ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247562

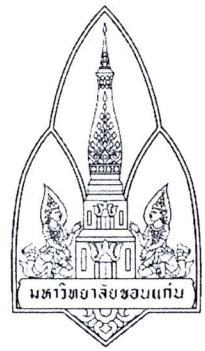
ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูล และการแบ่งส่วนประกอบของภาพ

HIGH SPEED MEAN SHIFT ALGORITHM FOR CLUSTERING AND IMAGE SEGMENTATION

นางพนิดา ผดุงชีพ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247562
b00 252 529



ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูล และการแยกส่วนประกอบของภาพ

HIGH SPEED MEAN SHIFT ALGORITHM FOR CLUSTERING AND IMAGE SEGMENTATION

นางพนิดา ผดุงเวียง

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

b00252529

247562

ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูล และการแยกส่วนประกอบของภาพ

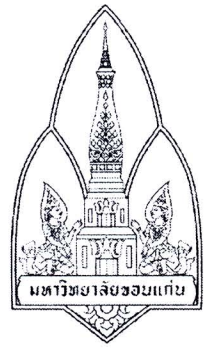
นางพนิดา ผดุงเวียง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

HIGH SPEED MEAN SHIFT ALGORITHM FOR CLUSTERING AND IMAGE SEGMENTATION

MRS. PANIDA PADUNGWEANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN COMPUTER SCIENCE
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
2010



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

ชื่อวิทยานิพนธ์: ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูลและการแยกส่วนประกอบของภาพ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นางพนิดา ผดุงเวียง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พุธษดี ศิริแสงตระกูล	ประธานกรรมการ
ผู้ชวยศาสตราจารย์ ดร. สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา	กรรมการ
ดร. คำรณ สุนัติ	กรรมการ
ดร. อัจฉรา มหาวีรวัฒน์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ :

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมาตย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติ แสงอรุณ)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

พนิดา ผดุงเวียง. 2553. **ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูลและการแยกส่วนประกอบของภาพ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา

บทคัดย่อ

247562

ขั้นตอนวิธีการหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นสูง เป็นขั้นตอนวิธีที่สามารถหาบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงของข้อมูลที่กำหนดให้อย่างอัตโนมัติ รวมถึงยังสามารถนำมาใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูลได้ด้วย อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นสูงของทุก ๆ ข้อมูลทำให้เกิดการทำงานที่ซ้ำซ้อน ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นสูง และจัดกลุ่มข้อมูลไปด้วยพร้อมกันโดยใช้แนวความคิดของการขนส่ง ในการลดการทำงานที่ซ้ำซ้อน โดยระบุความสัมพันธ์ “ผู้ขนส่ง – ผู้พ่วง” ให้กับข้อมูล ข้อมูลที่มีแนวโน้มที่จะย้ายไปทางเส้นทางเดียวกัน ซึ่งพิจารณาจากทิศทางการย้ายตำแหน่งจะถูกขนส่งโดยผู้ขนส่งเดียวกัน และจะไม่ถูกนำมาคำนวณอีกในรอบต่อไป จะมีเฉพาะผู้ขนส่งที่ถูกนำมาใช้คำนวณหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นสูง และเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น จะเหลือผู้ขนส่งที่ต้องขนส่งจำนวนน้อยลง ทำให้มีการคำนวณน้อยลงส่งผลให้ขั้นตอนในการทำงานของขั้นตอนวิธีมีความรวดเร็ว รวมทั้งการพิจารณาทิศทางของผู้ขนส่งและผู้พ่วงทำให้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีความยืดหยุ่น เมื่อเลือกผู้ขนส่งและผู้พ่วงเฉพาะที่ขนานกันเท่านั้น จะสามารถใช้แทนขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่นิยมใช้ในการหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นสูงอย่างอัตโนมัติได้ โดยให้ผลลัพธ์เดียวกัน ในขณะที่หากลดข้อกำหนดของความขนานลงขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยได้ทำการทดลองขั้นตอนที่นำเสนอเทียบกับขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยในการจัดกลุ่มข้อมูลและการแยกส่วนประกอบภาพ พบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีความถูกต้องของการจัดกลุ่มข้อมูลสูงกว่า และดำเนินการได้เร็วกว่าขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ย สามารถลดการคำนวณที่ซ้ำซ้อนโดยลดจำนวนข้อมูลที่จะต้องคำนวณได้มากกว่า 90 เปอร์เซนต์ สำหรับในการแยกส่วนประกอบของภาพหลังจากการทำงานเพียงสองรอบเท่านั้น รวมถึงผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอกับการแยกส่วนประกอบของพืชสีเขียว กับบริเวณที่เป็นดิน พร้อมทั้งนำเสนอวิธีการใหม่เพิ่มเติมในการแยกส่วนของบริเวณทั้งสอง โดยใช้ค่าขีดแบ่งของฮีสโตรแกรม พบว่า สามารถแยกบริเวณที่เป็นพืชสีเขียวและพื้นดินออกจากกันได้อย่างชัดเจน โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยขั้นตอนการเรียนรู้อื่นเพิ่มเติม

Panida Padungweang. 2010. **High Speed Mean Shift Algorithm for Clustering and Image Segmentation**. Master of Science Thesis in Computer Science, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Sirapat Chiewchanwattana

ABSTRACT

247562

A mode seeking algorithm not only can automatically finds mode of density of a given data but also can be used for data clustering. However, finding the mode of every data points produce redundant computations. In this research, a simultaneous mode seeking and clustering algorithm was proposed. An idea of transportation was used for remedy the problem. The characteristic "transporter-trailer" was assigned to data points in each iteration. The data points that tend to be shifted through a same trajectory, by considering shift direction, will be transported by a same transporter and be excluded from the computation in the next iteration. The transporters were, then, computed for finding a mode of density. By choosing a suitable transporter-trailer relationship, the parallel criterion of the transporter and the trailer shift direction, the proposed algorithm can be used instead of the Mean shift algorithm which is wildly used in the mode seeking problem. The proposed algorithm was evaluated on clustering and image segmentation problems. The experimental results show that the proposed algorithm outperforms existing algorithms in both accuracy and time-consuming. It reduces redundancy computation by exclude data points more than 90% of image segmentation data after the second iteration only. In addition, we had applied the proposed algorithm to vegetable segmentation, the segmentation of the area of green vegetable and the area of soil, together with proposing a new technique for pos-process clustering using a histogram threshold. The proposed technique can clearly segment the two areas in to two distinct areas which did not involve any additional learning algorithm.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.คำรณ สุนัติ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ พร้อมให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย และให้ข้อชี้แนะที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุธษดี ศิริแสงตระกูล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.อัจฉรา มหาวีรวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณพ่อปราโมทย์ รุจิเกียรติกำจร ผู้บริหารโรงเรียนดอนบอสโกวิทยา ที่ให้โอกาสพร้อมสนับสนุนเรื่องเวลาในการศึกษาต่อครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณไพรสันต์ ผดุงเวียง ที่ให้กำลังใจพร้อมให้คำแนะนำที่ดีทั้งด้านการเรียน และการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังแรงใจอันสำคัญยิ่งในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

พนิดา ผดุงเวียง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
3. ขอบเขตของงานวิจัยและข้อตกลงเบื้องต้น	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2. การประมวลผลภาพ และแบบจำลองสี	4
2.1 การประมวลผลภาพ	4
2.2 แบบจำลองสี RGB (Red Green Blue)	5
2.3 แบบจำลองสี HSV (Hue Saturation Value)	6
3. การแยกส่วนประกอบภาพ	6
3.1 การแยกองค์ประกอบโดยดูจากความไม่ต่อเนื่อง	7
3.2 การแยกองค์ประกอบตามความเหมือนกัน	9
4. การจัดกลุ่มข้อมูล	10
5. โครงสร้างข้อมูลแบบอาร์เรย์และกราฟ	11
5.1 อาร์เรย์ (Array)	11
5.2 กราฟ (Graph)	13
5.3 การเชื่อมต่อกันของกราฟ	14
6. การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA)	15
7. ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ย	18
8. การใช้ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยกับการจัดกลุ่มข้อมูล	21
9. การใช้ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยกับการแยกส่วนประกอบภาพ	21
10. ปัญหาของขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ย	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการที่นำเสนอและวิธีการดำเนินการวิจัย 24
1. ขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายค่าเฉลี่ย (TMS) 24
2. ขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายค่าเฉลี่ยแบบครอบคลุม (GTMS) 31
3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี 37
4. วิธีการดำเนินการวิจัย 40
4.1 การเปรียบเทียบเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อมีจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้น 40
4.2 การประยุกต์ใช้กับการจัดกลุ่มข้อมูล 41
4.3 การประยุกต์ใช้กับการแยกส่วนประกอบภาพทั่วไป 43
4.4 การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบครอบคลุมกับการแยกส่วนประกอบภาพทางการเกษตร 43
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 45
1. การเปรียบเทียบเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อมีจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้น 45
2. การประยุกต์ใช้กับการจัดกลุ่มข้อมูล 51
3. การประยุกต์ใช้กับการแยกส่วนประกอบของภาพทั่วไป 54
4. การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบครอบคลุมกับการแยกส่วนประกอบของภาพพืชผลทางการเกษตร 65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 68
เอกสารอ้างอิง 70
ภาคผนวก 72
ประวัติผู้เขียน 95

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ย (MS)	37
ตารางที่ 2	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายตามค่าเฉลี่ย (TMS)	38
ตารางที่ 3	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายค่าเฉลี่ยแบบครอบคลุม (GTMS)	38
ตารางที่ 4	เปรียบเทียบการวิเคราะห์หน่วยความจำที่ต้องใช้ในการประมวลผล (Space Complexity) และการวิเคราะห์เวลาที่ต้องใช้ในการประมวลผล (Time Complexity)	40
ตารางที่ 5	รายละเอียดของภาพที่ใช้ในการทดลองการแยกส่วนประกอบภาพทั่วไป	42
ตารางที่ 6	คุณสมบัติของภาพพืชผลทางการเกษตร	44
ตารางที่ 7	เวลาเฉลี่ยใน 10 รอบ ของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนข้อมูลแตกต่างกัน โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 10	46
ตารางที่ 8	เวลาเฉลี่ยใน 10 รอบ ของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนข้อมูลแตกต่างกัน โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 2	47
ตารางที่ 9	จำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวน ข้อมูลแตกต่างกัน โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 10	48
ตารางที่ 10	จำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวน ข้อมูลแตกต่างกัน โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 2	50
ตารางที่ 11	ความถูกต้องของการจัดกลุ่มของข้อมูล iris, soybean และ blood เมื่อใช้ขั้นตอนวิธีแบบต่าง ๆ	51
ตารางที่ 12	เวลา และจำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อเทียบกับ MS1 และ MS2 ในการดำเนินการกับข้อมูล iris โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 12	52
ตารางที่ 13	เวลาและจำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อเทียบกับ MS1 และ MS2 ในการดำเนินการกับข้อมูล Soybean โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 0.5	53
ตารางที่ 14	เวลา และจำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อเทียบกับ MS1 และ MS2 ในการดำเนินการกับข้อมูล Blood โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 0.04	53
ตารางที่ 15	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของใช้ในการแยกส่วนประกอบภาพ	54
ตารางที่ 16	จำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของการแยกส่วนประกอบภาพของขั้นตอนต่าง ๆ เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีย้ายตามค่าเฉลี่ยเดิม	55
ตารางที่ 17	ค่าความสามารถในการแยกส่วนประกอบของภาพได้ถูกต้องเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยเดิม	57
ตารางที่ 18	จำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ใน 5 รอบแรกของแต่ละขั้นตอนวิธี	58

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 การผสมสีของแบบจำลองสี RGB 5
ภาพที่ 2 แบบจำลองสี HSV 6
ภาพที่ 3 ค่าขีดแบ่งเชิงเดี่ยวจากฮีสโทรแกรมของความเข้มระดับสีเทา 7
ภาพที่ 4 การแยกส่วนประกอบภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่งเชิงเดี่ยว (Single threshold) 8
ภาพที่ 5 ค่าขีดแบ่งเชิงแบบหลายเชิงจากฮีสโทรแกรมของค่าระดับเทา 8
ภาพที่ 6 การแยกส่วนประกอบภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่งแบบหลายเชิง (Multiple threshold) 8
ภาพที่ 7 ขบวนการรู้จำแบบ (pattern recognition) 9
ภาพที่ 8 การแยกส่วนประกอบภาพโดยการจัดกลุ่มบริเวณที่เหมือนกัน 9
ภาพที่ 9 การประยุกต์การแยกส่วนประกอบภาพนำมาใช้ในการหาขอบของภาพ 10
ภาพที่ 10 ตัวอย่างการใช้การแยกส่วนประกอบภาพในการช่วยแพทย์วินิจฉัยโรค และสร้างแบบจำลองกระดูกขาและกระดูกเชิงกรานจากการแยกส่วนประกอบของภาพหลายภาพ 10
ภาพที่ 11 การจัดกลุ่มข้อมูล3 กลุ่มใน 3 มิติโดยใช้ mean shift algorithm 11
ภาพที่ 12 ตัวอย่างรายละเอียดของอาร์เรย์หนึ่งมิติ 12
ภาพที่ 13 อาร์เรย์สองมิติและการระบุตำแหน่ง 12
ภาพที่ 14 อาร์เรย์สามมิติและการระบุตำแหน่ง 13
ภาพที่ 15 การจัดเก็บข้อมูลในกราฟโดยใช้เมทริกซ์ประชิด 14
ภาพที่ 16 ลำดับการค้นหาเชิงลึก 15
ภาพที่ 17 ข้อมูลที่นำ 2 มิติแรกมาพิจารณา 15
ภาพที่ 18 Covariance matrix A, eigenvectors(U), eigenvalues (λ) และ eigenvectors (U) ใหม่ 17
ภาพที่ 19 นำมิติแรกของ eigenvectors (U) มาใช้กับข้อมูลเดิม 18
ภาพที่ 20 นำมิติหนึ่งและสองของ eigenvectors (U) มาใช้กับข้อมูลเดิม 18
ภาพที่ 21 แสดงจุดศูนย์กลางของ search window ในแต่ละรอบ (บน) และภาพจำลองทางเดินของจุดศูนย์กลางของ search window (ล่าง) 20
ภาพที่ 22 ธรรมชาติของขั้นตอนการย้ายตามค่าเฉลี่ย (1) ข้อมูล 2 กลุ่ม (2) เส้นทางเดินของขั้นตอนการย้ายตามค่าเฉลี่ย (3) เส้นทางเดินของขั้นตอนการย้ายตามค่าเฉลี่ยในมุมมอง 3 มิติ 22
ภาพที่ 23 การย้ายตำแหน่งของจุดสองจุดในรอบที่τ 24
ภาพที่ 24 การย้ายตำแหน่งและความสัมพันธ์กับผู้ขนส่ง 26
ภาพที่ 25 แสดงผลการจัดกลุ่มบางขั้นตอนของข้อมูลทดสอบโดยใช้ขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายค่าเฉลี่ย 28
ภาพที่ 26 แสดงการย้ายตำแหน่งของ xi ในรอบที่τ 31
ภาพที่ 27 ทิศทางเดินของเส้นทาง xk และทิศทางการย้ายของ xi และ xj ในรอบที่ τ 35
ภาพที่ 28 ตัวอย่างการกำหนดค่า α ($\alpha 0 = 0$, $\alpha\tau = 0.5$, $\tau = 5$) ตามสมการที่ (15) 36

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 29 ข้อมูลทดลองที่สุ่มแบบการกระจายตัวปกติจำนวน 2000 ข้อมูล 40
ภาพที่ 30 Iris Setosa, Iris Versicolour และ Iris Virginica ตามลำดับ 41
ภาพที่ 31 (a) ภาพต้นฉบับ (b) ภาพที่ทำการแปลง HSV กลับมาเป็น RGB หลังจากใช้ GTMS (c) ภาพระดับสีเทาของภาพ (b) (d) ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนหลังจากใช้ขีดแบ่ง (Threshold) ในการแยกข้อมูลออกจากกัน (e) ข้อมูลของพืช หลังจากรวมภาพ (d) กับภาพต้นฉบับ 44
ภาพที่ 32 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยใน 10 รอบ ของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนข้อมูลแตกต่างกันโดยใช้เบนวิดเท่ากับ 10 46
ภาพที่ 33 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยใน 10 รอบ ของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนข้อมูลแตกต่างกัน โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 2 48
ภาพที่ 34 จำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนข้อมูลแตกต่างกัน โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 10 49
ภาพที่ 35 จำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของแต่ละขั้นตอนวิธีในการดำเนินการกับข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนข้อมูลแตกต่างกัน โดยใช้เบนวิดเท่ากับ 2 50
ภาพที่ 36 ความถูกต้องของการจัดกลุ่มของข้อมูล iris, soybean และ blood เมื่อใช้ขั้นตอนวิธีแบบต่าง ๆ 52
ภาพที่ 37 จำนวนเท่าของการเพิ่มความเร็วของการแยกส่วนประกอบภาพของขั้นตอนต่าง ๆ เมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีย้ายตามค่าเฉลี่ยเดิม 56
ภาพที่ 38 ความสามารถในการแยกส่วนประกอบของภาพได้ถูกต้องเมื่อเทียบกับ MS 56
ภาพที่ 39 ตัวอย่างแสดงข้อมูลที่เหลือแต่ละรอบของข้อมูล Vegetable (F) 58
ภาพที่ 40 ภาพต้นฉบับ ภาพที่ได้จากการทำ PCA และความหนาแน่นของข้อมูลในแบนด์วิดท์ที่ต่างกัน 59
ภาพที่ 41 ตัวอย่างผลการแยกส่วนประกอบของภาพ แถวแรกเป็นภาพต้นฉบับ แถวกลางแสดงพิกเซลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แถวล่างแสดงผลการแยกส่วนประกอบของภาพ ของขั้นตอนวิธี GTMS1 64
ภาพที่ 42 ตัวอย่างผลของการแยกส่วนประกอบของภาพกับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอขึ้น 64
ภาพที่ 43 การนำขั้นตอนวิธีการลำเลียงย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบครอบคลุมมาประยุกต์ใช้กับการแยกส่วนประกอบของภาพพืชผลทางการเกษตร 66
ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีของบทความเดิม กับแนวทางของผู้วิจัยที่ได้นำเสนอขึ้นในการแยกส่วนประกอบของภาพพืชผลทางการเกษตร 67