคียงกับจุดที่ต้องการค้นคืน แล้วนำไปคำนวณระยะห่างของจุดทั้งหมดที่ได้มากับจุดที่ส่งไปค้นคืน โดยใช้วิธีคำนวณระยะห่างยูคลิด ผลลัพธ์ที่มีค่าน้อยที่สุดจะหมายถึงภาพที่ใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการค้นคืนที่สุด หากผลลัพธ์ใดมีค่าเท่ากับศูนย์หมายถึงผลลัพธ์นั้นตรงกับภาพที่ต้องการค้นคืน

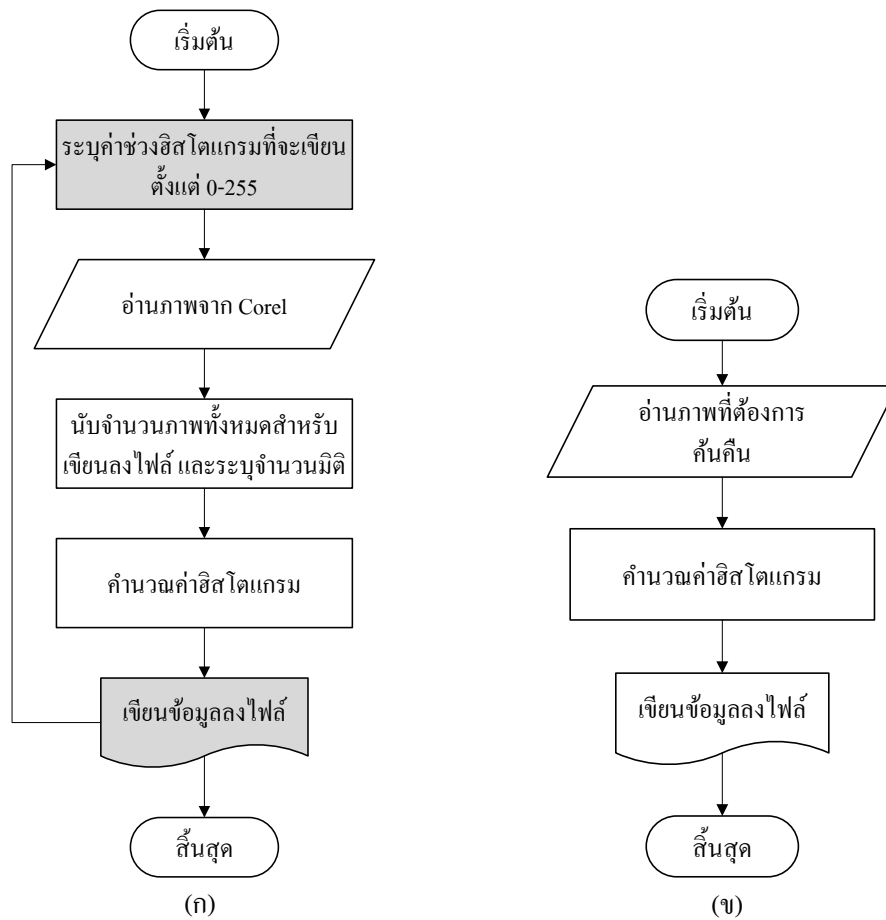
- ขั้นตอนการทดลองที่ 2 เมื่อคุณลักษณะพิเศษของภาพเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนมิติของสามเหลี่ยมเดอลาน์ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยอาจเกิดปัญหาของมิติข้อมูล จึงได้มีการทดลองใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์ที่มีขนาดกลางจำนวนหลาย ๆ ชั้น มาเป็นโครงสร้างพื้นฐานเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวในการจับคู่ภาพ ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 2 มิติ (ก) 3 มิติ (ข) และ 2 มิติ หลาย ๆ ชั้น (ค)

จากภาพข้างต้นแสดงให้เห็นสามเหลี่ยมเดอลาน์ในลักษณะต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมกันของจุดต่าง ๆ เป็นโครงข่าย ภาพที่ 3.9 (ก) คือสามเหลี่ยมเดอลาน์ 2 มิติที่ 100 จุด ภาพที่ 3.9 (ข) คือสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติที่ 100 จุดเช่นเดียวกัน จะมองเห็นถึงความซับซ้อนของภาพเมื่อมีจำนวนมิติสูงขึ้นอาจจะดูซับซ้อนแต่ข้อมูลของจุดที่เชื่อมระหว่างกันภายในโครงข่ายไม่ได้ซับซ้อนอย่างที่เห็นในภาพ ภาพที่ 3.9 (ค) เป็นสามเหลี่ยมเดอลาน์ 2 มิติที่มีจำนวน 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นประกอบไปด้วยจุด 100 จุด จึงทำให้ภาพที่ 3.10 (ค) มีจุดทั้งหมด 300 จุด

สำหรับการทดลองทดลองที่ 2 ของงานวิจัยนี้ได้ใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ หลาย ๆ ชั้น มาเป็นโครงข่ายสำหรับการจับคู่ภาพ เพื่อให้สามารถจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของภาพได้มากขึ้น สำหรับไฟล์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย 2 ส่วน ซึ่งจะมีวิธีการสร้างที่แตกต่างกันคือ ไฟล์ที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ หลาย ๆ ชั้นมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.10 (ก) และไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.10 (ข)



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการสร้างไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายมิติหลายชั้น

โดยใช้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพทั้งหมด และใช้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพที่ต้องการคั่นกันมาดำเนินการทดลองที่ 3 มิติ จำนวนหลาย ๆ ชั้น โดยคำนวณหาค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยตั้งแต่ 0 ถึง 255 ของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินของภาพทั้งหมดตามลำดับ จัดเก็บไว้ในไฟล์ตามแต่ละช่วงความถี่ ซึ่งไฟล์ที่ใช้ในการสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่นั้นจะต้องมีโครงสร้างเป็นไปตามเงื่อนไขของ Qhull เช่นเดียวกับภาพที่ 3.3 แตกต่างตรงที่ใช้จำนวนมิติที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 3 เมื่อไฟล์ที่ใช้ทดลองมีลักษณะ 3 มิติ (บรรทัดที่ 1 ระบุค่า 3) สร้างที่จำนวน 1,000 จุด (บรรทัดที่ 2 ระบุค่า 1000) ซึ่งแต่ละจุดหมายถึงค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพแต่ละภาพ (บรรทัดที่ 3 หมายถึง ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีแดงช่วงที่ 1 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีเขียวช่วงที่ 1 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีน้ำเงินช่วงที่ 1 ของภาพที่ 1 ตามลำดับ)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.11 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 2 ชั้น

โดยค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของการทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 2 ชั้นนั้น คำนวณจากนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 0 ถึง 127 (ดังภาพที่ 3.12) จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 1 เป็นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ชั้นที่ 1 ดังภาพที่ 3.13 (ก) และนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 128 ถึง 255 ได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 2 เป็นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ชั้นที่ 2 โดยแต่ละไฟล์จะเรียงบรรทัดตามลำดับไปจนถึงบรรทัดที่ 1002 ซึ่งหมายถึงภาพที่ 1,000 ดังภาพที่ 3.12 (ข) ส่วนไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.10 (ข) ซึ่งตัวอย่างไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนนั้นดังภาพที่ 3.12 (ค)

000.txt ×	001.txt ×	000.txt ×	001.txt ×
3	3	1000	
204.687498	145.120612	188.346961	136.221590
118.037280	92.026869	132.046180	180.125906
135.421722	59.036625	35.701440	10.209344
44.535550	236.591882	51.570594	10.510321
19.818376	0.242876	229.322909	190.904844
170.404418	120.243478	32.975745	6.066177
0.238454	107.085128	145.419254	67.275679
151.535559	40.916149	0.444413	242.389715
199.014270	87.399779	110.551475	2.328020
0.063776	201.050885	181.947542	84.101098
57.356195	85.909598	35.420818	175.031885
192.422568	193.977278	122.927294	73.064160
78.750002	182.687505	175.037201	153.366615
17.312500	3.534226	1.272551	
(ก)	(ข)	(ค)	

ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 2 ชั้น

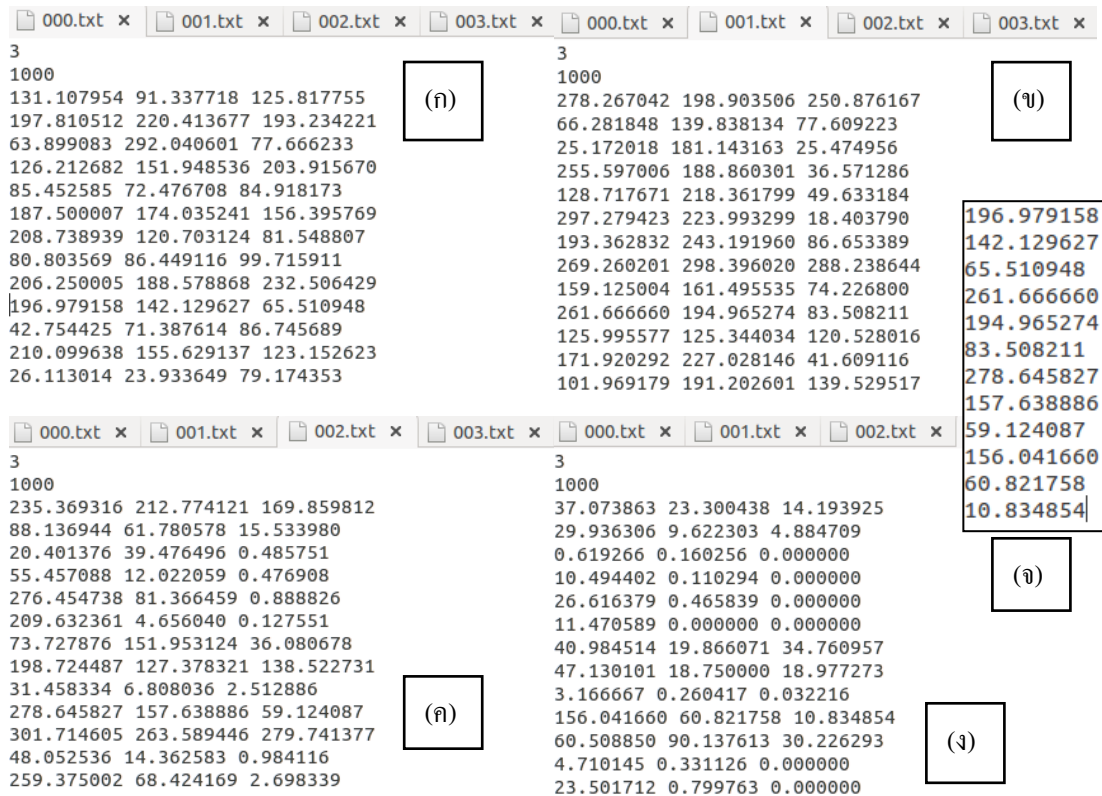
ถ้าสมมติให้ไฟล์ที่ใช้ทดลองมีลักษณะ 3 มิติ 4 ชั้น โดยไฟล์ที่ใช้ทดลองมีลักษณะ 3 มิติ (บรรทัดที่ 1 ระบุค่า 3) สร้างที่จำนวน 1,000 จุด (บรรทัดที่ 2 ระบุค่า 1000) ซึ่งแต่ละจุด

หมายถึงค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพแต่ละภาพ (บรรทัดที่ 3 หมายถึง ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีแดงช่วงที่ 1 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีเขียวช่วงที่ 1 ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยสีน้ำเงินช่วงที่ 1 ของภาพที่ 1 ตามลำดับ)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.13 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 4 ชั้น

โดยค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของการทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 4 ชั้นนั้น คำนวณจากนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพ ตั้งแต่ 0 ถึง 63 (ดังภาพที่ 3.13) จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 1 เป็นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ชั้นที่ 1 ดังภาพที่ 3.14 (ก) นำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพตั้งแต่ 64 ถึง 127 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 2 เป็นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ชั้นที่ 2 ดังภาพที่ 3.14 (ข) นำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพตั้งแต่ 128 ถึง 191 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 3 เป็นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ชั้นที่ 3 ดังภาพที่ 3.14 (ค) และนำค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของภาพตั้งแต่ 192 ถึง 255 จะได้ค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยช่วงที่ 4 เป็นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ชั้นที่ 4 ดังภาพที่ 3.14 (ง) โดยแต่ละไฟล์จะเรียงบรรทัดตามลำดับ ไปจนถึงบรรทัดที่ 1002 ซึ่งหมายถึงภาพที่ 1,000 ส่วนไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.10 (ข) ซึ่งตัวอย่างไฟล์ของภาพที่ต้องการค้นคืนนั้นดังภาพที่ 3.14 (จ)



ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างข้อมูลในไฟล์สำหรับการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 4 ชั้น

กรณีสร้างไฟล์ทดลองสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 8 ชั้น, 16 ชั้น, 32 ชั้น, 64 ชั้น และ 128 ชั้น คำนวณหาค่าฮิสโตแกรมเฉลี่ยของแต่ละชั้นโดยใช้ 256 หารด้วย n, เมื่อ n คือจำนวนชั้นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ ดังภาพที่ 3.15, 3.16, 3.17, 3.17 และ 3.19 ตามลำดับ ส่วนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 256 ชั้น ใช้ทุกค่าฮิสโตแกรม ดังภาพที่ 3.20

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.15 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 8 ชั้น



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.16 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 16 ชั้น

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.17 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 32 ชั้น

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.18 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 64 ชั้น

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

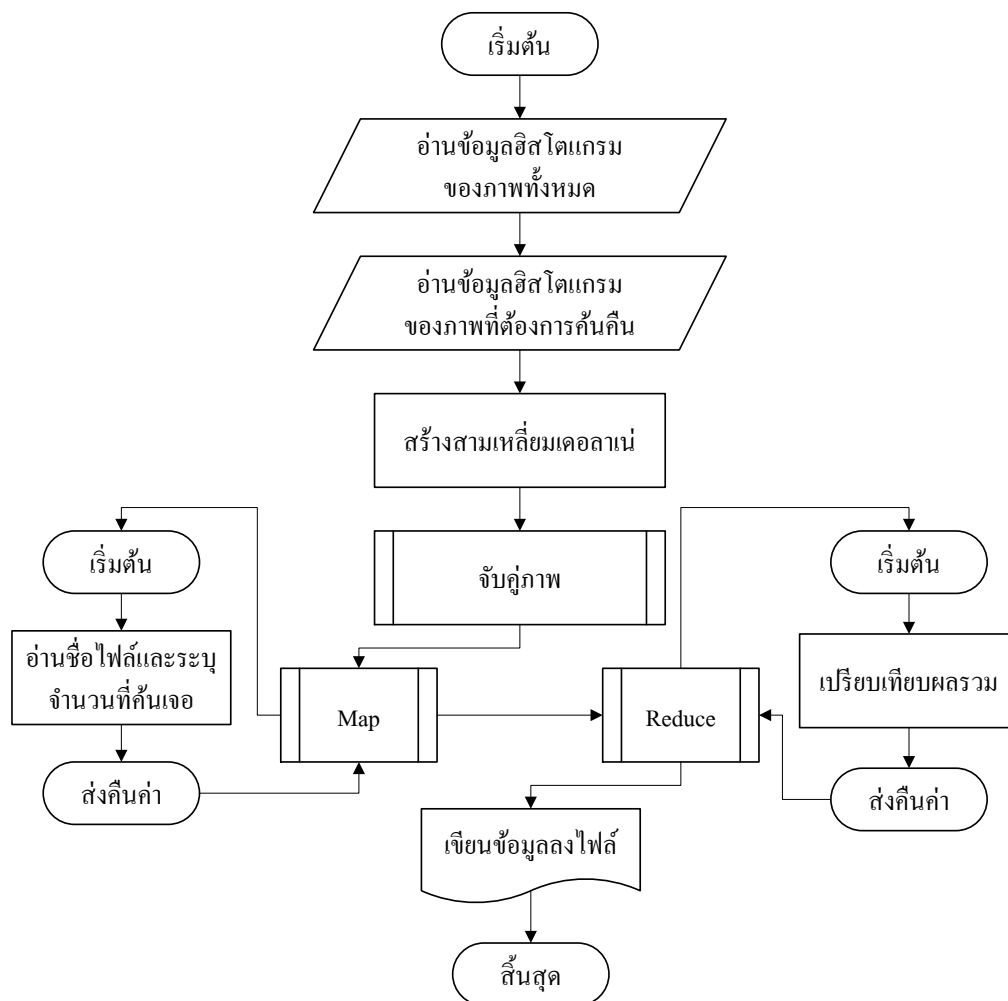
ภาพที่ 3.19 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 128 ชั้น

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

ภาพที่ 3.20 การแบ่งช่วงค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสีสำหรับสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ 256 ชั้น

หลังจากนั้นนำไฟล์ที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติหลาย ๆ ชั้น ซึ่งมีกระบวนการคล้ายกับขั้นตอนที่ 1 ต่างกันตรงมีขั้นตอนที่ต้องทำซ้ำในการสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่เพราะมีหลายชั้น หลังจากนั้นรวมค่าระยะห่างที่คำนวณได้ โดยแบ่งตามตำแหน่งของจุด ผลลัพธ์ที่มีค่าน้อยที่สุดจะหมายถึงภาพที่ใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการค้นคืนที่สุด หากผลลัพธ์ใดมีค่าเท่ากับศูนย์หมายถึงผลลัพธ์นั้นตรงกับภาพที่ต้องการค้นคืน

- ขั้นตอนการทดลองที่ 3 เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพจึงได้นำวิธีจากขั้นตอนที่ 2 มาเข้าสู่สภาพแวดล้อมการประมวลผลแบบกระจายบน Hadoop ดำเนินการโดยใช้ MapReduce มาดำเนินการจับคู่ เพื่อลดเวลาในการดำเนินการ โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ขั้นตอนการทดลองการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์หลายมิติหลายชั้นแบบกระจาย

โดยใช้ไฟล์ข้อมูลและขั้นตอนจากการทดลองที่ 2 ส่งผลลัพธ์ที่ได้ให้ Map อ่านชื่อไฟล์และรวมจำนวนชั้นของสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่ค้นเจอภาพที่ต้องการค้นคืน แล้วส่งค่าดังกล่าวไปให้ Reduce เปรียบเทียบผลรวมของจำนวนชั้นสามเหลี่ยมเดอลาน์แล้วแสดงผลลัพธ์ ผลลัพธ์ที่มีค่ามากที่สุดจะหมายถึงภาพที่ใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการค้นคืนที่สุด

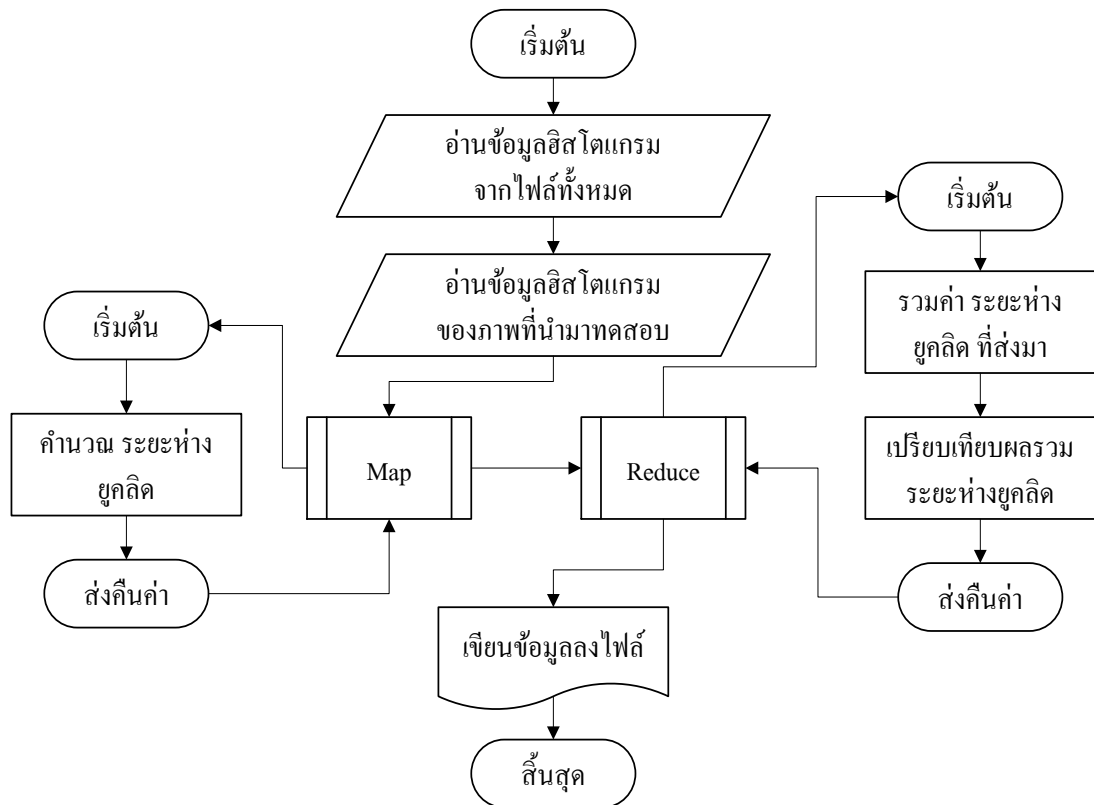
### 3.4 การทดลองการประมวลผลแบบกระจาย

#### 3.4.1 แนวทางการทดลอง

แนวทางการทดลองในส่วนนี้เพื่อให้ได้สภาพแวดล้อมสำหรับการประมวลผลแบบกระจายที่มีประสิทธิภาพ จึงได้สร้างระบบการประมวลผลแบบกระจายโดยใช้ Hadoop และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ใช้ในการดำเนินงาน จึงได้ทดลองใช้จำนวนเครื่องในการประมวลผลที่ต่างกันร่วมกับจำนวนข้อมูลที่มีมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกเพื่อให้ได้ระบบประมวลผลแบบกระจายที่มีประสิทธิภาพโดยพิจารณาจากจำนวนเครื่องที่ใช้มาประมวลผลบนสภาพแวดล้อมเสมือน การทดลองที่สองเพื่อพัฒนาขั้นตอนของ MapReduce ให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น

#### 3.4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

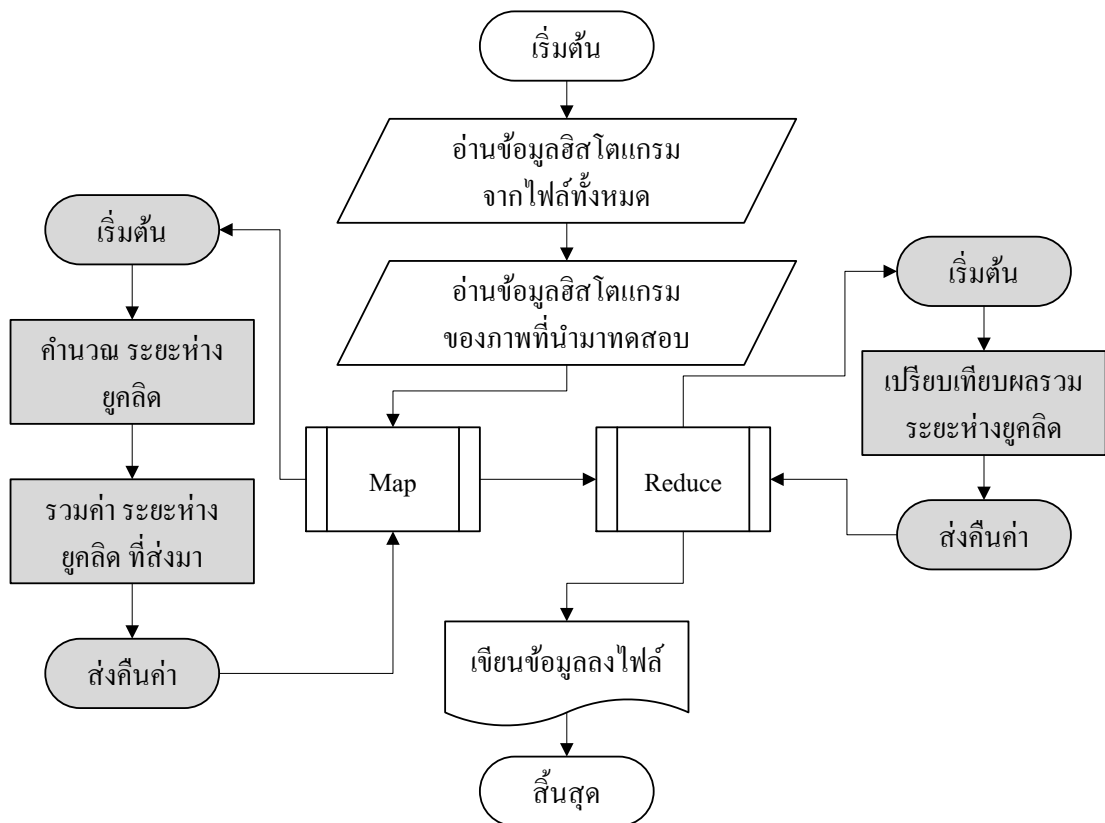
- ขั้นตอนการทดลองที่ 4 จากสมมติฐานที่ว่าเมื่อจำนวนเครื่องมีมากขึ้นการประมวลผลแบบกระจายจะมีความเร็วขึ้นไปด้วย โดยทดลองใช้ Hadoop เวอร์ชัน 1.2.1 บนสภาพแวดล้อมเสมือน VirtualBox ซึ่งแต่ละเครื่องทำงานบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu 64bit รุ่น 14.04 ที่ใช้หน่วยความจำ 1 GB ทดสอบด้วยฐานข้อมูลภาพ IAPR TC-12 Benchmark โดยทดลองประมวลผลแบบกระจายที่มีจำนวนเครื่อง 2 เครื่อง, 4 เครื่อง และ 8 เครื่อง ซึ่งการทดลองนั้นใช้ข้อมูลภาพที่จำนวน 20,000 40,000 80,000 100,000 160,000 และ 200,000 ภาพ ที่สร้างระบบประมวลผลแบบกระจายโดยใช้ Hadoop มาดำเนินการ ซึ่งสร้างบน VirtualBox ที่มีจำนวนเครื่อง 2 เครื่อง, 4 เครื่อง และ 8 เครื่อง รวมเป็น 3 สภาพแวดล้อมการทดลอง แต่ละสภาพแวดล้อมนั้นสามารถติดต่อถึงกันได้ผ่านระบบเครือข่าย หลังจากนั้นนำไฟล์ที่สร้างไว้ส่งไปจัดเก็บใน HDFS ของแต่ละสภาพแวดล้อม แล้วทดลองการประมวลผลแบบกระจายบนจำนวนเครื่องแตกต่างกัน ซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 ขั้นตอนทดลองการประมวลผลแบบกระจายที่จำนวนเครื่องแตกต่างกัน

เมื่อสั่งดำเนินการ ระบบจะอ่านไฟล์จาก HDFS และค่าของภาพที่นำมาทดสอบ หลังจากนั้นส่งให้ Map คำนวณหาระยะห่างยูคลิดของค่าดังกล่าว จากนั้นส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปให้ Reduce รวมค่าระยะห่างยูคลิดที่เกี่ยวข้องกันของแต่ละไฟล์ และเปรียบเทียบผลรวมที่ได้แล้วเขียนผลลัพธ์ลงไฟล์ การทดลองนี้ดำเนินการเพื่อทดสอบเวลาที่ใช้ประมวลผลในแต่ละสภาพแวดล้อม

- ขั้นตอนการทดลองที่ 5 เพื่อให้การดำเนินการของ MapReduce นั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ต้องกระจายงานเพื่อให้ส่วนของ Reduce ทำงานน้อยลง จึงจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ดำเนินการลดลงไปด้วย การทดลองนี้ใช้สภาพแวดล้อมเหมือนขั้นตอนการทดลองที่ 4 แต่ปรับปรุงการทำงานของ MapReduce ใหม่ซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.23 ในส่วนบริเวณที่แรเงา



ภาพที่ 3.23 ขั้นตอนทดลองการประมวลผลแบบกระจายที่ปรับปรุงใหม่

โดยเมื่อส่งดำเนินการ ระบบจะอ่านไฟล์จาก HDFS และค่าของภาพที่นำมาทดสอบ หลังจากนั้นส่งให้ Map คำนวณระยะห่างยูคลิดของค่าดังกล่าวและรวมค่าระยะห่างยูคลิดที่เกี่ยวข้องกันของแต่ละไฟล์ แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปให้ Reduce เพื่อเปรียบเทียบผลรวม หลังจากนั้นเขียนผลลัพธ์ลงไฟล์ที่ระบุ การทดลองนี้ดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ประมวลผล ของวิธี MapReduce ที่ปรับปรุงใหม่กับวิธี MapReduce แบบเก่า ที่จำนวนภาพ 20,000 และ 200,000 ภาพ โดยผลลัพธ์ของการทดลองจะแสดงในบทที่ 4

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองการจับคู่ภาพและการประมวลผลแบบกระจายตามวิธีดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดลองการจับคู่ภาพ

การทดลองในส่วนนี้ดำเนินการบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล็ปท็อปที่ใช้หน่วยประมวลผล Intel® Core™ i5 ความเร็ว 2.50GHz หน่วยความจำ 16GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 8 โดยใช้สภาพแวดล้อมเสมือน Oracle VM VirtualBox เพื่อติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 64bit รุ่น 14.04 เป็นระบบปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลอง โดยมีหน่วยความจำ 8GB และใช้ฐานข้อมูลภาพจาก Corel Image Gallery ที่ได้สุ่มเลือกภาพจากทุกกลุ่ม 1,000 ภาพเพื่อเป็นข้อมูลในการทดลองวัดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับจำนวนภาพ

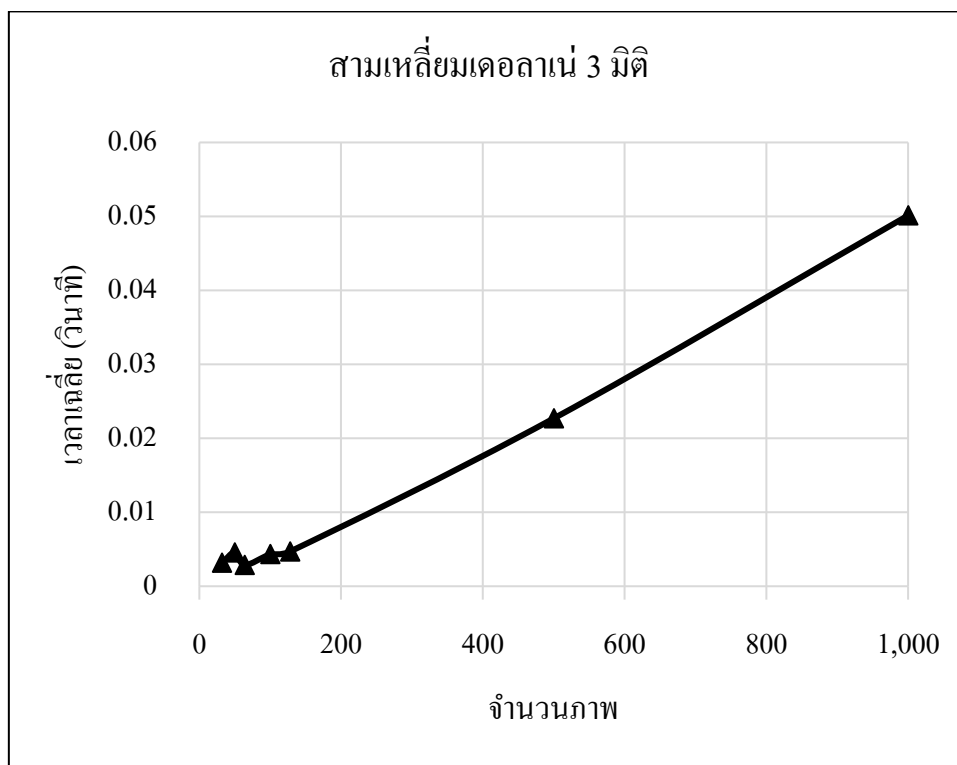
##### 4.1.1 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์หลายมิติ

หลังจากนำภาพที่เลือกไว้มาสกัดคุณลักษณะพิเศษโดยใช้สีของภาพ เพื่อทดลองบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ หลังดำเนินการตามขั้นตอนการทดลองที่ 1 ในบทที่ 3 แล้วได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ

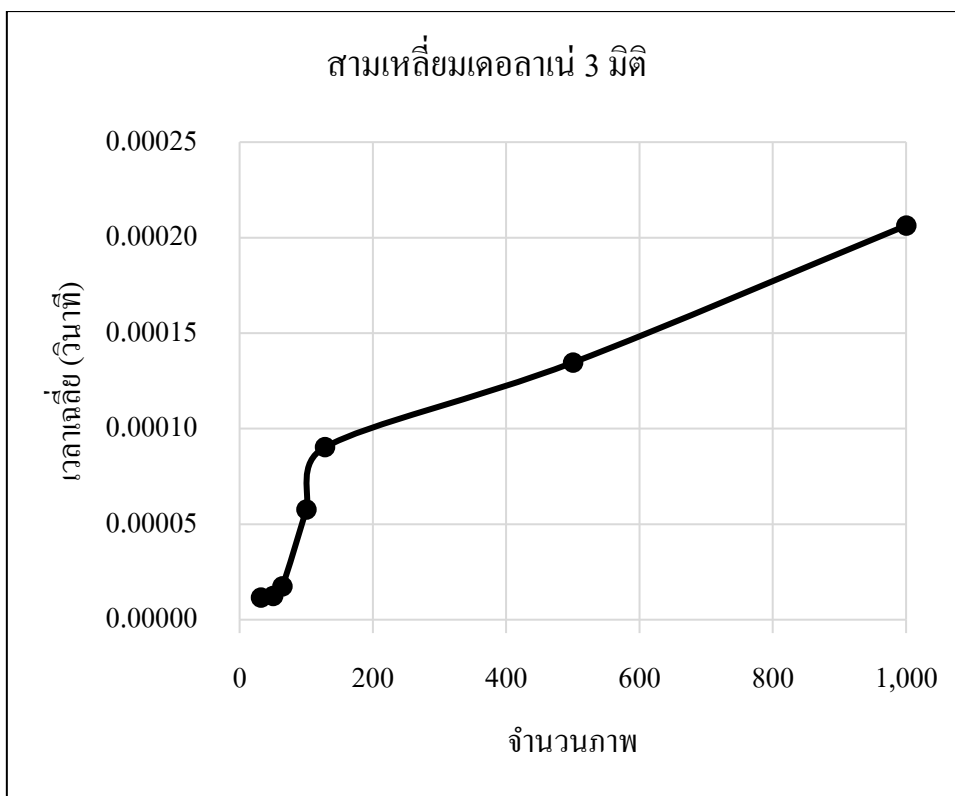
จำนวนภาพ	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการสร้าง DT (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพ (วินาที)	หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ (กิโลไบต์)
32	0.00317	0.00001160	13,196
50	0.00456	0.00001250	13,196
64	0.00286	0.00001740	13,196
100	0.00432	0.00005760	13,196
128	0.00469	0.00009093	13,348
500	0.02268	0.00013644	14,011
1,000	0.05012	0.00020635	14,704

จากผลการทดลองจับคู่ภาพจำนวน 100 ครั้งบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติดังภาพที่ 4.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติดังภาพที่ 4.2 ส่วนหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติดังภาพที่ 4.3

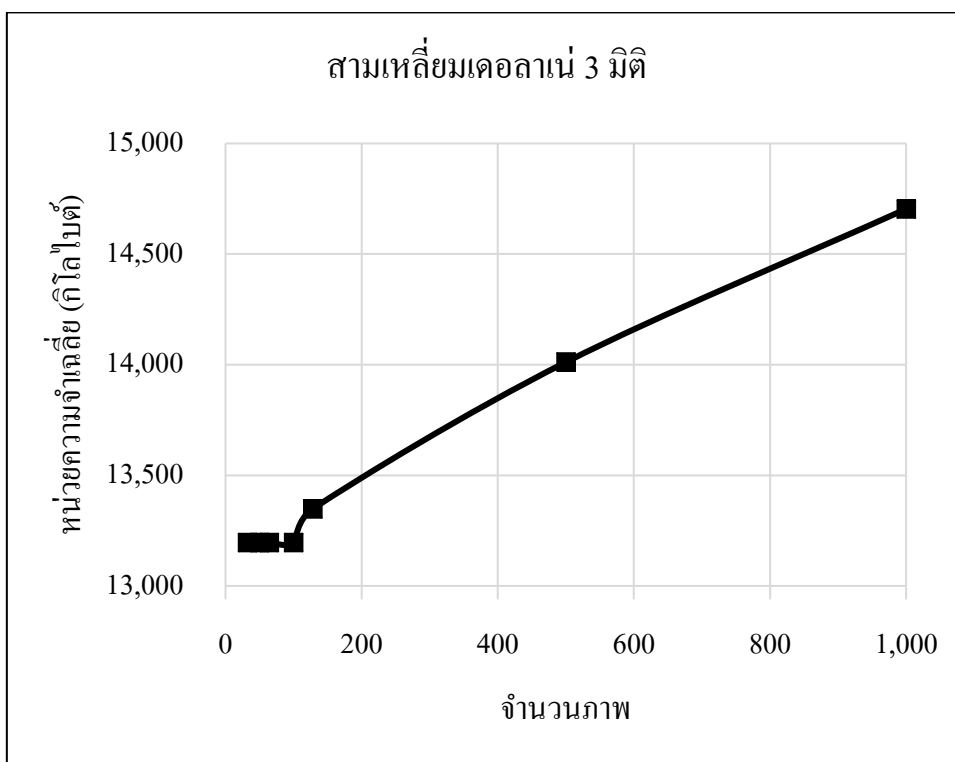


ภาพที่ 4.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ





ภาพที่ 4.2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ



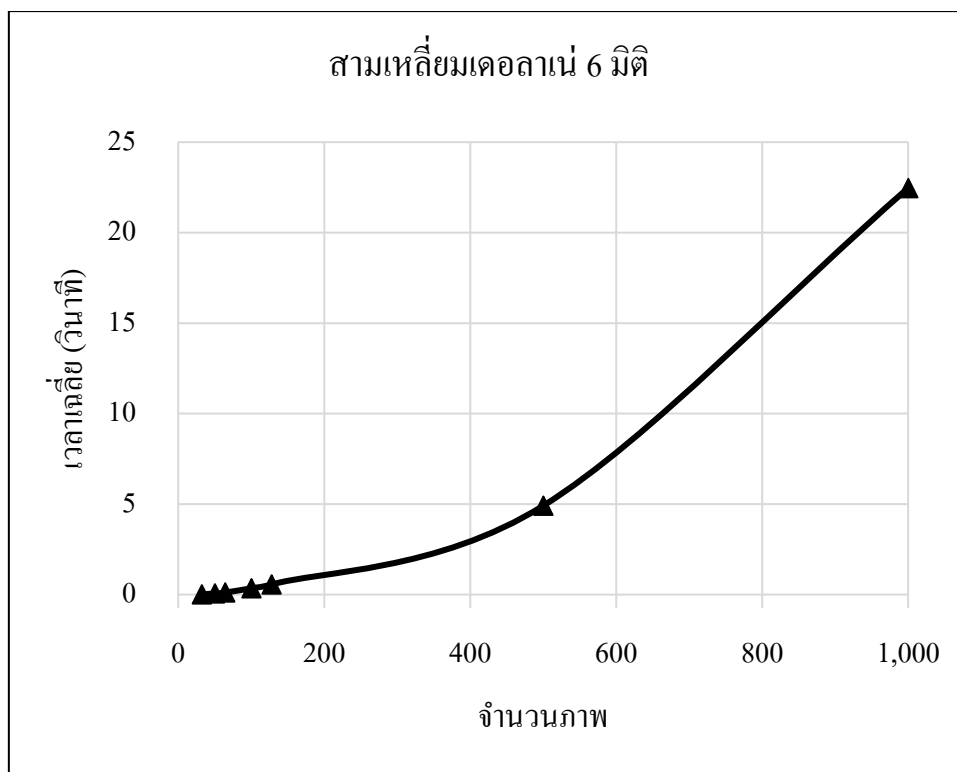
ภาพที่ 4.3 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 3 มิติ

สำหรับการทดลองบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติ หลังดำเนินการตามขั้นตอนการทดลองที่ 1 ในบทที่ 3 แล้วได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.2

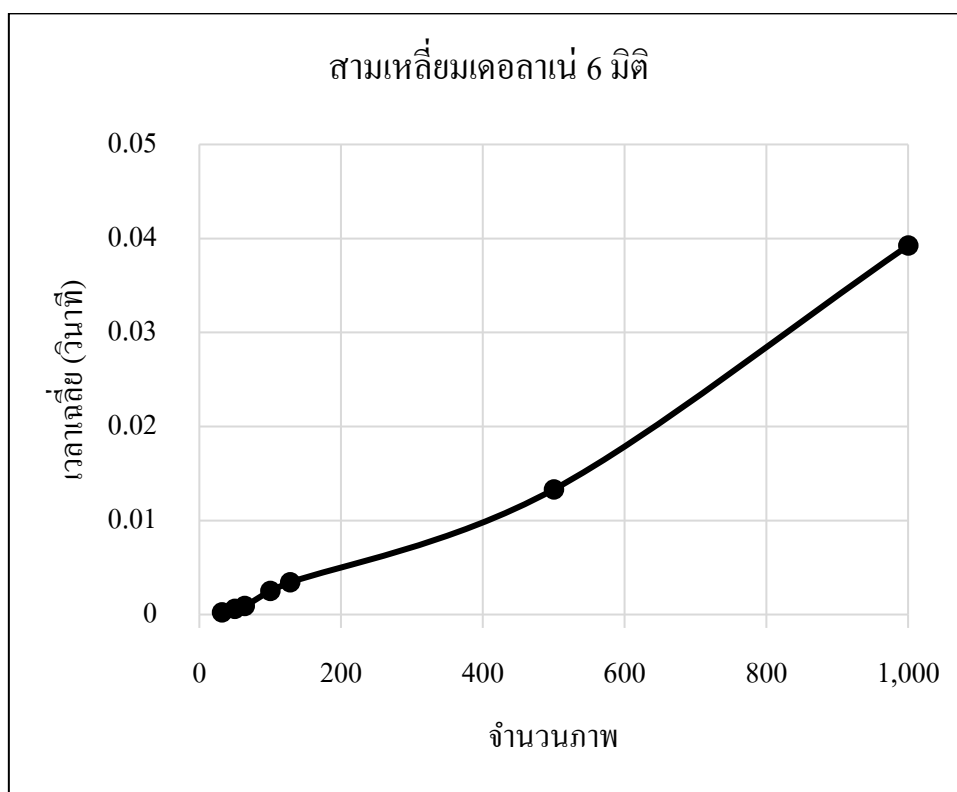
ตารางที่ 4.2 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติ

จำนวนภาพ	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการสร้าง DT (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพ (วินาที)	หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ (กิโลไบต์)
32	0.20788	0.0002170	13,882
50	0.06071	0.0005865	15,373
64	0.11120	0.0008915	16,408
100	0.35043	0.0025044	20,800
128	0.56099	0.0034064	24,812
500	4.90665	0.0133058	85,739
1,000	22.46190	0.0392300	176,616

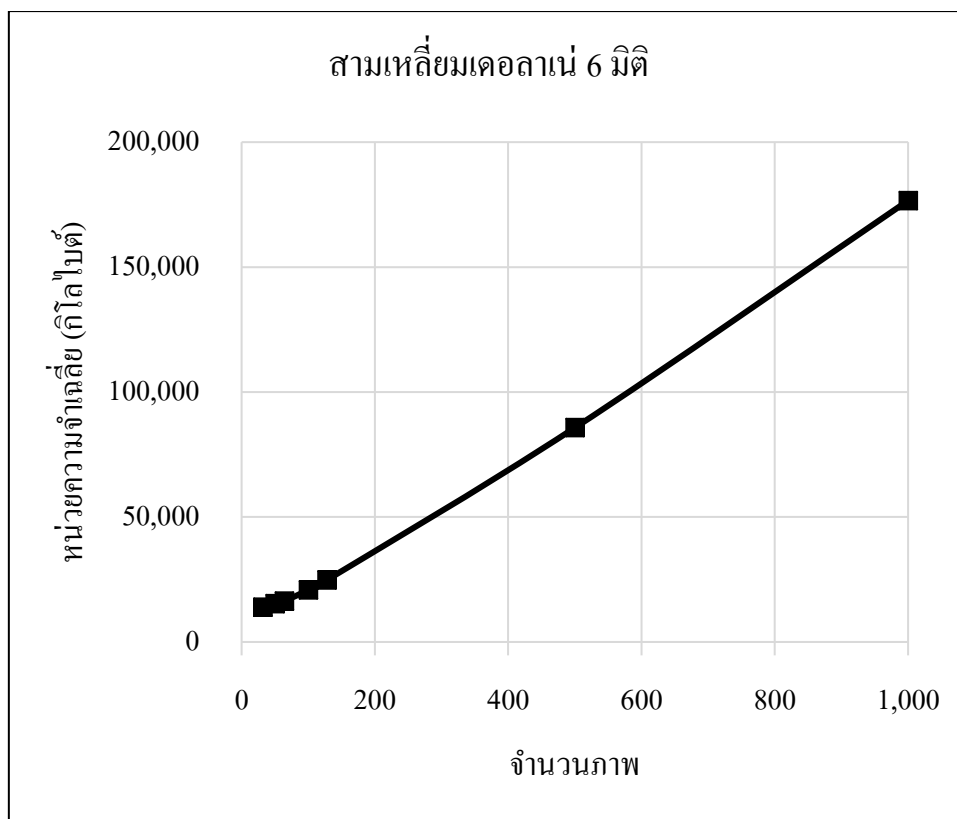
จากผลการทดลองจับคู่ภาพจำนวน 100 ครั้งบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติ เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติดังภาพที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติดังภาพที่ 4.5 ส่วนหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ 6 มิติ



ภาพที่ 4.5 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 6 มิติ



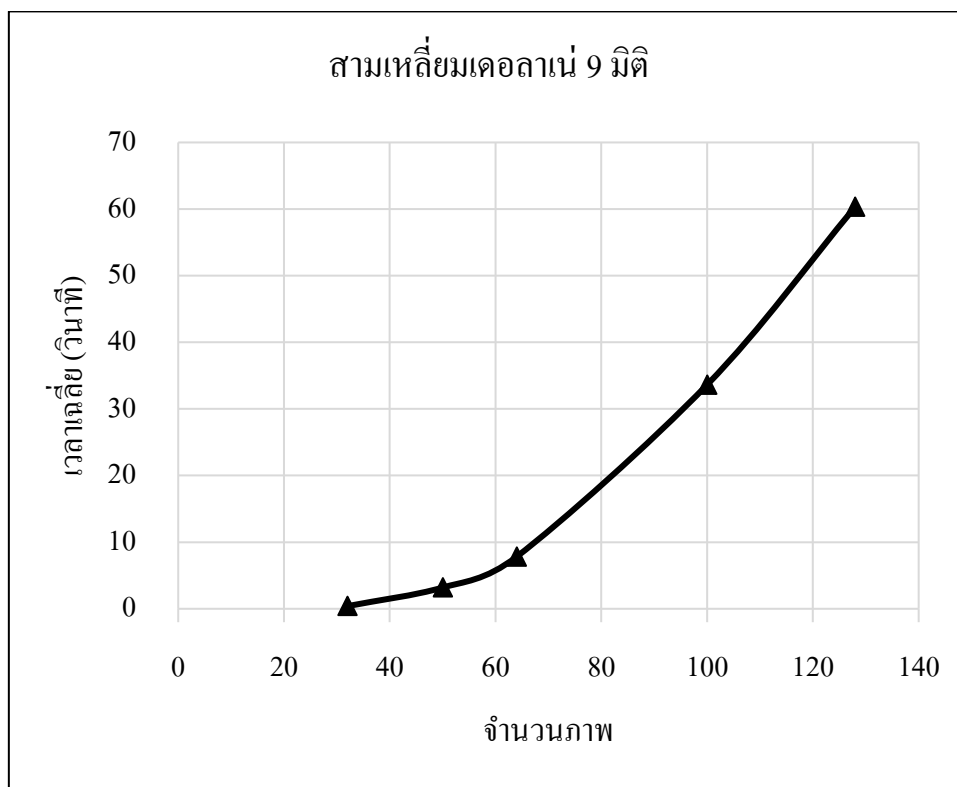
ภาพที่ 4.6 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมคอแลน 6 มิติ

สำหรับการทดลองบนสามเหลี่ยมคอแลน 9 มิติ หลังดำเนินการตามขั้นตอนการทดลองที่ 1 ในบทที่ 3 แล้วได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.3

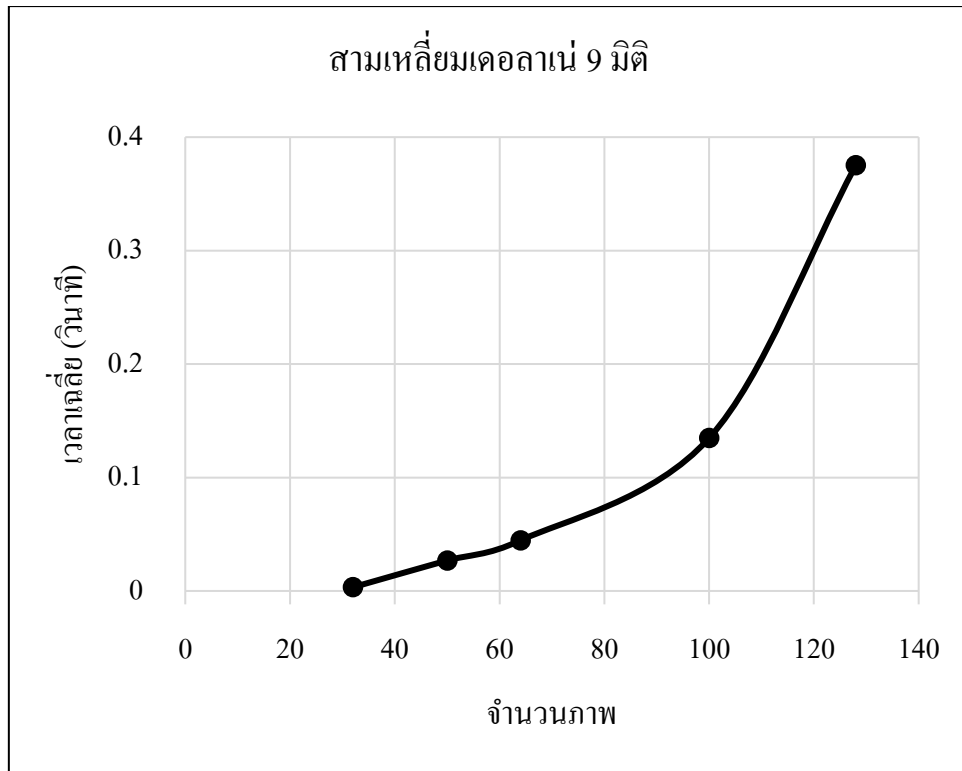
ตารางที่ 4.3 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมคอแลน 9 มิติ

จำนวนภาพ	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการสร้าง DT (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพ (วินาที)	หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ (กิโลไบต์)
32	0.39919	0.00325	24,629
50	3.13085	0.02687	71,863
64	7.82038	0.04461	135,671
100	33.62465	0.01347	385,624
128	60.33285	0.37515	748,446
500	ไม่สามารถประมวลผลได้	ไม่สามารถประมวลผลได้	เกินหน่วยความจำ
1,000	ไม่สามารถประมวลผลได้	ไม่สามารถประมวลผลได้	เกินหน่วยความจำ

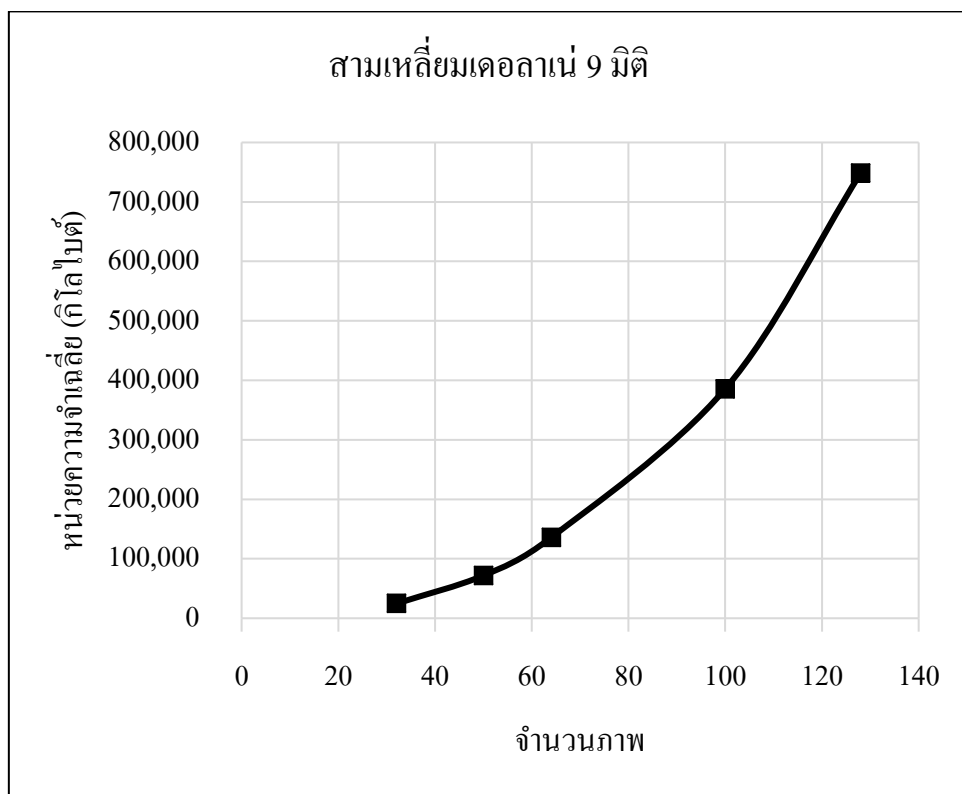
จากผลการทดลองจับคู่ภาพจำนวน 100 ครั้งบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 9 มิติ เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 9 มิติดังภาพที่ 4.7 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 9 มิติดังภาพที่ 4.8 ส่วนหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 9 มิติดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.7 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 9 มิติ



ภาพที่ 4.8 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 9 มิติ



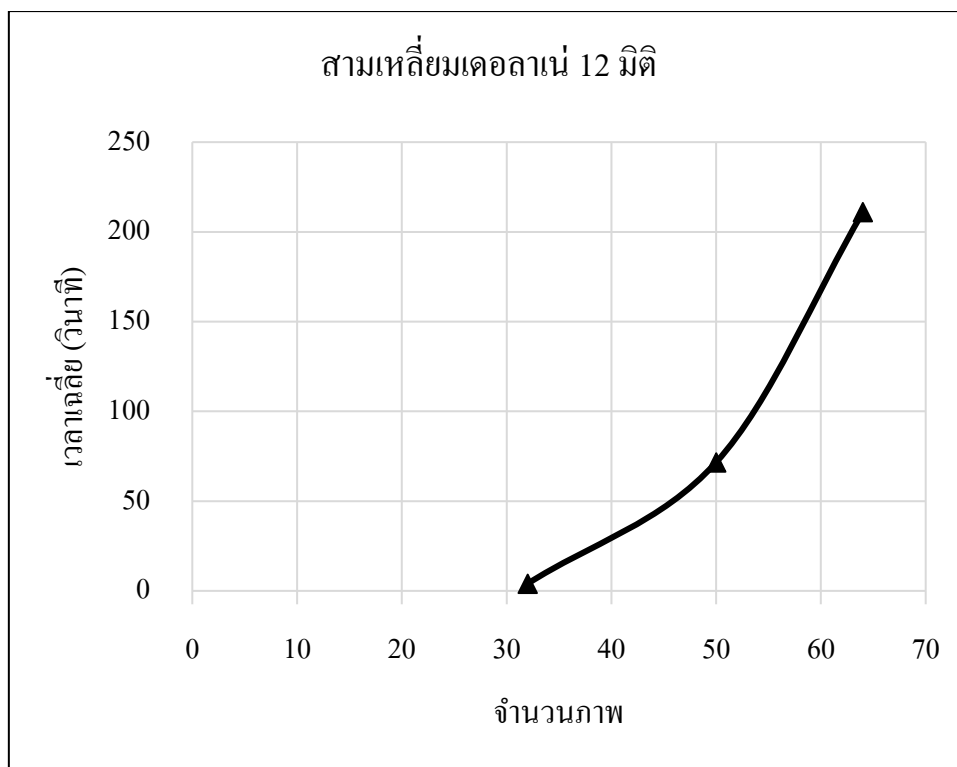
ภาพที่ 4.9 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 9 มิติ

สำหรับการทดลองบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 12 มิติ หลังดำเนินการตามขั้นตอนการทดลองที่ 1 ในบทที่ 3 แล้วได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.4

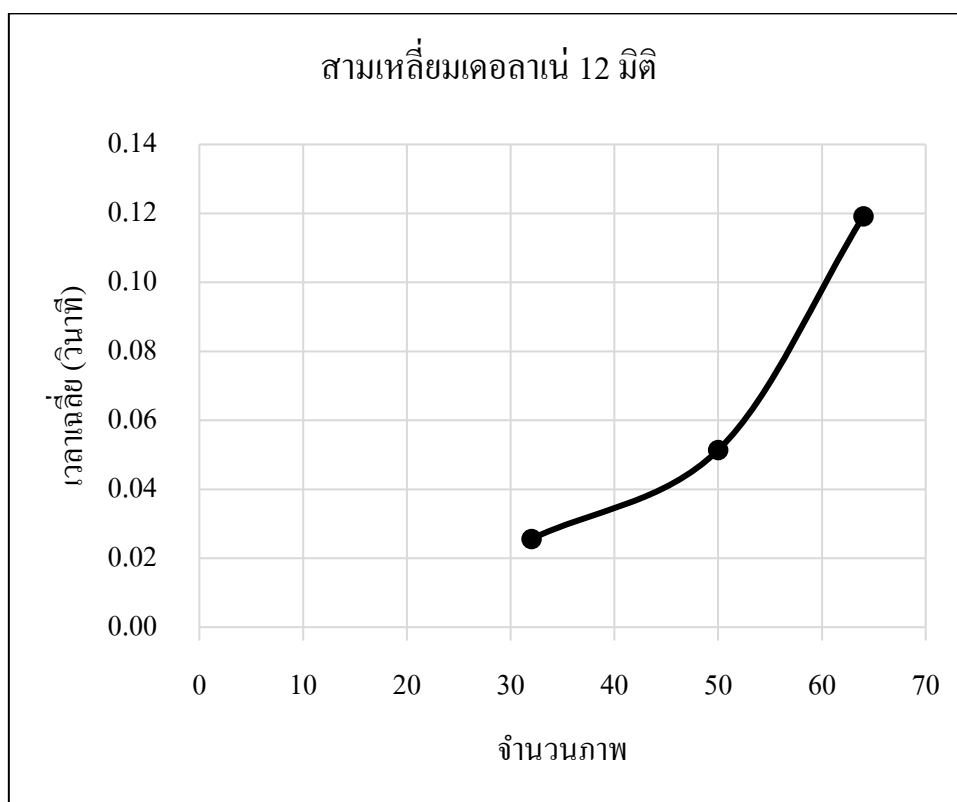
ตารางที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 12 มิติ

จำนวนภาพ	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการสร้าง DT (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพ (วินาที)	หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ (กิโลไบต์)
32	3.97172	0.02530	96,445
50	71.62430	0.05136	1,163,900
64	210.98196	0.11917	2,371,277
100	ไม่สามารถประมวลผลได้	ไม่สามารถประมวลผลได้	เกินหน่วยความจำ
128	ไม่สามารถประมวลผลได้	ไม่สามารถประมวลผลได้	เกินหน่วยความจำ
500	ไม่สามารถประมวลผลได้	ไม่สามารถประมวลผลได้	เกินหน่วยความจำ
1,000	ไม่สามารถประมวลผลได้	ไม่สามารถประมวลผลได้	เกินหน่วยความจำ

จากผลการทดลองจับคู่ภาพจำนวน 100 ครั้งบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 12 มิติ เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 12 มิติดังภาพที่ 4.10 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 12 มิติดังภาพที่ 4.11 ส่วนหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 12 มิติดังภาพที่ 4.12

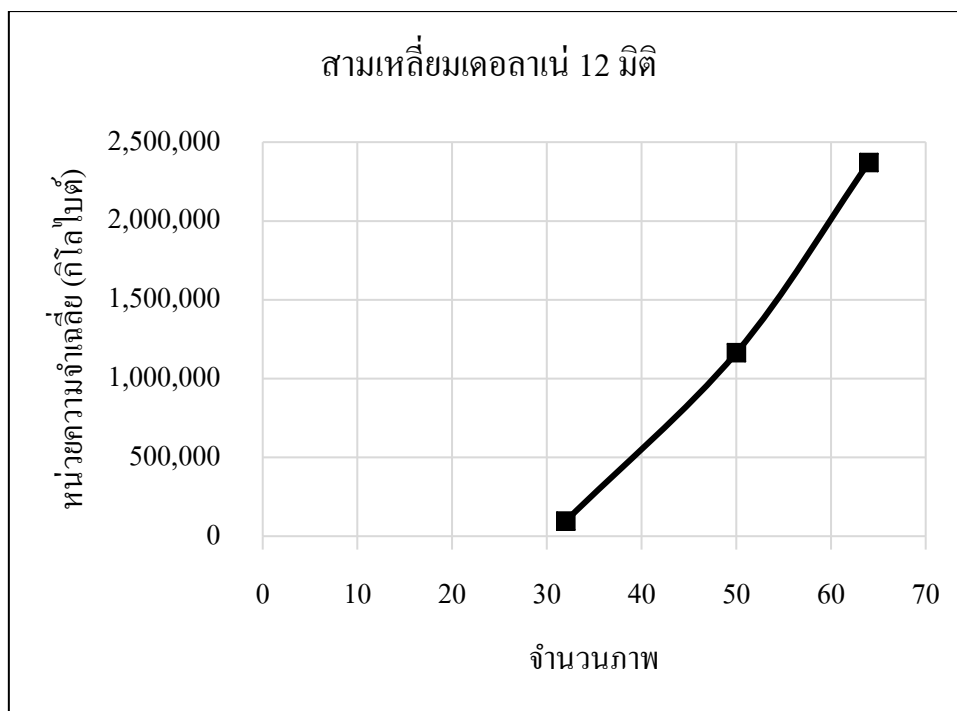


ภาพที่ 4.10 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ



ภาพที่ 4.11 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ



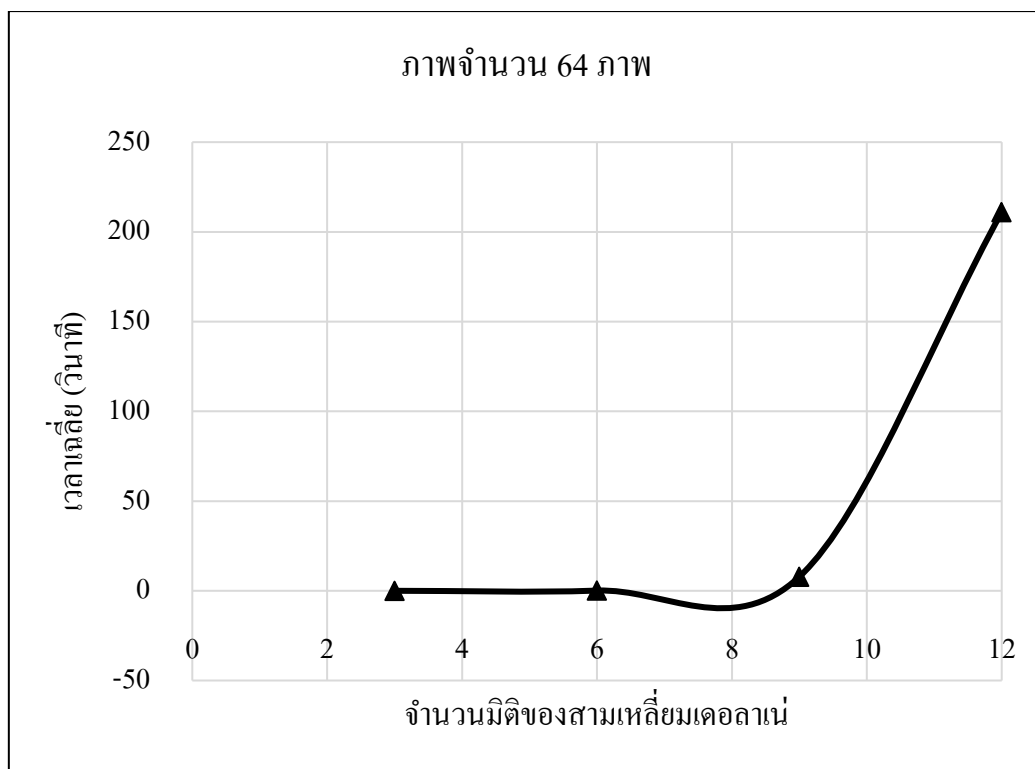


ภาพที่ 4.12 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ

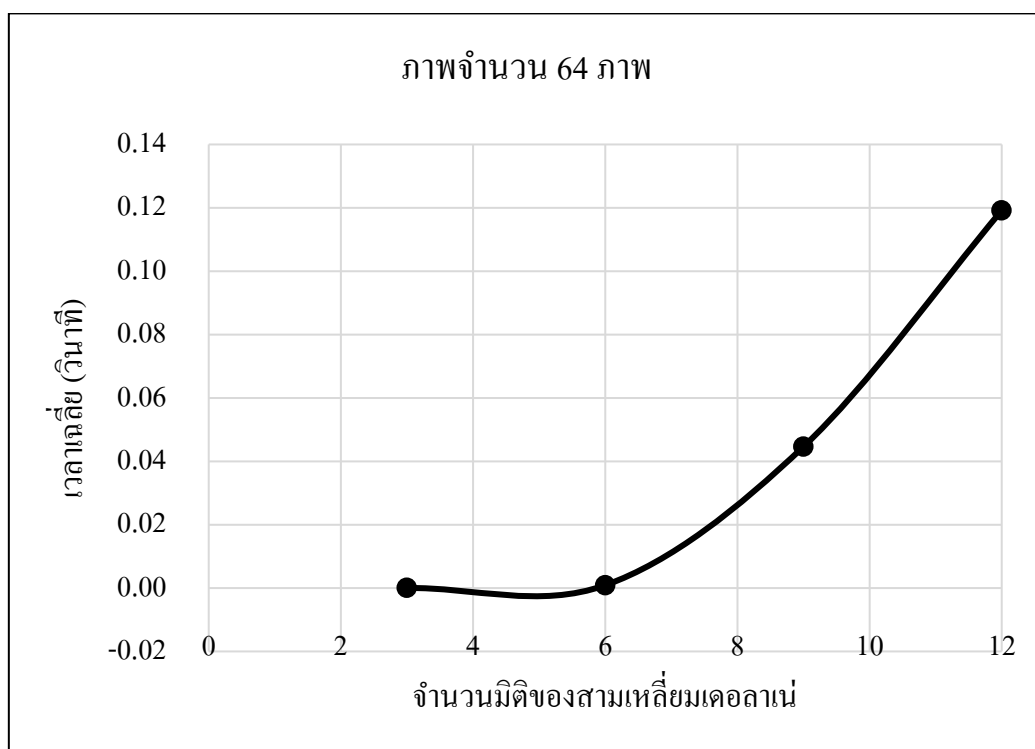
เมื่อนำผลการทดลองจับคู่ภาพของสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่ 3 มิติ 6 มิติ 9 มิติ และ 12 มิติ โดยใช้ภาพจำนวน 64 ภาพ มาเปรียบเทียบแล้วพบว่าจากการทดลอง 100 ครั้ง ค้นคืนได้ภาพที่ถูกต้อง 100 ครั้ง ดังตารางที่ 4.5 ส่วนหน่วยความจำ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพในทุกมิติมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพของมิติต่าง ๆ นั้น ได้ผลของการทดลองดังภาพที่ 4.13 และเวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มิติต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.14 ส่วนหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ของแต่ละมิตินั้น ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.5 ผลการค้นคืนภาพที่จำนวน 64 ภาพของสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายมิติ

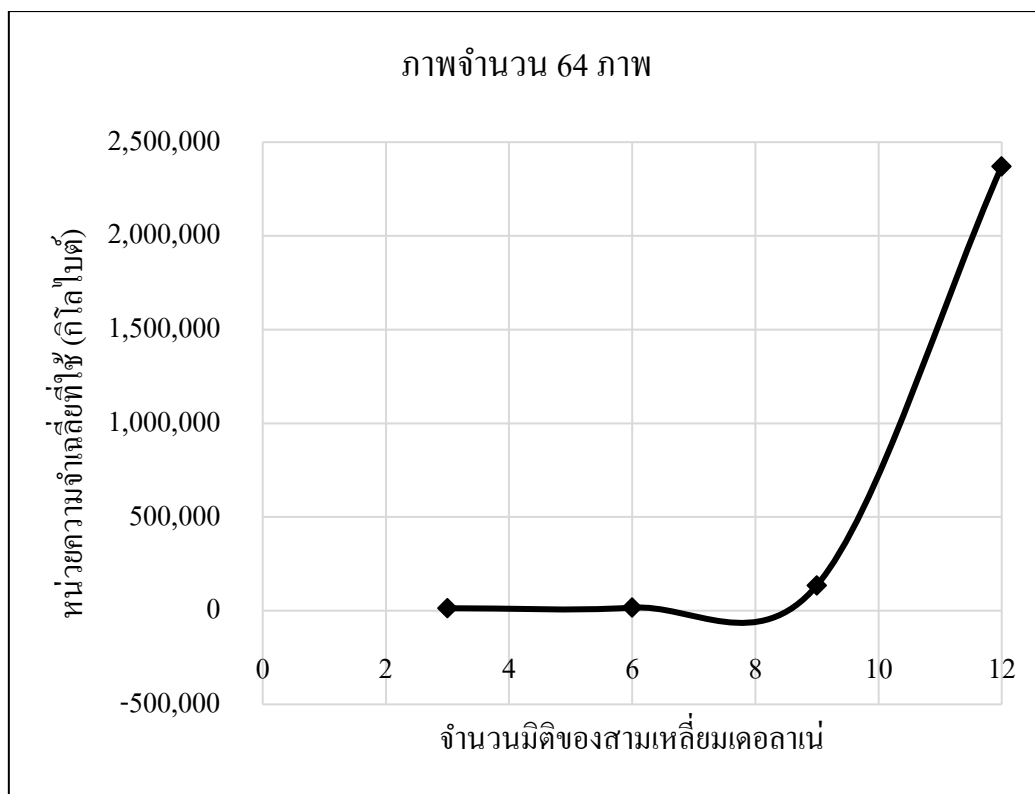
จำนวนมิติ	ในการทดลองแต่ละครั้ง ค้นคืนภาพมาได้ (ภาพ)	ในการทดลอง 100 ครั้งพบภาพที่ ตรงกับภาพที่ต้องการค้นคืน (ครั้ง)
3	8	100
6	7	100
9	10	100
12	13	100



ภาพที่ 4.13 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมคอด้านที่มีมิติแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.14 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมคอด้านที่มีมิติแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.15 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มีมิติแตกต่างกัน

สรุปแล้วการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนมิติของสามเหลี่ยมเดอลาน่สูงขึ้น โดยเฉพาะการทดลองบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ 12 มิติ ส่งผลให้หน่วยความจำและเวลาที่ใช้นั้นเพิ่มขึ้นมากไปด้วย ดังนั้นการใช้สามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มีมิติสูง ๆ ไม่เหมาะนำมาดำเนินการกับงานวิจัยนี้เนื่องจากทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองไม่เพียงพอต่อการสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มีมิติสูง ๆ โดยเฉพาะหน่วยความจำของเครื่อง

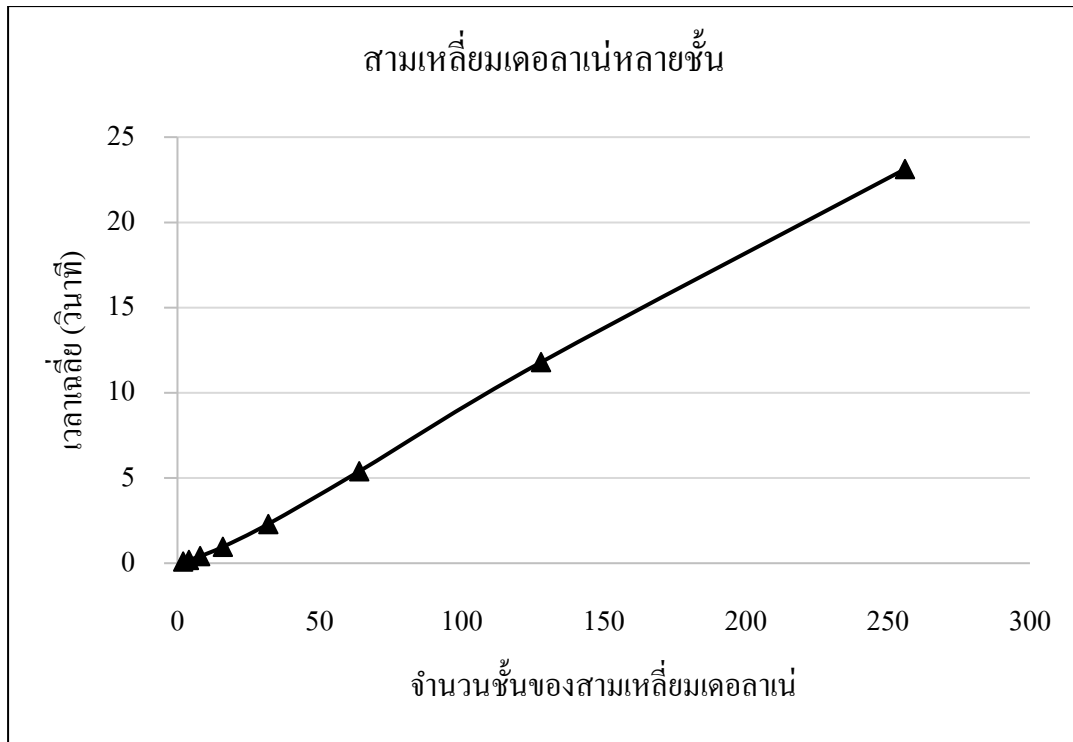
#### 4.1.2 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่มีขนาดกลางหลาย ๆ ชั้น

หลังจากนำภาพที่เลือกไว้มาสกัดคุณลักษณะพิเศษทางสีของภาพ เพื่อทดลองบนสามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มีมีติขนาดกลางหลาย ๆ ชั้น ในการทดลองนี้ใช้สามเหลี่ยมเดอลาน่ที่มีขนาด 3 มิติ เมื่อนำไปดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2 ในบทที่ 3 แล้วได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.6

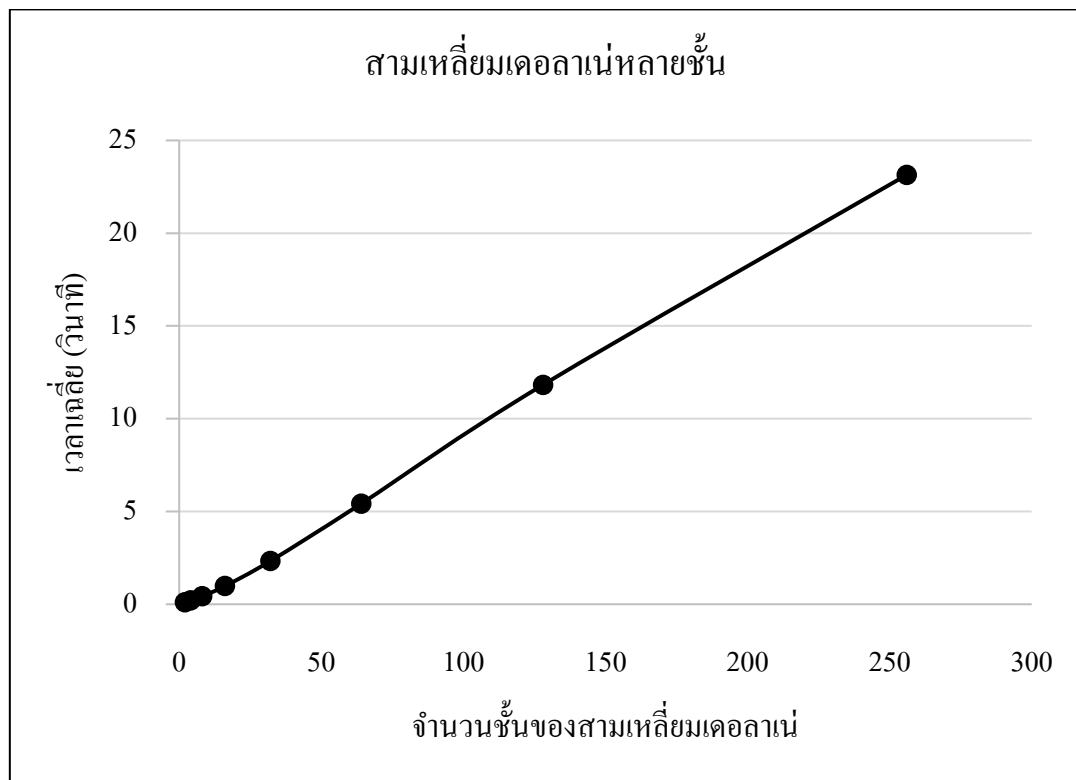
ตารางที่ 4.6 เวลาและหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์หลายชั้น

จำนวนชั้นของ สามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ	เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้าง สามเหลี่ยมเดอลาน์ (วินาที)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ จับคู่ภาพ (วินาที)	หน่วยความจำเฉลี่ย ที่ใช้ (กิโลไบต์)
2	0.096	0.100	16,332
4	0.198	0.203	19,684
8	0.409	0.422	26,236
16	0.963	0.973	42,356
32	2.305	2.323	71,444
64	5.395	5.416	131,944
128	11.795	11.824	253,780
256	23.119	23.141	505,844

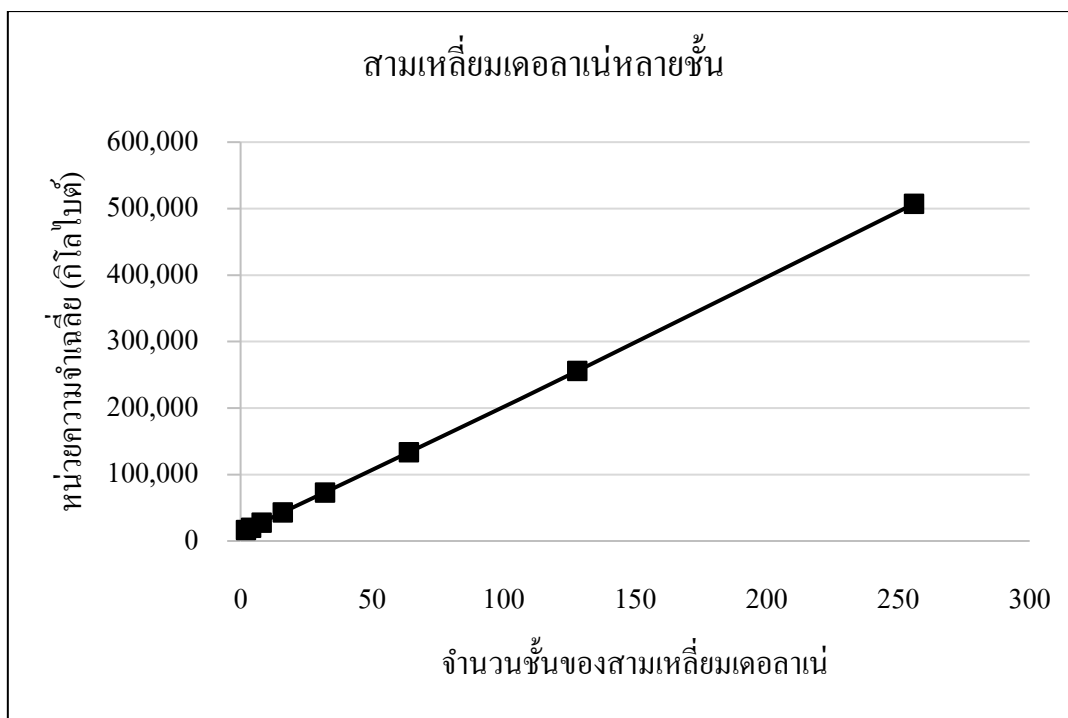
จากผลการทดลองจับคู่ภาพจำนวน 100 ครั้งบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลาย ๆ ชั้น เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลาย ๆ ชั้น ดังภาพที่ 4.16 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลาย ๆ ชั้น ดังภาพที่ 4.17 ส่วนหน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลาย ๆ ชั้น ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.16 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายชั้น



ภาพที่ 4.17 เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน่หลายชั้น



ภาพที่ 4.18 หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลบนสามเหลี่ยมเคอลาน่หลายชั้น

เมื่อนำผลการทดลองจับคู่ภาพของสามเหลี่ยมเคอลาน่ที่ 3 มิติ หลาย ๆ ชั้นมาเปรียบเทียบ โดยใช้ภาพจำนวน 1,000 ภาพ พบว่าจากการทดลอง 100 ครั้ง ค้นคืนได้ภาพที่ถูกต้อง 100 ครั้ง ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการค้นคืนภาพที่จำนวน 1,000 ภาพของสามเหลี่ยมเคอลาน่ 3 มิติหลายชั้น

จำนวนชั้น	ในการทดลองแต่ละครั้ง ค้นคืนภาพมาได้ (ภาพ)	ในการทดลอง 100 ครั้งพบภาพที่ ตรงกับภาพที่ต้องการค้นคืน (ครั้ง)
2	7	100
4	13	100
8	24	100
16	44	100
32	79	100
64	168	100
128	225	100
256	322	100

สรุปแล้วการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนชั้นของสามเหลี่ยมเดอลาน์เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากคุณลักษณะพิเศษของภาพที่มากขึ้น ส่งผลให้หน่วยความจำและเวลาที่ใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นการใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์ที่มีขนาดกลางจำนวนหลาย ๆ ชั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็น โครงสร้างพื้นฐานของงานวิจัยนี้มากกว่าสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่มีมิติสูงๆ เพียงชั้นเดียว แต่ไม่ว่าจะใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์แบบไหนก็สามารถค้นคืนภาพได้ถูกต้องทุกครั้ง

#### 4.1.3 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลายชั้นแบบกระจาย

หลังจากนำภาพที่เลือกไว้มาสกัดคุณลักษณะพิเศษทางสีของภาพ เพื่อทดลองประมวลผลแบบกระจายเบื้องต้นบน Hadoop รุ่น 1.2.1 ด้วยสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 256 ชั้น โดยใช้ไฟล์ที่ทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 และเมื่อนำมาดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 ในบทที่ 3 แล้วได้ผลลัพธ์การทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการจับคู่ภาพบนสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลายชั้น โดยประมวลผลแบบกระจาย

จำนวนชั้นของ สามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ	256
จำนวนภาพทั้งหมดที่ใช้ทดลอง (ภาพ)	2,500
จำนวนครั้งที่ค้นคืนภาพ (ครั้ง)	100
เวลาเฉลี่ยที่ใช้สร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ (วินาที)	69.410
เวลาเฉลี่ยที่ใช้จับคู่ภาพ (วินาที)	0.077
หน่วยความจำเฉลี่ยที่ใช้ (กิโลไบต์)	1,259,408
จำนวนภาพที่ค้นคืนได้ในแต่ละครั้ง (ภาพ)	5
ภาพที่ตรงกับภาพที่ต้องการค้นคืน (ครั้ง)	100

สรุปแล้วการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 256 ชั้นมาดำเนินการประมวลผลแบบกระจาย ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมีความถูกต้อง 100% โดยระบบจะประมวลผลที่เครื่องต่าง ๆ แล้วส่งผลลัพธ์ไปแสดงยังไฟล์ยังแต่ละเครื่องที่ประมวลผลการค้นคืนภาพแบบกระจายจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็น โครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของภาพในอนาคต

## 4.2 ผลการทดลองการประมวลผลแบบกระจาย

ผลการทดลองในส่วนนี้ดำเนินการบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล็ปท็อปที่ใช้หน่วยประมวลผลรุ่น Intel® Core™ i5 ความเร็ว 2.50GHz หน่วยความจำ 16GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 8 โดยใช้ Oracle VM VirtualBox เพื่อติดตั้ง Ubuntu 64bit รุ่น 12.04 เป็นระบบปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลอง โดยกำหนดให้หน่วยความจำของแต่ละเครื่องเท่ากับ 1GB ดำเนินการโดยใช้ระบบของ Hadoop รุ่น 1.2.1 ที่ประมวลผลแบบกระจายในสภาพแวดล้อมแบบ 1 เครื่อง 2 เครื่อง 4 เครื่อง และ 8 เครื่อง ที่สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกันผ่านเครือข่ายในแต่ละสภาพแวดล้อมได้ และใช้ฐานข้อมูลภาพจาก IAPR TC-12 Benchmark 20,000 ภาพ ซึ่งมีการคัดลอกเข้าเป็น 40,000 ภาพ 80,000 ภาพ 100,000 ภาพ 160,000 ภาพ และ 200,000 ภาพ เพื่อใช้ในการทดสอบกรณีที่มีภาพจำนวนมาก

### 4.2.1 ผลการประมวลผลแบบกระจายที่จำนวนเครื่องแตกต่างกัน

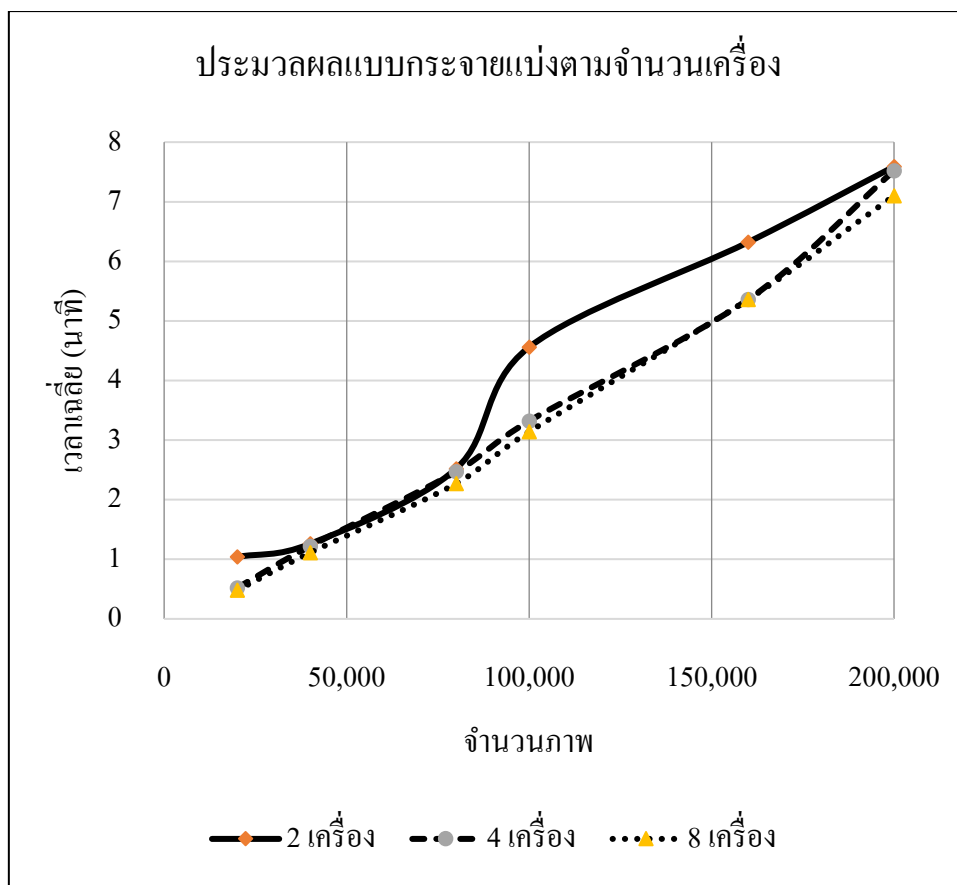
หลังจากนำภาพมาสกัดคุณลักษณะพิเศษทางสีของภาพเพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาระยะห่างยูคลิดบนสภาพแวดล้อมการประมวลผลแบบกระจาย หลังดำเนินการแล้วได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ

จำนวนภาพ จำนวนเครื่อง	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลแบบกระจาย (นาทีก)					
	20,000	40,000	80,000	100,000	160,000	200,000
2	1.04	1.26	2.52	4.56	6.32	7.59
4	0.52	1.22	2.47	3.32	5.36	7.52
8	0.48	1.11	2.27	3.14	5.36	7.10

จากผลการทดลองประมวลผลแบบกระจายที่จำนวนเครื่องและจำนวนภาพที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องที่ใช้ในการประมวลผลมากขึ้น เหมาะกับจำนวนข้อมูลที่มีปริมาณมาก ๆ ด้วยเช่นกัน ในส่วนของเวลายังแปรผันตามปริมาณข้อมูลดังภาพที่ 4.19





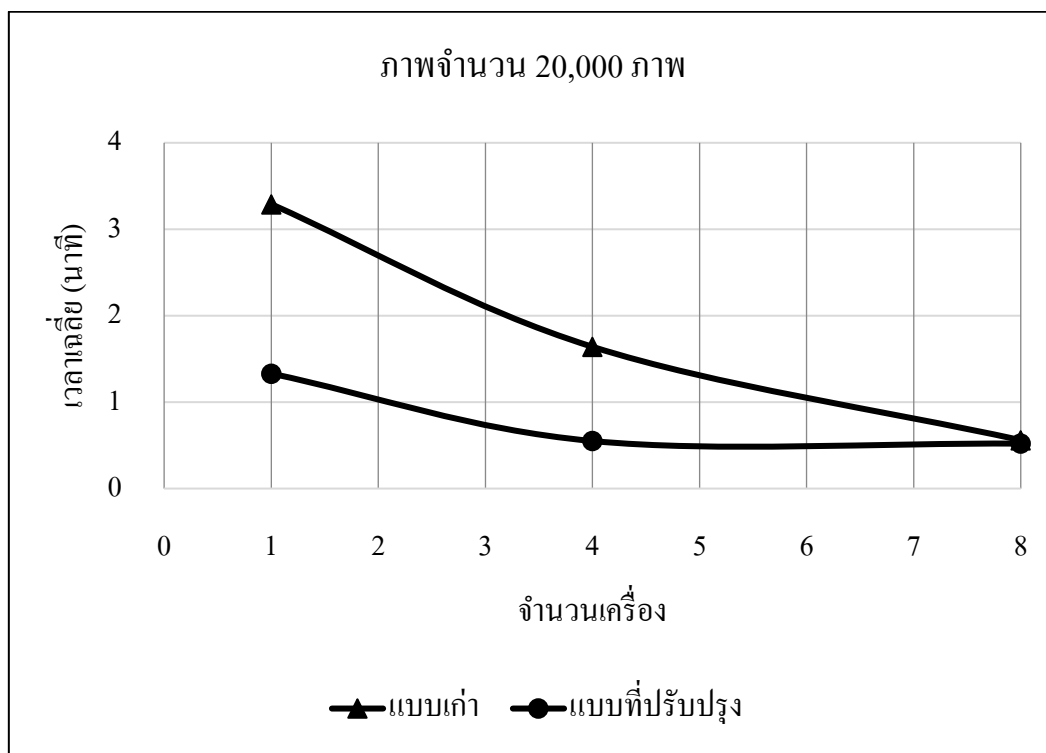
ภาพที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบผลลัพธ์การประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ

#### 4.2.2 ผลการประมวลผลแบบกระจายโดยปรับปรุงขั้นตอน MapReduce

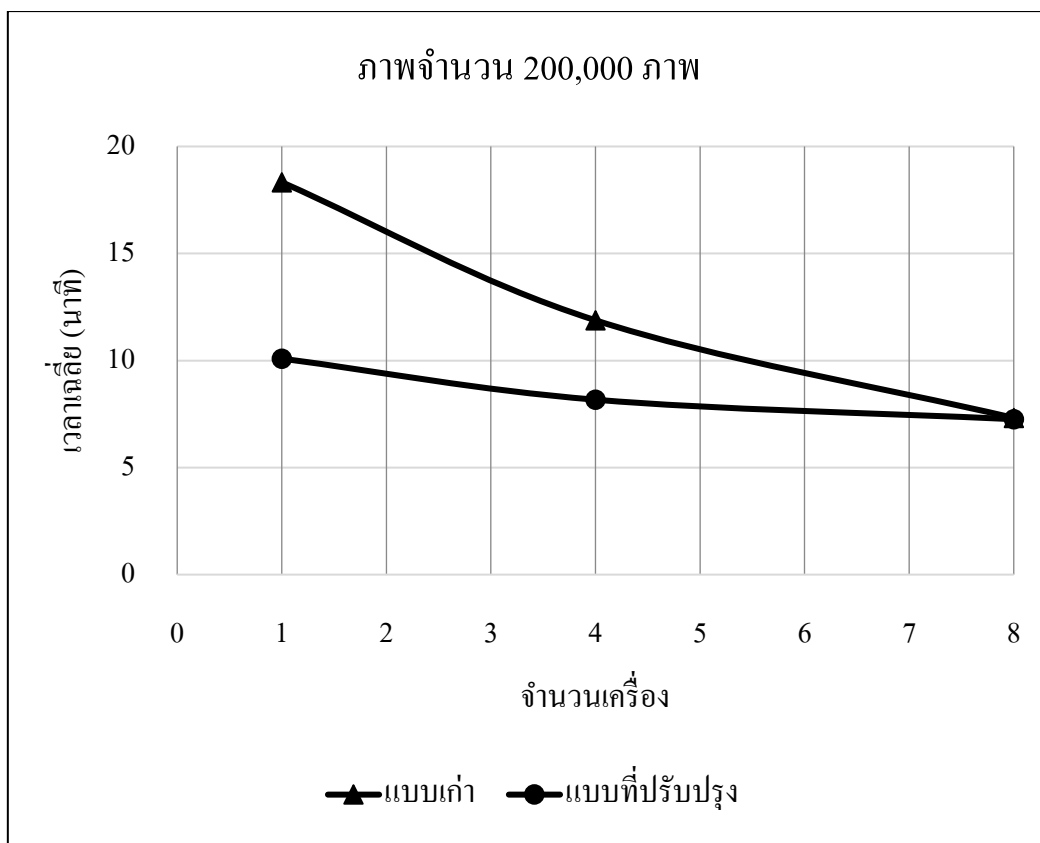
ตารางที่ 4.10 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลของ MapReduce แบบเก่าและแบบที่ปรับปรุง

จำนวนภาพ จำนวนเครื่อง	เวลาเฉลี่ยแบบเก่า (นาที)		เวลาเฉลี่ยแบบที่ปรับปรุง (นาที)		เวลาลดลงเฉลี่ย (ร้อยละ)	
	20,000	200,000	20,000	200,000	20,000	200,000
1	3.29	18.33	1.33	10.09	59.57	44.95
4	1.64	11.88	0.55	8.17	66.46	31.23
8	0.56	7.32	0.52	7.26	7.14	0.82

จากผลการทดลองประมวลผลแบบกระจายที่จำนวนเครื่องและจำนวนภาพที่แตกต่างกัน โดยปรับปรุงขั้นตอนในการ MapReduce ใหม่พบว่าเวลาที่ใช้ลดลงมากเมื่อนำเวลา มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.20 และภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.20 เวลาเฉลี่ยที่ใช้การประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ระหว่าง MapReduce แบบเก่าและแบบที่ปรับปรุงที่ภาพจำนวน 20,000 ภาพ



ภาพที่ 4.21 เวลาเฉลี่ยที่ใช้การประมวลผลแบบกระจายที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ระหว่าง MapReduce แบบเก่าและแบบที่ปรับปรุงที่ภาพจำนวน 200,000 ภาพ

### 4.3 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดลองการจับคู่ภาพทั้งแบบหลายมิติ แบบ 3 มิติ หลาย ๆ ชั้นและการประมวลผลแบบกระจาย ตามวิธีดำเนินการวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยได้ทดลองเพื่อหาโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลาย ๆ ชั้น เหมาะสำหรับการเป็นโครงสร้างเพื่อใช้ในการจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของภาพ เมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้นก็หมายถึงคุณลักษณะพิเศษของภาพที่ใช้ดำเนินการค้นคืนภาพมีเพิ่มขึ้นไปด้วย และเมื่อนำมาประมวลผลในสภาพแวดล้อมแบบกระจายก็จะช่วยให้การค้นคืนภาพนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในส่วนข้อผิดพลาดของการประมวลผลจะนำเสนอต่อไปในบทที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยบทสรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 5

### บทสรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

สำหรับบทนี้กล่าวถึงผลสรุป อภิปรายผลของการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมไปถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเรื่องการค้นคืนภาพบนสภาพแวดล้อมแบบกระจายที่ดำเนินการร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์ไปประยุกต์ใช้ หรือนำไปพัฒนาต่อ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบค้นคืนภาพแบบกระจายร่วมกับเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานเพื่อจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของภาพ โดยมีการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกระจาย เพื่อให้สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลในอนาคต สำหรับสรุปผลการทดลองของงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกับการทดลอง ส่วนแรกคือสรุปผลการทดลองการจับคู่ภาพโดยใช้เทคนิคของสามเหลี่ยมเดอลาน์เพื่อลดความซับซ้อนในการจับเก็บคุณลักษณะพิเศษของภาพ ส่วนที่สองคือการประมวลผลแบบกระจายโดยใช้ซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์คของ Hadoop เพื่อเพิ่มความเร็วในการประมวลผล

ในการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานโดยใช้เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์นั้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจับคู่ภาพด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่มีขนาดต่าง ๆ เพื่อให้ได้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการจับคู่ภาพและเพื่อลดความซับซ้อนในการจับเก็บคุณลักษณะพิเศษ อีกทั้งไว้รองรับการเพิ่มจำนวนของภาพในอนาคต ซึ่งผลการเปรียบเทียบการจับคู่ภาพระหว่างการใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์ที่มีมิติสูง ๆ เพียงชั้นเดียวกับการใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติหลาย ๆ ชั้นมาเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายสำหรับจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษพบว่า ผลการทดลองของทั้งสองวิธีให้ผลดีและมีประสิทธิภาพในเรื่องความถูกต้อง 100% ดังตารางที่ 4.5, 4.7 ในบทที่ 4 แต่มีความแตกต่างกันตรงที่เวลาและหน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งการจับคู่ภาพโดยใช้สามเหลี่ยมเดอลาน์หลาย ๆ ชั้นนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าทั้งเวลาและหน่วยความจำที่ใช้ โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการค้นคืนภาพของสามเหลี่ยมเดอลาน์ 3 มิติ 2 ชั้นกับสามเหลี่ยมเดอลาน์ 6 มิติเพียงชั้นเดียว ที่จำนวนภาพทั้งหมด 1,000 ภาพ พบว่าเวลาที่ใช้ในการสร้างสามเหลี่ยมเดอลาน์ลดลง 99.57% ส่วนเวลาที่ใช้ในการจับคู่ภาพเพิ่มขึ้น 155.10% เนื่องจากในการจับคู่ภาพของสามเหลี่ยมเดอลาน์หลายชั้นนั้น มีขั้นตอนการทำงานมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการ

ประมวลผลโดยรวมลดลง 99.13% และหน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผลโดยรวมลดลง 90.52% ซึ่งได้ทดลองเป็นจำนวน 100 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในการใช้เทคโนโลยีประมวลผลแบบกระจายมาเป็นโครงสร้างของระบบในการดำเนินการด้วยนั้น ได้ใช้ซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์กของ Hadoop ซึ่งผลการประมวลผลแบบกระจายบนสภาพแวดล้อมของ Hadoop งานวิจัยนี้ได้นำเสนอออกแบบการประมวลผลแบบกระจายในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการค้นคืนภาพ โดยที่เมื่อระบบมีหน่วยประมวลผลเพิ่มขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลงไปด้วย ผลการเปรียบเทียบการประมวลผลแบบกระจายระหว่างจำนวนเครื่องที่แตกต่างกันและวิธีการ MapReduce ที่แตกต่างกันนั้นพบว่า ในสภาพแวดล้อมของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนั้น การใช้เครื่องจำนวน 8 เครื่องมาประมวลผลแบบกระจายมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่ขั้นตอนการ MapReduce นั้นต้องออกแบบให้มีการคำนวณอยู่ในส่วนของ Map จนสิ้นสุดกระบวนการก่อนที่ส่งไปให้ส่วนของ Reduce ทำงานต่อ ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการแบ่งภาระงานให้ไปคำนวณในส่วนของ Reduce เป็นจำนวนมาก ๆ

ปัญหาที่พบในการทดลองของงานวิจัยนี้ก็คือ โครงสร้างของระบบที่เป็นสามเหลี่ยมเดลตาเน่ได้ถูกแยกการทำงานออกมา โดยกระจายไปทำงานในแต่ละโหนด เมื่อแต่ละโหนดประมวลผลได้เป็นชุดข้อมูลออกมาแล้ว จะส่งชุดข้อมูลดังกล่าวไปดำเนินการต่อในขั้นตอนการ Map แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการ Reduce สาเหตุที่แยกการดำเนินงานออกไปยังแต่ละโหนดนั้นเนื่องจากภาษาที่ใช้ในการสร้างและประมวลผลบนสามเหลี่ยมเดลตาเน่แตกต่างจากส่วน MapReduce ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการประมวลผลแบบกระจายยังไม่ดีเท่าที่ควร จึงควรใช้ภาษาเดียวกันในการเขียนรหัสของทั้งระบบ

จากผลงานวิจัยดังกล่าวพบว่า โครงสร้างพื้นฐานสามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลภาพและการเพิ่มขึ้นของคุณลักษณะพิเศษด้านต่าง ๆ ได้อีกมากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในการค้นคืนภาพ อีกทั้งยังลดความซับซ้อนในการจัดเก็บคุณลักษณะพิเศษของภาพได้อีก โดยใช้เทคนิคของสามเหลี่ยมเดลตาเน่ดำเนินการแจกแจงออกเป็นชั้น ๆ ในส่วนของการประมวลผลแบบกระจายนั้นทำให้ช่วยลดเวลาในการค้นคืนภาพของระบบที่มีขนาดใหญ่ได้อีกด้วย

## 5.2 อภิปรายผล

จากที่ได้พบทวนวรรณกรรมของงานวิจัยเกี่ยวกับระบบค้นคืนภาพไปแล้วนั้น งานวิจัยหลายชิ้นได้นำเสนอเกี่ยวกับคุณลักษณะพิเศษที่เหมาะสมเพื่อนำมาอธิบายภาพว่าเป็นภาพอะไร แต่ส่วนงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่ขั้นตอนการจับคู่ภาพที่เป็นขั้นตอนหนึ่งของระบบค้นคืน

ภาพ ที่ดำเนินการจับคู่ภาพจากฐานข้อมูลเพื่อให้ได้ภาพตรงหรือใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการค้นหา โดยนำคุณลักษณะพิเศษด้านสีของภาพมาเป็นตัวแทน และใช้เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์เพื่อเป็นโครงร่างในการค้นหาภาพ ซึ่งยังไม่พบงานวิจัยใดที่นำเสนอเทคนิคดังกล่าวเหมือนกับงานวิจัยชิ้นนี้ และนับเป็นงานวิจัยชิ้นหนึ่งที่พร้อมรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลภาพในอนาคต โดยได้ดำเนินการประมวลผลแบบกระจายที่เหมาะสมกับฐานข้อมูลขนาดใหญ่อีกด้วย

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การใช้เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์มาดำเนินการในสภาพแวดล้อมของ Hadoop นั้น ควรใช้ภาษา Java เพื่อให้สะดวกในการประมวลผล เนื่องจาก Hadoop นั้นถูกเขียนด้วยภาษา Java เป็นพื้นฐาน ทำให้ในขั้นตอนต่าง ๆ ที่ดำเนินการเกี่ยวกับสามเหลี่ยมเดอลาน์ สามารถแบ่งงานไปให้หน่วยประมวลผลต่าง ๆ ช่วยดำเนินการเพื่อลดเวลาได้มากขึ้น

5.3.2 เทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์ที่นำมาใช้ควรเพิ่มขึ้นตอนการเพิ่มและการลบของข้อมูลที่มีประสิทธิภาพให้กับระบบ จึงจะได้เป็นระบบการค้นหาภาพที่สมบูรณ์

5.3.3 ข้อจำกัดของเทคนิคสามเหลี่ยมเดอลาน์ เมื่อนำมาดำเนินการสร้างที่จำนวนมิติสูง ๆ และจำนวนจุดที่มากขึ้น จากตัวอย่างการทดลองที่ 9 มิติ และ 12 มิติ ทำให้ใช้หน่วยความจำและเวลาในการประมวลผลมาก จนบางครั้งอาจเกิดการ Swap ของหน่วยความจำ ทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

5.3.4 ในการทดลองของงานวิจัยนี้ได้ใช้แค่คุณลักษณะพิเศษด้านสีของภาพมาดำเนินการเพื่อเป็นกรณีศึกษาการทำงานบนโครงสร้างพื้นฐานของระบบนี้เท่านั้น ซึ่งในการใช้งานจริงสามารถเพิ่มคุณลักษณะพิเศษด้านอื่น ๆ ของภาพได้อีก เช่น รูปร่างของภาพ พื้นผิวของภาพ เป็นต้น เพื่อให้ได้ระบบการค้นหาภาพที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.3.5 การใช้ซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์คของ Hadoop มาดำเนินการนั้น ในส่วนของ Hadoop ยังมีการพัฒนาและแก้ไขข้อผิดพลาดอยู่ ทำให้ประสิทธิภาพบางส่วนของระบบขึ้นอยู่กับรุ่นของซอฟต์แวร์ด้วย

## บรรณานุกรม

- “Advanced Chroma Key Settings.” 2016. Medialooks. <https://www.medialooks.com/>  
(Accessed July 20, 2016)
- An, J., S. H. Lee, and N. I. Cho. 2014. “Content-Based Image Retrieval Using Color Features of Salient Regions.” In *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 3042–46.
- Andaló, F. A., P. A. V. Miranda, R. da S. Torres, and A. X. Falcão. 2010. “Shape Feature Extraction and Description Based on Tensor Scale.” *Pattern Recognition* 43 (1): 26–36.
- Ariyoshi, Y., J. Kamahara, N. Tanaka, K. Hirayama, T. Nagamatsu, and Y. Teranishi. 2013. “Location-Dependent Content-Based Image Retrieval System Based on a P2P Mobile Agent Framework.” In *2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, 72–77.
- Arkin, Esther M., Antonio Fernández Anta, Joseph S. B. Mitchell, and Miguel A. Mosteiro. 2015. “Probabilistic Bounds on the Length of a Longest Edge in Delaunay Graphs of Random Points in D-Dimensions.” *Computational Geometry* 48 (2): 134–46.
- Avni, U., H. Greenspan, E. Konen, M. Sharon, and J. Goldberger. 2011. “X-Ray Categorization and Retrieval on the Organ and Pathology Level, Using Patch-Based Visual Words.” *IEEE Transactions on Medical Imaging* 30 (3): 733–46.
- Bebis, G., T. Deaconu, and M. Georgiopoulos. 1999. “Fingerprint Identification Using Delaunay Triangulation.” In *1999 International Conference on Information Intelligence and Systems, 1999. Proceedings*, 452–59.

- Chang, F. C., and H. C. Huang. 2007. "A Programming Model for Distributed Content-Based Image Retrieval." In *Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2007*. IHHMSP 2007, 1:210–13.
- Chen, Y. L., T. W. Chen, and S. Y. Chien. 2009. "Fast Texture Feature Extraction Method Based on Segmentation for Image Retrieval." In *2009 IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics*, 941–42.
- Choudhary, R., N. Raina, N. Chaudhary, R. Chauhan, and R. H. Goudar. 2014. "An Integrated Approach to Content Based Image Retrieval." In *2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2404–10.
- Cui, Yin, Yongzhou Xiang, Kun Rong, R. Feris, and L. Cao. 2014. "A Spatial-Color Layout Feature for Representing Galaxy Images." In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 213–19.
- Dang, Q. B., M. Rusiñol, M. Coustaty, M. M. Luqman, C. D. Tran, and J. M. Ogier. 2016. "Delaunay Triangulation-Based Features for Camera-Based Document Image Retrieval System." In *2016 12th IAPR Workshop on Document Analysis Systems (DAS)*, 1–6.
- "Delaunay\_1. pdf." 2016. [http://graphics.stanford.edu/courses/cs368-06-spring/handouts/Delaunay\\_1.pdf](http://graphics.stanford.edu/courses/cs368-06-spring/handouts/Delaunay_1.pdf). (Accessed July 4, 2016)
- Douik, A., M. Abdellaoui, and L. Kabbai. 2016a. "Content Based Image Retrieval Using Local and Global Features Descriptor." In *2016 2nd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, 151–54.
- Cheng Dey Shewchuk. "Delaunay Mesh Generation." 2012. CRC Press.



- “EE381K- 14 Multidimensional DSP - Spring 2008 Projects.” 2016. Accessed July 4.  
<http://users.ece.utexas.edu/~bevans/courses/ee381k/projects/spring08/>.
- Espinoza-Molina, D., and M. Datcu. 2013. “Earth-Observation Image Retrieval Based on Content, Semantics, and Metadata.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 51 (11): 5145–59.
- “IAPR TC-12 Benchmark | ImageCLEF / LifeCLEF - Multimedia Retrieval in CLEF.” 2016.  
<http://imageclef.org/photodata>. (Accessed July 4,2016)
- Jianming, Sun, and Li Junling. 2012. “The Star Database Built on Delaunay Triangulation.” In *2012 International Conference on Measurement, Information and Control (MIC)*, 1:322–26.
- Lee, D. Y., and S. S. Lam. 2008. “Efficient and Accurate Protocols for Distributed Delaunay Triangulation under Churn.” In *IEEE International Conference on Network Protocols, 2008. ICNP 2008*, 124–36.
- Liu, Ning, Yilong Yin, and Hongwei Zhang. 2005. “A Fingerprint Matching Algorithm Based On Delaunay Triangulation Net.” In *The Fifth International Conference on Computer and Information Technology (CIT'05)*, 591–95.
- Mistry, Y., D. T. Ingole, and M. D. Ingole. 2016. “Efficient Content Based Image Retrieval Using Transform and Spatial Feature Level Fusion.” In *2016 2nd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, 299–303.
- “Qhull Code for Convex Hull, Delaunay Triangulation, Voronoi Diagram, and Halfspace Intersection about a Point.” 2016. <http://www.qhull.org/>. (Accessed July 4, 2015)

- Quynh, Nguyen Huu, Ngo Quoc Tao, and Ngo Truong Giang. 2008. "An Efficient Method for Content Based Image Retrieval Using Histogram Graph." In *10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008. ICARCV 2008*, 874–78.
- "Scale- Invariant Feature Transform." 2016. Wikipedia, the Free Encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Scale-invariant\\_feature\\_transform](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Scale-invariant_feature_transform)
- Shores, Roger W., and Edward J. Wegman. 2010a. "Bounds on Delaunay Tessellations." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 2 (5): 571–80.
- Song, J., and Z. He. 2015. "Content Based Image Retrieval by IPP Algorithm." In *2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*, 1–4.
- Taewon Yoo, Sunghee Choi, Hyonik Lee, and Jinwon Lee. 2005. "Distributed Kinetic Delaunay Triangulation." 32 (2): 964–66.
- "The COREL Database for Content Based Image Retrieval - Dct-Research." 2016. Accessed July 4. <https://sites.google.com/site/dctresearch/Home/content-based-image-retrieval>.
- Wang, Chengfeng, M. Gavrilova, Yuan Luo, and J. Rokne. 2006. "An Efficient Algorithm for Fingerprint Matching." In *18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR '06)*, 1:1034–37.
- Wang, Z., K. Jia, and P. Liu. 2008. "A Novel Image Retrieval Algorithm Based on ROI by Using SIFT Feature Matching." In *International Conference on MultiMedia and Information Technology, 2008. MMIT '08*, 338–41.
- Wangming, X., W. Jin, L. Xinhai, Z. Lei, and S. Gang. 2008. "Application of Image SIFT Features to the Context of CBIR." In *2008 International Conference on Computer Science and*

*Software Engineering*, 4:552–55.

White, Tom. 2016. “Hadoop: The Definitive Guide”. 2nd Edition. O'Reilly Media. Yahoo Press.

Yang, Wencheng, J. Hu, and M. Stojmenovic. 2012. “NDTC: A Novel Topology-Based Fingerprint Matching Algorithm Using N-Layer Delaunay Triangulation Net Check.” In *2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 866–70.

Zhang, J., X. Liu, J. Luo, and B. Lang. 2010. “DIRS: Distributed Image Retrieval System Based on MapReduce.” In *2010 5th International Conference on Pervasive Computing and Applications (ICPCA)*, 93–98.

นัฐพงศ์ ส่องเนียม. 2016. “<http://www.siam2dev.com>, นักพัฒนาโปรแกรม, เขียนโปรแกรม, อีเลิร์นนิ่ง, Vb.net, Java, C#, Php.” [http://www.siam2dev.com/siam2dev\\_PL.php](http://www.siam2dev.com/siam2dev_PL.php). (สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2554)

สาธิต แสงประดิษฐ์. 2546. “การสืบค้นภาพเครื่องหมายการค้าโดยใช้เทคนิคการสืบค้นข้อมูลภาพตามลักษณะรูปร่าง.” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุนันท์ ตันทขุน. 2550. “การระบุตัวบุคคลด้วยลายนิ้วมือโดยใช้วิธีการสามเหลี่ยม Delaunay.” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สดี ไส คุดยา. 2550. “เทคโนโลยีการประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Computing).” <http://www.vcharkarn.com/varticle/32730>. (สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2556)

## ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

**บทความทางวิชาการ**





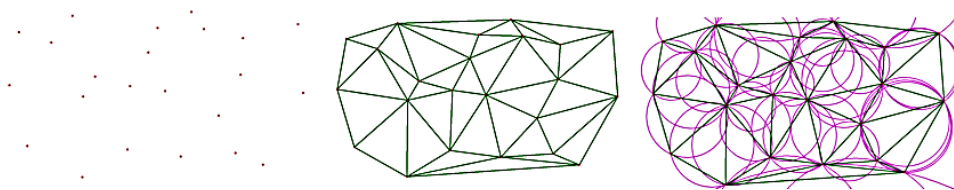
effective. While dimension increases, the several facets and ridges in a convex hull grow rapidly for the identical number of vertices, including time and memory requirements.

This paper attempts to propose the construction the multiple of medium dimensional Delaunay triangulation that extends to higher dimensions for the structure of image feature vectors. For the present the ability of this method, we use the color histogram, which is well known to extract color features of images for a representation of multidimensional feature vectors.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Delaunay triangulation

The Delaunay triangulation (DT) introduced by Boris Nikolaevich Delaunay in 1934, is characterized by the empty circum disk property, it is no point in set  $P$  lies in the interior of any triangle circumscribing disk. Each scattered points of the triangle are vertex and the segment connecting the two vertices is an edge of a DT. Each triangle of the DT of a set of vertices in multidimensional spaces corresponds to a facet. The circumcircle of each Delaunay triangle does not contain any other vertex in the plane, which is a special characteristic for constructing a DT. Incidentally, property maximizes the minimum angle. Among the triangular the smallest angle in the DT is at least as large as the smallest angle in any other [4], as shown in figure 1.



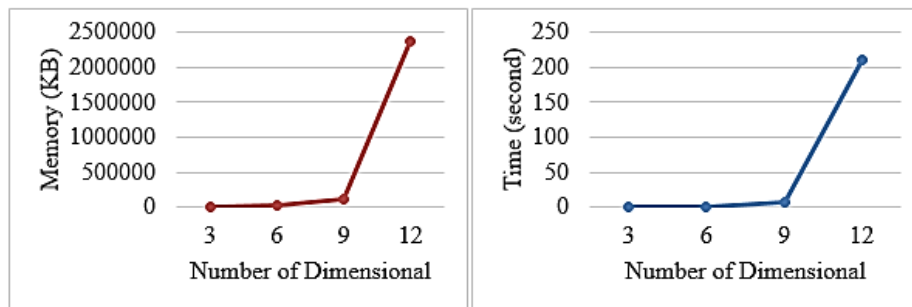
**Figure 1.** Left is scattered points, the center is Delaunay triangulate and right is circumcircle.

The DT has a good simple structure, minimal data redundancy, and high storage efficiency. These properties ensure that are stable and the accurate geometric relationship of the vertices extracted could be constructed in triangles, even when the amount and position of vertex varies.



### 2.2 Multidimensional Delaunay triangulation

The Qhull library is an extensively used high-dimensional convex hulls and Delaunay implementation [5]. These structures have applications in science, engineering, mathematics, and statistics. It can approximate a convex hull and construct the DT by all vertices are within roundoff error of a paraboloid and triangulated output should produce good results. The Qhull library is used to construct for illustrating the dimensions and limit the ability of the DT. Firstly, extract the color histogram of each channel of RGB image. Secondly, determine to each vertex on the DT is the vector from the feature extraction. Thirdly, construct a DT by bringing the feature vectors of all images in the database. The last step is matching (See also 2.4). The results show that, when the number of dimensions increases, the factors, memory and time of the execution are exponentially increased as shown in figure 2.



**Figure 2.** Comparison constructing multidimensional Delaunay triangulation (64 images).

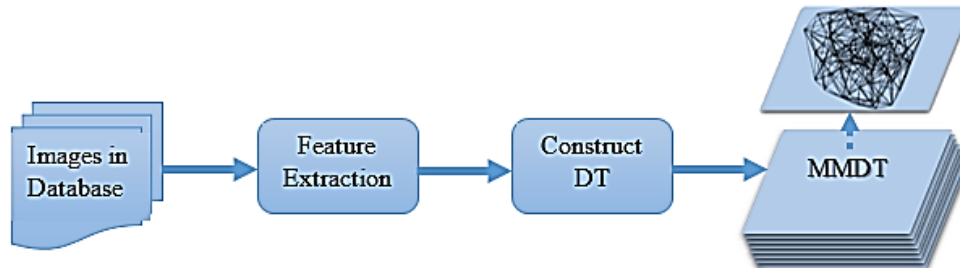
In the dimension refers to the characteristics of DT. Each dimension represents the histogram RGB color space extracted from images, such as DT 3-D. Each vertex is (R,G,B). It demonstrates the effectiveness of high-dimensional DT construction. It brings to the method which we are present.

### 2.3 Multi medium Delaunay triangulation

To reduce the limitation of multidimensional DT as described, we propose the multiple of medium dimensional DT (MMDT) for image matching. The MMDT is constructed by dividing



features (the values of the color histogram) into small groups for the construction of medium dimensions DT as shown in figure 3.



**Figure 3.** Multi medium Delaunay triangulation process.

#### 2.4 Multi medium Delaunay triangulation matching algorithm

After generating MMDT, the matching process is a scoring and sorting the best matched as described follow. The matching method is carried out by four steps.

The first step is finding the nearest vertex in all MMDT, it is a function that identifies the nearest point on each DT to the feature vectors of a query image. The result is the facet, nearest neighbor vertices to a vertex. Repeat all of the DT constructed with query feature vector image of each DT.

The second step is to compute each nearest MMDT Euclidean distance, the result representing the distance of vertex (query image vector) and vertices of facet from step 1.

The third step is summary distance all vertices in step 2. And the last step, sorting distance and show results, when it is nearest to zero, that image is the best matched.

### 3. Results

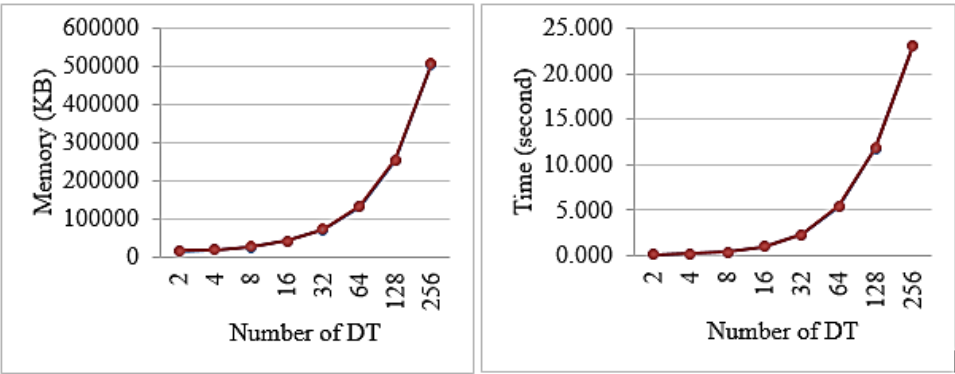
Experiments for performance evaluation of the proposed method are run on the Intel® Core™ i5@2.50GHz, RAM 8GB. The test images in the database are from the Corel Image Gallery [6] consists of randomly selected 1,000 images from all categories. The sample images are shown in figure 4. The test query images also are randomly selected 100 images from the database.



**Figure 4.** Typical images from the test database.

In our experiments, MMDT is constructed. Firstly the feature was extracted three 256-bin color histogram from each image in the RGB color space. Secondly, MMDT were constructed by the proposed method in section 2.3. So, MMDT is a three-dimensional DT as color histogram are red, green and blue of 1000 images in a database according to the bin. For each test query image was extracted feature by three color histogram matching by the proposed method in section 2.4. The number of DT that tests are the bin of color histogram extracted.

To evaluate the overall performance of the proposed image matching, a number of experiments were performed on various size of MMDT. The average results of memory and time usage over 100 test query images matching is shown in figure 5.



**Figure 5.** The cost of the construct and matching execution.



From above experiments, we have presented an image matching MMDT of different sizes. In all experiments, the results are always accurate. But there are significantly difference in terms of memory and time spent in the operation will vary depending on the number of MMDT used.

#### **4. Discussion**

We have presented such a way as to match the image. The results have shown that the time to perform is satisfied, but the constructing still requires a lot of memory in higher dimensions. Our proposed method can be applied to increase the number of dimensions.

#### **5. Conclusions**

In this paper, we proposed an image matching method that is called the MMDT. This method has proposed the reduction of dimensions of the DT by multiple medium dimensions DT. The experiments were conducted using a color histogram which is well-known to perform feature extraction images to construct MMDT for matching. In all experiments, the results are shown that our method can reduce memory and time and can construct higher dimensions. However, significant differences in terms of memory and time spent in the operation will vary depending on the number of MMDT used.

#### **6. Acknowledgements**

The work described in this paper is a part of the thesis was supported by the Graduate Engineering Scholarship, Prince of Songkla University, Thailand.

#### **7. References**

- [1] Wang C, Gavrilova ML. Delaunay Triangulation Algorithm for Fingerprint Matching. In: 3rd International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering, 2006 ISVD '06. 2006. p. 208-16.



- [2] Yang W, Hu J, Stojmenovic M. NDTC: A novel topology-based fingerprint matching algorithm using N-layer Delaunay triangulation net check. In: 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). 2012. p. 866-70.
  
- [3] Quynh NH, Tao NQ, Giang NT. An efficient method for content based image retrieval using histogram graph. In: 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008 ICARCV 2008. 2008. p. 874-8.
  
- [4] Cheng S-W, Dey TK, Shewchuk J. Delaunay Mesh Generation. CRC Press; 2012. 412 p.
  
- [5] Qhull code for Convex Hull, Delaunay Triangulation, Voronoi Diagram, and Halfspace Intersection about a Point [ Internet] . [ cited 2015 Oct 10] . Available from: <http://www.qhull.org/>
  
- [6] The COREL Database for Content based Image Retrieval - dct-research [Internet]. [cited 2015 Nov 10]. Available from: <https://sites.google.com/site/dctresearch/Home/content-based-image-retrieval>

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายณัฐพล แก้วปนทอง  
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5410120070  
 วุฒิกการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551

### ทุนการศึกษา

ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Natthapol Kaewpontong and Somchai Limsiroratana. 2016. "Image Matching with multi medium Delaunay triangulation." *KKU ENGINEERING JOURNAL* 43 (3).