สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาเทคนิคการไหลของแสงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

DESIGN AND DEVELOPMENT OPTICAL FLOW TECHNIQUES BY USING GENETIC ALGORITHM

T148007

พิจิตร คชชา
PIJIT KOCHCHA

พ
พ631ค
2560
เลขหมู่ 148007
เลขทะเบียน
วัน.เดือน.ปี - 6 ต.ค. 2560
b.128632484
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AMI-M-001-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OPTICAL FLOW TECHNIQUES BY USING GENETIC ALGORITHM

PIJIT KOCHCHA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION AND SYSTEM ENGINEERING
COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-AMI-M-001-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอก ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาเทคนิคการไหลของแสงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
Thesis Title DESIGN AND DEVELOPMENT OPTICAL FLOW TECHNIQUES BY USING GENETIC ALGORITHM
นักศึกษา นายพิจิตร คชชา
รหัสประจำตัว 57609006
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบและข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.เลิศศักดิ์ เลขวัต
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-AMI-M-001-004

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถวิดา	มณีวรรณ์	ถวิดา มณีวรรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติเขต	สู้รักษา	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์	วริสาร	
ดร.สันทัด	ชูวงศ์อินทร์	
ดร.เลิศศักดิ์	เลขวัต	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 20 มิถุนายน 2560 เวลา 13.30 - 15.30 น.
สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)
คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

วันที่ 3 **กรกฎาคม พ.ศ. 2560**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาเทคนิคการไหลของแสงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
นักศึกษา	นายพิจิตร คชชา
รหัสประจำตัว	57609006
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบและข้อมูล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.เลิศศักดิ์ เลขวัต

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีมากมายในปัจจุบันได้นำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรวิทัศน์อัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีและกระบวนการที่ใช้พื้นฐานจากภาพถ่ายในงานการตรวจสอบอัตโนมัติและการวิเคราะห์สำหรับงานต่างๆ ดังเช่น การตรวจสอบโดยอัตโนมัติ การควบคุมคุณภาพ และคำแนะนำหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมซึ่งจะช่วยลดอัตราความผิดพลาดที่เกิดโดยผู้ปฏิบัติงาน การตรวจสอบแบบต่อเนื่องเป็นกุญแจสำคัญที่ช่วยเพิ่มอัตราการผลิตในหนึ่งชั่วโมงและช่วยลดต้นทุนการผลิต เทคนิคการไหลของแสง (Optical flow) ใช้เพื่อคำนวณการเคลื่อนที่ของพิกเซลของวัตถุในรูปแบบเวกเตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจพัฒนาตัวกรองสัญญาณรบกวนสำหรับการไหลของแสงร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งจะศึกษาบนพื้นฐานของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและป๊วซองที่ระดับความแปรปรวนค่าต่างๆ โดยใช้เทคนิค MED-2DH ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH) การเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคแบบต่างๆ เช่น เทคนิคเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ (2DH) เทคนิคเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน (MED-2DH) และเทคนิคเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ร่วมกับ Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH) แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ 88 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design and Development Optical Flow Techniques by Using Genetic Algorithm
Student	Mr. Pijit Kochcha
Student ID.	57609006
Degree	Master of Engineering
Program	Information and System Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Dr. Lertsak Lekawat

ABSTRACT

Currently the technology and applications are applied by many manufacturing processes to improve efficiency and product quality. Automatic machine vision is the technology and methods used to provide imaging-based automatic inspection and analysis for such applications as automatic inspection, quality control, and robot guidance in the industry, which reduces the error rate caused by operators. Continuous monitoring is the key to increase units per hour (UPH) and reduce production costs. Optical flow is a technique used to compute the motion of the pixels of objects in the vector format. Noise is a major factor affecting the accuracy of the analysis of the direction of the vector. Therefore, this paper focuses in developing the noise filtering for optical flow with the genetic algorithm based on Gaussian noise and Poisson noise at different levels based on GA-MED-2DH techniques. Comparisons among various optical flow techniques e.g. 2DH, MED-2DH, and ATM-2DH, showed that the proposed technique yielded the best performance at 88%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือ จาก ดร.เลิศศักดิ์ เลขวัต ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำงานมาโดยตลอดข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าพร้อมทั้งได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ร่วมงานทุกคนที่ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือในการทำงาน พร้อมมอบกำลังใจให้เสมอมาจนสามารถฟันฝ่าอุปสรรคมาได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอย่างดีตลอดมา และยังให้การสนับสนุน ทั้งกำลังทรัพย์ที่เป็นค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ พร้อมกับมอบกำลังใจที่ดี เมื่อยามท้อและเหน็ดเหนื่อย จนทำให้การทำงานสำเร็จไปได้ด้วยดี สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง

พิจิตร คชชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและกรอบแนวความคิด	4
2.1 การไหลของแสง (Optical Flow)	4
2.1.1 วิธีของ Horn and Schunk	6
2.1.2 วิธีของ Lucas and Kanade	7
2.2 การปรับปรุงภาพด้วยการกรองสัญญาณรบกวนภายในภาพ	9
2.2.1 เฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2D-Hessian Kernel, 2DH)	9
2.2.2 วิธีเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่าเฉลี่ยกลาง (MED-2DH)	10
2.2.3 วิธีเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับ Alpha-trimmed mean filter	11
2.2.4 การรักษาขอบรูปภาพใน 2 มิติ (treating edges in 2D case)	11
2.3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)	12
2.3.1 การกำหนดยีนและโครมาโซม	13
2.3.2 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)	14
2.3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective/Evaluation Function)	14
2.3.2.2 ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness Function)	14
2.3.3 การคัดเลือกสายพันธ์ (Selection)	15
2.3.3.1 การกำหนดค่าโอกาสในการถูกเลือก	15
2.3.3.2 การแปลงค่าโอกาสเป็นจำนวนโครโมโซมลูกหลาน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4 ปฏิบัติการทางสายพันธ์ (Genetic Operation)........ 18
2.3.4.1 การผสมยีน (Crossover)........ 18
2.3.4.2 การกลายพันธุ์ (Mutation)........ 19
2.3.5 การสืบพันธุ์ (Reproduction)........ 20
2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของแสง........ 20
2.4.1 Synthetic-1........ 20
2.4.2 Synthetic-2........ 21
2.5 แบบจำลองของสิ่งรบกวน........ 22
2.5.1 สิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน (Gaussian noise)........ 22
2.5.2 สิ่งรบกวนประเภทปัวซอง (Poisson noise)........ 22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 23
2.7 สรุป........ 33

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย........ 34
3.1 บทนำ........ 34
3.2 ขั้นตอนการวิจัย........ 34
3.3 กระบวนการเพิ่มสิ่งรบกวนในเวกเตอร์การไหลของแสง........ 35
3.4 กระบวนการกรองสัญญาณรบกวน........ 38
3.5 เงื่อนไขต่างๆในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการกรองสัญญาณรบกวน.... 40
3.6 หลักการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวกรองสัญญาณรบกวน........ 40
3.6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE)........ 40
3.6.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (mean cosine error, MCE)........ 41

บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง........ 42
4.1 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1...... 42
4.1.1 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)....... 42
4.1.2 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบ MED-2DH......... 43
4.1.3 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบ ATM-2DH....... 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.4 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหล....... 45
ของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบ GA-MED-2DH
4.1.5 เปรียบเทียบผลการทดลองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของ.................. 47
แบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1
4.2 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง...... 49
Synthetic-2
4.2.1 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหล....... 49
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)
4.2.2 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหล....... 50
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ MED-2DH
4.2.3 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหล....... 52
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ ATM-2DH
4.2.4 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหล....... 53
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ GA-MED-2DH
4.2.5 เปรียบเทียบผลการทดลองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของ.................. 55
แบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2
4.3 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนป๋วซองของแบบจำลองการไหลของแสง.......... 57
Synthetic-2
4.3.1 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนป๋วซองของแบบจำลองการไหล............ 57
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)
4.3.2 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนป๋วซองของแบบจำลองการไหล............ 58
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ MED-2DH
4.3.3 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนป๋วซองของแบบจำลองการไหล............ 60
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ ATM-2DH
4.3.4 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนป๋วซองของแบบจำลองการไหล............ 61
ของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ GA-MED-2DH
4.3.5 เปรียบเทียบผลการทดลองสัญญาณรบกวนประเภทป๋วซองของแบบจำลอง..... 63
การไหลของแสง Synthetic-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 66
5.1 สรุปผลของการวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนของการประมาณค่าการไหลของแสง 66
5.2 ข้อเสนอแนะ 67
เอกสารอ้างอิง 68
ภาคผนวก ก 70
ภาคผนวก ข 90
ภาคผนวก ค 102
ประวัติผู้เขียน 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าการคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าการคลาดเคลื่อน.......................... 24
เชิงมุมเฉลี่ยของการประมาณค่าการไหลของแสงทั้ง 3 วิธี ด้วยการปรับขนาดของรูรับแสง

3.1 ค้นหาค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้เงื่อนไขดังนี้.. 40

4.1 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหล................ 47
ของแสง Synthetic-1

4.2 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหล................ 55
ของแสง Synthetic-2

4.3 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทปัวซองของแบบจำลองการไหลของแสง......... 63
Synthetic-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการนำการไหลของแสงไปใช้งาน	4
2.2 ความเข้มแสงของพิกเซลที่เปลี่ยนแปลงไป	5
2.3 การไหลของแสง ก) ภาพที่ใช้ประมาณผลการไหลของแสง ข) ภาพการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีของ Horn และ Schunck	7
2.4 การไหลของแสง ก) ภาพที่ใช้ประมาณผลการไหลของแสง ข) ภาพการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีของ Lucas และ Kanade	8
2.5 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง	10
2.6 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ใน 2 มิติ	10
2.7 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ Alpha trimmed mean filter	11
2.8 การรักษาขอบรูปภาพใน 2 มิติ	11
2.9 กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	12
2.10 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม	15
2.11 วงล้อรูเล็ทจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม	17
2.12 วงล้อรูเล็ทจากกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาล	17
2.13 ปฏิบัติการทางสายพันธุ์	18
2.14 การผสมยีนแบบจุดเดียว	18
2.15 การผสมยีนแบบหลายจุด	19
2.16 การผสมยีนแบบสม่ำเสมอ	19
2.17 Synthetic-1	20
2.18 Synthetic-2	20
2.19 ตัวอย่างภาพที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน	22
2.20 ตัวอย่างภาพที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทป๊วซอง	22
2.21 กระบวนการไหลของแสงของลำดับภาพของระบบขี่พาหนะบนถนน	23
2.22 การตรวจจับพาหนะสิ่งกีดขวางบนถนนจากกล้องที่ติดตั้งภายในรถ	24
2.23 แสดงการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยเครือข่ายประสาทเทียม	25
2.24 แสดงค่า PSNR ในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของวัตถุ	26
2.25 แสดงการแบ่งส่วนในลำดับภาพที่ค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันและผลการประมาณค่าการไหลของแสง	27
2.26 การประมาณค่าการไหลของแสงของลำดับภาพ Karl Wilhelm Street traffic	28
2.27 ไดอะแกรมกระบวนการประมาณค่าการไหลของแสง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.28 เปรียบเทียบค่า PSNR ของการประมาณค่าการไหลของแสงทั้ง 3 วิธี.. 29
2.29 ไดอะแกรมการใช้ตัวกรองแบบแยกหลายๆ ขั้น.. 29
2.30 ผลของการกำหนดพารามิเตอร์การแพร่กระจาย ที่จำนวนรอบเท่ากับ 1, 3, 6 และ 12............ 30
2.31 การหาเวกเตอร์ที่ราบเรียบ a) SFSM b) Black c) Med-2DH d) MedH-SFS......................... 31
2.32 ตัวอย่างการคำนวณการไหลของแสงจากกล้องรอบทิศทางด้วยรูปแบบทรงกลม...................... 31
2.33 การประเมินค่าการเกิดเพลิงไหม้ในระบบจริง.. 32
3.1 ขั้นตอนการวิจัย.. 35
3.2 Synthetic-1 และ Synthetic-1 หลังเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน.. 36
3.3 Synthetic-2 และ Synthetic-2 หลังเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน.. 37
3.4 Synthetic-1 และ Synthetic-1 หลังเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทป๊วซอง.. 38
3.5 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ย ขนาดหน้าต่าง 3x3 ใน 2 มิติ... 39
4.1 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ 2DH............. 42
4.2 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ MED-2DH... 43
4.3 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ ATM-2DH... 45
4.4 กราฟการลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของเวกเตอร์การไหล.......... 46
ของแสง Synthetic-1
4.5 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบ 46
GA-MED-2DH
4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง............. 48
Synthetic-1 ในแต่ละประเภทตัวกรอง
4.7 ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง Synthetic-1........... 49
ของแต่ละตัวกรอง
4.8 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ 2DH............. 50
4.9 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ MED-2DH.... 51
4.10 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ.................... 53
ATM-2DH
4.11 กราฟการลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของเวกเตอร์การไหล......... 54
ของแสง Synthetic-2
4.12 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบ 55
GA-MED-2DH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.13 ค่าความคลาดเคลื่อนของการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง Synthetic-2 ในแต่ละประเภทตัวกรอง 56
4.14 ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง Synthetic-2 ของแต่ละตัวกรอง 57
4.15 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนป้วซองต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ 2DH 58
4.16 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนป้วซองต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ MED-2DH 59
4.17 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนป้วซองต่างๆหลังผ่านตัวกรองแบบ ATM-2DH 60
4.18 กราฟการลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมสัญญาณรบกวนประเภทป้วซองของเวกเตอร์การไหลของแสง Synthetic-2 62
4.19 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนป้วซองต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบ GA-MED-2DH 62
4.20 ค่าความคลาดเคลื่อนของการกรองสัญญาณรบกวนประเภทป้วซองของแบบจำลอง Synthetic-2 ในแต่ละประเภทตัวกรอง 64
4.21 ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนประเภทป้วซองของแบบจำลอง Synthetic-2 ของแต่ละตัวกรอง 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบวิทัศน์อัตโนมัติได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ช่วยเพิ่มศักยภาพในขั้นตอนการผลิตของบริษัท ดังเช่นระบบการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นระบบที่ช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจสอบของมนุษย์ การไหลของแสง เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ภายในภาพได้ ซึ่งการสร้างการไหลของแสง จะใช้การวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงภายในภาพแต่ละลำดับภาพ (image sequence) โดยที่การไหลของแสงจะประกอบไปด้วยขนาดและทิศทางของความเข้มแสงที่เปลี่ยนตำแหน่งไป การตรวจจับวัตถุโดยใช้การไหลของแสงจะอาศัยการวิเคราะห์กลุ่มของความเข้มแสงของวัตถุภายในภาพซึ่งความเข้มของวัตถุที่เปลี่ยนตำแหน่ง จะคงความเข้มแสงเท่าเดิม และจะให้ผลของการไหลของแสงของกลุ่มแสงของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งไป เปลี่ยนทิศทางและขนาดที่ใกล้เคียงกัน

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่างๆ จำนวนมากนำเสนอกระบวนการไหลของแสงสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบวิทัศน์อัตโนมัติในการช่วยแยกวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ภายในลำดับภาพ อาทิเช่นนักวิจัย Horn & Schunck ใช้วิธีการสร้างการไหลของแสงโดยแก้ปัญหาอนุพันธ์อับดับหนึ่งเป็นหลักในการประมาณค่าความสว่าง โดยอาศัยหลักการของความคงที่ของความเข้มแสงจากวัตถุภายในภาพที่เปลี่ยนแปลงไป รวมเงื่อนไขของความลาดชัน (gradient) เพื่อพิจารณาหาค่าน้อยที่สุดของการประมาณความเร็วซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการหาค่าการไหลของแสง [1] จากนั้น Lucas & Kanade ได้นำเสนอวิธีการในการหาค่าน้ำหนักเหมาะสมของค่ากำลังสองน้อยที่สุดของเงื่อนไขเฉพาะถิ่นอันดับหนึ่ง (local first-order) [2] การหาค่าการไหลของแสงด้วยวิธีการนี้บ่อยครั้งที่ได้การไหลของแสงที่ไม่ราบเรียบ และการตรวจจับวัตถุยังมีความคลาดเคลื่อน [3] อัลกอริทึมจะมีข้อผิดพลาดอันเนื่องจากในเวลาที่ค่าความส่องสว่างวัตถุและบริเวณในภาพมีการเปลี่ยนแปลง อาจเกิดจากขั้นตอนวิธีการหาค่าการไหลของแสงมีความผิดพลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งความไม่แน่นอนของกรอบลำดับรูปภาพที่มาใช้ประมาณค่าการไหลของแสง ดังนั้นการกำหนดกรอบที่ชัดเจนไว้สำหรับหาค่าการไหลของแสงจึงมีความจำเป็น [4-5] วิธีการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน เช่น การคัดแยกวัตถุภายในภาพ การติดตามวัตถุในลำดับภาพ [6] ทำให้ได้การไหลของแสงที่ราบเรียบ (smooth optical flows) แต่ก็ยังเป็นแบบการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของวัตถุ เนื่องจากการหาค่าการไหลของแสงจากลำดับรูปภาพบ่อยครั้งพบว่ามีสัญญาณรบกวนภายในภาพ จึงได้มีผู้นำเสนอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) มาใช้หาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมในสมการของ Lucas & Kanade [7] การใช้ตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบแยกหลายๆขั้น เพื่อให้ได้การไหลของแสงที่ราบเรียบและประมวลผลอย่างรวดเร็ว [8] การใช้ตัวกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อให้ได้การประมาณค่าการไหลของแสงที่มีคุณภาพดีขึ้น [9] ซึ่งวิธีการข้างต้นค่อนข้างซับซ้อน จะเห็นได้ว่ากระบวนการคัดแยกด้วยการไหลของแสงจำเป็นต้องมีกระบวนการกรองสิ่งรบกวนออกจากลำดับภาพ เพื่อช่วยให้การคัดแยกมีประสิทธิภาพดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ซึ่งเป็นการนำสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) อันดับสอง มาใช้ในสมการของ Lucas & Kanade เป็นสมการหลักทำให้ได้การไหลของแสงที่ราบเรียบและมีประสิทธิภาพ แต่ก็ยังพบว่าวิธีการนี้ยังใช้ไม่ได้กับทุกกรณีหรือบางกรณียังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง [10] ผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการนี้ร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมมาช่วยหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมยิ่งขึ้นในการกรองสิ่งรบกวนในลำดับภาพ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการคัดแยกด้วยการไหลของแสง ไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมในด้านระบบวิทัศน์อัตโนมัติ การตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นไป

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการประมาณค่าการไหลของแสง

1.2.2 เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการไหลของแสงในรูปภาพ

1.2.3 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวกรองสัญญาณรบกวนที่ออกแบบได้

1.2.4 สามารถสรุปผลของการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพตัวกรองสัญญาณรบกวนที่ออกแบบได้

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

1.3.1 การใช้ตัวกรองสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการประมาณค่าการไหลของแสง

1.3.2 เราสามารถหาค่าน้ำหนักจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่เหมาะสมต่อการประมาณค่าการไหลของแสงที่ไม่ราบเรียบ และนำไปประยุกต์ใช้ได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมที่กำลังเจริญเติบโตในปัจจุบัน ได้นำเอาเทคโนโลยีมาปรับใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตที่สูงสุด ลดส่วนเสียหายให้น้อยที่สุด การตรวจจับหาสิ่งผิดปกติ หรือข้อบกพร่องในชิ้นงานจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับต้นๆในอุตสาหกรรม เพราะนั้นหมายถึงชื่อเสียง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และความไว้วางใจของผู้บริโภค ขั้นตอนนี้จึงขาดไม่ได้ในทุกอุตสาหกรรม ซึ่งแต่ละอุตสาหกรรมก็จะมีกรรมวิธีในการตรวจสอบที่แตกต่างกันตามผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมนั้นๆ หนึ่งในการตรวจสอบความผิดพลาดนั้นด้วยการใช้หลักการวิเคราะห์รูปภาพ ซึ่งแต่เดิมใช้สายตาของมนุษย์ในการตรวจสอบ แน่นอนว่าชิ้นส่วนที่ผิดพลาดนั้นไม่สามารถถูกคัดแยกออกมาได้อย่างที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กเกินสายตามนุษย์มองเห็นได้หรือความผิดพลาดเกิดขึ้นภายในเนื้องาน เป็นต้น จึงจำเป็นต้องใช้หลักการของการวิเคราะห์รูปภาพและปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลรูปภาพที่ได้มา แทนการใช้สายตา โดยคัดแยกได้ถูกต้องกว่า และใช้เวลาน้อยกว่านั้นเอง การพัฒนาระบบตรวจจับจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ดำเนินการค้นคว้าและพัฒนาการประมาณค่าการไหลของแสงจากสมการเวกเตอร์ทางคณิตศาสตร์ร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในการกรองสัญญาณรบกวน

1.5.2 ดำเนินการทดสอบการประมาณค่าการไหลของแสงร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมกับการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ภายในภาพ

1.5.3 พัฒนาการประมาณค่าการไหลของแสงร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรม โดยให้มีค่าประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนไม่ต่ำกว่า 80%

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.6.1 การจำลองการไหลของแสงและการคำนวณใดๆ ที่มีความซับซ้อนในงานวิจัยนี้อาศัยโปรแกรม MATLAB สำหรับจำลองสถานการณ์และคำนวณ

1.6.2 การทดสอบการทำงานของการประมาณค่าการไหลของแสงร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมเบื้องต้นจะทดสอบกับแบบจำลองการไหลของแสงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีสัญญาณรบกวนเพื่อดูประสิทธิภาพตัวกรองที่พัฒนาขึ้น

1.6.3 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจะคำนวณจากสมการความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE) และความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (mean cosine error, MCE)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เกิดการพัฒนาองค์ความรู้การประมาณค่าการไหลของแสงร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

1.7.2 สามารถแก้ไขปัญหาในภาคอุตสาหกรรมให้การตรวจจับวัตถุมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.7.3 ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับชาติ และนานาชาติ

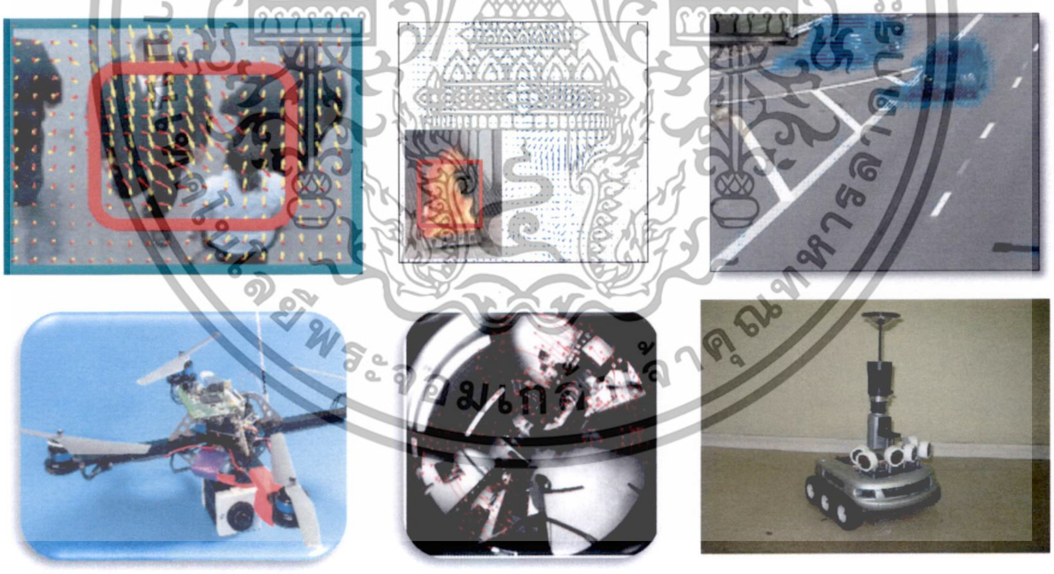
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและกรอบแนวความคิด

2.1 การไหลของแสง (Optical Flow)

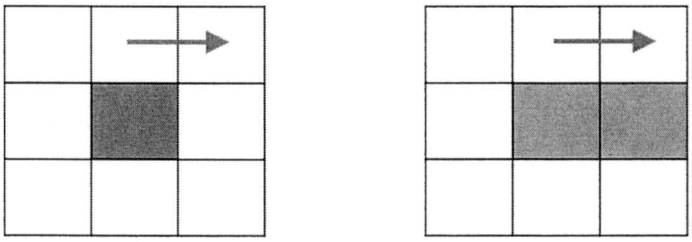
การไหลของแสงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ภายในภาพได้ คือการตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุที่เป็นจริงโดยใช้การวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงภายในภาพแต่ละลำดับภาพ (image sequence) โดยที่การไหลของแสงประกอบด้วยขนาดและทิศทางของความเข้มแสงที่เปลี่ยนตำแหน่งไป ในด้านการหาการไหลของแสงด้วยระบบวิทัศน์คอมพิวเตอร์ เราจะกำหนดด้วยเวกเตอร์ [u, v] เมื่อ u หมายถึงการเคลื่อนไหวในแนวนอน และ v หมายถึงการเคลื่อนไหวในแนวดิ่ง ตัวอย่างการนำการไหลของแสงไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น

- การบีบอัดวิดีโอจากการประมาณการเคลื่อนไหว
- การติดตามวัตถุในวิดีโอ
- ระบบการติดตามวัตถุภายในหุ่นยนต์
- ระบบหุ่นยนต์นำทาง
- ระบบช่วยเหลือคนขับขั้นสูง



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการนำการไหลของแสงไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความเข้มแสงของพิกเซลที่เปลี่ยนแปลงไป

การไหลของแสงประกอบด้วยขนาดและทิศทางของความเข้มแสง (intensity) ที่เปลี่ยนตำแหน่งไป ซึ่งการสร้างการไหลของแสงนี้จะใช้การวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงภายในภาพแต่ละลำดับภาพ (image sequence) ดังรูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของการไหลของแสง ซึ่งความเข้มแสงของวัตถุที่เปลี่ยนตำแหน่ง จะคงค่าความเข้มแสงเท่าเดิม และให้ผลของการไหลของแสงของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งไป เปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีกระบวนการโดยใช้หลักการของความคงที่ของความเข้มแสงจากวัตถุภายในภาพที่เปลี่ยนแปลงไป (brightness constancy constraint)

กำหนดให้ $I(x,y,t)$ เป็นค่าความเข้มแสงของภาพแต่ละลำดับภาพ เมื่อฟังก์ชันความเข้มแสง I คือ บริเวณพิกัด x, y ที่เวลา t พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุระหว่าง 2 ภาพ ที่เวลา t และ $t+\Delta t$ ทุกๆตำแหน่ง เราสามารถใช้อนุกรมเทเลอร์ในการประมาณค่าสัญญาณรูปภาพได้ โดยที่ตำแหน่ง (x,y,t) มีค่าความเข้มแสงเป็น $I(x,y,t)$ ภาพที่สองจะเคลื่อนที่ด้วย $\Delta x, \Delta y$ และ Δt สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I(x,y,t) = I(x+\Delta x, y+\Delta y, t+\Delta t) \tag{2.1}$$

เมื่อประมาณว่าเป็นการเคลื่อนที่เพียงช่วงเวลาสั้นๆ จากอนุกรมเทเลอร์สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$I(x+\Delta x, y+\Delta y, t+\Delta t) = I(x,y,t) + \frac{\partial I}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial I}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial I}{\partial t}\Delta t + H.O.T. \tag{2.2}$$

และเมื่อไม่พิจารณาพจน์ของอนุพันธ์อันดับสูง (H.O.T.) จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial I}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial I}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial I}{\partial t}\Delta t = 0 \tag{2.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\frac{\partial I}{\partial x}\frac{\Delta x}{\Delta t}+\frac{\partial I}{\partial y}\frac{\Delta y}{\Delta t}+\frac{\partial I}{\partial t}\frac{\Delta t}{\Delta t}=0 \tag{2.4}$$

นั่นคือ

$$\frac{\partial I}{\partial x}V_x+\frac{\partial I}{\partial y}V_y+\frac{\partial I}{\partial t}=0 \tag{2.5}$$

เมื่อ V_x, V_y คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วที่ตำแหน่ง x และ y ตามลำดับ หรือคือการไหลของแสงของภาพที่ค่า $I(x,y,t)$ และ $\frac{\partial I}{\partial x},\frac{\partial I}{\partial y}$ และ $\frac{\partial I}{\partial t}$ คือ อนุพันธ์ของรูปภาพที่ตำแหน่ง (x,y,t) ที่สอดคล้องกับทิศทาง I_x, I_y และ I_t ดังนั้นสามารถเขียนสมการอนุพันธ์ใหม่ได้ดังนี้

$$I_xV_x+I_yV_y+I_t=0 \tag{2.6}$$

$$\begin{bmatrix} I_x & I_y \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}+I_t=0 \tag{2.7}$$

$$\nabla I\cdot\vec{V}+I_t=0 \tag{2.8}$$

เมื่อได้สมการข้างต้นแล้ว ลำดับต่อไปจะเป็นแนวทางการแก้สมการเพื่อหาค่าการไหลของแสงนั่นเอง แยกออกได้เป็นดังนี้

2.1.1 วิธีของ Horn and Schunck

Horn and Schunck (1993) ได้รวมเงื่อนไขของความลาดชัน (gradient) จากสมการที่ (2.8) เป็นวิธีการประมาณค่าการไหลของแสง โดยเข้าเงื่อนไขการประมาณค่าความเร็ว $\vec{V}=(u,v)^T$ เพื่อพิจารณาค่าที่น้อยที่สุดของ

$$E=\iint\left[\left(\nabla I^T\cdot\vec{V}+I_t\right)^2+\alpha^2\left(\|\nabla u\|^2+\|\nabla v\|^2\right)\right]dxdy \tag{2.9}$$

โดยที่ขนาด (magnitude) ของ α เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลที่มีต่อเทอมของความราบเรียบ (smoothness) ให้ $\alpha=0.5$ [1] จะทำให้ผลลัพธ์ของกรณีที่ทำการทดสอบได้ดี พิจารณาใช้สมการที่ (2.9) ในการวนซ้ำสมการเพื่อทำการพิจารณาหาค่าน้อยที่สุดและได้ความเร็วของแสงแต่ละจุดภาพ โดยการวนซ้ำจะเป็นไปตามสมการที่ (2.10) และ (2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

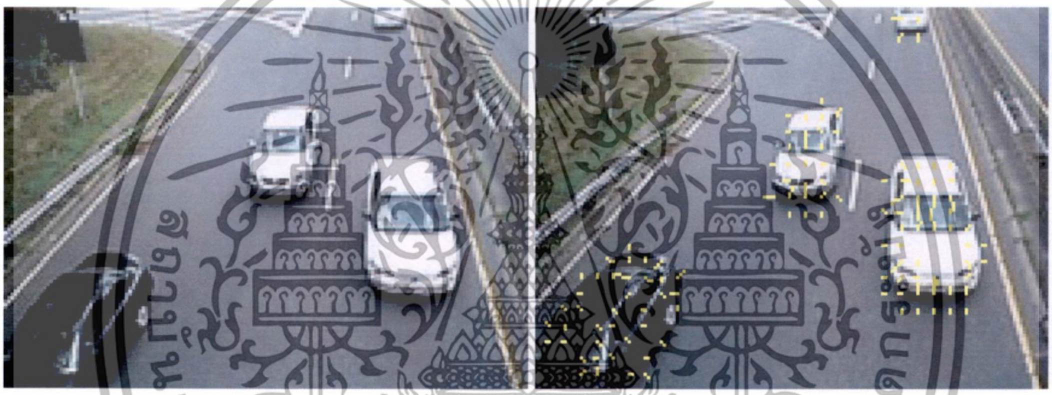
$$u^{k+1} = u^{-k} - \frac{I_x\left(I_x u^{-k} + I_y v^{-k} + I_t\right)}{\alpha^2 + I_x^{\ 2} + I_y^{\ 2}} \tag{2.10}$$

$$v^{k+1} = v^{-k} - \frac{I_x\left(I_x u^{-k} + I_y v^{-k} + I_t\right)}{\alpha^2 + I_x^{\ 2} + I_y^{\ 2}} \tag{2.11}$$

โดยที่ k คือ จำนวนครั้งในการวนซ้ำ

u^0, v^0 คือ ค่าเริ่มต้นในการประมาณความเร็ว

u^{-k}, v^{-k} คือ ค่าของตำแหน่งใกล้เคียงของ u^k, v^k



ก) ข)

รูปที่ 2.3 การไหลของแสง ก) ภาพที่ใช้ประมวลผลการไหลของแสง ข) ภาพการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีของ Horn and Schunck

ในกระบวนการแบบดั้งเดิมของ Horn และ Schunck ใช้สมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งในการประมาณค่าความสว่าง ในที่นี้ได้พิจารณาการประมาณจากความสัมพันธ์ของสมการอนุพันธ์เชิงตัวเลข และสามารถพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อน

2.1.2 วิธีของ Lucas and Kanade

จากวิธีการของ Lucas and Kanade (1981) ได้นำเสนอวิธีการในการหาค่าน้ำหนักเหมาะสมของค่ากำลังสองน้อยที่สุด ของเงื่อนไขเฉพาะถิ่นอันดับหนึ่ง (local first-order) ของสมการที่ (2.8) เพื่อพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับแบบจำลองค่าความเร็ว v ในแต่ละจุดภาพ โดยพิจารณาจากสมการที่ (2.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum W^2 \left[\nabla I^T \cdot \vec{V} + I_t\right]^2 \qquad (2.12)$$

โดยที่ W คือฟังก์ชันหน้าต่าง (windows function) วิธีการแก้ปัญหาสมการที่ (2.12) เมื่อกำหนด n คือจุดบนภาพที่เวลา t ทำได้ดังนี้

$$A^T W^2 A v = A^T W^2 b \qquad (2.13)$$

$$A = \left[\nabla I(x_1),\ldots,\nabla I(x_n)\right]^T \qquad (2.14)$$

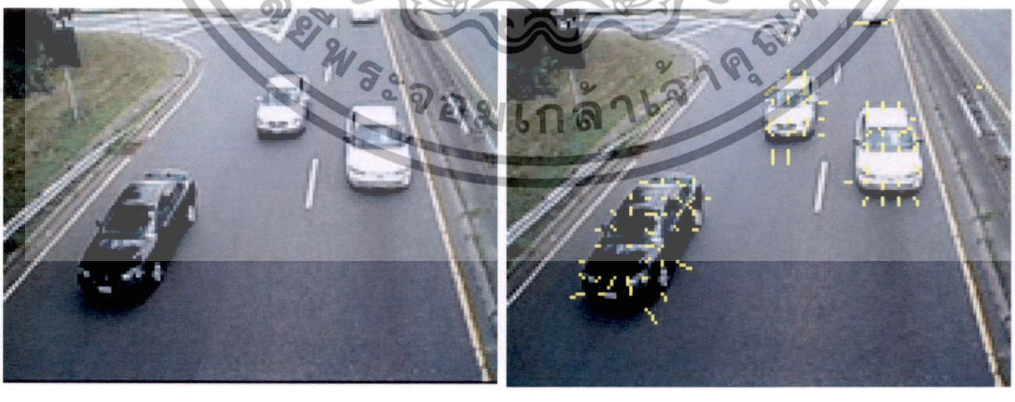
$$W = diag\left[W(x_1),\ldots,W(x_n)\right] \qquad (2.15)$$

$$b = -\left(I(x_1),\ldots,I(x_n)\right)^T \qquad (2.16)$$

$$v = \left[A^T W^2 A\right]^{-1} A^T W^2 b \qquad (2.17)$$

ดังนั้นจะได้ผลลัพธ์ของสมการที่ (2.13) คือสมการที่ (2.17) ซึ่งรูปแบบของผลเฉลยจะเข้าใกล้รูปแบบของสมการ $A^T W^2 A$ ซึ่งไม่เป็นเอกพจน์ (nonsingular) ที่มีเมตริกซ์ขนาด 2 x 2

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum W^2 I_x^{\,2} & \sum W^2 I_x I_y \\ \sum W^2 I_y^{\,2} & \sum W^2 I_y^{\,2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum W^2 I_x I_t \\ -\sum W^2 I_y I_t \end{bmatrix} \qquad (2.18)$$



ก) ข)

รูปที่ 2.4 การไหลของแสง ก) ภาพที่ใช้ประมวลผลการไหลของแสง ข) ภาพการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีของ Lucas and Kanade

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การปรับปรุงภาพด้วยการกรองสัญญาณรบกวนภายในภาพ

หากเรามีชุดของภาพคุณภาพต่ำหลาย ๆ ภาพซึ่งถ่ายจากมุมกล้องเดียวกัน เราสามารถสร้างภาพใหม่ที่มีคุณภาพสูงกว่าจากชุดภาพนั้นได้ หากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นแบบสุ่ม ภาพที่เก็บแต่ละครั้งย่อมมีลักษณะแตกต่างกัน หากความเข้มแสงของจุดในภาพหนึ่งถูกรบกวน เราสามารถนำข้อมูลความเข้มแสงของจุด จากภาพอื่น ณ ตำแหน่งเดียวกันมาแทน แต่ละจุดในภาพผลลัพธ์ที่ได้จะเกิดจากการเฉลี่ย จากจุดที่ตรงกันของภาพต่าง ๆ ในชุดภาพ

การปรับปรุงภาพด้วยการกรองสัญญาณรบกวนที่ทำให้คุณภาพของภาพดีขึ้นเพื่อจุดหมายเฉพาะ เพื่อทำให้คุณลักษณะของภาพมีสิ่งรบกวนน้อยลงหรือเป็นการกำจัดสิ่งรบกวนเพื่อให้การประมาณค่าการไหลของแสงดีขึ้นทั้งขนาดและทิศทาง พร้อมทั้งลดค่าความคลาดเคลื่อน ระบบการกำจัดสิ่งรบกวนภายในภาพสามารถแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ

2.2.1 เฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ (2D-Hessian Kernel, 2DH)

เมื่อเมตริกซ์เฮซเซียน คือ เมตริกซ์จตุรัสของฟังก์ชั่นสมการเชิงอนุพันธ์อันดับสอง เมื่อให้ $V=\left(V_x,V_y\right)$ เป็นเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ สามารถหาเมตริกซ์เฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ของ V ได้ดังนี้

$$\nabla V=\begin{bmatrix}\frac{\partial V_x}{\partial x} & \frac{\partial V_x}{\partial y}\\ \frac{\partial V_y}{\partial x} & \frac{\partial V_y}{\partial y}\end{bmatrix} \tag{2.19}$$

$$H_{2D}=\nabla\cdot\nabla V=\begin{bmatrix}\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 V_x}{\partial x\partial y}\\ \frac{\partial^2 V_y}{\partial y\partial x} & \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2}\end{bmatrix} \tag{2.20}$$

เมตริกซ์ดังสมการที่ (2.20) สามารถนำไปตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของทิศทางการไหลของแสง โดยเมตริกซ์นี้จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของแสง ดังสมการที่ (2.21)

$$\hat{V}_{kc}^{\tau+1}=\frac{\sum_{x_i\in N(z_c)} V_{ki}^{\tau}\exp\left[-\left(x_i-z_c\right)^T H_{2D}^{-1}\left(x_i-z_c\right)\right]}{\sum_{x_i\in N(z_c)}\exp\left[-\left(x_i-z_c\right)^T H_{2D}^{-1}\left(x_i-z_c\right)\right]} \tag{2.21}$$

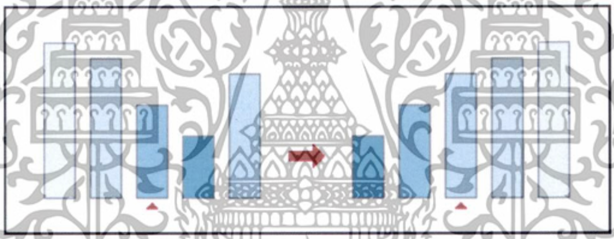
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_{ki}^{τ} คือเวกเตอร์ที่ตำแหน่ง x_i จากตำแหน่งบริเวณใกล้เคียง (neighborhood) $N(z_c)$, H_{2D} คือเมตริกซ์ที่คำนวณจากสมการ (2.20) และ k เป็นตัวแปรแทนเลขของกรอบ ในกรณีของเมตริกซ์ H_{2D} สามารถแทนที่ด้วย H_{2D}^{-1} ด้วย pseudo-inverse และใช้วิธีการของ Moore-Penrose [11]

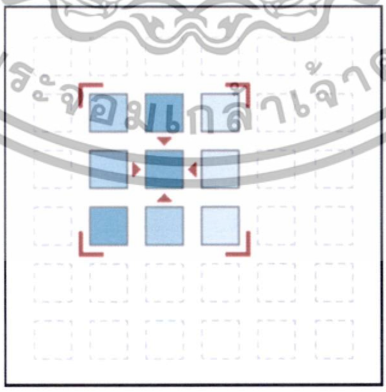
ซึ่งวิธีการกรองด้วย 2DH นั่นเหมาะสมนำมาแก้ปัญหาการกรองสัญญาณรบกวนของการประมาณค่าการไหลของแสง เนื่องจากทีมวิจัยของ A.Doshi และ A.G.Bors ได้พัฒนาวิธีนี้มาแก้ปัญหาการหาเวกเตอร์ของการประมาณค่าการไหลของแสงโดยตรง ขั้นตอนนั้นเมื่อประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีของ Lucas และ Kanade แล้วนั้น ก็นำวิธีการนี้มากรองสัญญาณอีกรอบหนึ่ง ก็จะได้การประมาณค่าการไหลของแสงที่มีคุณภาพดีขึ้น แต่ก็ยังมีวิธีการที่ดีกว่า ซึ่งจะได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป

2.2.2 วิธีเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง (MED-2DH)

วิธีการนี้จะนำเอาความเข้มแสงของจุดที่ตรงกันในภาพต่างๆ มาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก จากนั้นจะเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางไปใช้ ดังรูปที่ 2.5 หากจำนวนภาพทั้งหมดเป็นจำนวนคู่ ค่าทั้งสองที่อยู่ตรงกลางจะนำมาหาค่าเฉลี่ย วิธีการนี้จะต้องใช้การเรียงลำดับซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณสูง แต่ข้อดีคือไม่สูญเสียความคมชัด



รูปที่ 2.5 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง



รูปที่ 2.6 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ใน 2 มิติ

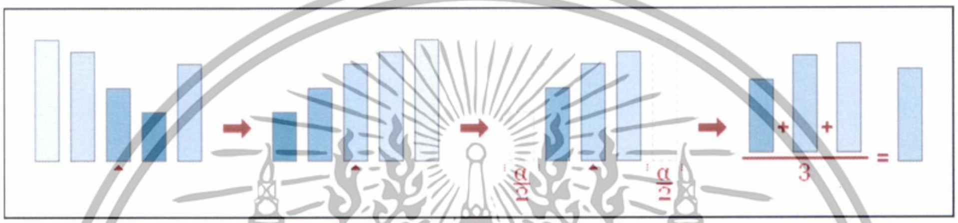
พิจารณาเวกเตอร์ ณ ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ในภาพ กรองข้อมูลภาพโดยใช้ ขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ใน 2 มิติ ดังรูปที่ 2.6 นำค่าเวกเตอร์ตำแหน่งบริเวณใกล้เคียง ณ จุดที่พิจารณา มาคำนวณหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง เพื่อกรองสัญญาณรบกวนในขั้นต้น ทำเช่นนี้ทุกๆ พิกเซลของรูปภาพ จากนั้นจึงใช้วิธีเฮเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ดังอธิบายมาแล้วข้างต้น จะได้เวกเตอร์การประมาณค่าการไหลของแสงที่มีคุณภาพดีขึ้น

2.2.3 วิธีเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับ Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH)

วิธีการนี้เป็นการผสมผสานระหว่างการใช้ค่าเฉลี่ยและการใช้ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง โดยการนำเอาความเข้มแสงที่จุดต่างๆในภาพ มาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก และเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางไปหาค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง จากนั้นจึงตัดค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดออกหรือตามค่าแอลฟาที่เรากำหนดไว้ นำค่าที่เหลือมาทำการเฉลี่ย จึงได้ค่าข้อมูลภาพที่ต้องการ อธิบายดังรูปที่ 2.7

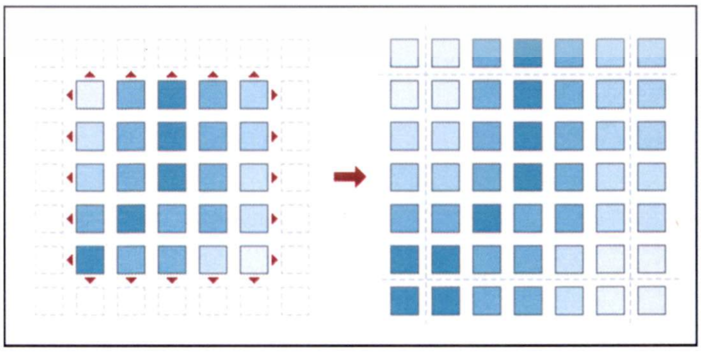


รูปที่ 2.7 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ Alpha-trimmed mean filter

เมื่อพิจารณาเวกเตอร์ ณ ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ในภาพ กรองข้อมูลภาพโดยใช้ ขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ใน 2 มิติ นำค่าเวกเตอร์ตำแหน่งบริเวณใกล้เคียง ณ จุดที่พิจารณา มาคำนวณหาโดยวิธี Alpha-trimmed mean filter เพื่อกรองสัญญาณรบกวนในขั้นต้น ทำเช่นนี้ทุกๆ พิกเซลของรูปภาพ จากนั้นจึงใช้ตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ในการประมาณค่าการไหลของแสงถัดไป

2.2.4 การรักษาขอบรูปภาพใน 2 มิติ (treating edges in 2D case)

ในการวิเคราะห์ความเข้มแสงภายในภาพ เราควรจะขยายภาพที่นำเข้า ในส่วนของขอบรูปภาพด้านข้าง ด้านบนและด้านล่าง โดยการเพิ่มคอลัมน์ด้านซ้าย และด้านขวาขยายออกไป แสดงดังรูปที่ 2.8 วิธีการนี้จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการหาความเข้มแสงให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น



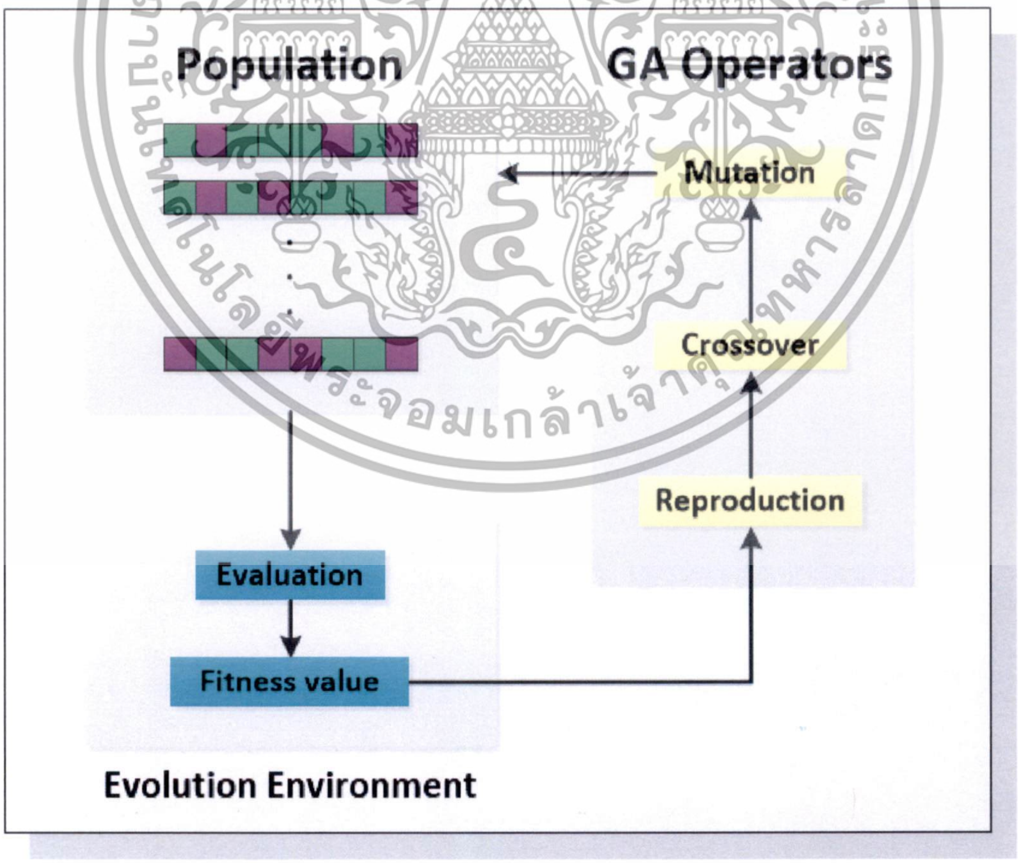
รูปที่ 2.8 การรักษาขอบรูปภาพใน 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยตัวกรองวิธีที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นต้องใช้การรักษาขอบรูปภาพใน 2 มิติ เพื่อคำนวณค่าเวกเตอร์บริเวณขอบของรูปภาพ ซึ่งจะช่วยให้เวกเตอร์ที่ได้บริเวณขอบมีประสิทธิภาพดียิ่งกว่าเดิม

2.3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นแนวคิดในการแก้ปัญหาและค้นหาคำตอบด้วยการเลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างการค้นหาแบบสุ่มกับการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมใช้การผสมชุดคำตอบที่มีความเหมาะสมและคัดเลือกคำตอบที่ดีกว่าเพื่อสร้างชุดคำตอบที่ดียิ่งขึ้น แทนการเปรียบเทียบคำตอบข้างเคียงเพื่อปรับทิศทางการค้นหา ทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีจุดแข็งในการที่สามารถใช้ค้นหาคำตอบจากชุดข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องได้ และการใช้ชุดคำตอบจำนวนหนึ่งแทนการเปรียบเทียบระหว่างคำตอบแต่ละคำตอบทำให้การค้นหาด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Minima / Global Maxima) ได้โดยไม่ติดอยู่กับคำตอบที่ดีเฉพาะที่ (Local Minima / Local Maxima) อย่างไรก็ดี ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่ใช้การคำนวณค่อนข้างมากและใช้เวลานาน จึงทำให้เป็นวิธีการที่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก แต่ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันทำให้สามารถลดเวลาในการดำเนินการตามกระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้เป็นอย่างมาก จนเป็นที่สนใจของนักวิจัยในปัจจุบัน



รูปที่ 2.9 กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการและการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาในรูปของยีนและโครโมโซม และการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในกระบวนการวิวัฒนาการชุดคำตอบ จากนั้นจะกำหนดชุดคำตอบชุดแรก (Initial Generation) ในรูปของโครโมโซมด้วยการสุ่ม และนำชุดคำตอบนั้นเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นกระบวนการต่อเนื่องที่ประกอบด้วยตัวดำเนินการ (Operator) ได้แก่ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การผสมยีน (Crossover) กับการกลายพันธุ์ (Mutation) และนำไปประเมินความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ดังรูปที่ 2.9

2.3.1 การกำหนดยีนและโครโมโซม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จะพิจารณาหาคำตอบของปัญหาจากกลุ่มของคำตอบหรือประชากร (population) ของคำตอบ แต่ละคำตอบจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแสดงอยู่ในรูปของโครโมโซม (chromosome) การกำหนดยีนและโครโมโซมในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จะกำหนดในรูปของแถวของอักขระ (String of Alphabet) หรือแถวของเลขฐานสอง (Bit string) เทียบเท่ากับแถวโครโมโซมที่ประกอบด้วยยีนย่อยๆ ในลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ

$$S = [s_1, s_2, \ldots, s_L] \tag{2.22}$$

โดยที่ S คือ โครโมโซมหนึ่งๆ และแต่ละ s_i, $i = 1, 2, \ldots, L$ คือแต่ละตัวแปรในชุดคำตอบของระบบ ซึ่งในแต่ละระบบจะมีจำนวนตัวแปรไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ความซับซ้อนและการออกแบบการแก้ปัญหาของระบบนั้นๆ

เมื่อพิจารณาโครโมโซมหนึ่งๆ เป็นการนำเอาคำตอบทั้งชุดของระบบมาวางเรียงต่อกันเป็นสาย ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะเห็นโครโมโซมเป็นหนึ่งคำตอบประกอบด้วยองค์ประกอบที่เรียกว่ายีน ดังนั้นโครโมโซมในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงเป็นที่เก็บลักษณะของคำตอบของระบบไว้ เพื่อใช้ถ่ายทอดสายพันธุกรรมให้ประชากรรุ่นถัดไป

ปกติแล้วในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้โครโมโซมหลายๆ ชุดแทนคำตอบของระบบ คือ s_i, $i = 1, 2, \ldots, N$ (N โครโมโซม) นั่นคือในวัฏจักรหนึ่งๆ ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีคำตอบอยู่หลายๆ ชุด ปกติขนาดของประชากรจะมีจำนวนอยู่ระหว่าง 30-100 โครโมโซม ขนาดประชากรอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นสิ่งแรกที่ต้องทำการกำหนดก่อน คำตอบของระบบควรจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดจากประชากรที่มีอยู่ ดังนั้นจำนวนที่เหมาะสมของโครโมโซมนั้นจะขึ้นอยู่กับระบบและการออกแบบ จึงไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการระบุจำนวนที่เหมาะสมของโครโมโซมในแต่ละครั้งได้ แต่การที่กำหนดจำนวนโครโมโซมที่น้อยเกินไปอาจจะมีผลให้ประชากรที่มีอยู่ทั้งหมดไม่สามารถขยายพันธุ์ครอบคลุมไปถึงคำตอบของระบบได้ตามต้องการ ในทางกลับกันถ้ากำหนดจำนวนโครโมโซมมากเกินไปก็จะทำให้การคำนวณล่าช้า และทำให้เกิดความซ้ำซ้อนกันของโครโมโซมซึ่งอาจจะมีผลให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไม่สามารถลู่เข้าหาคำตอบได้อย่างที่คาดคิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

การประเมินค่าความเหมาะสมเป็นขั้นตอนในการประเมินว่าโครโมโซมหนึ่งๆ ดีหรือไม่ดีอย่างไร เมื่อเทียบกับโครโมโซมอื่นๆ ที่มีอยู่ในกลุ่มประชากรนั้นๆ โดยปกติแล้วการประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจะประกอบไปด้วยการคำนวณค่า 2 ฟังก์ชันดังนี้

2.3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective/Evaluation Function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในการประเมินผลคำตอบของระบบว่าดีหรือไม่ดี ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันที่ทำการประเมินคำตอบจากโครโมโซมโดยเทียบกับเป้าหมายของระบบ ในกรณีที่ระบบเป็นปัญหาของการค้นหาค่าน้อยที่สุด (minimization problem) โครโมโซมที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของระบบจะมีค่าตัวเลขจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด ตัวอย่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้แก่ ฟังก์ชันทั่วไปที่ใช้คำนวณค่าความผิดพลาดของระบบ (error) เช่น MSE (Mean-squared error) SSE (sum-squared error) หรือ RMSE (root-mean-squared error) เป็นต้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของระบบดังกล่าวก็คือต้องการให้ค่าความผิดพลาดของระบบน้อยที่สุด

สังเกตว่าโครโมโซมที่นำไปประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะต้องอยู่ในรูปที่ระบบเข้าใจ ดังนั้นถ้ากำหนดให้โครโมโซม S ที่เวลา t ใดๆ คือ $S(t)$ เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าการประเมินของโครโมโซมนี้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

$$f\left(S(t)\right)=f\left(s_1(t),s_2(t),\ldots,s_L(t)\right) \tag{2.23}$$

โดยที่ $s_1(t),s_2(t),\ldots,s_L(t)$ คือคำตอบของระบบที่ผ่านการถอดรหัสเรียบร้อยแล้ว

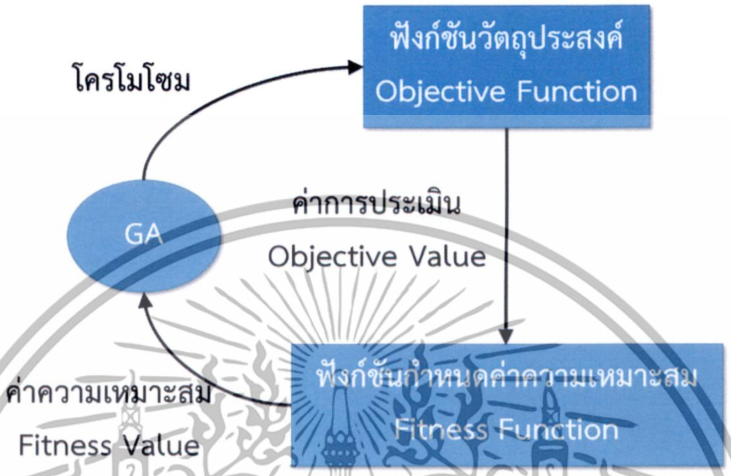
2.3.2.2 ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness Function)

ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมเป็นฟังก์ชันที่ทำการจับคู่กับค่าประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไปเป็นค่าความเหมาะสม (fitness value) จุดประสงค์ของฟังก์ชันนี้ก็คือเพื่อทำการกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โดยทำการเปรียบเทียบกันเองภายในกลุ่มประชากร ค่าความเหมาะสมเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นมาตรวัด เพื่อตัดสินคัดเลือกโครโมโซมที่ใช้ในการสืบสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป เนื่องมาจากค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นจะมีค่าขึ้นอยู่กับระบบ จึงทำให้ตัวเลขที่ได้มีความหลากหลายและแตกต่างกันเกินไป ดังนั้นฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมจึงเป็นการคำนวณค่าการประเมินของโครโมโซมทั้งหมด เทียบกับโครโมโซมด้วยกันเองและปรับให้มีค่าที่อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันกล่าวคือ

$$E\left(F_i\right)=\left[E_{\min},E_{\max}\right], i=1,2,\ldots,N \tag{2.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $E(F_i)$ คือฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมจากค่าการประเมิน F_i $E_{\min}$ และ $E_{\max}$ เป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของค่าความเหมาะสม โดยปกติจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์กับฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม



รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม

วิธีของฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมมีอยู่หลายแบบ เทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้ เช่น วิธีกำหนดอย่างเป็นสัดส่วน (proportional) หรือวิธีการกำหนดบรรทัดฐานเชิงเส้น (linear normalization) ฯลฯ

2.3.3 การคัดเลือกสายพันธ์ (Selection)

การคัดเลือกสายพันธุ์เป็นขั้นตอนในการคัดเลือกโครโมโซม ที่ดีที่สุดจากภายในกลุ่มประชากรทั้งหมด ซึ่งโครโมโซมที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ เพื่อใช้ในการให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นถัดไป โดยปกติแล้วเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ดี ต้นกำเนิดของสายพันธุ์จะต้องดีด้วย จึงกลายเป็นปัญหาว่าจะทำการคัดเลือกต้นกำเนิดสายพันธุ์ที่ดีอย่างไร การคัดเลือกสายพันธุ์เป็นการจำลองการคัดเลือกโครโมโซมที่จะสามารถอยู่รอดได้ในแต่ละรุ่น สำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะทำการคัดเลือกโครโมโซมโดยพิจารณาที่ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนั้นๆ ดังนั้นโครโมโซมไหนมีค่าความเหมาะสมที่ดี ย่อมเป็นโครโมโซมที่ดีและควรจะมีโอกาสที่จะให้ลูกหลานในจำนวนที่มากกว่า ซึ่งจะบ่งบอกว่าโอกาสในการอยู่รอดในรุ่นถัดไปก็จะมีเพิ่มมากขึ้น ขั้นตอนในการคัดเลือกสายพันธุ์ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่

2.3.3.1 การกำหนดค่าโอกาสในการถูกเลือก

หลักการโดยทั่วไปของการกำหนดโอกาส คือการใช้ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมเพื่อช่วยในการคัดเลือก ตัวอย่างวิธีการกำหนดค่าโอกาสมีรายละเอียดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคัดเลือกด้วยการแบ่งเป็นสัดส่วน (Proportionate Selection) วิธีการนี้จะทำการคัดเลือกโครโมโซมอย่างเป็นสัดส่วนจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนั้นๆ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสในการสืบสายพันธุ์ด้วยอัตราที่สูงกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยกว่า ข้อจำกัดของการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการนี้ คือ ค่าความเหมาะสมจะต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น

- การคัดเลือกแบบโบลต์ซมันน์ (Boltzmann Selection) วิธีของโบลต์ซมันน์เป็นวิธีการแก้ปัญหาของโรโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่เป็นลบ และลดความแตกต่างของค่าความเหมาะสมของประชากรโดยรวม โดยวิธีการนี้จะคัดเลือกสายพันธุ์โดยใช้ค่าเอกซ์โพเนนเชียลของค่าความเหมาะสม

- การคัดเลือกแบบจัดอันดับ (Ranking Selection) วิธีการนี้คัดเลือกโดยนำโครโมโซมมาจัดเรียงอันดับตามค่าความเหมาะสม โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจะมีอันดับสุดท้าย และโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ด้อยที่สุดจะมีอันดับ 1 แต่วิธีการนี้จะส่งผลให้การลู่เข้าคำตอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมช้า เนื่องมาจากโครโมโซมที่ด้อยกว่ามีโอกาสในการถูกคัดเลือกที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีที่กล่าวมาข้างต้น
- การคัดเลือกแบบจัดการแข่งขัน (Tournament Selection) เป็นวิธีการเดียวกับการแข่งขันกีฬาทั่วๆ ไป ทำให้ได้การสุ่มแบ่งกลุ่มคัดเลือกโครโมโซม แล้วเลือกเอาโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นเพื่อหาโครโมโซมผู้ชนะเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ต่อไป จำนวนของโครโมโซมแต่ละกลุ่มนั้นจะแตกต่างกันออกไป

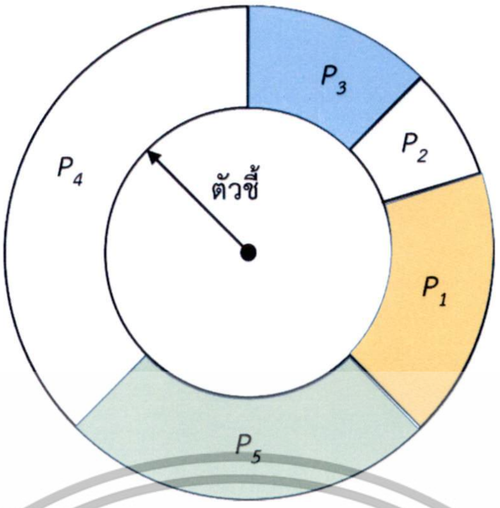
2.3.3.2 การแปลงค่าโอกาสเป็นจำนวนโครโมโซมลูกหลาน

หลังจากที่ได้ทำการกำหนดค่าโอกาสในการถูกเลือกให้กับแต่ละโครโมโซมทุกตัวแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ การชักตัวอย่าง ซึ่งเป็นการนำเอาค่าโอกาสนั้นไปทำการแปลงให้เป็นค่าตัวเลข ตัวเลขดังกล่าวจะแสงถึงจำนวนของลูกหลานที่โครโมโซมนั้นๆ จะสามารถให้กำเนิดในขั้นต่อไป วิธีการแปลงค่าโอกาสให้เป็นจำนวนโครโมโซมลูกหลานที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

- วิธีการชักตัวอย่างแบบวงล้อรูเล็ท (Roulette Wheel Sampling) ในขั้นตอนแรกจะทำการสร้างวงล้อรูเล็ทขึ้นมาก่อน และกำหนดผลรวมของค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของโครโมโซมในประชากรทั้งกลุ่ม หลังจากนั้นค่าโอกาสของโครโมโซมแต่ละตัวจะถูกแปลงไปยังบนวงล้อรูเล็ท โดยที่ขนาดของวงล้อรูเล็ทสำหรับแต่ละโครโมโซมจะสัมพันธ์กับค่าโอกาสของโครโมโซมนั้นๆ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.11

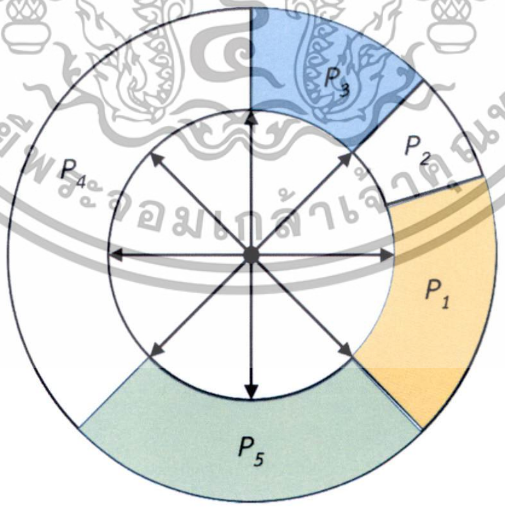
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.11 วงล้อรูเล็ทจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

- วิธีการชักตัวอย่างแบบกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาล (Stochastic Universal Sampling) วิธีนี้เป็นการชักตัวอย่างที่ถูกเรียกใช้เพียงครั้งเดียว ก็สามารถคัดเลือกโครโมโซมตามจำนวนที่ต้องการได้ วิธีชักตัวอย่างแบบกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาลมีข้อแตกต่างไปจากวงล้อรูเล็ทตรงที่มีการใช้ตัวชี้มากกว่าหนึ่งตัว โดยที่ตัวชี้แต่ละตัวจะมีระยะห่างเท่ากัน วิธีนี้ทำให้ลดความเหลื่อมล้ำในแต่ละโครโมโซมสำหรับการคัดเลือกลงเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิมของวงล้อรูเล็ท โครโมโซมที่มีค่าโอกาสสูงจะถูกชี้ด้วยจำนวนตัวชี้ในจำนวนที่มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าโอกาสที่ต่ำกว่า ดังตัวอย่างรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงล้อรูเล็ทจากกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
148007

2.3.4 ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic Operation)

หลังจากขบวนการคัดเลือกได้ดำเนินไปจนเสร็จสมบูรณ์ โครโมโซมลูกหลานจะถูกสร้างขึ้นใหม่ จากโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ โดยการนำเอาโครโมโซมที่เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์นั้นทำการเปลี่ยนแปลงให้เกิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมา กลายเป็นโครโมโซมลูกหลานแสดงในรูปที่ 2.13 ขั้นตอนดังกล่าวนี้เป็นขั้นตอนสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในวัฏจักรของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ซึ่งมีการคาดหวังว่าโครโมโซมลูกหลานที่เกิดขึ้นมานั้น จะได้รับส่วนดีของโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์โดยผ่านปฏิบัติการทางสายพันธุ์ ถ้าพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากปฏิบัติการทางสายพันธุ์ที่เกิดขึ้นกับประชากร ซึ่งเป็นคำตอบของระบบแล้ว เราสามารถเปรียบปฏิบัติการทางสายพันธุ์ได้กับการก้าวเดินไปสู่คำตอบของระบบนั่นเอง

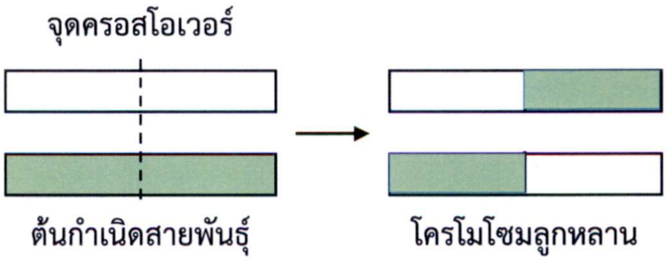
รูปที่ 2.13 ปฏิบัติการทางสายพันธุ์

โดยปกติทั่วไปปฏิบัติการทางสายพันธุ์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีอยู่ 2 วิธี คือ การผสมยีน (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.4.1 การผสมยีน (Crossover)

การผสมยีน (Crossover) เป็นการนำเอาโครโมโซมในประชากรที่ได้จากการสืบพันธุ์มาจับคู่และผสมยีนระหว่างกันให้ได้โครโมโซมใหม่เพื่อหาลักษณะทางพันธุกรรมใหม่ที่มีความเหมาะสมดีกว่าเพื่อให้กลายเป็นโครโมโซมลูกหลาน โครโมโซมลูกหลานที่ได้จากการผสมยีนนี้พันธุกรรมจากต้นกำเนิดสายพันธุ์อยู่ในตัว โดยทั่วไปแล้วจะมีการกำหนดอัตราการผสมยีนเอาไว้ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ความน่าจะเป็น เป็นตัวกำหนดอัตราดังกล่าว วิธีการผสมยีนมีได้หลายแบบดังรายละเอียดในตัวอย่างต่อไปนี้

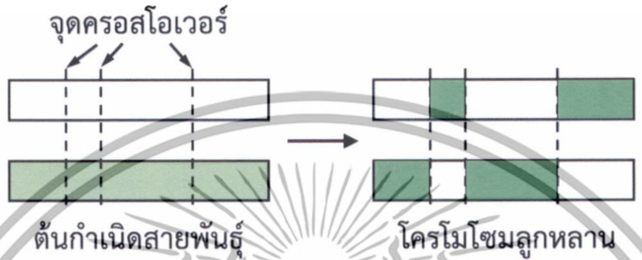
- การผสมยีนแบบจุดเดียว (Single-Point Crossover) คือการสุ่มเลือกจุดผสมยีนเพียงจุดเดียว และสลับยีนระหว่างคู่โครโมโซมพ่อแม่เพื่อให้ได้โครโมโซมลูก แสดงอยู่ในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การผสมยีนแบบจุดเดียว

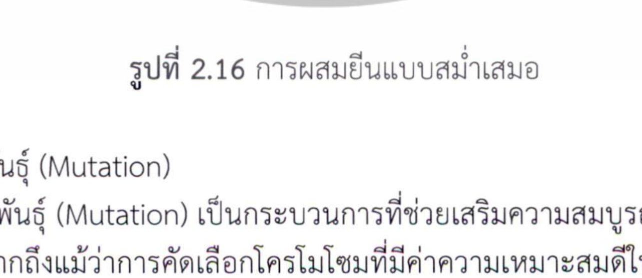
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผสมยีนแบบหลายจุด (Multiple-Point Crossover) โครโมโซมลูกหลานจะมีสายพันธุ์ของต้นกำเนิดมากกว่าหนึ่งส่วน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.15 วิธีการนี้จะให้ผลของลูกหลานที่มีความหลากหลายกว่าการผสมยีนแบบจุดเดียว อันจะมีผลให้การลู่เข้าสู่คำตอบของระบบสามารถครอบคลุมพื้นที่ของคำตอบได้มากยิ่งขึ้น แต่การผสมยีนแบบหลายจุดก็อาจจะทำให้มีโอกาสเบี่ยงเบนของคำตอบที่มีอยู่ในโครโมโซมลูกหลานได้ในอัตราที่สูงกว่าเช่นกัน



รูปที่ 2.15 การผสมยีนแบบหลายจุด

- การผสมยีนแบบสม่ำเสมอ (Uniform Crossover) การผสมยีนแบบจุดเดียวและหลายจุด มีการกำหนดจุดตัดเอาไว้ก่อนที่จะทำการสลับส่วนย่อยของโครโมโซมที่จุดนั้นๆ วิธีดังกล่าวมีความแตกต่างไปจากการผสมยีนแบบสม่ำเสมอ ที่ซึ่งถูกออกแบบให้ทุกจุดบนโครโมโซมสามารถเป็นจุดตัดได้ ในทางปฏิบัติจะมีการใช้การผสมยีนแมสก์หรือตัวพราง (cross-over mask) ช่วยในการทำการผสมยีน แสดงอยู่ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การผสมยีนแบบสม่ำเสมอ

2.3.4.2 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นกระบวนการที่ช่วยเสริมความสมบูรณ์ของการสืบพันธุ์และการผสมยีน เนื่องจากถึงแม้ว่าการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีในกระบวนการสืบพันธุ์และผสมแลกเปลี่ยนยีนจะสามารถสร้างโครโมโซมใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นกว่าเดิมได้ แต่กระบวนการดังกล่าวเป็นการอาศัยข้อมูลจากโครโมโซมเดิมที่มีอยู่แล้ว และอาจไม่สามารถค้นพบโครโมโซมที่ดีกว่าภายนอกข้อมูลในกลุ่มประชากรของโครโมโซมเดิมได้ การกลายพันธุ์เป็นการช่วยให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถค้นพบคำตอบที่อาจไม่มีข้อมูลอยู่ในกลุ่มประชากรของโครโมโซมเดิมได้ด้วยการสุ่มเปลี่ยนยีนในโครโมโซมในอัตราความน่าจะเป็นที่ค่อนข้างต่ำ ในกระบวนการการกลายพันธุ์เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เพราะอัตราการกลายพันธุ์จะขึ้นอยู่กับขนาดของประชากร เพื่อให้การสำรวจพื้นที่ในการค้นหาคำตอบเป็นไปอย่างทั่วถึง ดังนั้นการกำหนดอัตราการกลายพันธุ์ต้องมีความเหมาะสมที่สุดต่อระบบด้วย เพื่อก่อให้เกิดผลในการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.3.5 การสืบพันธุ์ (Reproduction)

การสืบพันธุ์ (Reproduction) เป็นการสร้างประชากรใหม่ด้วยการสำเนาซ้ำจากการคัดเลือกประชากรชุดเดิม ด้วยการใช้ความน่าจะเป็นตามคะแนนความเหมาะสมที่ได้จากการประเมินด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ซึ่งเป็นการเลียนแบบกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ (Natural Selection) โดยสายพันธุ์ตามธรรมชาติที่มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมมากกว่าจะมีโอกาสในการอยู่รอดและสืบทอดสายพันธุ์ได้มากกว่า วิธีการทั่วไปที่ใช้สำหรับการคัดเลือกประชากรในกระบวนการสืบพันธุ์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ได้แก่ การคัดเลือกแบบ Roulette Wheel คือการสุ่มเลือกด้วยการกำหนดความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกตามสัดส่วนของคะแนนความเหมาะสมของประชากรจากผลรวมคะแนนทั้งหมด การคัดเลือกแบบ Tournament คือการสุ่มจับคู่เปรียบเทียบจากกลุ่มประชากรและคัดเลือกผู้ชนะจากการเปรียบเทียบนั้น และการคัดเลือกแบบ Linear Ranking คือการจัดอันดับคะแนนความเหมาะสมของประชากรและกำหนดความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกตามการจัดอันดับนั้น

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของแสง

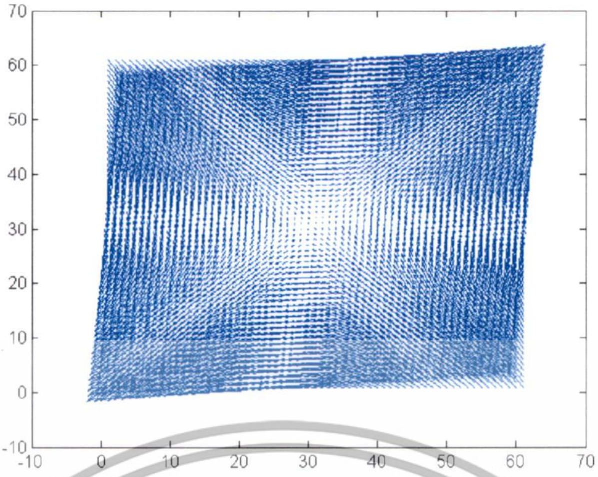
2.4.1 Synthetic-1

จำลองการไหลของแสงด้วยสมการเวกเตอร์ Synthetic-1 ซึ่งมีโมเดลดังสมการที่ (2.25)

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & -s \\ s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D+S & -R \\ R & D-S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x-\mu \\ y-\mu \end{bmatrix} \tag{2.25}$$

เมื่อ V_x, V_y คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วที่ตำแหน่ง x และ y ตามลำดับ, $c=\cos(\theta)$, $s=\sin(\theta)$, $\theta=0$, $D=0.8$ คือ dilation coefficient, $S=0.05$ คือ shear coefficient, $R=0.1$ คือ rotation coefficient และ $\mu=31$ คือ center of the resultant flow ลักษณะของเวกเตอร์ค่อนข้างซับซ้อนแสดงดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



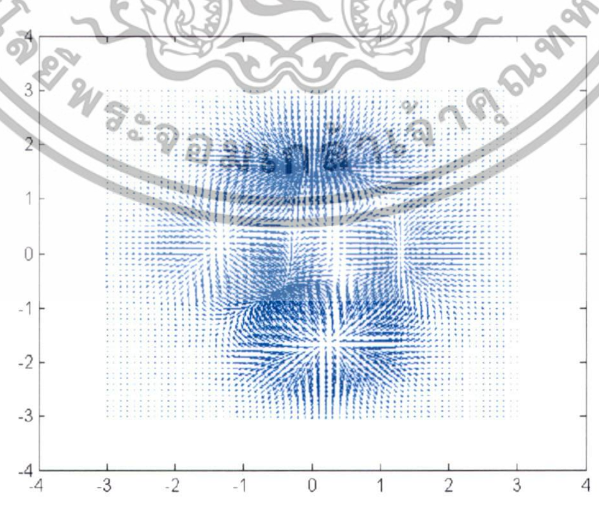
รูปที่ 2.17 Synthetic-1

2.4.2 Synthetic-2

จำลองการไหลของแสงด้วยสมการเวกเตอร์ Synthetic-2 ซึ่งมีโมเดลดังสมการที่ (2.26)

$$Z(x,y) = 3(1-x)^2 e^{-x^2-(y+1)^2} - 10\left(\frac{x}{5} - x^3 - y^5\right)e^{-x^2-y^2} - \frac{1}{3}e^{-(x+1)^2-y^2} \tag{2.26}$$

เมื่อ x และ y คือ ตำแหน่งพิกัดพิกเซลภายในรูปภาพ และส่วนประกอบเวกเตอร์ความเร็วแทนด้วย $V = \left(\frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Z}{\partial y}\right)$ ลักษณะของเวกเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Synthetic-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แบบจำลองของสิ่งรบกวน

2.5.1 สิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน (Gaussian noise)

สิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน มีแบบจำลองดังสมการที่ (2.27)

$$G(\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{v^2}{\sigma^2}\right) \tag{2.27}$$

เมื่อ v คือ ตัวแปรสุ่ม และ σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของเกาส์เซียน โดยจะทำการเพิ่มค่าความแปรปรวนที่ค่าต่างๆ เพื่อจำลองเวกเตอร์ของการไหลของแสงที่มีสิ่งรบกวนเข้ามา

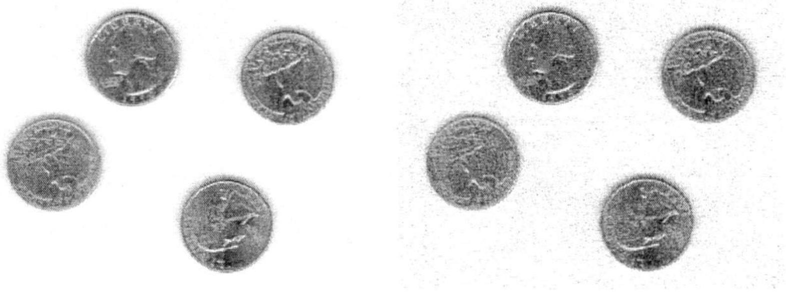
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างภาพที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน

2.5.2 สิ่งรบกวนประเภทปัวซอง (Poisson noise)

สิ่งรบกวนประเภทปัวซอง มีแบบจำลองดังสมการที่ (2.28)

$$P(\lambda) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{v}}{v!} \tag{2.28}$$

เมื่อ $v!$ คือ ตัวเลขของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากปัจจัยของ v ซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็ม และ $\lambda > 0$ คือ ค่าความแปรปรวนของปัวซอง โดยจะทำการเพิ่มค่าความแปรปรวนที่ค่าต่างๆ เพื่อจำลองเวกเตอร์ของการไหลของแสงที่มีสิ่งรบกวนเข้ามา



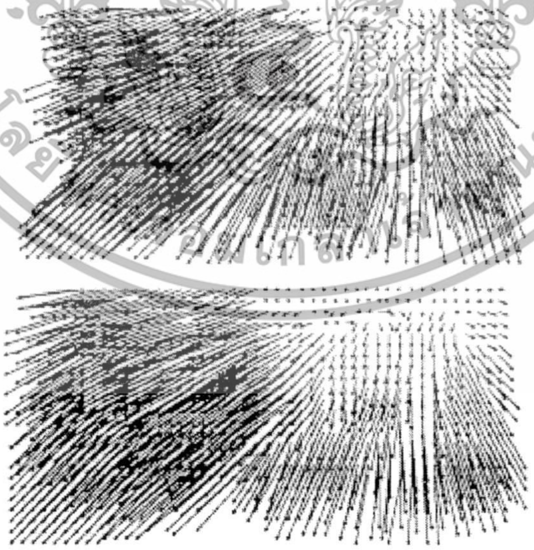
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างภาพที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทปัวซอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

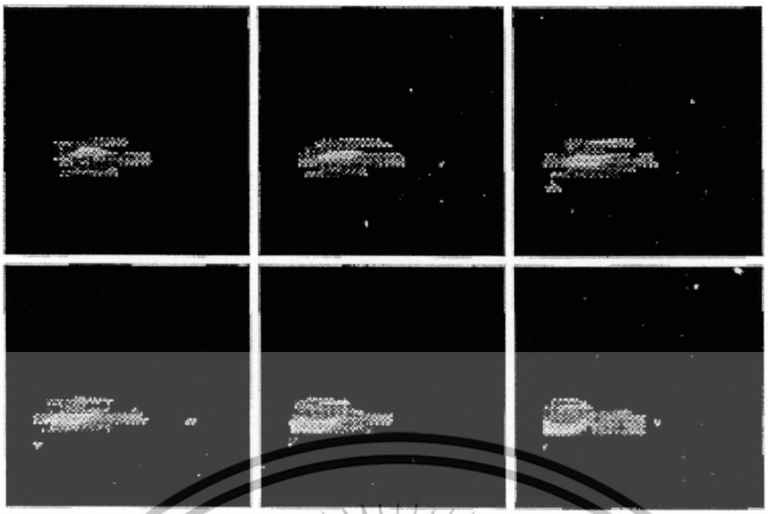
การนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าการไหลของแสง และงานวิจัยที่น่าสนใจตั้งแต่อดีตจนปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่างๆ จำนวนมากนำเสนอกระบวนการไหลของแสง สำหรับประยุกต์ใช้กับระบบต่างๆ เช่น ระบบวิทัศน์อัตโนมัติ ระบบคัดแยกวัตถุภายในลำดับภาพ ระบบขับเคลื่อนพาหนะ ระบบพยากรณ์การเกิดเพลิงไหม้ เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปโดยย่อได้ดังต่อไป โดยทำการจัดลำดับการเรียบเรียงจากที่มีผู้ได้ดำเนินการก่อนไปสู่งานใหม่กว่า

A. Lorusso and E. De Micheli (1996) นำเสนอวิธีการตรวจจับสิ่งกีดขวางและการควบคุมระบบนำทางสำหรับความปลอดภัยในการขับขี่พาหนะบนพื้นฐานการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบ 3 มิติและโครงสร้างพารามิเตอร์การไหลของแสงจากภาพต่อเนื่องที่ได้จากกล้องโทรทัศน์ติดตั้งบนพาหนะที่เคลื่อนที่ไปตามถนน โดยกระบวนการการเริ่มจากกระบวนการปรับเทียบ (calibration process) ซึ่งเป็นการพิจารณาใช้ประโยชน์ภายใต้เงื่อนไขทางกายภาพของพื้นผิวแนวราบ จากนั้นจึงทำการคำนวณพารามิเตอร์การไหลของแสงของการเคลื่อนที่ในการประมาณค่าที่เหมาะที่สุดของพารามิเตอร์ในแต่ละสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาพิจารณาตรวจจับสิ่งกีดขวางจากข้อมูลการไหลของแสง โดยที่พารามิเตอร์มุมของความเร็วเป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณารักษาระบบนำทางให้เคลื่อนที่ภายในช่องทางเดินถนน แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22 [13]



รูปที่ 2.21 กระบวนการไหลของแสงของลำดับภาพของระบบขับขี่พาหนะบนถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การตรวจจับพาหนะสิ่งกีดขวางบนถนนจากกล้องที่ติดตั้งภายในรถ

A. Bainbridge-Smith and R.G. Lane (1997) ได้เปรียบเทียบวิธีการที่ใช้หาการไหลของแสง ซึ่งวิธีการที่จะนำเสนอจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องรูรับแสงด้วย โดยนำเสนอการใช้สมการอนุพันธ์อันดับสองเพื่อมาช่วยในการประมาณค่าการไหลของแสงให้มีความแม่นตรงยิ่งขึ้น และยังโต้แย้งกันว่าปัญหาพื้นฐานในการคำนวณหาการไหลของแสงนั้นคือเกิดจากการคำนวณหาความเร็วในช่วงรูรับแสงเล็กๆ ที่เป็นไปได้ในรูปภาพ ซึ่งได้ใช้สมการอนุพันธ์อันดับสองกับวิธีของ Lucas และ Kanade จะได้ผลที่ดีที่สุด ซึ่งผลของการปรับขนาดรูรับแสง (aperture size) แสดงดังตารางที่ 2.1 [3]

จากตารางสรุปได้ว่าขนาดของรูรับแสงยิ่งมากค่าการคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าการคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยจะน้อยลง ส่งผลดีต่อการประมาณค่าการไหลของแสงที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ตารางที่ 2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าการคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าการคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยของการประมาณค่าการไหลของแสงทั้ง 3 วิธี ด้วยการปรับขนาดของรูรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Translating random field

Aperture Size	First Order Weighted Least Squares	Augmented second Order	Second Order
5	1.204×10^{-3} (2.9°)	2.080×10^{-3} (4.3°)	3.260×10^{-3} (6.0°)
9	3.474×10^{-5} (0.4°)	1.714×10^{-4} (2.3°)	4.021×10^{-4} (2.7°)
13	2.111×10^{-6} (0.1°)	3.056×10^{-5} (1.9°)	8.409×10^{-5} (1.5°)
17	2.138×10^{-7} (0.03°)	8.378×10^{-6} (1.7°)	2.510×10^{-5} (0.9°)

Table 5B
Translating tree

Aperture Size	First Order Weighted Least Squares	Augmented second Order	Second Order
5	0.0137 (2.6°)	0.0205 (4.2°)	0.0393 (8.8°)
9	0.0011 (0.8°)	0.0035 (2.2°)	0.0098 (6.1°)
13	0.0005 (0.5°)	0.0022 (1.9°)	0.0065 (5.7°)
17	0.0004 (0.4°)	0.0012 (1.8°)	0.0058 (5.4°)

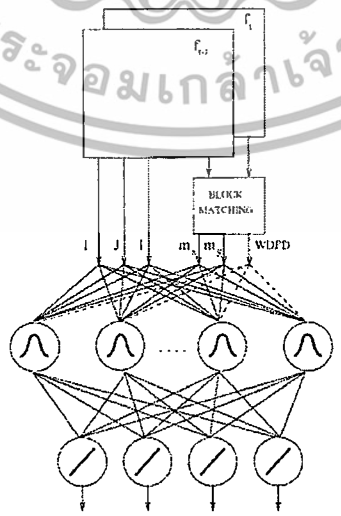
Table 5C
Diverging tree

Aperture Size	First Order Weighted Least Squares	Augmented second Order	Second Order
5	0.0032 (3.1°)	0.0055 (5.0°)	0.0124 (9.4°)
9	0.0021 (2.3°)	0.0029 (4.0°)	0.0071 (8.2°)
13	0.0023 (2.4°)	0.0027 (3.8°)	0.0064 (8.0°)
17	0.0026 (2.6°)	0.0026 (3.7°)	0.0059 (7.7°)

Table 5D
Otte's block world

Aperture Size	First Order Weighted Least Squares	Augmented second Order	Second Order
5	0.0396 (18°)	0.0696 (20°)	0.1593 (26°)
9	0.0201 (16°)	0.0529 (20°)	0.1303 (25°)
13	0.0149 (15°)	0.0506 (20°)	0.1276 (25°)
17	0.0125 (15°)	0.0501 (20°)	0.1270 (25°)

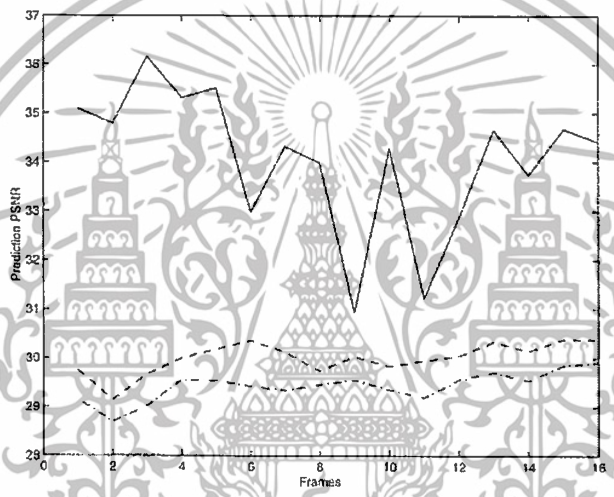
A.G. Bors and I. Pitas (1998) นำเสนอการประมาณค่าการไหลของแสงโดยทำการกำจัดพื้นหลังของภาพออกไป แบ่งส่วนภาพภายในลำดับภาพ และมีกระบวนการจดจำรูปแบบการเคลื่อนไหวของวัตถุภายในภาพ และใช้เครือข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 2.23 ในการจำแนกวัตถุออกจากพื้นหลัง ทำการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีดั้งเดิม ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุม วิธีการที่นำเสนอให้ผลแลประสิทธิภาพที่ดีกว่า [4]



รูปที่ 2.23 แสดงการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

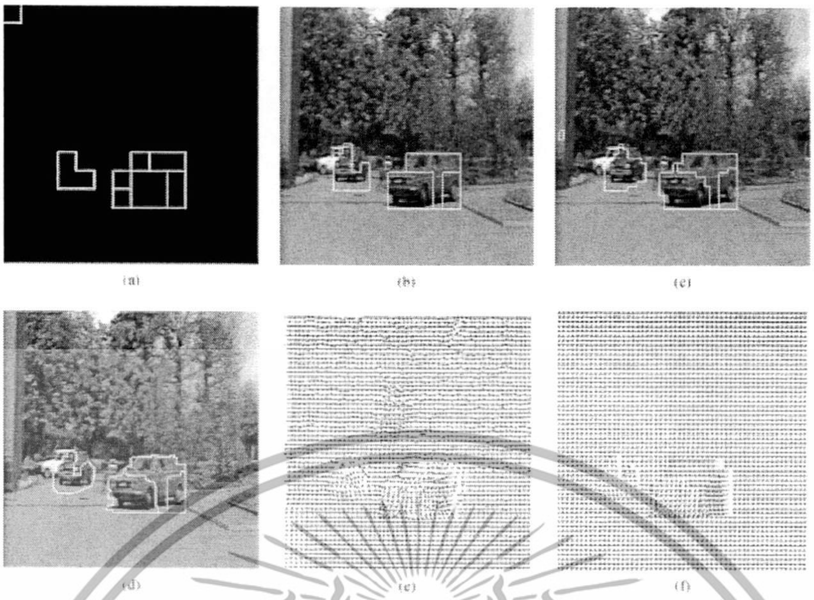
A.G. Bors and I. Pitas (2000) ได้นำเสนอใช้ทฤษฎี Bayesian เป็นแบบจำลองในการทำนายความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุและการประมาณค่าตำแหน่งของวัตถุ โดยการเคลื่อนที่ของวัตถุในลำดับภาพก่อนหน้าจะมีผลต่อการประมาณค่าการไหลของแสงของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ในการประมาณค่าการไหลของแสงร่วมกับการแบ่งส่วนภาพที่ใช้ในการติดตามวัตถุนั้น จะทำการแบ่งส่วนหรือจำแนกวัตถุในบริเวณที่ต้องการติดตาม จากนั้นจะใช้การประมาณค่าการไหลของแสงคาดการณ์ว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใดในลำดับภาพถัดไป และนำอัลกอรึทึมนี้ไปใช้ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้วิจัยมาก่อนหน้านี้แล้ว ซึ่งวิธีการที่ได้นำเสนมมานี้ให้ความสามารถในการติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.24 [8]



รูปที่ 2.24 แสดงค่า PSNR ในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของวัตถุ

E. Memin and P. Perez (2002) นำเสนอวิธีการ comprehensive energy-based framework เพื่อการประมาณค่าและแบ่งส่วน (segmentation) ของการเคลื่อนไหวในลำดับภาพที่ชัดเจนขึ้น ดังรูปที่ 2.25 ในการทดลองทั้งใช้ภาพจำลองและภาพจริง แสดงการประมาณค่าการไหลของแสงที่มีประสิทธิภาพทั้งวิธีการเกี่ยวกับวัสดุประเภทโฟโตเมติกและจลศาสตร์ตั้งแต่การเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งไปจนถึงการเคลื่อนไหวของเหลว [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

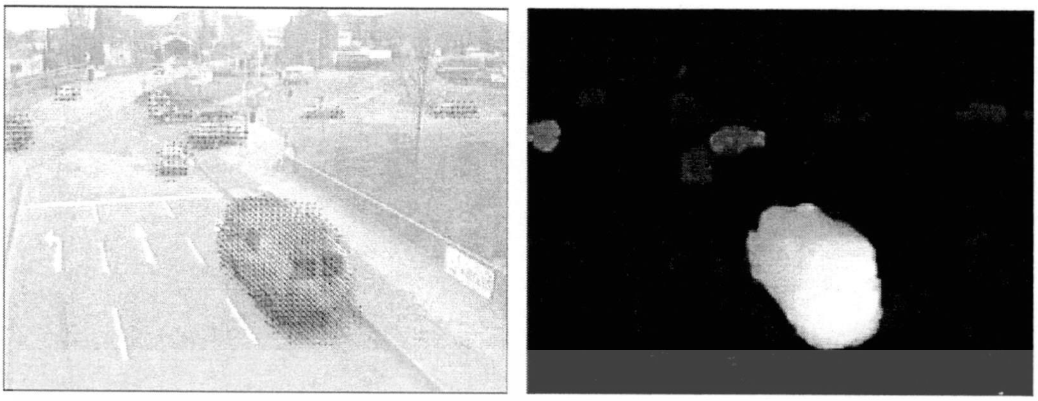


รูปที่ 2.25 แสดงการแบ่งส่วนในลำดับภาพที่ค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันและผลการประมาณค่าการไหลของแสง

G. Cirrincione and M. Cirrincione (2003) นำเสนอวิธีการจับกลุ่มแบบใหม่โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบ EXIN (Segmentation Neural Network หรือ EXIN SNN) โดยมีลักษณะพิเศษที่สามารถจับกลุ่มได้เอง สำหรับการคัดแยกกลุ่มการไหลของแสงที่ได้มาจากกล้องนิ่ง [14]

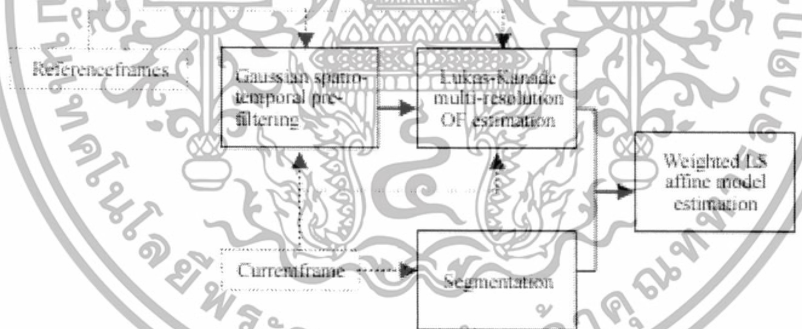
N. Papenberg, et al. (2006) นำเสนอความแม่นยำในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงการไหลของแสงด้วยแบบจำลองบนพื้นฐานความไม่เป็นเชิงเส้น โดยสมมติให้อันดับของแบบจำลองคงที่ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับเทาและเกรเดียนด้วยทฤษฎีความไม่เปลี่ยนแปลงแบบ Hessian และ Laplacian ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีความเที่ยงตรงในการยับยั้งความเป็นเชิงเส้นของวัตถุที่เคลื่อนที่ในช่วงกว้างได้ และทำการพิจารณาแบบจำลองในรูปค่าน้อยที่สุดของพลังงานเชิงซ้อน โดยพิจารณาการคำนวณแบบวนรอบระหว่างจุดและพิจารณาแก้ปัญหาการวนรอบเฉพาะถิ่นด้วยทฤษฎีการบิดงอ ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการประมาณและทนต่อสัญญาณรบกวนและการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ แสดงตัวอย่างการประมาณค่าการไหลของแสงดังรูปที่ 2.26 [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การประมาณค่าการไหลของแสงของลำดับภาพ *Karl Wilhelm Street traffic*

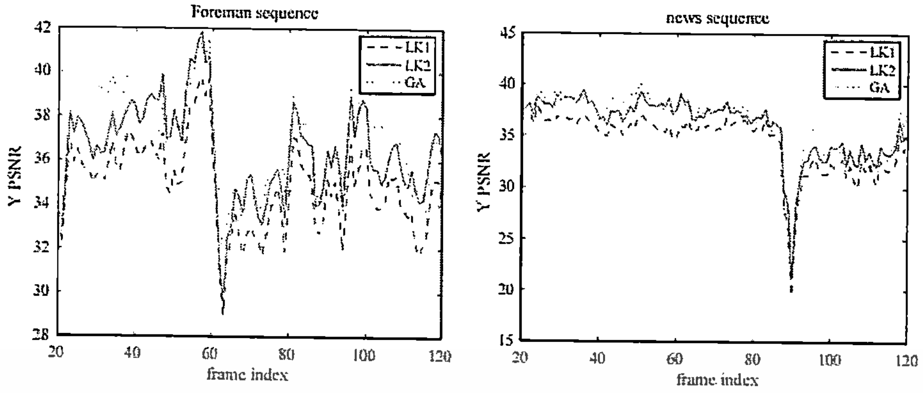
M. Tagliasacchi (2007) ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าการไหลของแสงแบบใหม่โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมร่วมด้วย มาใช้หาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมในสมการของ Lucas และ Kanade เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าการไหลของแสง ซึ่งได้ประสิทธิภาพดีกว่าวิธีดั้งเดิม



รูปที่ 2.27 ไดอะแกรมกระบวนการประมาณค่าการไหลของแสง

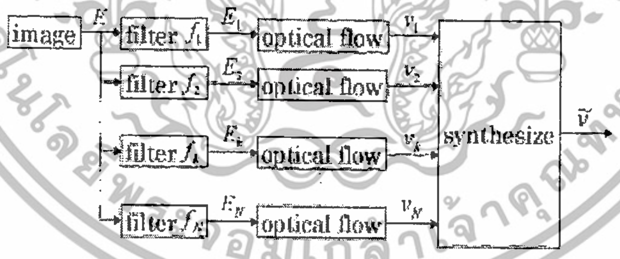
รูปที่ 2.27 แสดงกระบวนในการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีที่นำเสนอ นั้นคือ นำภาพที่ได้จากลำดับภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ มากรองสัญญาณรบกวนด้วย Gaussian filter จากนั้นเข้ากระบวนการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งอาจมีการแบ่งส่วนภาพร่วมด้วย ก็จะได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมไปใช้งานต่อไป ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.28 พบว่าการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำให้การประมาณค่าการไหลของแสงมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยลงกว่าวิธีดั้งเดิม และมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 เปรียบเทียบค่า PSNR ของการประมาณค่าการไหลของแสงทั้ง 3 วิธี

J. Hirai, et al. (2008) ได้นำเสนอการประมาณค่าการไหลของแสงในแบบ real-time โดยใช้ตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบแยกหลายๆ ขั้น ทำให้เกิดกระบวนแบ่งส่วนของลำดับภาพในการคำนวณหลายช่องทางแสดงดังรูปที่ 2.29 ส่งผลให้การประมาณค่าการไหลของแสงมีความราบเรียบและมีความถูกต้องสูงขึ้น และเมื่อประกอบกับการประมวลผลที่ชาญฉลาด เช่น การพิจารณาพิกเซลที่อยู่ใกล้เคียง ก็จะทำให้การประมวลผลรวดเร็วขึ้น ผลงานวิจัยนั้นมุ่งเน้นไปที่เรื่องความเร็วและความถูกต้องในการประมาณค่าการไหลของแสงที่ประมวลผลแบบ real-time [10]



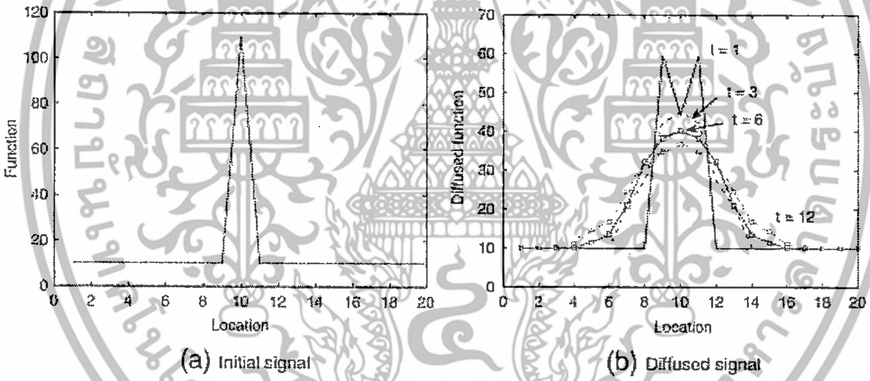
รูปที่ 2.29 ไดอะแกรมการใช้ตัวกรองแบบแยกหลายๆ ขั้น

M. Heindlmaier, et al. (2009) ได้นำเสนอการใช้ตัวกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear smoothing) มาปรับใช้กับการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธี Lucas and Kanade เพื่อให้ได้การประมาณค่าการไหลของแสงที่มีคุณภาพดีขึ้น มีความถูกต้องและแม่นยำ แต่วิธีการข้างต้นก็ยังมีความซับซ้อนมาก และจะเห็นได้ว่ากระบวนการคัดแยกด้วยการไหลของแสงจำเป็นต้องมีกระบวนการกรองสิ่งรบกวนออกจากลำดับภาพ เพื่อช่วยให้การคัดแยกมีประสิทธิภาพดีขึ้นนั่นเอง [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C.-K. Hsieh, et al. (2010) ได้นำเสนอการจดจำใบหน้าของคนทั้งลักษณะและรูปแบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ โดยใช้อัลกอรีทึมการไหลของแสงมาจำแนกหน้าคน ซึ่งมีข้อดีในความยืดหยุ่นในการนำไปใช้และมีการคำนวณที่แม่นยำ ทีมวิจัยยังได้นำเสนอระบบการจดจำใบหน้าแบบบูรณาการที่มีประสิทธิภาพต่อการแสดงออกทางสีหน้า การคำนวณการไหลของแสงในกรณีนี้ก็ยังสามารถจดจำใบหน้าได้อย่างแม่นยำ [16]

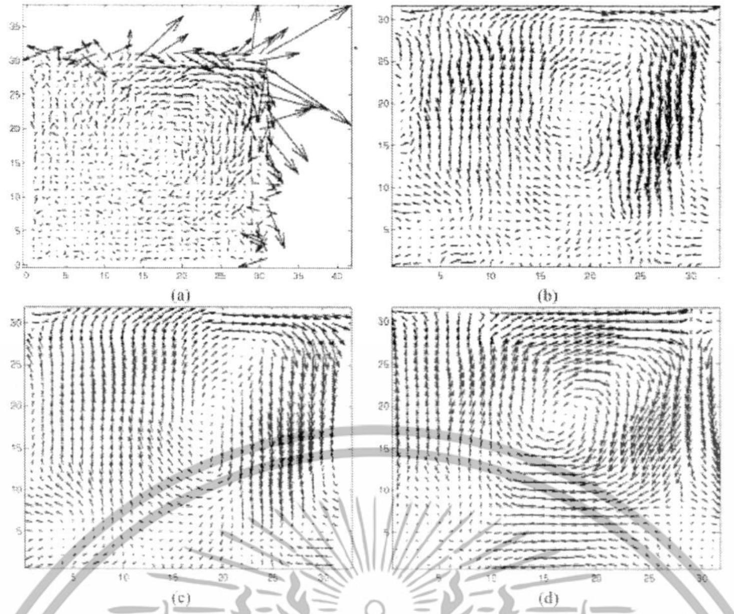
A. Doshi and A. G. Bors (2010) ได้นำเสนอการประมาณค่าการไหลของแสงด้วยวิธีการทำเวกเตอร์ของการไหลของแสงให้ราบเรียบโดยใช้ระเบียบวิธีการแพร่กระจายของเวกเตอร์และความคงทนของเวกเตอร์ การเก็บรักษาขอบของวัตถุในการเคลื่อนที่อย่างไม่ต่อเนื่องด้วยการใช้หลักการแพร่กระจายของเวกเตอร์ทำให้ได้เวกเตอร์ที่ราบเรียบ ดังรูปที่ 2.30 ส่วนในด้านความคงทนของเวกเตอร์ทีมวิจัยได้ดำเนินการโดยใช้ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ เช่น ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง และ alpha-trimmed mean เป็นต้น มาเป็นพารามิเตอร์ในการกำหนดการแพร่กระจายของเวกเตอร์ในแต่ละลำดับภาพ ได้การประมาณค่าการไหลของแสงที่มีความราบเรียบ [12]



รูปที่ 2.30 ผลของการกำหนดพารามิเตอร์การแพร่กระจาย ที่จำนวนรอบเท่ากับ 1, 3, 6 และ 12

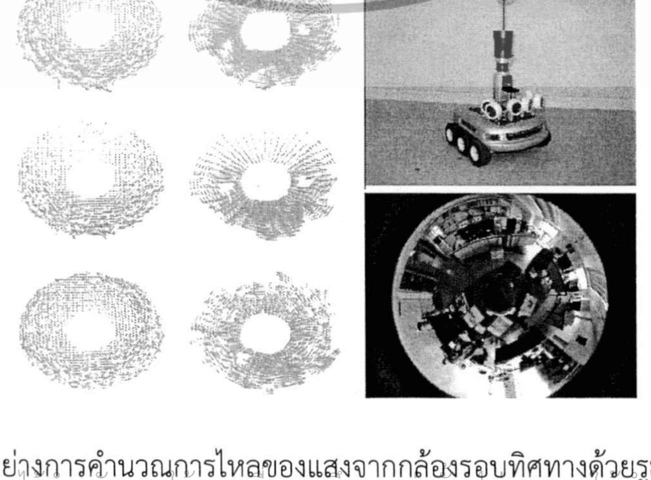
A. Doshi and A. G. Bors (2010) ได้นำเสนอเทคนิคการประมาณภาพเพื่อสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของของเหลว ซึ่งการไหลของของเหลวจะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วนและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิก วิธีการที่นำเสนออาศัยสมการของ Navier-Stokes ใช้สำหรับการประมวลผลการไหลของของเหลว โดยใช้ขั้นตอนการแพร่กระจายของเวกเตอร์และหลักการอนุรักษ์มวลร่วมกับการพิจารณาค่าเฉพาะถิ่น สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของการวางตัวของเวกเตอร์และพัฒนาไปใช้สำหรับตรวจจับโครงสร้างของของไหลได้ ซึ่งผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 2.31 วิธีการที่นำเสนอ (MedH-SFS) ให้ผลของเวกเตอร์ที่ราบเรียบที่สุด [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 การหาเวกเตอร์ที่ราบเรียบ a) SFSM b) Black c) Med-2DH d) MedH-SFS

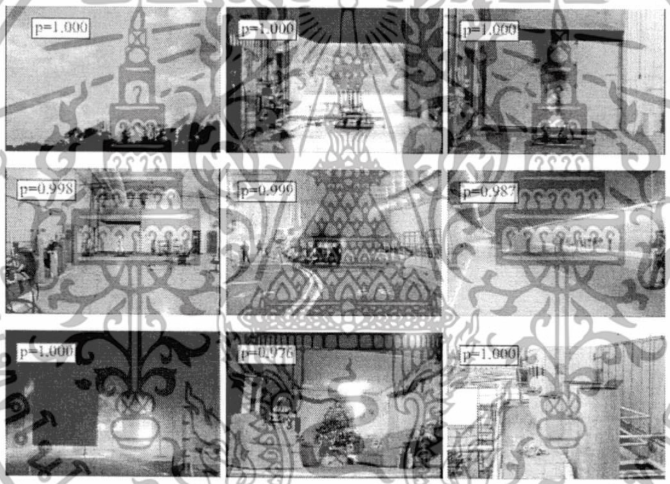
A. Radgui, et al. (2011) ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการประมาณค่าการไหลของแสงจากการเคลื่อนไหวของภาพแยกออกจากการเคลื่อนไหวของตัวกล้องที่สามารถหมุนได้รอบทิศทาง เพื่อลดความคลุมเครือในกรณีมุมมองของกล้อง ซึ่งปัญหาของภาพเหล่านี้มีความผิดเพี้ยนในเชิงรูปทรงเรขาคณิต ดังนั้นทีมวิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการใหม่ในการคำนวณการไหลของแสงที่มีประสิทธิยิ่งขึ้นสำหรับผลการเคลื่อนไหวหลายๆภาพที่ได้จากกล้องในหลายมุมมอง โดยกำหนดรูปแบบการจำลองการไหลของแสงเป็นโดเมนทรงกลม ภาพที่ได้ในหลายทิศทางจะถูกแมปบนทรงกลม และใช้สมการการไหลของแสงแบบทรงกลมมาสลายหรือลดความผิดเพี้ยนของภาพเวกเตอร์ที่ได้ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.32 [18]



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างการคำนวณการไหลของแสงจากกล้องรอบทิศทางด้วยรูปแบบทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M. Muller, et al. (2013) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การประมาณค่าการไหลของแสงในการคาดการณ์การเกินเพลิงไหม้ ทีมวิจัยทำการตรวจจับเปลวไฟโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์จากกล้องวงจรปิด ในอดีตจะใช้การวิเคราะห์จากคุณลักษณะต่างๆ เช่น สี รูปร่าง พื้น ผิว เป็นต้น ในการตรวจจับเปลวไฟ ในบทความจึงนำเสนอวิธีการใหม่โดยใช้การประมาณค่าการไหลของแสงในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของเปลวไฟแทนวิธีดั้งเดิม ใช้ประโยชน์จากความแตกต่างระหว่างความปั่นป่วนรวดเร็วของการเคลื่อนไหวของเปลวไฟและการเคลื่อนไหวอย่างแน่นอนของสภาพแวดล้อมรอบๆ จากคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการไหลของแสงทั้งขนาดและทิศทางจะทำการคำนวณแยกแยะระหว่างเปลวไฟและการเคลื่อนไหวที่ไม่ใช่เปลวไฟ ทีมวิจัยได้ทดสอบกับกล้องวีดีโอจริงเพื่อแสดงถึงประโยชน์ในงานวิจัยที่ศึกษา ทั้งยังนำเสนอวิธีการประเมินแบบใหม่เพื่อคาดการณ์การเกิดเพลิงไหม้ด้วย ดังรูปที่ 2.33 [19]



รูปที่ 2.33 การประเมินค่าการเกิดเพลิงไหม้ในระบบจริง

D. Fortun, et al. (2015) ได้เสนอผลการสำรวจวิวัฒนาการการประมาณค่าการไหลของแสงตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน โดยการประมาณค่าการไหลของแสงได้ถูกนำมาใช้อย่างมากและแพร่หลายในระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) ในระยะเวลา 35 ปี ได้มีผู้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับระเบียบวิธีการต่างๆมาใช้เพื่อปรับปรุงในการประมาณค่าการไหลของแสงอย่างต่อเนื่องให้มีประสิทธิที่ดีเยี่ยม ในบทความได้วิเคราะห์ถึงข้อจำกัด ข้อน่าสนใจในแต่ละเทคนิคในการสร้างแบบจำลองการไหลของแสง และจำแนกเทคนิคที่คล้ายคลึงกันเป็นหมวดๆ ไว้ด้วยกัน เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมหรือวิวัฒนาการของผู้วิจัยในได้เสนอวิธีการต่างๆ ในการเพิ่มประสิทธิการประมาณค่าการไหลของแสงไว้อย่างชัดเจน [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงงานวิจัย และ ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณค่าการไหลของแสง พร้อมทั้งการนำการไหลของแสงไปประยุกต์จริงในงานด้านต่างๆ การกรองสัญญาณรบกวนภายในภาพเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความสำคัญมาก ซึ่งเป็นระบบในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจที่จะทำการพัฒนาเทคนิคการกรองสัญญาณรบกวนเพื่อให้ได้ค่าเวกเตอร์การไหลของแสงที่มีความราบเรียบและถูกต้อง วิธีเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH) เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาใช้ในปัจจุบันและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยจึงนำเทคนิคนี้มาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ด้วยการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาทำการหาค่าพารามิเตอร์ในสมการของเฮซเซียนเคอร์นอลที่เหมาะสมนั่นเอง ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดขั้นตอนการวิจัยในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

การดำเนินการวิจัยของการพัฒนาและออกแบบตัวกรองสัญญาณรบกวนของการประมาณค่าการไหลของแสงให้ราบเรียบนั้น การกรองสัญญาณรบกวนโดยวิธีต่างๆ ดังบทที่ 2 จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับระบบ โดยเราไม่สามารถทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังกล่าวได้ กระบวนการในบทที่ 2 จึงจำเป็นต้องพัฒนาและออกแบบการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกรองสัญญาณรบกวนในการประมาณค่าการไหลของแสง

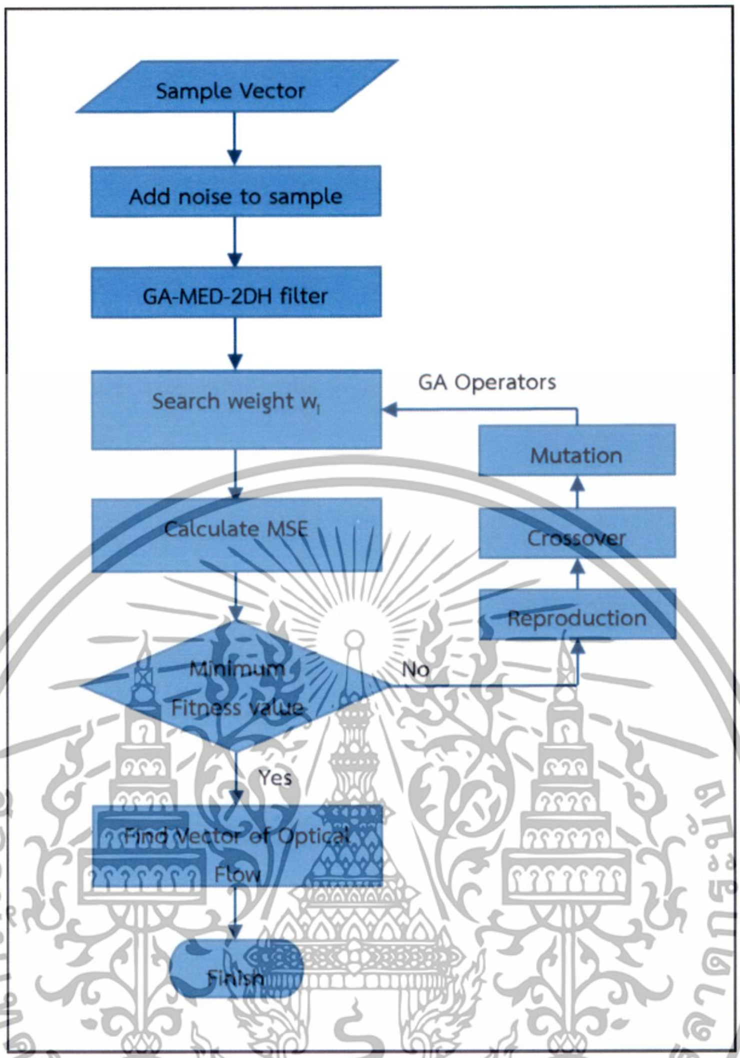
การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองสัญญาณรบกวนด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเป็นวิธีการกรองสัญญาณรบกวนแบบใหม่ มาใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนในการไหลของแสง ซึ่งเป็นวิธีที่ครอบคลุมในการกรองสัญญาณรบกวน ซึ่งมีข้อดีในการทำงานแบบวงรอบปิด และชุดค่าพารามิเตอร์ที่ได้ก็ใช้ได้กับทุกย่านของสัญญาณรบกวน

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

การกรองสัญญาณรบกวนด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนี้จะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 5 กระบวนการ ประกอบด้วย กระบวนการจำลองการไหลของแสง กระบวนการจำลองการเพิ่มสัญญาณรบกวนในการไหลของแสง กระบวนการปรับปรุงตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบ MED-2DH กระบวนการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมเพื่อปรับค่าน้ำหนักขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และกระบวนการเปรียบเทียบตัวกรองสัญญาณรบกวนวิธีการใหม่กับวิธีดั้งเดิม กระบวนการทั้งหมดจะทำงานตามลำดับ โดยที่การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะสิ้นสุดที่ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม และจะได้ชุดพารามิเตอร์สำหรับนำไปปรับปรุงตัวกรองสัญญาณรบกวน ซึ่งสรุปเป็นกระบวนได้ดังรูปที่ 3.1

เริ่มจากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของแสงที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 คือแบบจำลอง Synthetic-1 มาเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน ที่ค่าความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 9, 16, 25, 64 และ 100 และอีกกรณีหนึ่งเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทปัวซอง ที่ค่าแลมด้า (λ) เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เพื่อจำลองการเพิ่มสิ่งรบกวนในการไหลของแสง จะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ราบเรียบ จากนั้นนำตัวกรองที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ GA-MED-2DH ซึ่งเป็นการเพิ่มค่านำหนักเข้าไปในสมการตัวกรองแบบ MED-2DH โดยนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาช่วยค้นหาค่าน้ำหนักในสมการให้ตัวกรองมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ได้ค่าตามฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม คือมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดหรือใกล้เคียงศูนย์ เราก็จะได้ชุดค่าน้ำหนักมาใช้ในกระบวนการกรองสัญญาณรบกวนที่ทำให้การประมาณค่าการไหลของแสงที่ราบเรียบ จากนั้นนำตัวกรองวิธีการใหม่นี้ไปทดสอบและเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิม และทำเช่นเดียวกันในกรณีแบบจำลองการไหลของแสง Sythetic-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



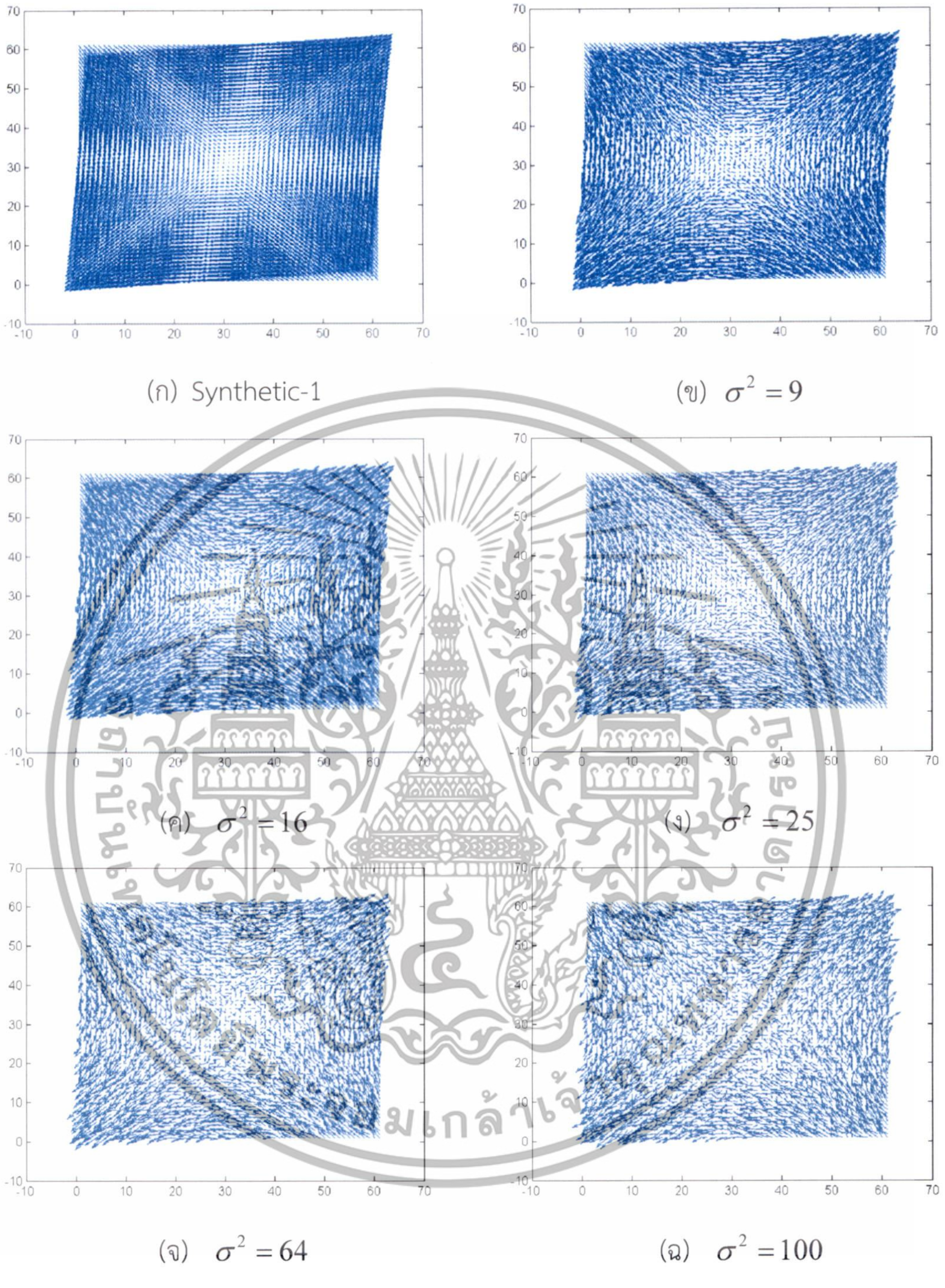
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.3 กระบวนการเพิ่มสิ่งรบกวนในการไหลของแสง

ในการทดสอบประสิทธิภาพตัวกรองวิธีการใหม่นั้น จำเป็นต้องทดสอบกับรูปภาพหรือเวกเตอร์การไหลของแสงที่มีสิ่งรบกวนปริมาณค่าต่างๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้จำลองการเพิ่มสิ่งรบกวนในเวกเตอร์การไหลของแสง Synthetic-1 และ Synthetic-2 ดังนี้

จากสมการจำลองเวกเตอร์ Synthetic-1 ดังสมการที่ (2.23) เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียนในปริมาณค่าต่างๆกัน คือค่าความแปรปรวน (σ^2) 9, 16, 25, 64 และ 100 แสดงดังรูปที่ 3.2(ข), 3.2(ค), 3.2(ง), 3.2(จ) และ 3.2(ฉ) ตามลำดับ เวกเตอรที่ได้ก็จะมีความแปรปรวนแปรผันตามค่าความแปรปรวน

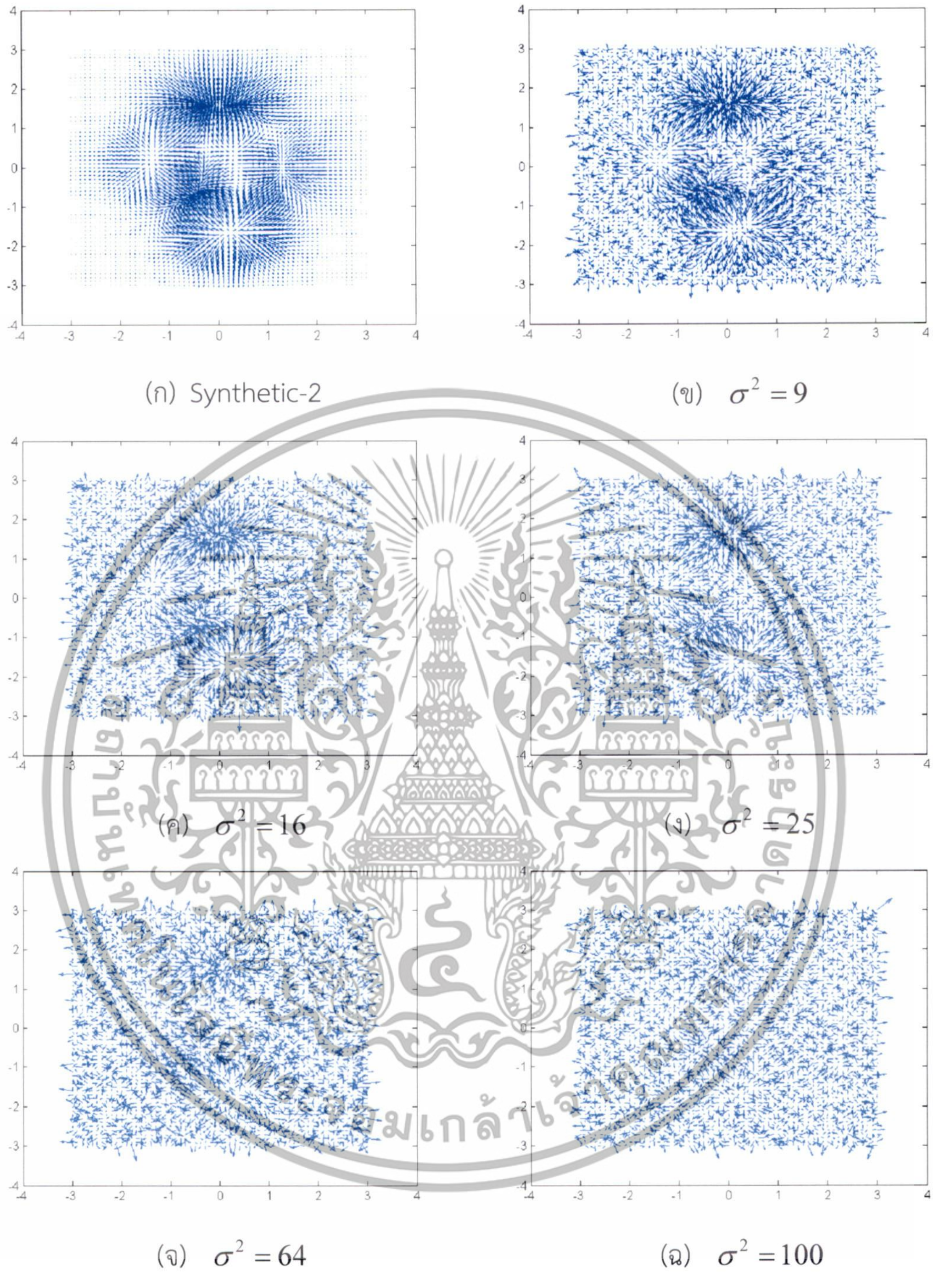
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Synthetic-1 และ Synthetic-1 หลังเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน

จากสมการจำลองเวกเตอร์ Synthetic-2 ดังสมการที่ (2.24) เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียนในปริมาณค่าต่างๆกัน คือค่าความแปรปรวน (σ^2) 9, 16, 25, 64 และ 100 แสดงดังรูปที่ 3.3(ข), 3.3(ค), 3.3(ง), 3.3(จ) และ 3.3(ฉ) ตามลำดับ

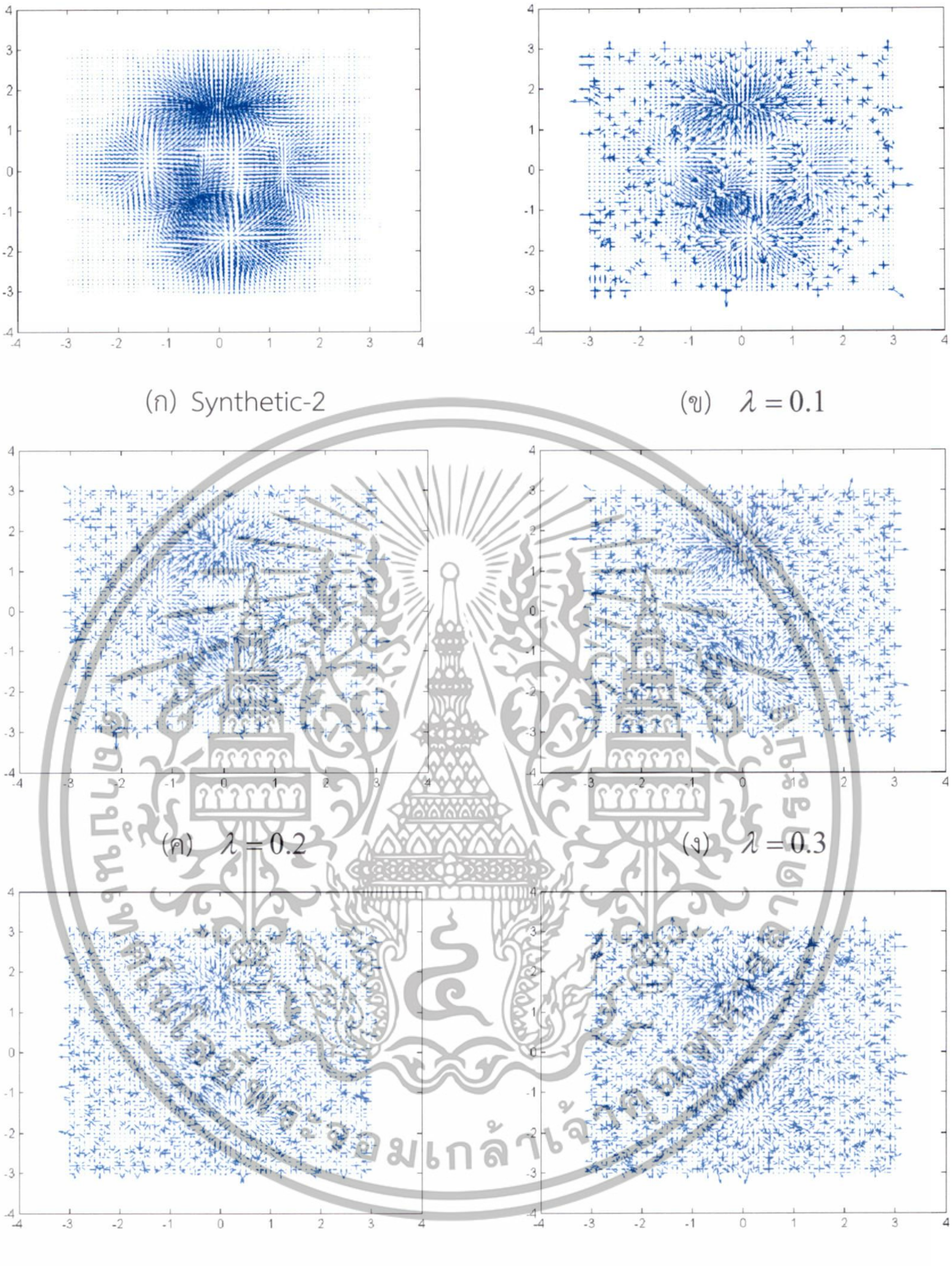
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Synthetic-2 และ Synthetic-2 หลังเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน

เวกเตอร์สมการเดียวกันทำการเพิ่มสิ่งรบกวนแบบที่สองคือประเภทปัวซองในปริมาณค่าแลมด้าต่างๆ กัน คือ ค่าแลมด้า (λ) 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 แสดงดังรูปที่ 3.4(ข), 3.4(ค), 3.4(ง), 3.4(จ) และ 3.4(ฉ) ตามลำดับจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่มีลักษณะไม่ราบเรียบนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Synthetic-2 (ข) $\lambda = 0.1$

(ค) $\lambda = 0.2$ (ง) $\lambda = 0.3$

(จ) $\lambda = 0.4$ (ฉ) $\lambda = 0.5$

รูปที่ 3.4 Synthetic-2 และ Synthetic-2 หลังเพิ่มสิ่งรบกวนประเภทป๋วซอง

3.4 กระบวนการกรองสัญญาณรบกวน

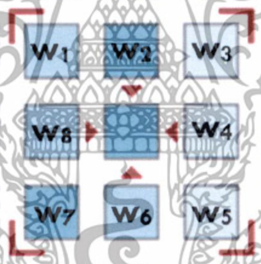
ในขั้นต้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ จากผลงานวิจัยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน พบว่า กระบวนการกรองสัญญาณรบกวนที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ แบบ MED-2DH [12] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาปรับปรุงตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MED-2DH จะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการกรองดียิ่งขึ้น โดยในกระบวนการเมื่อได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ประกอบด้วยสิ่งรบกวนแล้วจะนำเวกเตอร์นี้มากรองข้อมูลภาพโดยใช้ ขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ใน 2 มิติ นำค่าเวกเตอร์ตำแหน่งบริเวณใกล้เคียง ณ จุดที่พิจารณา จำนวน 8 จุด มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง เพื่อกรองสัญญาณรบกวนในขั้นต้น ทำเช่นนี้ทุกๆ พิกเซลของรูปภาพ จากนั้นจึงใช้ตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ดังอธิบายมาแล้วข้างต้น และเพิ่มค่าน้ำหนักบริเวณรอบจุดที่พิจารณา จำนวน 8 จุด ด้วยค่าน้ำหนัก 8 ค่า ที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ทำเช่นนี้ทุกๆ พิกเซลของรูปภาพก็จะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ผ่านตัวกรองวิธีแบบใหม่ที่ราบเรียบมากยิ่งขึ้น อธิบายได้ดังนี้

ออกแบบค่าน้ำหนักของกระบวนการเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ในสมการ 2.21 ต่อยอดใช้ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งมีค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ w_i ทั้งหมด 8 ตัว w_1 w_2 w_3 w_4 w_5 w_6 w_7 และ w_8 เป็นดังสมการที่ (3.1) และอธิบายได้ดังรูปที่ 3.5

$$\hat{V}_{kc}^{t+1} = \frac{\sum_{x_i \in N(z_c)} w_i V_{ji}^{t} \exp\left[-\left(x_{ji}-z_{jc}\right)^T H_{2D,j}^{-1}\left(x_{ji}-z_{jc}\right)\right]}{\sum_{x_i \in N(z_c)} \exp\left[-\left(x_{ji}-z_{jc}\right)^T H_{2D,j}^{-1}\left(x_{ji}-z_{jc}\right)\right]} \tag{3.1}$$



รูปที่ 3.5 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ขนาดหน้าต่าง 3 x 3 ใน 2 มิติ

ในกระบวนการกรองสัญญาณรบกวนจำเป็นที่ต้องนำเสนอวิธีดั้งเดิมเปรียบเทียบกับวิธีแบบใหม่ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพว่าตัวกรองที่ออกแบบใหม่ดีกว่าอย่างไร โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองสัญญาณรบกวนวิธีดั้งเดิม 3 วิธี ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 ประกอบด้วย ตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH filter) ตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง (MED-2DH filter) ตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับ Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH filter) และนำเสนอวิธีการใหม่ 1 วิธี ได้แก่ ตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH filter) ซึ่งจะได้ทดสอบเปรียบเทียบผลแต่ละตัวกรองในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เงื่อนไขต่างๆ ในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการกรองสัญญาณรบกวน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขของค่าตัวดำเนินการต่างๆ ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค้นหาค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้เงื่อนไขดังนี้

ตัวดำเนินการ	ค่าที่กำหนด
Selection function (SelectionFcn)	roulette
Size of the population (PopulationSize)	80
Maximum number of iterations (Generations)	1000
Algorithm stops if there is no improvement in the objective function (StallGenLimits)	1000
The fraction of the population at the next generation (CrossoverFraction)	0.8
The current generation are guaranteed to survive to the next generation (EliteCount)	5

3.6 หลักการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวกรองสัญญาณรบกวน

ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวกรองสัญญาณรบกวน จำเป็นจะต้องนำเวกเตอร์การไหลของแสงมาเปรียบเทียบกับภาพตั้งต้น เพื่อวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และความคลาดเคลื่อนเชิงมุม ได้ดังนี้

3.6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE)

มีสมการดังนี้

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{L}\left(V_i - \hat{V}_i\right)^T\left(V_i - \hat{V}_i\right)}{L} \tag{3.3}$$

โดยที่ L คือจำนวนของเวกเตอร์ในสนามเวกเตอร์ V_i คือ ค่าเวกเตอร์ของต้นฉบับ และ $\hat{V}_i$ คือ ค่าเวกเตอร์ของผลลัพธ์หลังจากผ่านตัวกรองสัญญาณรบกวนแล้ว ที่ตำแหน่ง i เวกเตอร์ของการไหลของแสงที่ราบเรียบควรมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุม (mean cosine error, MCE)

มีสมการดังนี้

$$MCE = \frac{\sum_{i=1}^{L} V_i \cdot \hat{V}_i}{\|V_i\|\|\hat{V}_i\| L} = \frac{\sum_{i=1}^{L} \cos(\theta_i)}{L} \tag{3.4}$$

โดยที่ ผลการ dot product ระหว่าง V_i กับ $\hat{V}_i$ ให้ผลลัพธ์คือโคไซน์ของมุมระหว่างเวกเตอร์ ที่ตำแหน่ง i เวกเตอร์ของการไหลของแสงที่ราบเรียบควรมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเข้าใกล้หนึ่ง

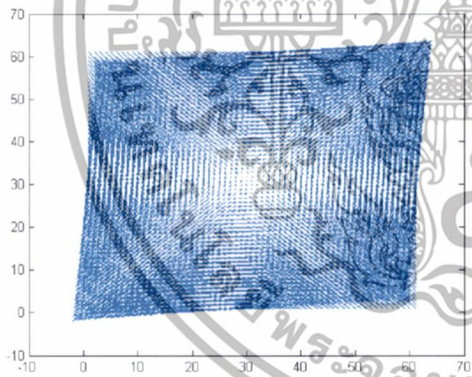
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการทดลอง

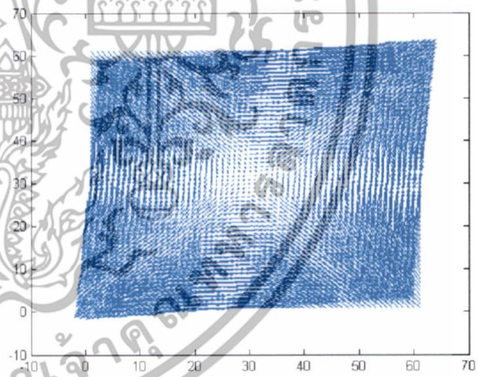
4.1 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1

4.1.1 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)

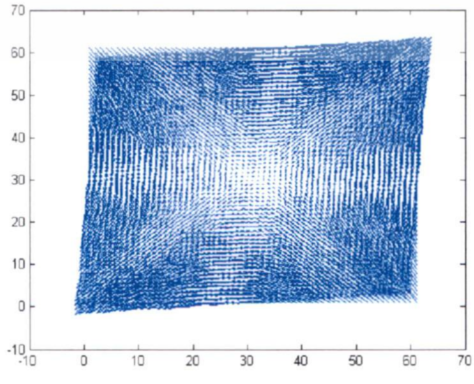
จากการจำลองผล Synthetic-1 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมมาใช้ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ขนาดหน้าต่าง 3x3 ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.1 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.1(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.1(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.1(ค), 4.1(ง), 4.1(จ) และ 4.1(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.1.5 ต่อไป



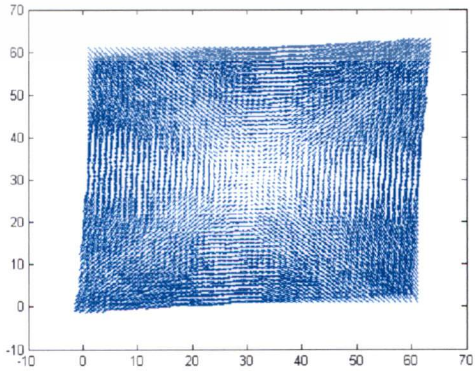
(ก) Synthetic-1



(ข) ที่ $\sigma^2 = 9$

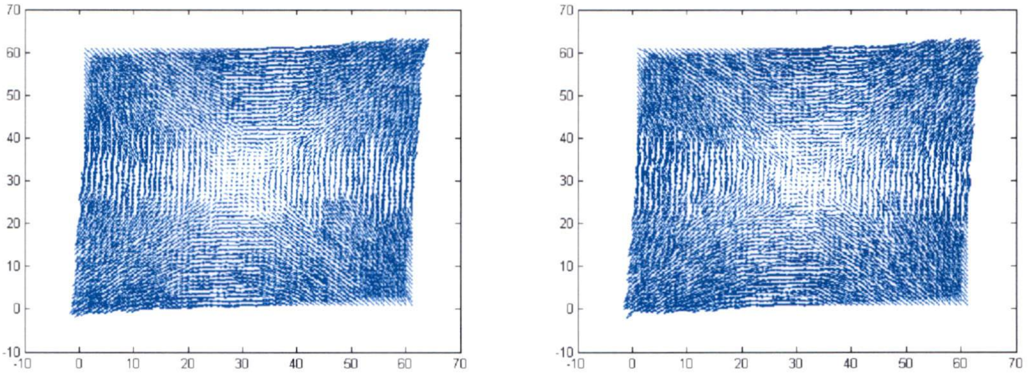


(ค) ที่ $\sigma^2 = 16$



(ง) ที่ $\sigma^2 = 25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

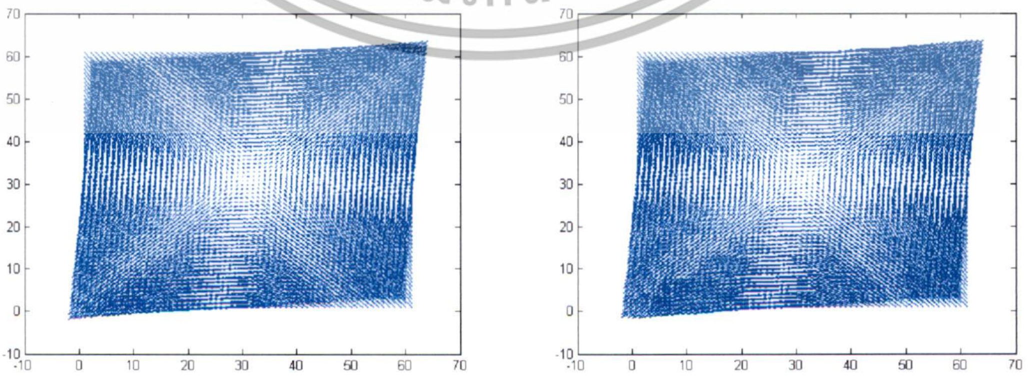


(จ) ที่ $\sigma^2 = 64$ (ฉ) ที่ $\sigma^2 = 100$

รูปที่ 4.1 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)

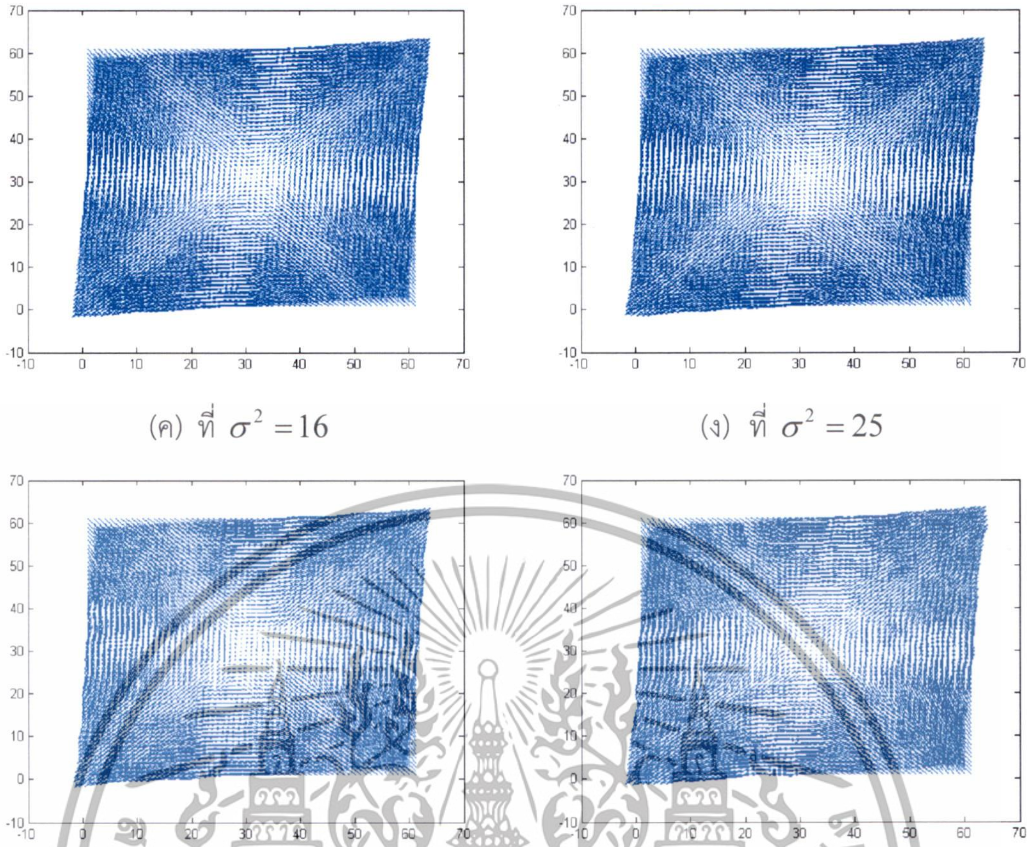
4.1.2 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน (MED-2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-1 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมเช่นกัน โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุดที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.2 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.2(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.2(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.2(ค), 4.2(ง), 4.2(จ) และ 4.2(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.1.5 ต่อไป



(ก) Synthetic-1 (ข) ที่ $\sigma^2 = 9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ที่ $\sigma^2 = 16$ (ง) ที่ $\sigma^2 = 25$

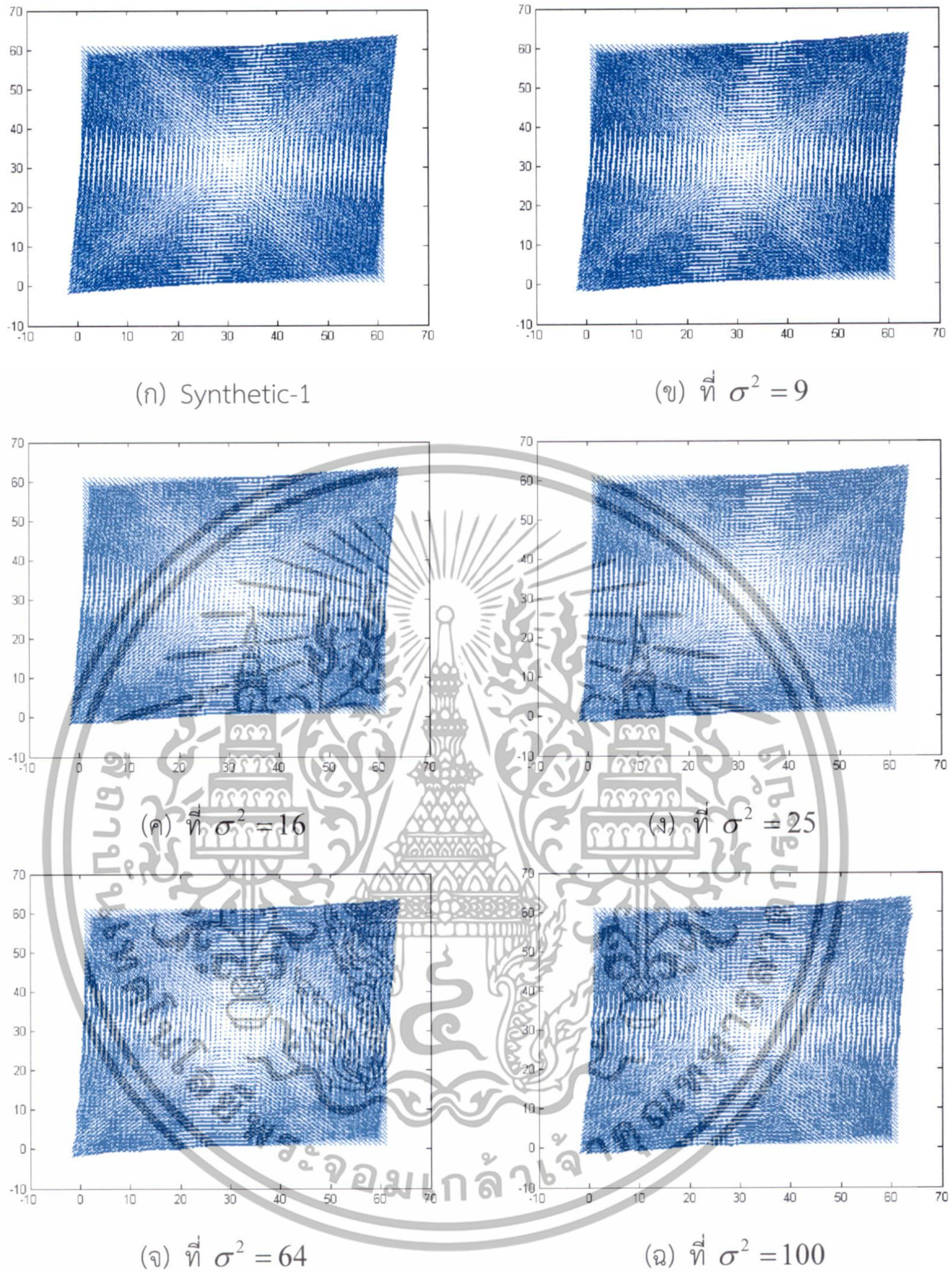
(จ) ที่ $\sigma^2 = 64$ (ฉ) ที่ $\sigma^2 = 100$

รูปที่ 4.2 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน (MED-2DH)

4.1.3 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-1 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมเช่นกัน โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุดที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ใกล้กับค่ามัธยฐานขอบบนและขอบล่างมาประกอบการหาค่าเวกเตอร์ด้วย และค่าเวกเตอร์อื่นๆรอบจุดให้พิจารณาตัดทิ้ง หรือนำมาคิดตามค่าแอลฟาที่กำหนดซึ่งในการทดลองกำหนดไว้เท่ากับ 1000 จานนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.3 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.3(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.3(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.3(ค), 4.3(ง), 4.3(จ) และ 4.3(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.1.5 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



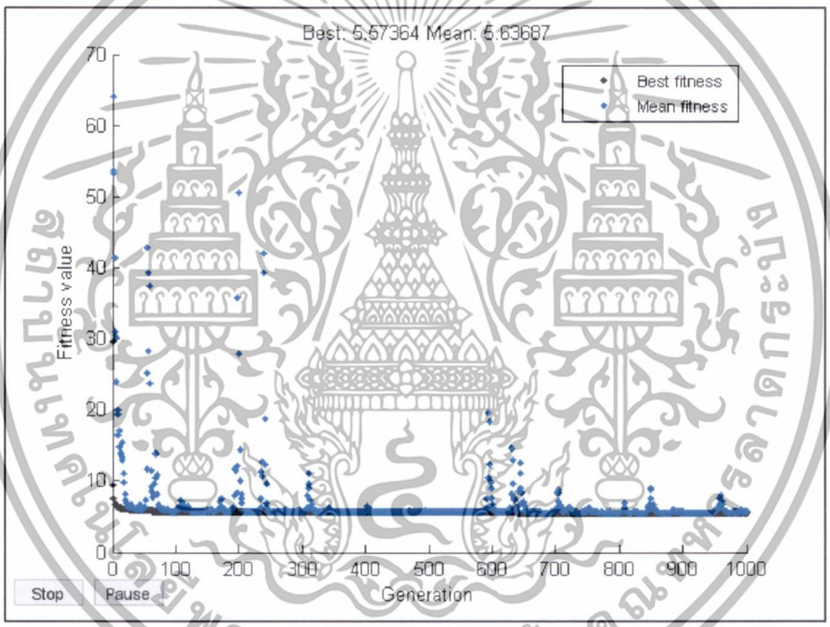
รูปที่ 4.3 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH)

4.1.4 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1 ด้วยตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH)

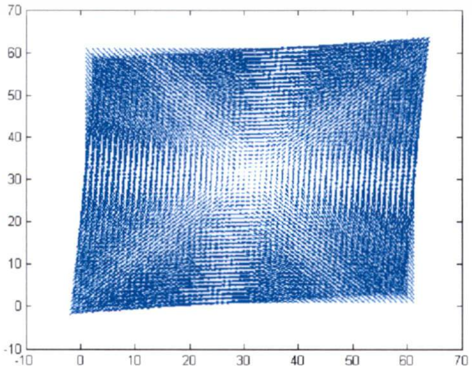
จากการจำลองผล Synthetic-1 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับ-ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นมาใหม่ โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

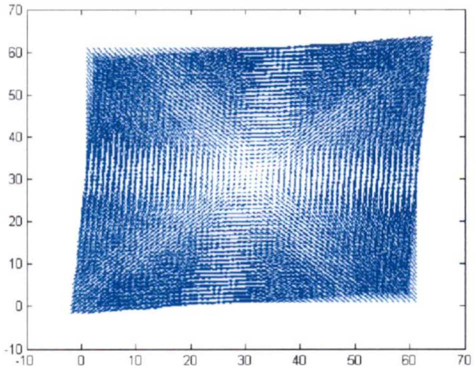
สมาชิกรอบจุดที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จานนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮชเซียนเคอร์นอล 2 มิติ แต่ให้ค่าน้ำหนักค่าเวกเตอร์ทั้ง 8 ค่า รอบจุดที่กำลังหาค่าเวกเตอร์นั้นไม่เท่ากัน ซึ่งผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นไปตามขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด พบว่าค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ w_1 w_2 w_3 w_4 w_5 w_6 w_7 และ w_8 ได้ค่าเท่ากับ 0.2289, 0.9582, 1.1043, 0.8632, 1.7102, 0.9290, 1.0474 และ 1.1658 ตามลำดับ ได้กราฟการลู่เข้าค่าที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.4 และผลการจำลองด้วยตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.5 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.3(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.5(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.5(ค), 4.5(ง), 4.5(จ) และ 4.5(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ค่อยข้างใกล้เคียงกับต้นฉบับมาก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.1.5 ต่อไป



รูปที่ 4.4 กราฟการลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของเวกเตอร์การไหลของแสง Synthetic-1

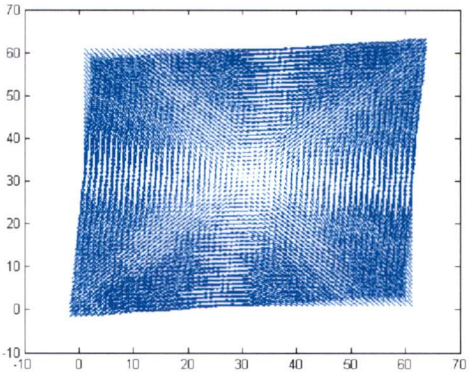


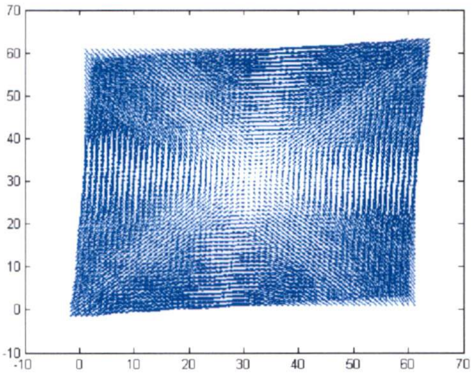
(ก) Synthetic-1



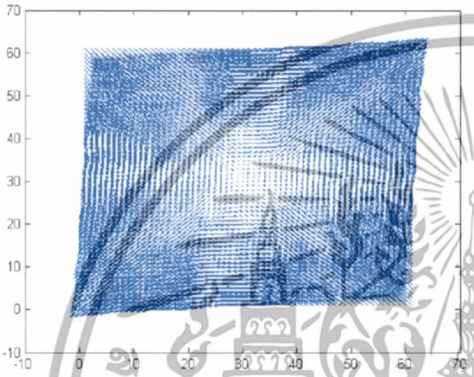
(ข) ที่ $\sigma^2 = 9$

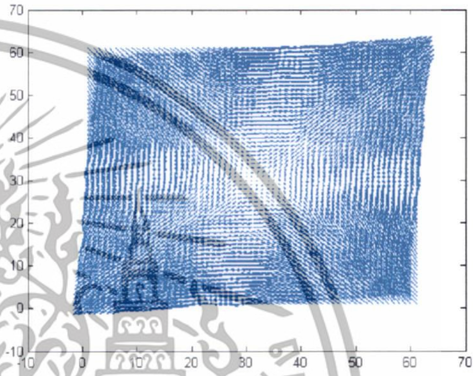
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





(ค) ที่ $\sigma^2 = 16$ (ง) ที่ $\sigma^2 = 25$





(จ) ที่ $\sigma^2 = 64$ (ฉ) ที่ $\sigma^2 = 100$

รูปที่ 4.5 Synthetic-1 และ Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH)

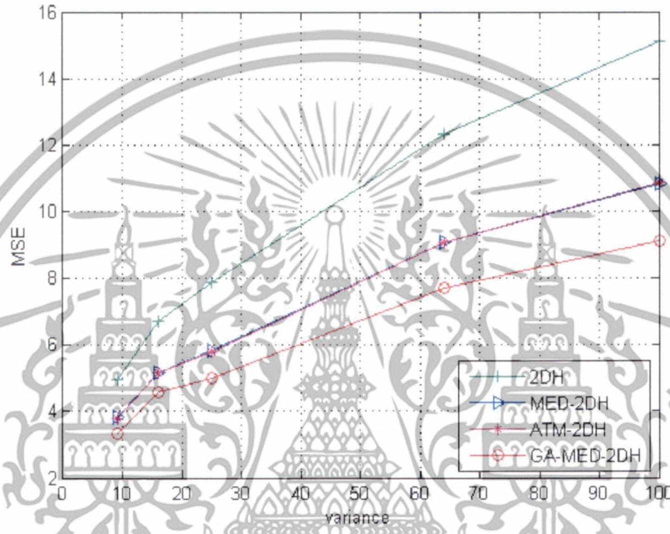
4.1.5 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-1

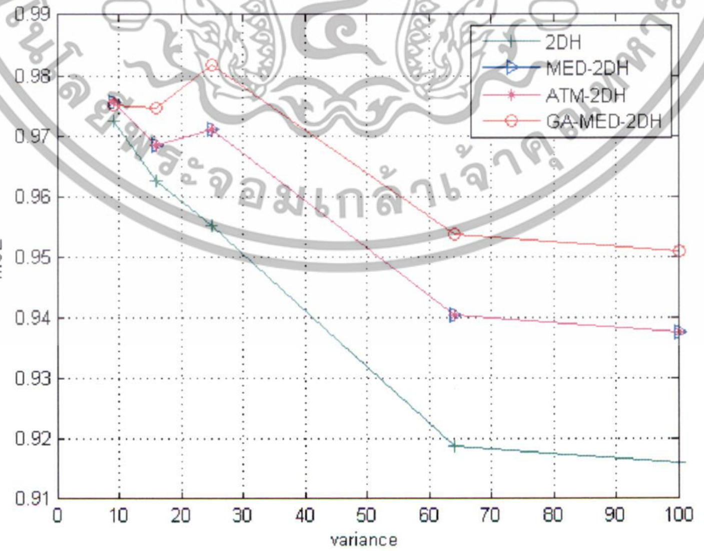
Gaussian noise (σ^2)	ประเภทตัวกรอง									
	ไม่มีตัวกรอง		2DH		MED-2DH		ATM-2DH		GA-MED-2DH	
	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE
9	15.1817	0.9093	4.9546	0.9726	3.8299	0.9757	3.8239	0.9757	3.3515	0.9752
16	20.4661	0.8727	6.7035	0.9625	5.1948	0.9685	5.1961	0.9685	4.6025	0.9746
25	25.3443	0.8365	7.8910	0.9552	5.8277	0.9712	5.8214	0.9712	5.0242	0.9819
64	39.6059	0.7615	12.3032	0.9190	9.0642	0.9405	9.0701	0.9405	7.7032	0.9537
100	49.5865	0.7047	15.0869	0.9161	10.8457	0.9376	10.8561	0.9376	9.1347	0.9509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำผลการทดลองจากหัวข้อที่ 4.1.1 ถึง 4.1.4 ไปตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (MCE) ได้ค่าตามตารางที่ 4.1 จากตารางพบว่าการจำลองเวกเตอร์การไหลของแสงด้วย Synthetic-1 ที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน ผลการทดลองพบว่าตัวกรองแบบ GA-MED-2DH มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกระดับค่าความแปรปรวน และมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยเข้าใกล้หนึ่งมากกว่าตัวกรองแบบ 2DH และ MED-2DH ที่ทุกระดับค่าความแปรปรวน และเข้าใกล้หนึ่งมากกว่าตัวกรองแบบ ATM-2DH ที่ระดับค่าความแปรปรวนเท่ากับ 16 ขึ้นไป ดังแสดงเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในรูปที่ 4.6(ก) เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมในรูปที่ 4.6(ข)



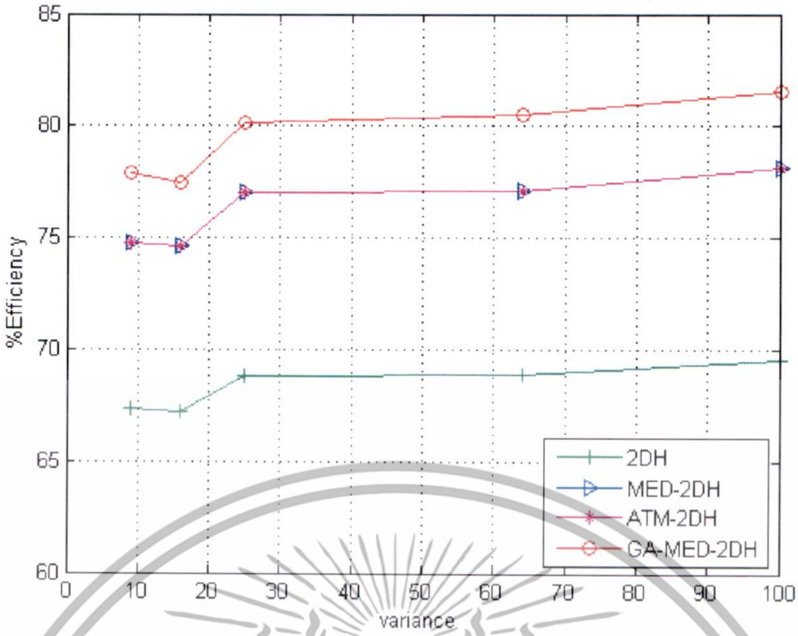
(ก) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE)



(ข) ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (mean cosine error, MCE)

รูปที่ 4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง Synthetic-1 ในแต่ละประเภทตัวกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง Synthetic-1 ของแต่ละตัวกรอง

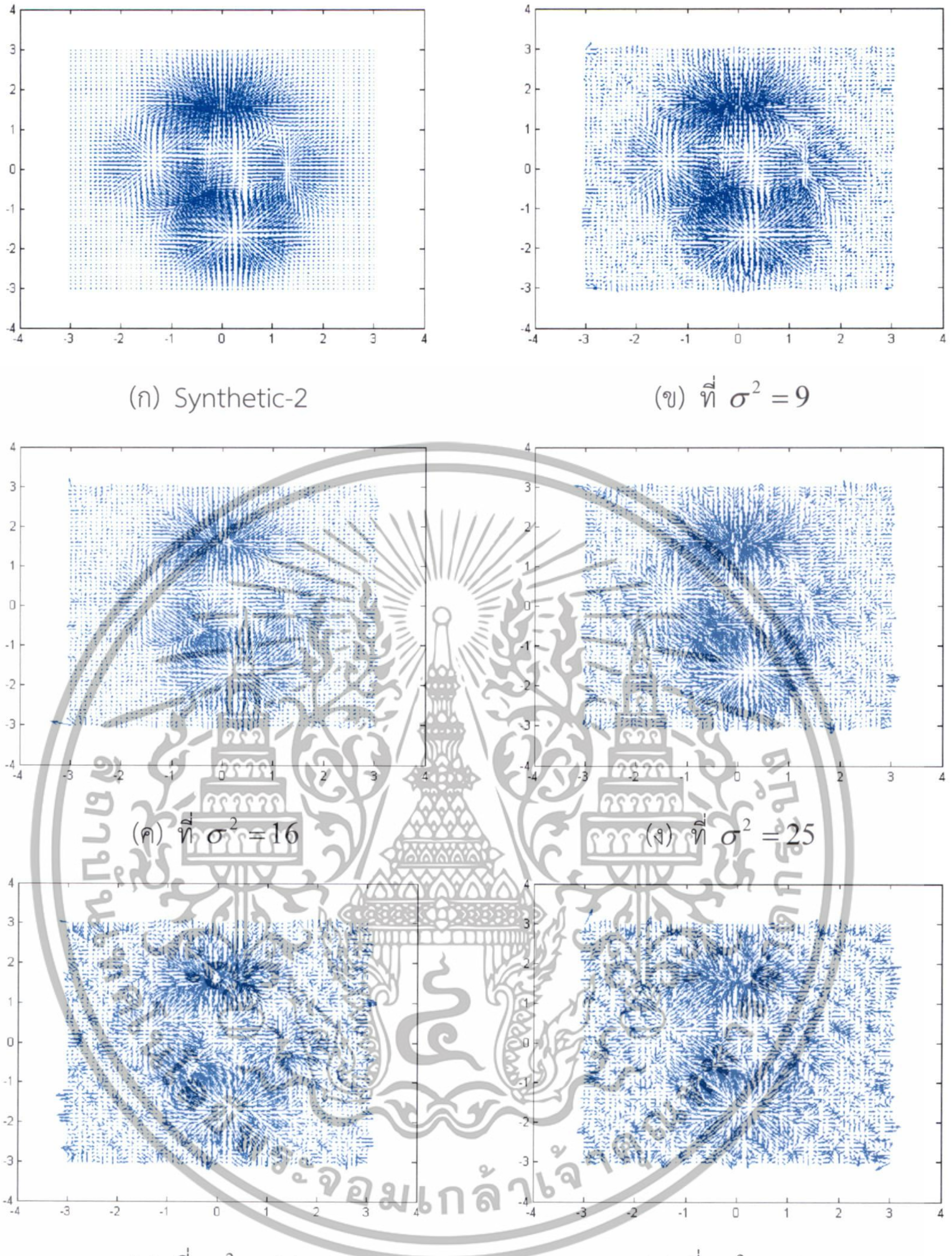
จากรูปที่ 4.7 เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนกำลังเฉลี่ยมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนพบว่า ตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกค่าความแปรปรวน โดยมีประสิทธิการกรองสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 78% ถึง 81%

4.2 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2

4.2.1 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมมาใช้ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ขนาดหน้าต่าง 3x3 ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.8 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.8(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.8(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.8(ค), 4.8(ง), 4.8(จ) และ 4.8(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.2.5 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Synthetic-2 (ข) ที่ $\sigma^2 = 9$

(ค) ที่ $\sigma^2 = 16$ (ง) ที่ $\sigma^2 = 25$

(จ) ที่ $\sigma^2 = 64$ (ฉ) ที่ $\sigma^2 = 100$

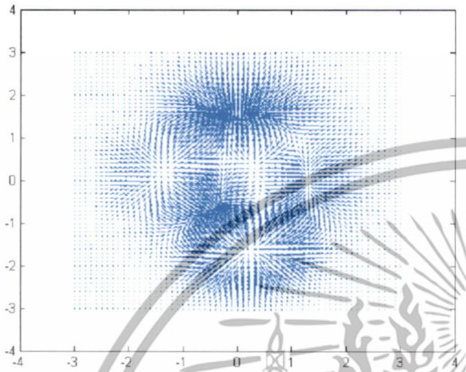
รูปที่ 4.8 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)

4.2.2 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน (MED-2DH)

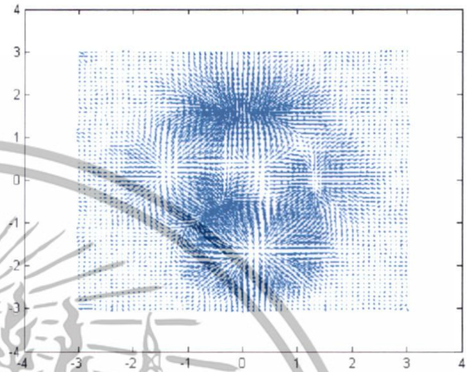
จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมเช่นกัน โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.9 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.9(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.9(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.9(ค), 4.9(ง), 4.9(จ) และ 4.9(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.2.5 ต่อไป

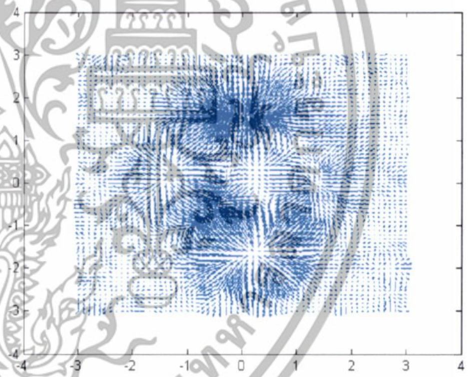


(ก) Synthetic-2

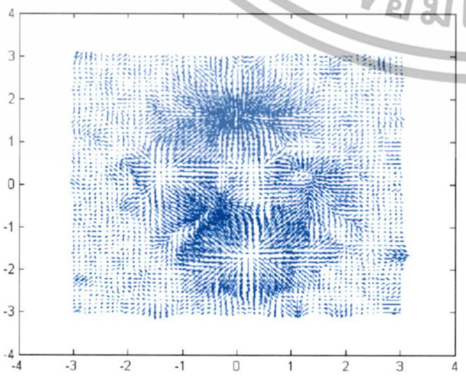


(ข) ที่ $\sigma^2 = 9$

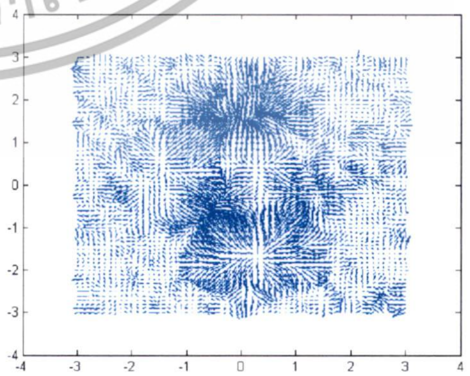
(ค) ที่ $\sigma^2 = 16$



(ง) ที่ $\sigma^2 = 25$



(จ) ที่ $\sigma^2 = 64$



(ฉ) ที่ $\sigma^2 = 100$

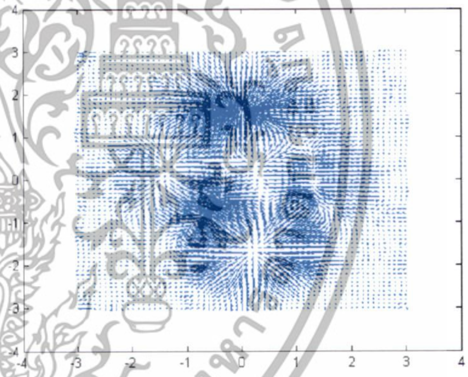
รูปที่ 4.9 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน (MED-2DH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

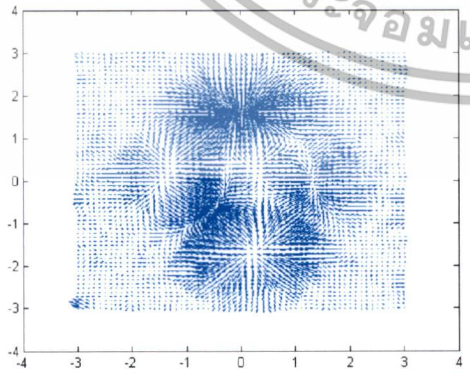
4.2.3 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมเช่นกัน โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุดที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ใกล้กับค่ามัธยฐานขอบบนและขอบล่างมาประกอบการหาค่าเวกเตอร์ด้วย และค่าเวกเตอร์อื่นๆรอบจุดให้พิจารณาตัดทิ้ง หรือนำมาคิดตามค่าแอลฟาที่กำหนดซึ่งในการทดลองกำหนดไว้เท่ากับ 1000 จานนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.10 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.10(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.10(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.10(ค), 4.10(ง), 4.10(จ) และ 4.10(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.2.5 ต่อไป

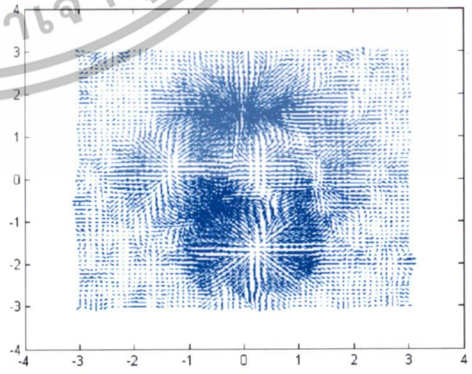
(ก) Synthetic-2



(ข) ที่ $\sigma^2 = 9$

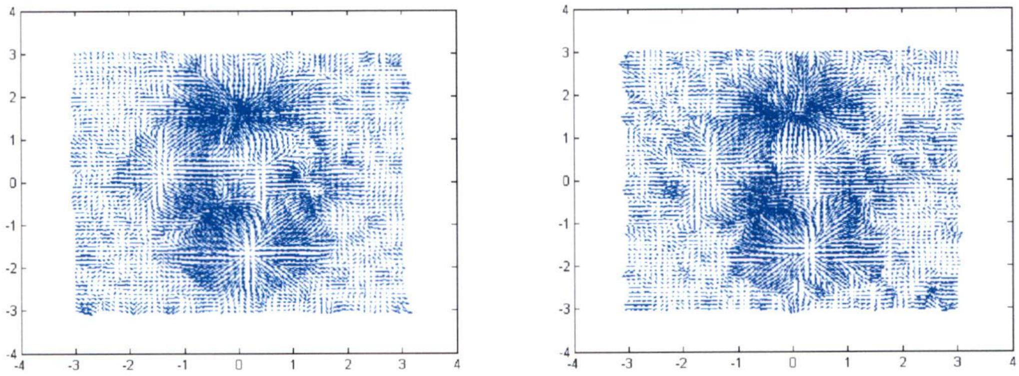


(ค) ที่ $\sigma^2 = 16$



(ง) ที่ $\sigma^2 = 25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



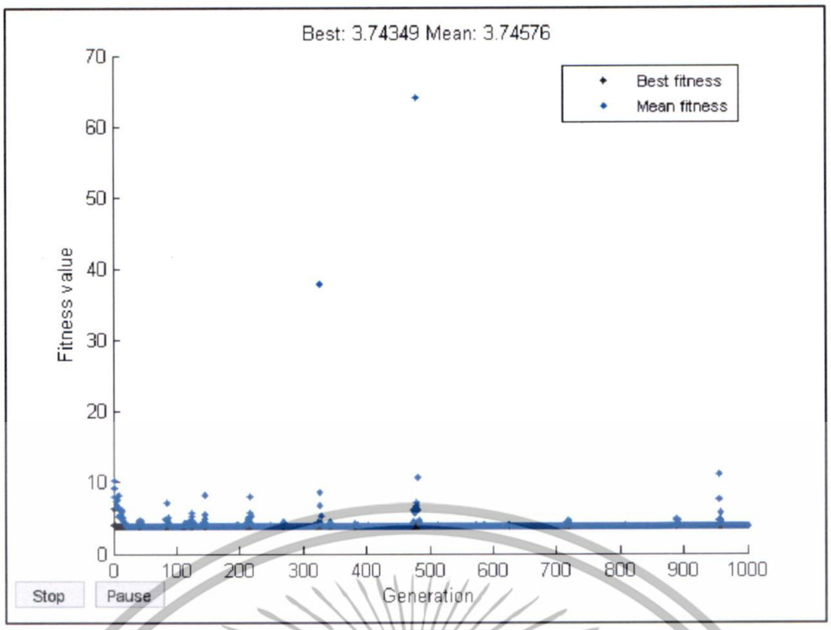
(จ) ที่ $\sigma^2 = 64$ (ฉ) ที่ $\sigma^2 = 100$

รูปที่ 4.10 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮชเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH)

4.2.4 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH)

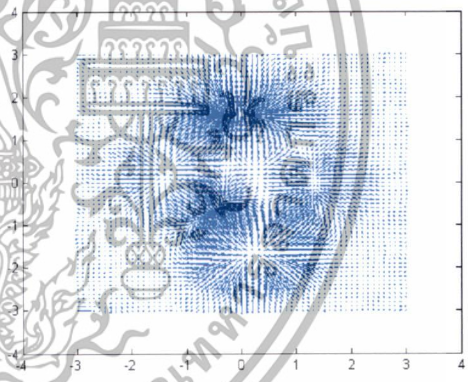
จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับ-ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นมาใหม่ โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุดที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮชเซียนเคอร์นอล 2 มิติ แต่ให้ค่าน้ำหนักค่าเวกเตอร์ทั้ง 8 ค่า รอบจุดที่กำลังหาค่าเวกเตอร์นั้นไม่เท่ากัน ซึ่งผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นไปตามขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด พบว่าค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ w_1 w_2 w_3 w_4 w_5 w_6 w_7 และ w_8 ได้ค่าเท่ากับ -1.2660, 0.2817, 2.5820, 1.0593, 1.6191, 1.0897, 0.9829 และ 2.0320 ตามลำดับ ได้กราฟการลู่เข้าค่าที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.11 และผลการจำลองด้วยตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.12 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 9 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.12(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.12(ข) มากที่สุด และที่ความแปรปรวนเท่ากับ 16, 25, 64 และ 100 ดังรูปที่ 4.12(ค), 4.12(ง), 4.12(จ) และ 4.12(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ค่อยข้างใกล้เคียงกับต้นฉบับมาก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.2.5 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

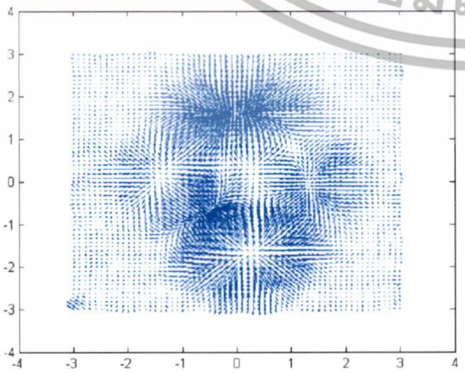


รูปที่ 4.11 กราฟการลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของเวกเตอร์การไหลของแสง Synthetic-2

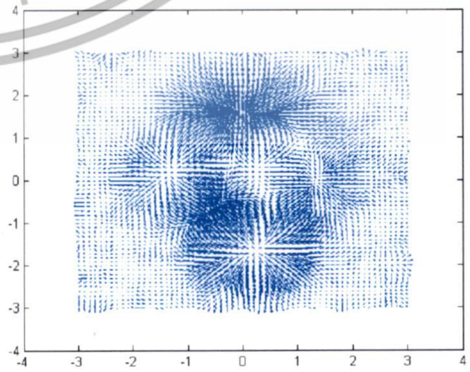
(ก) Synthetic-2



(ข) ที่ $\sigma^2 = 9$

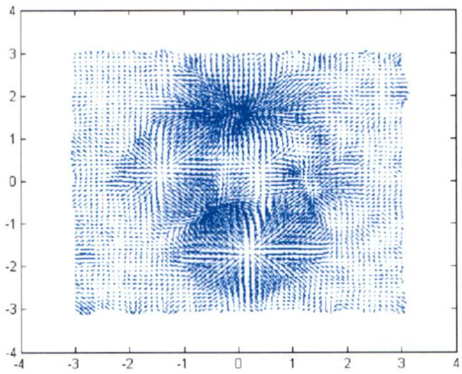


(ค) ที่ $\sigma^2 = 16$

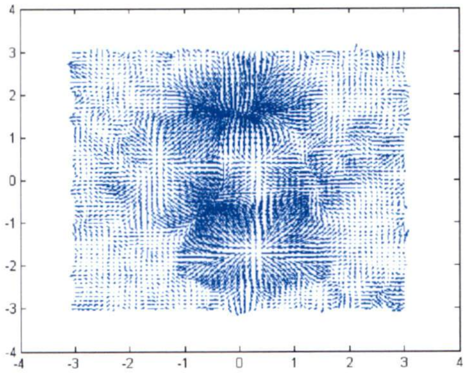


(ง) ที่ $\sigma^2 = 25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ที่ $\sigma^2 = 64$



(ฉ) ที่ $\sigma^2 = 100$

รูปที่ 4.12 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนเกาส์เซียนต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH)

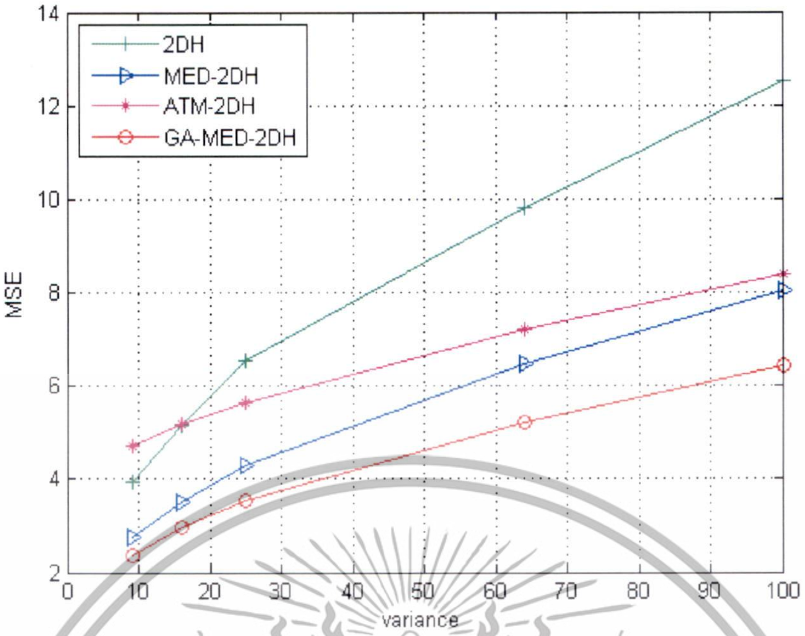
4.2.5 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2

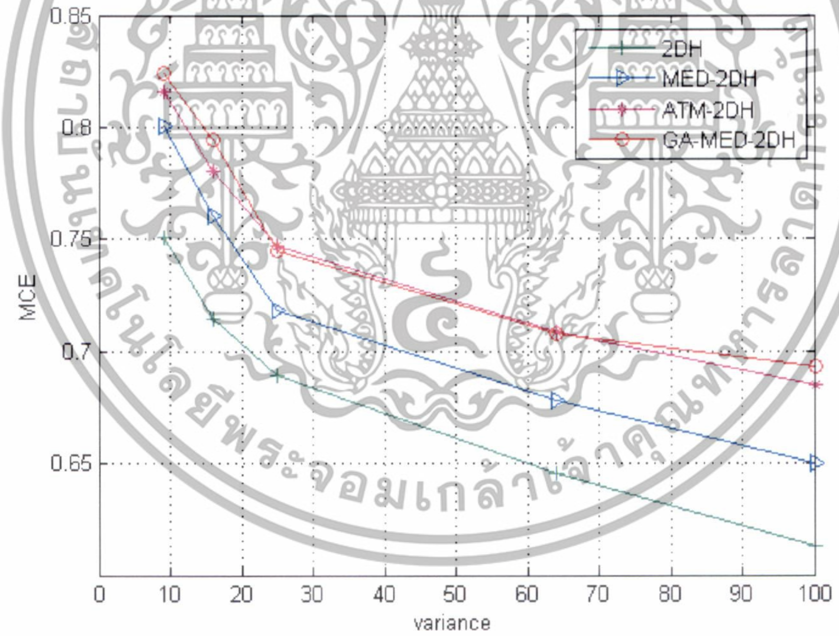
Gaussian noise (σ^2)	ประเภทตัวกรอง									
	ไม่มีตัวกรอง		2DH		MED-2DH		ATM-2DH		GA-MED-2DH	
	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE
9	13.6367	0.6069	3.9381	0.7513	2.7692	0.8007	4.7339	0.8165	2.3570	0.8243
16	18.1065	0.5604	5.1634	0.7144	3.5201	0.7606	5.1905	0.7803	2.9908	0.7950
25	22.8189	0.5339	6.5449	0.6895	4.2932	0.7183	5.6386	0.7471	3.5590	0.7453
64	35.5857	0.4861	9.8036	0.6454	6.4658	0.6786	7.1999	0.7086	5.2327	0.7083
100	45.7964	0.4745	12.5173	0.6132	8.0360	0.6498	8.3786	0.6849	6.4367	0.6933

นำผลการทดลองจากหัวข้อที่ 4.2.1 ถึง 4.2.4 ไปตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (MCE) ได้ค่าตามตารางที่ 4.2 จากตารางพบว่าการจำลองเวกเตอร์การไหลของแสงด้วย Synthetic-2 ที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน ผลการทดลองพบว่าตัวกรองแบบ GA-MED-2DH มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกระดับค่าความแปรปรวน และมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยเข้าใกล้หนึ่งมากกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกระดับค่าความแปรปรวน ดังแสดงเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในรูปที่ 4.13(ก) เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมในรูปที่ 4.13(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



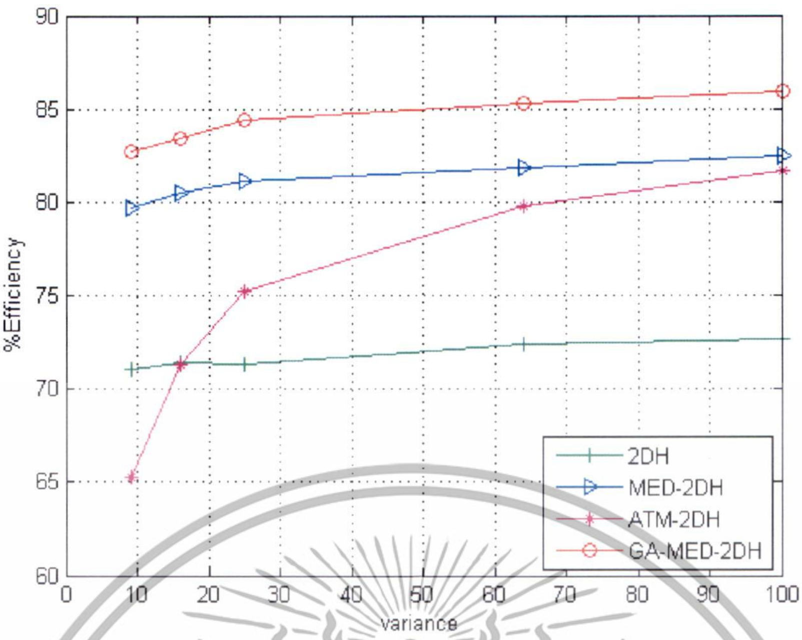
(ก) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE)



(ข) ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (mean cosine error, MCE)

รูปที่ 4.13 ค่าความคลาดเคลื่อนของการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง Synthetic-2 ในแต่ละประเภทตัวกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนของแบบจำลอง Synthetic-2 ของแต่ละตัวกรอง

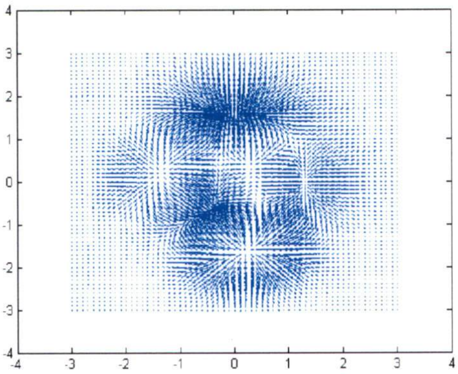
จากรูปที่ 4.14 เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนกำลังเฉลี่ยมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนพบว่า ตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกค่าความแปรปรวน โดยมีประสิทธิการกรองสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 83% ถึง 86%

4.3 การวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนประเภทป๊วซองของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2

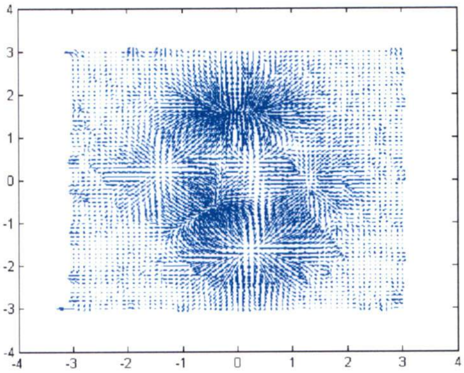
4.3.1 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทป๊วซองข้องแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ (2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทป๊วซองที่ระดับค่าแลมดาต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมมาใช้ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ขนาดหน้าต่าง 3x3 ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.15 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าความแลมดาเท่ากับ 0.1 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.15(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.15(ข) มากที่สุด และที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ดังรูปที่ 4.15(ค), 4.15(ง), 4.15(จ) และ 4.15(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.3.5 ต่อไป

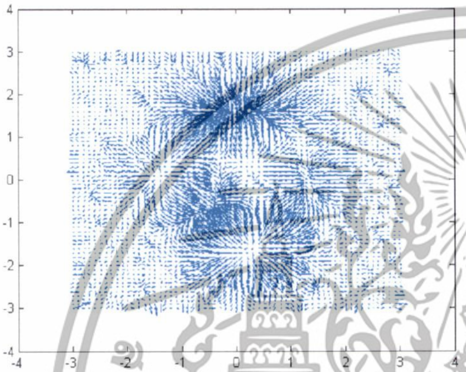
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



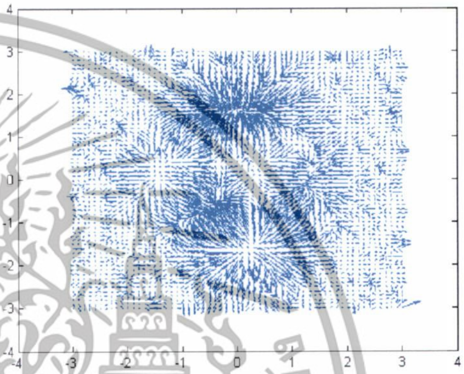
(ก) Synthetic-2



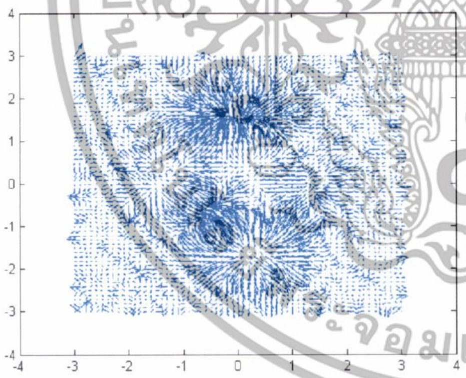
(ข) ที่ $\lambda = 0.1$



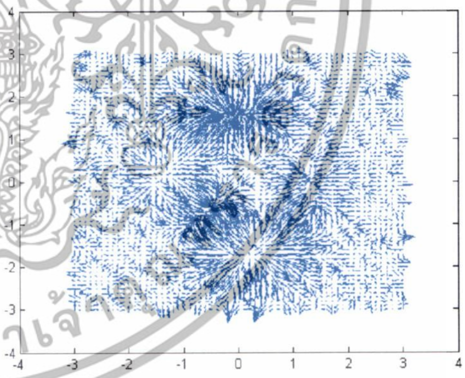
(ค) ที่ $\lambda = 0.2$



(ง) ที่ $\lambda = 0.3$



(จ) ที่ $\lambda = 0.4$



(ฉ) ที่ $\lambda = 0.5$

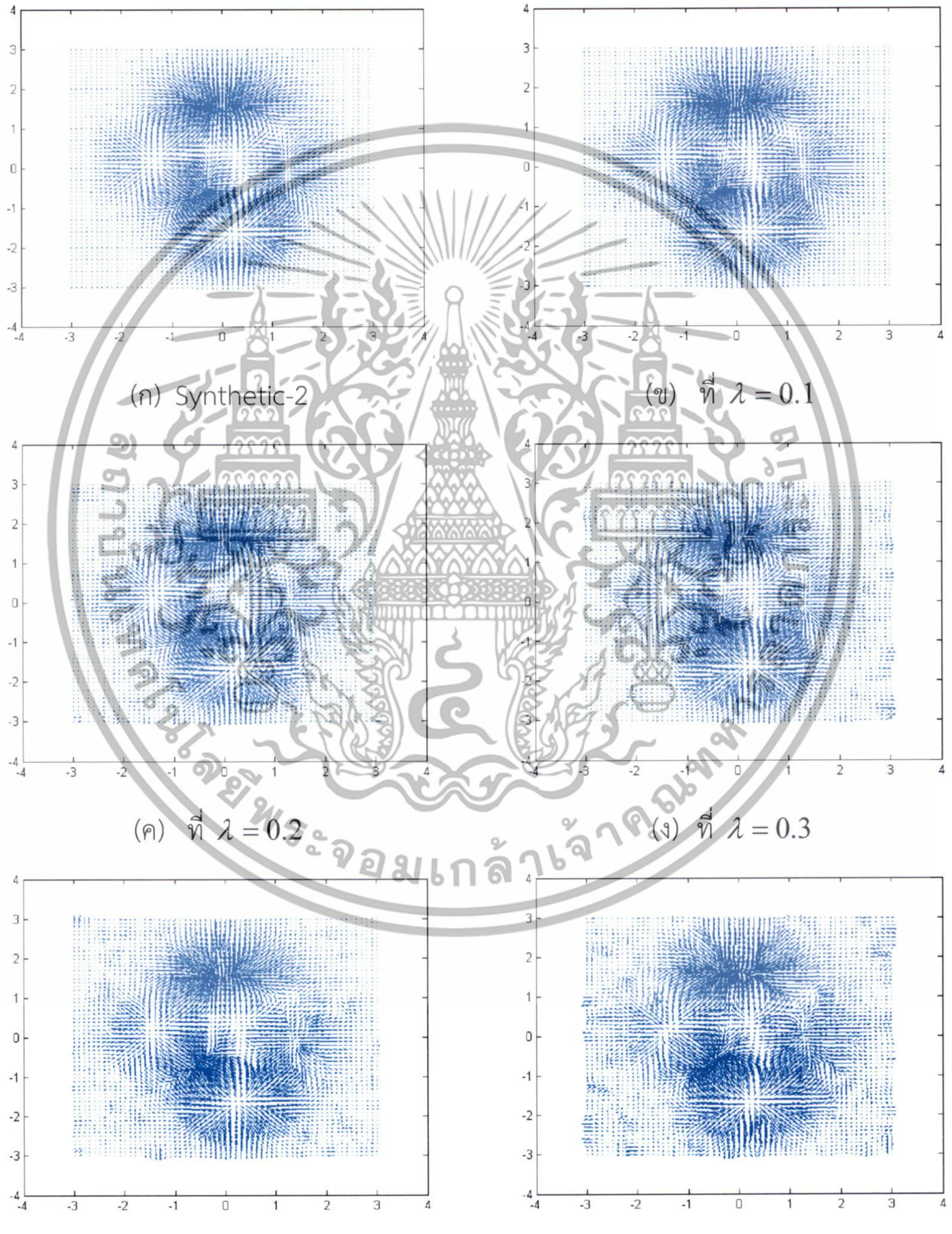
รูปที่ 4.15 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนปัวซองต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ (2DH)

4.3.2 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทปัวซองของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน (MED-2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทปัวซองที่ระดับค่าแลมดาต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับการใช้ค่ามัธยฐาน ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมเช่นกัน โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.16 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.1 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.16(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.16(ข) มากที่สุด และที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ดังรูปที่ 4.16(ค), 4.16(ง), 4.16(จ) และ 4.16(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.3.5 ต่อไป



(ก) Synthetic-2

(ข) ที่ $\lambda = 0.1$

(ค) ที่ $\lambda = 0.2$

(ง) ที่ $\lambda = 0.3$

(จ) ที่ $\lambda = 0.4$

(ฉ) ที่ $\lambda = 0.5$

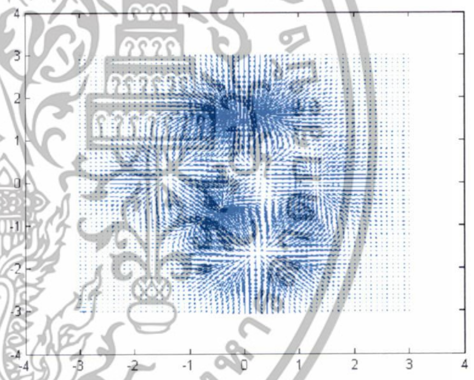
รูปที่ 4.16 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนปัวซองต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ รวมกับการใช้ค่ามัธยฐาน (MED-2DH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

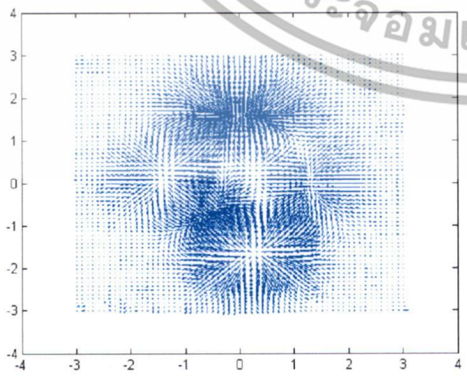
4.3.3 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทป๋วซองของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทป๋วซองที่ระดับค่าแลมดาต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมเช่นกัน โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุดที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ใกล้กับค่ามัธยฐานขอบบนและขอบล่างมาประกอบการหาค่าเวกเตอร์ด้วย และค่าเวกเตอร์อื่นๆรอบจุดให้พิจารณาตัดทิ้ง หรือนำมาคิดตามค่าแอลฟาที่กำหนดซึ่งในการทดลองกำหนดไว้เท่ากับ 1000 จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ โดยเขียนโปรแกรมจำลองตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.17 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.1 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.17(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.17(ข) มากที่สุด และที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ดังรูปที่ 4.17(ค), 4.17(ง), 4.17(จ) และ 4.17(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ไม่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากนัก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.3.5 ต่อไป

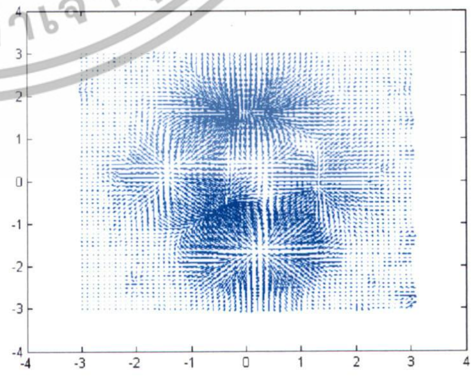
(ก) Synthetic-2



(ข) ที่ $\lambda = 0.1$

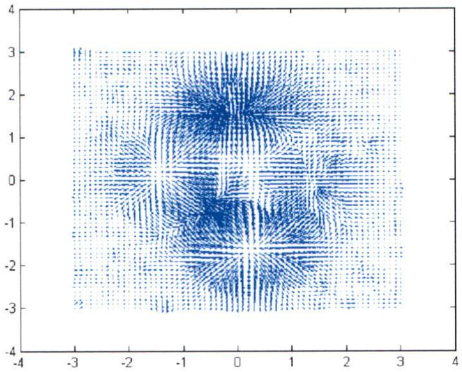


(ค) ที่ $\lambda = 0.2$

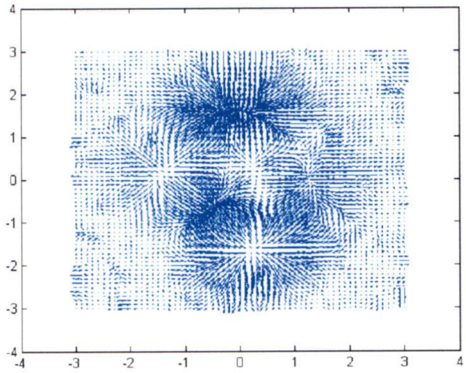


(ง) ที่ $\lambda = 0.3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ที่ $\lambda = 0.4$



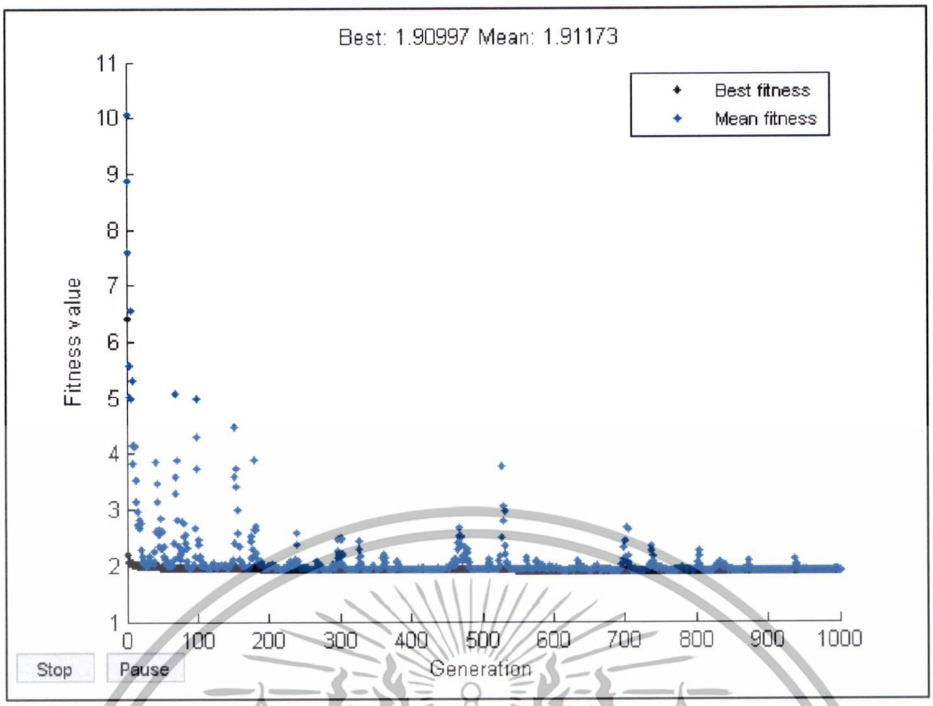
(ฉ) ที่ $\lambda = 0.5$

รูปที่ 4.17 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนป๋วซองต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ร่วมกับวิธี Alpha-trimmed mean filter (ATM-2DH)

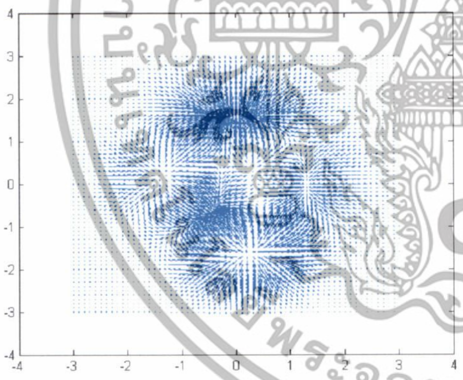
4.3.4 การกรองสัญญาณรบกวนประเภทป๋วซองของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2 ด้วยตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH)

จากการจำลองผล Synthetic-2 ที่เพิ่มสัญญาณรบกวนประเภทป๋วซองที่ระดับค่าแลมดาต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวกรองแบบ MED-2DH ร่วมกับ-ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นมาใหม่ โดยใช้การหาค่ามัธยฐานจากสมาชิกรอบจุดที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ที่ได้ไปเข้ากระบวนการกรองสัญญาณรบกวนด้วยเฮซเซียนเคอร์นอล 2 มิติ แต่ให้ค่าน้ำหนักค่าเวกเตอร์ทั้ง 8 ค่า รอบจุดที่กำลังหาค่าเวกเตอร์นั้นไม่เท่ากัน ซึ่งผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นไปตามขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด พบว่าค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ w_1 w_2 w_3 w_4 w_5 w_6 w_7 และ w_8 ได้ค่าเท่ากับ 1.9955, 2.4544, 0.3536, -0.6858, 2.3967, 1.6247, -0.5598 และ 0.9762 ตามลำดับ ได้กราฟการลู่เข้าค่าที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.18 และผลการจำลองด้วยตัวกรองชนิดนี้ใน MATLAB ได้ผลดังรูปที่ 4.19 พบว่า ตัวกรองนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้จำนวนหนึ่ง กล่าวคือที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.1 มีสิ่งรบกวนน้อยที่สุดในการจำลองผล เวกเตอร์การไหลของแสงดังรูปที่ 4.19(ข) จะมีความใกล้เคียงเวกเตอร์ต้นฉบับดังรูปที่ 4.19(ข) มากที่สุด และที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ดังรูปที่ 4.19(ค), 4.19(ง), 4.19(จ) และ 4.19(ฉ) ตามลำดับ ผลการกรองสัญญาณรบกวนจะได้เวกเตอร์การไหลของแสงที่ค่อยข้างใกล้เคียงกับต้นฉบับมาก ซึ่งจะได้วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณในหัวข้อที่ 4.3.5 ต่อไป

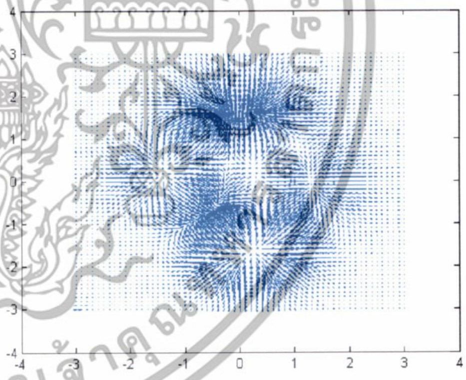
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



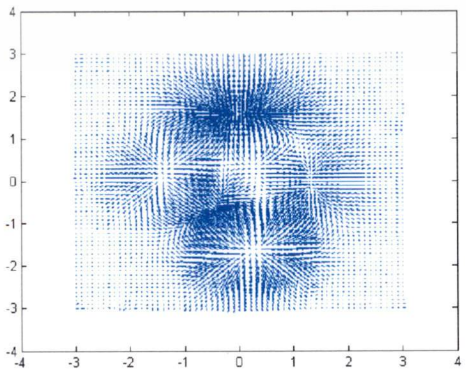
รูปที่ 4.18 กราฟการลู่เข้าหาค่าที่เหมาะสมสัญญาณรบกวนประเภทบ่วงของเวกเตอร์การไหลของแสง Synthetic-2



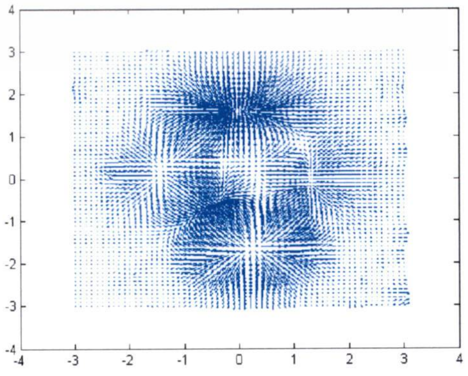
(ก) Synthetic-2



(ข) ที่ $\lambda = 0.1$

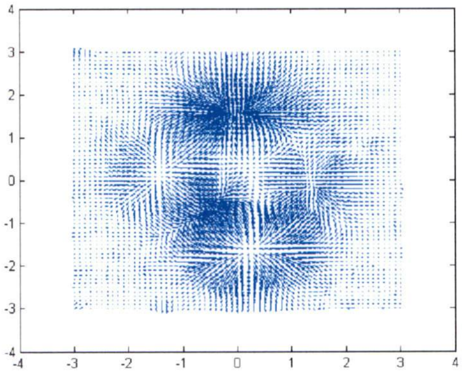


(ค) ที่ $\lambda = 0.2$

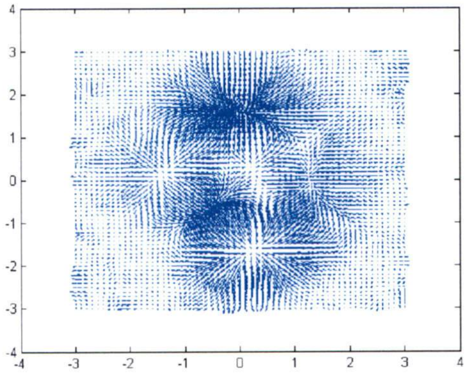


(ง) ที่ $\lambda = 0.3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ที่ $\lambda = 0.4$



(ฉ) ที่ $\lambda = 0.5$

รูปที่ 4.19 Synthetic-2 และ Synthetic-2 ที่ค่าความแปรปรวนป้วซองต่างๆ หลังผ่านตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA-MED-2DH)

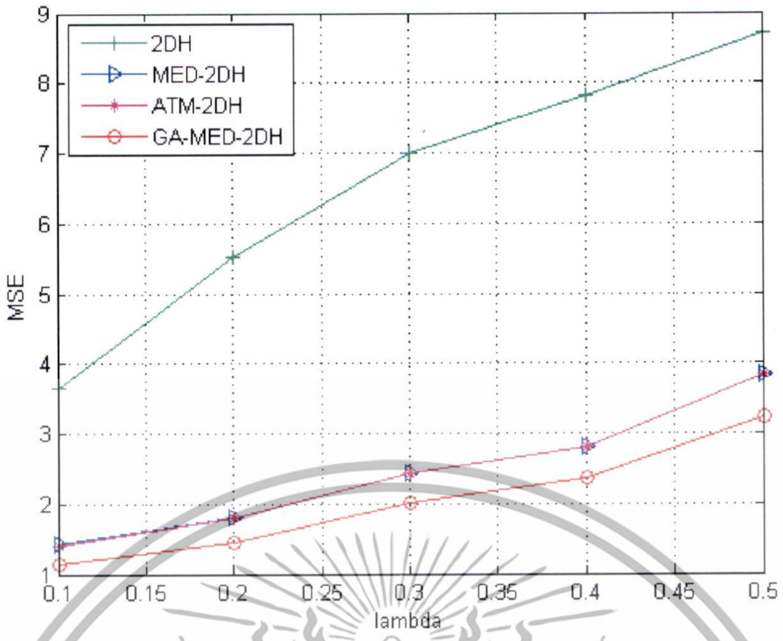
4.3.5 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทป้วซองของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการกรองสัญญาณรบกวนประเภทป้วซองของแบบจำลองการไหลของแสง Synthetic-2

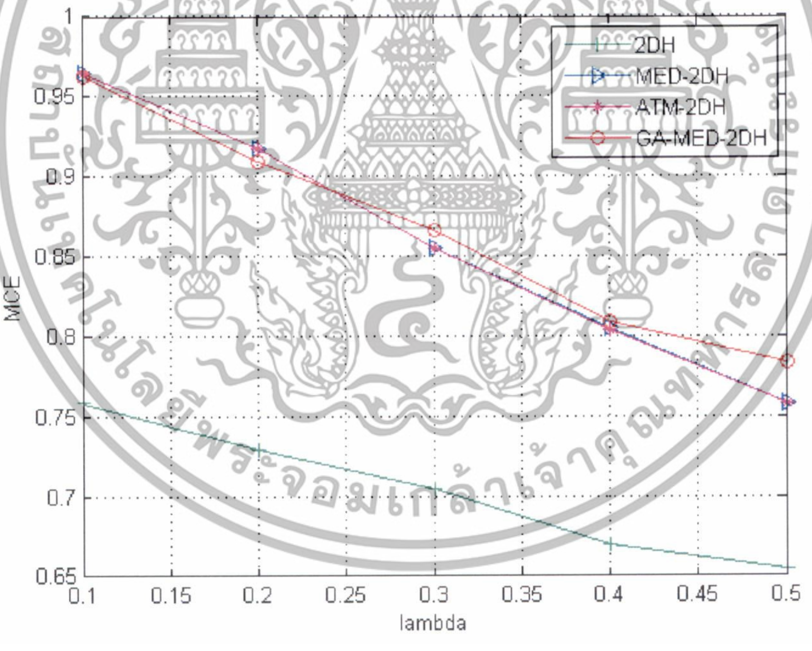
Poisson noise (λ)	ประเภทตัวกรอง									
	ไม่มีตัวกรอง		2DH		MED-2DH		ATM-2DH		GA-MED-2DH	
	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE
0.1	6.8530	0.8353	3.6465	0.7585	1.4224	0.9647	1.4161	0.9647	1.1578	0.9626
0.2	13.5915	0.7237	5.5251	0.7291	1.8035	0.9175	1.7986	0.9175	1.4536	0.9090
0.3	18.5113	0.6558	7.0112	0.7051	2.4375	0.8556	2.4341	0.8552	2.0138	0.8669
0.4	22.5161	0.6240	7.8130	0.6701	2.8075	0.8055	2.8053	0.8044	2.3711	0.8090
0.5	27.4952	0.5624	8.7017	0.6551	3.8333	0.7578	3.8319	0.7578	3.2381	0.7831

นำผลการทดลองจากหัวข้อที่ 4.3.1 ถึง 4.3.4 ไปตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (MCE) ได้ค่าตามตารางที่ 4.3 จากตารางพบว่าการจำลองเวกเตอร์การไหลของแสงด้วย Synthetic-2 ที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทป้วซอง ผลการทดลองพบว่าตัวกรองแบบ GA-MED-2DH มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกระดับค่าแลมดา และมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยเข้าใกล้หนึ่งมากกว่าตัวกรองแบบ 2DH ที่ทุกระดับค่าแลมดา เข้าใกล้หนึ่งมากกว่าตัวกรองแบบ MED-2DH และ ATM-2DH ที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.3 ขึ้นไป ดังแสดงเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในรูปที่ 4.20(ก) เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมในรูปที่ 4.20(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



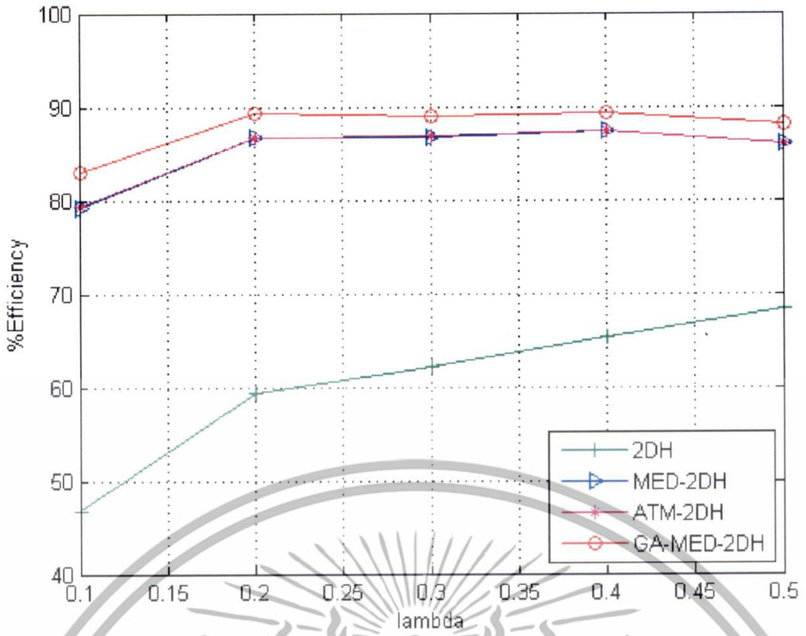
(ก) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE)



(ข) ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (mean cosine error, MCE)

รูปที่ 4.20 ค่าความคลาดเคลื่อนของการกรองสัญญาณรบกวนประเภทปัวซองของแบบจำลอง Synthetic-2 ในแต่ละประเภทตัวกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนประเภทป๋วซองของแบบจำลอง Synthetic-2 ของแต่ละตัวกรอง

จากรูปที่ 4.21 เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนกำลังเฉลี่ยมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนพบว่า ตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกค่าความแปรปรวน โดยมีประสิทธิการกรองสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 83% ถึง 89%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลจากการวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนของการประมาณค่าการไหลของแสงที่เงื่อนไข 4 อย่างได้แก่ เงื่อนไขการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจำลองเวกเตอร์การไหลของแสงที่แตกต่างกัน, เงื่อนไขการใช้สัญญาณรบกวนประเภทที่แตกต่างกัน, เงื่อนไขการเพิ่มสัญญาณรบกวนในปริมาณที่แตกต่างกัน และเงื่อนไขการใช้ตัวกรองที่แตกต่างกัน โดยผลการประมาณค่าการไหลของแสงทุกเงื่อนไขจะถูกนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย

5.1 สรุปผลของการวิเคราะห์การกรองสัญญาณรบกวนของการประมาณค่าการไหลของแสง

5.1.1 เวกเตอร์การไหลของแสงที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของเงื่อนไขแรกนั่นคือ การกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนด้วยตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ด้วยเงื่อนไขแบบจำลองการไหลของแสงที่แตกต่างกัน โดยกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนที่เท่าๆ กัน จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าทั้งแบบจำลอง Synthetic-1 และ Synthetic-2 มีแนวโน้มที่เหมือนกันคือ ตัวกรองชนิดนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้ระดับหนึ่ง ยิ่งค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเวกเตอร์การไหลของแสงที่ได้ก็จะแตกต่างจากเวกเตอร์ต้นฉบับมากขึ้น แต่ดีกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH เมื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทำให้ทราบว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะมากขึ้นที่ค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้น และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยจะไม่ใกล้เคียงหนึ่งมากขึ้นที่ค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งแบบจำลอง Synthetic-1 และ Synthetic-2 แต่ดีกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH เมื่อวิเคราะห์ที่ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ทำให้ทราบว่าที่แบบจำลอง Synthetic-2 นั้นตัวกรองชนิดนี้จะมีประสิทธิการกรองสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าแบบจำลอง Synthetic-1 ที่ทุกค่าความแปรปรวน สำหรับตัวกรองแบบ 2DH และ MED-2DH ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ส่วนตัวกรองแบบ ATM-2DH จะมีประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนของแบบจำลอง Synthetic-2 ดีกว่าแบบจำลอง Synthetic-1 ที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 64 ขึ้นไป

5.1.2 ในแบบจำลอง Synthetic-2 ที่ใช้สัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์พบว่า การกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ด้วยเงื่อนไขการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าทั้งสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียน และสัญญาณรบกวนประเภทบัวซอง มีแนวโน้นที่เหมือนกันคือ ตัวกรองชนิดนี้สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้ระดับหนึ่ง ยิ่งปริมาณสัญญาณรบกวนมากขึ้นเวกเตอร์การไหลของแสงที่ได้จะแตกต่างจากเวกเตอร์ต้นฉบับมากขึ้น แต่ดีกว่าแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH เมื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทำให้ทราบว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะมากขึ้นที่ปริมาณสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยจะไม่ใกล้เคียงหนึ่งมากขึ้นที่ปริมาณสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รบกวนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียน และสัญญาณรบกวนประเภทป๊วซอง เมื่อวิเคราะห์ที่ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ทำให้ทราบว่า ตัวกรองนี้มีประสิทธิภาพในการกรองสัญญาณรบกวนประเภทป๊วซองดีกว่าการกรองสัญญาณรบกวนประเภทเกาส์เซียนที่ค่าแลมดาเท่ากับ 0.2 ขึ้นไป และดีกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ที่ทุกค่าความแปรปรวนและทุกค่าแลมดา

5.1.3 ทั้งแบบจำลอง Synthetic-1 และ Synthetic-2 ที่เพิ่มปริมาณสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่ายิ่งเพิ่มปริมาณสัญญาณรบกวนเข้าไปค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยก็จะมากขึ้นด้วย และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยก็จะยิ่งไม่เข้าใกล้ค่าหนึ่งมากขึ้นเช่นกัน ที่ตัวกรองทุกแบบ เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวน ก็พบว่ายิ่งปริมาณสัญญาณรบกวนมากขึ้น ตัวกรองทุกแบบจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อจะสามารถกรองสัญญาณรบกวนที่มากขึ้นนั่นเอง

5.1.4 ตัวกรองสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกันจะให้ผลการกรองสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่า ตัวกรองแบบ GA-MED-2DH ที่ผู้วิจัยออกแบบจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าตัวกรองแบบ 2DH, MED-2DH และ ATM-2DH ทั้งการจำลองแบบ Synthetic-1 และ Synthetic-2 โดยมีประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนสูงถึง 89%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยที่ได้ทำในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยในครั้งต่อไป ดังนี้

5.2.1 ควรศึกษาผลกระทบของขนาดหน้าต่างว่ามีผลต่อการประมาณค่าการไหลของแสงหรือไม่ เพื่อหาขนาดหน้าต่างที่เหมาะสมที่สุด

5.2.2 ควรปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวกรองสัญญาณรบกวนให้สูงขึ้นกว่าเดิม โดยศึกษาหาวิธีการกรองสัญญาณรบกวนให้มีประสิทธิภาพทั้งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมใกล้เคียงหนึ่งมากที่สุด

5.2.3 ควรดำเนินการนำตัวกรองที่ศึกษาแล้วนี้ไปประยุกต์ใช้กับการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและพัฒนาตัวกรองสัญญาณรบกวนต่อไป

5.2.4 ควรศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมเมื่อนำตัวกรองไปประยุกต์ใช้งานจริงว่าองค์ประกอบในรูปภาพมีผลต่อการประมาณค่าการไหลของแสงอย่างไร และจะแก้ไขและพัฒนาตัวกรองอย่างไรต่อไปให้มีประสิทธิภาพ และใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] B. Horn and B. Schunck, "Determining optical flow", **Artifical Intelligence**, Vol. 17, 1981, pp.185-203.

[2] B. Lucas and T. Kanade, "An iterative image registration technique with an application to stereo vision", **Proceeding of the 7th International Joint Conference on Artifical Intelligence**, Vol. 2, 1981, pp.674-679.

[3] A. Bainbridge-Smith and R.G. Lane, "Determining optical flow using a differential method", **Image and Vision Computing**, Vol. 15, January 1997, pp.11-22.

[4] A.G. Bors and I. Pitas, "Optical flow estimation and moving object segmentation based on median radial basis function network", **IEEE Transactions on Image Processing**, Vol. 7(5), 1998, pp.693-702.

[5] E. Memin and P. Perez, "Hierarchical estimation and segmentation of dense motion fields", **International Journal of Computer Vision**, Vol. 46(2), 2002, pp. 129-155.

[6] N. Papenberg, A. Bruhn, T. Brox, S. Didas and A. Weickert, "Highly accurate optic flow computation with theoretical justified warping", **International Journal of Computer Vision**, Vol. 67(2), 2006, pp.141-158.

[7] S. Roth and M.J. Black, "On the spatial statistics of optical flow", **International Journal of Computer Vision**, Vol. 74, August 2007, pp.33-50.

[8] A.G. Bors and I. Pitas, "Prediction and tracking of moving objects in image sequences", **IEEE Transactions on Image Processing**, Vol. 9(8), 2000, pp.1441-1445.

[9] M. Tagliasacchi, "A genetic algorithm for optical flow estimation", **Image and Vision Computing**, Vol. 25(2), February 2007, pp.141-147.

[10] J. Hirai, T. Yamaguchi and H. Harada, "Measurement of optical flow in real-time", **IEEE International Conference on Control, Automation and Systems**, 14-17 October 2008, pp.2523-2528.

[11] M. Heindlmaier, L. Yu and K. Diepold, "The impact of nonlinear filtering and confidence information on optical flow estimation in a Lucas & Kanade framework", **IEEE International Conference on Image Processing**, 7-10 November 2009, pp.1593-1596.

[12] A. Doshi and A.G. Bors, "Smoothing of optical flow using robustified diffusion kernels", **Image and Vision Computing**, Vol. 28(12), December 2010, pp.1575-1589.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] A. Lorusso and E. De micheli, "An approach to obstacle detection and steering control from optical flow", **Intelligent Vehicles Symposium**, 19-20 September 1996.

[14] G. Cirrincione and M. Cirrincione, "A Novel Self-Organizing Neural Network for Motion Segmentation", **Applied Intelligence**, Vol. 18(1), January 2003, pp.27-35.

[15] N. Papenberg, A. Bruhn, T. Brox, S. Didas and J. Weickert, "Highly Accurate Optic Flow Computation with Theoretically", **International Journal of Computer Vision**, Vol. 67(2), April 2006, pp.141-158.

[16] CK. Hsieh, SH. Lai and YC. Chen, "An Optical Flow-Based Approach to Robust Face Recognition Under Expression Variations", **IEEE Transactions on Image Processing**, Vol. 19(1), January 2010, pp. 233-240.

[17] A. Doshi and AG. Bors, "Robust Processing of Optical Flow of Fluids", **IEEE Transactions on Image Processing**, Vol. 19(9), September 2010, pp. 2332-2344.

[18] A. Radgui, C. Demonceaux, E. Mouaddib, M. Rziza and D. Aboutajdine, "Optical flow estimation from multichannel spherical image decomposition", **Computer Vision and Image Understanding**, Vol. 115(9), September 2011, pp. 1263-1272.

[19] M. Mueller, P. Karasev, I. Kolesov and A. Tannenbaum, "Optical Flow Estimation for Flame Detection in Videos", **IEEE Transactions on Image Processing**, Vol. 22(7), July 2013, pp. 2786-2797.

[20] D. Fortun, P. Bouthemy and C. Kervrann, "Optical flow modeling and computation: A survey", **Computer Vision and Image Understanding**, Vol. 134, May 2015, pp. 1-21.

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรม MATLAB สำหรับการจำลองการไหลของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม MATLAB สำหรับการจำลองการไหลของแสง

พัฒนาโดย นายพิจิตร คชชา สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

```
%% the first vector field entitled-"Synthetic-1 add Gaussian noise"
clc; clear all;
%% parameter of equation (2.24)
angle = 0 ;
c = cos(angle);
s = sin(angle);
D = 0.8;
S = 0.05;
R = 0.1;
u = 31;
variance = 100;
mean = 0;
x = 1:1:61;
y = 1:1:61;
[xx,yy] = meshgrid(x,y);
%% solution for calculate optical flow
A = [c -s; s c];
B = [D+S -R; R D-S];
C = [c s; -s c];
D = (A*B)*C;
X = [xx-u];
Y = [yy-u];
%% Add gaussian noise to solution
Xnoise =((sqrt(variance)*(randn(size(X)) + mean));
Ynoise =((sqrt(variance)*(randn(size(Y)) + mean));
Xn = X+Xnoise;
Yn = Y+Ynoise;
%% calculate vector of optical flow
Vx = (D(2,1)*X + D(2,2)*Y);
Vy = (D(1,1)*X + D(1,2)*Y);
Vxn = (D(2,1)*Xn + D(2,2)*Yn);
Vyn = (D(1,1)*Xn + D(1,2)*Yn);
Vxnn = (D(2,1)*Xn + D(2,2)*Yn);
Vynn = (D(1,1)*Xn + D(1,2)*Yn);
Vxnn2 = (D(2,1)*Xn + D(2,2)*Yn);
Vynn2 = (D(1,1)*Xn + D(1,2)*Yn);
Vxnn3 = (D(2,1)*Xn + D(2,2)*Yn);
Vynn3 = (D(1,1)*Xn + D(1,2)*Yn);
Vxnn4 = (D(2,1)*Xn + D(2,2)*Yn);
Vynn4 = (D(1,1)*Xn + D(1,2)*Yn);
gx = gradient(Vxnn,.1);
gy = gradient(Vynn,.1);
[gxx, gxy] = gradient(gx,1,.1);
[gyx, gyy] = gradient(gy,.1,.1);
w = [0.2289    0.9582    1.1043    0.8632    1.7102    0.9290
1.0474    1.1658];
%% smoooting optical flow
for n = 1:1:1
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                A=[Vxnn(i,j+1);Vxnn(i+1,j);Vxnn(i+1,j+1);Vxnn(i+1,j-
1);Vxnn(i,j-1);Vxnn(i-1,j-1);Vxnn(i-1,j);Vxnn(i-1,j+1)];
                B=[Vynn(i,j+1);Vynn(i+1,j);Vynn(i+1,j+1);Vynn(i+1,j-
1);Vynn(i,j-1);Vynn(i-1,j-1);Vynn(i-1,j);Vynn(i-1,j+1)];
                A = sort(A);
                B = sort(B);
                C = median(A);
                D = median(B);
                Vxnn2(i,j) = C;
                Vynn2(i,j) = D;
                Vxnn3(i,j) =
((A(3,1)/1000)+A(4,1)+A(5,1)+(A(6,1)/1000)+C)/3;
                Vynn3(i,j) =
((B(3,1)/1000)+B(4,1)+B(5,1)+(B(6,1)/1000)+D)/3;
            end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
             if (i==1)
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i+1,j);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i+1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i+1,j);
            elseif (j==1)
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j+1);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j+1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i-1,j);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i-1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j-1);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j-1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j-1);
             end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            H2D = [gxx(i,j) gxy(i,j);gyx(i,j) gyy(i,j)];
            MH2D = pinv(H2D);
            if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                N2D1 = [xx(i,j+1)-xx(i,j);yy(i,j+1)-yy(i,j)];
                N2D2 = [xx(i+1,j)-xx(i,j);yy(i+1,j)-yy(i,j)];
                N2D3 = [xx(i+1,j+1)-xx(i,j);yy(i+1,j+1)-yy(i,j)];
                N2D4 = [xx(i+1,j-1)-xx(i,j);yy(i+1,j-1)-yy(i,j)];
                N2D5 = [xx(i,j-1)-xx(i,j);yy(i,j-1)-yy(i,j)];
                N2D6 = [xx(i-1,j-1)-xx(i,j);yy(i-1,j-1)-yy(i,j)];
                N2D7 = [xx(i-1,j)-xx(i,j);yy(i-1,j)-yy(i,j)];
                N2D8 = [xx(i-1,j+1)-xx(i,j);yy(i-1,j+1)-yy(i,j)];
                V1 = -N2D1'*MH2D*N2D1;
                V2 = -N2D2'*MH2D*N2D2;
                V3 = -N2D3'*MH2D*N2D3;
                V4 = -N2D4'*MH2D*N2D4;
                V5 = -N2D5'*MH2D*N2D5;
                V6 = -N2D6'*MH2D*N2D6;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                V7 = -N2D7'*MH2D*N2D7;
                V8 = -N2D8'*MH2D*N2D8;
                Vxnn(i,j) =
((Vxnn(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vxnn(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vxnn(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vxnn(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));

                Vynn(i,j) =
((Vynn(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vynn(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vynn(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vynn(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));

                Vxnn2(i,j) =
((Vxnn2(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn2(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vxnn2(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn2(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vxnn2(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn2(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vxnn2(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn2(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                Vynn2(i,j) =
((Vynn2(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn2(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vynn2(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn2(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vynn2(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn2(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vynn2(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn2(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));

                Vxnn3(i,j) =
((Vxnn3(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn3(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vxnn3(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn3(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vxnn3(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn3(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vxnn3(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn3(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                Vynn3(i,j) =
((Vynn3(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn3(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vynn3(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn3(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vynn3(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn3(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vynn3(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn3(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
            end
        end
    end
     for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
             if (i==1)
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i+1,j);
                Vynn(i,j) = Vynn(i+1,j);
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i+1,j);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i+1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i+1,j);
            elseif (j==1)
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i,j+1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                Vynn(i,j) = Vynn(i,j+1);
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j+1);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j+1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i-1,j);
                Vynn(i,j) = Vynn(i-1,j);
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i-1,j);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i-1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i,j-1);
                Vynn(i,j) = Vynn(i,j-1);
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j-1);
                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j-1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j-1);
             end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                Vxnn4(i,j) =
(((Vxnn2(i,j+1)*exp(V1)*w(1))+(Vxnn2(i+1,j)*exp(V2)*w(2))...
                +(Vxnn2(i+1,j+1)*exp(V3)*w(3))+(Vxnn2(i+1,j-
1)*exp(V4)*w(4))...
                +(Vxnn2(i,j-1)*exp(V5)*w(5))+(Vxnn2(i-1,j-
1)*exp(V6)*w(6))...
                +(Vxnn2(i-1,j)*exp(V7)*w(7))+(Vxnn2(i-
1,j+1)*exp(V8)*w(8)))...

/((exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8))))
;


                Vynn4(i,j) =
(((Vynn2(i,j+1)*exp(V1)*w(1))+(Vynn2(i+1,j)*exp(V2)*w(2))...
                +(Vynn2(i+1,j+1)*exp(V3)*w(3))+(Vynn2(i+1,j-
1)*exp(V4)*w(4))...
                +(Vynn2(i,j-1)*exp(V5)*w(5))+(Vynn2(i-1,j-
1)*exp(V6)*w(6))...
                +(Vynn2(i-1,j)*exp(V7)*w(7))+(Vynn2(i-
1,j+1)*exp(V8)*w(8)))...

/((exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8))))
;
            end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
             if (i==1)
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i+1,j);
            elseif (j==1)
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i,j-1);
             end
        end
    end
end
%% calculate error
C1 = complex(Vx,Vy);
error1 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxn ;Vyn]))*(abs([Vx Vy]-[Vxn Vyn]));
error2 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn ;Vynn]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn Vynn]));
error3 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn2 ;Vynn2]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn2 Vynn2]));
error4 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn3 ;Vynn3]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn3 Vynn3]));
error5 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn4 ;Vynn4]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn4 Vynn4]));
[n1 m1]=size(error1);
[n2 m2]=size(error2);
[n3 m3]=size(error3);
[n4 m4]=size(error4);
[n5 m5]=size(error5);
nn1=0;
nn2=0;
nn3=0;
nn4=0;
nn5=0;
for i=1:1:n1
    for j=1:1:m1
        if ((i>1&&i<n1)&&(j>1&&j<m1))
            error11(i,j) = error1(i,j);
            nn1=nn1+1;
        else
            error11(i,j) = 0;
        end
    end
end
for i=1:1:n2
    for j=1:1:m2
        if ((i>1&&i<n2)&&(j>1&&j<m2))
            error12(i,j) = error2(i,j);
            nn2=nn2+1;
        else
            error12(i,j) = 0;
        end
    end
end
for i=1:1:n3
    for j=1:1:m3
        if ((i>1&&i<n3)&&(j>1&&j<m3))
            error13(i,j) = error3(i,j);
            nn3=nn3+1;
        else
            error13(i,j) = 0;
        end
    end
end
for i=1:1:n4
    for j=1:1:m4
        if ((i>1&&i<n4)&&(j>1&&j<m4))
            error14(i,j) = error4(i,j);
            nn4=nn4+1;
        else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                error14(i,j) = 0;
            end
        end
end
for i=1:1:n5
    for j=1:1:m5
                error15(i,j) = error5(i,j);
                nn5=nn5+1;
    end
end
for i=1:1:length(C1)
    for j=1:1:length(C1)
        if Vx(i,j) ~= 0 && Vxn(i,j) ~= 0 && Vxnn(i,j) ~= 0 &&
Vxnn2(i,j) ~= 0 && Vxnn3(i,j) ~= 0 && Vxnn4(i,j) ~= 0
                A1 = atan(Vy(i,j)./Vx(i,j));
                A2 = atan(Vyn(i,j)./Vxn(i,j));
                A3 = atan(Vynn(i,j)./Vxnn(i,j));
                A4 = atan(Vynn2(i,j)./Vxnn2(i,j));
                A5 = atan(Vynn3(i,j)./Vxnn3(i,j));
                A6 = atan(Vynn4(i,j)./Vxnn4(i,j));
                error21(i,j) = (cos(A1-A2));
                error22(i,j) = (cos(A1-A3));
                error23(i,j) = (cos(A1-A4));
                error24(i,j) = (cos(A1-A5));
                error25(i,j) = (cos(A1-A6));
        end
    end
end
MSE_noise = sqrt((sum(error11(:)))/nn1)
MCE_noise = sum(error21(:))/numel(error21)
MSE_2DH = sqrt((sum(error12(:)))/nn2)
MCE_2DH = sum(error22(:))/numel(error22)
MSE_MED_2DH = sqrt((sum(error13(:)))/nn3)
MCE_MED_2DH = sum(error23(:))/numel(error23)
MSE_ATM_2DH = sqrt((sum(error14(:)))/nn4)
MCE_ATM_2DH = sum(error24(:))/numel(error24)
MSE_GA_MED_2DH = sqrt((sum(error15(:)))/nn5)
MCE_GA_MED_2DH = sum(error25(:))/numel(error25)
%% plot graph
%% Synthetic-1
figure(1)
quiver(x,y,Vx,Vy,3);
%% add noise
figure(2)
quiver(x,y,Vxn,Vyn,3);
%% 2DH
figure(3)
quiver(x,y,Vxnn,Vynn,3);
%% MED-2DH
figure(4)
quiver(x,y,Vxnn2,Vynn2,3);
%% ATM-2DH
figure(5)
quiver(x,y,Vxnn3,Vynn3,3);
%% GA-MED-2DH
figure(6)
quiver(x,y,Vxnn4,Vynn4,3);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%% the first vector field entitled-"Synthetic-2 add Gaussian noise"
clc; clear all;
%% parameter of equation (18)
x = -3:.1:3;
y = -3:.1:3;
xlabel = 1:1:length(x);
ylabel = 1:1:length(y);
variance = 1.00;
mean = 0;
[xx,yy] = meshgrid(x,y);
%% solution for calculate optical flow
Z = (3.*((1-xx).^2).*exp(-xx.^2-(yy+1).^2))-(10.*(xx./5-xx.^3-
yy.^5)...
     .*exp(-xx.^2-yy.^2))-((1/3).*(exp(-(xx+1).^2-yy.^2)));
%% Add gaussian noise to solution
Znoise =(sqrt(variance)*randn(size(Z)) + mean);
Zn = Z+Znoise;
%% calculate vector of optical flow
[Vx, Vy] = gradient(Z,.1,.1);
[Vxn, Vyn] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn, Vynn] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn2, Vynn2] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn3, Vynn3] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn4, Vynn4] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn5, Vynn5] = gradient(Zn,.1,.1);
gx = gradient(Vxnn,.1);
gy = gradient(Vynn,.1);
[gxx, gxy] = gradient(gx,.1,.1);
[gyx, gyy] = gradient(gy,.1,.1);
w = [-1.2660    0.2817    2.5820    1.0593    1.6191    1.0897
0.9829    2.0320];
%% smoooting optical flow
for n = 1:1:1
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                A=[Vxnn(i,j+1);Vxnn(i+1,j);Vxnn(i+1,j+1);Vxnn(i+1,j-
1);Vxnn(i,j-1);Vxnn(i-1,j-1);Vxnn(i-1,j);Vxnn(i-1,j+1)];
                B=[Vynn(i,j+1);Vynn(i+1,j);Vynn(i+1,j+1);Vynn(i+1,j-
1);Vynn(i,j-1);Vynn(i-1,j-1);Vynn(i-1,j);Vynn(i-1,j+1)];
                A = sort(A);
                B = sort(B);
                C = median(A);
                D = median(B);
                Vxnn2(i,j) = C;
                Vynn2(i,j) = D;
                Vxnn3(i,j) =
((A(3,1)/1000)+A(4,1)+A(5,1)+(A(6,1)/1000)+C)/3;
                Vynn3(i,j) =
((B(3,1)/1000)+B(4,1)+B(5,1)+(B(6,1)/1000)+D)/5;
            end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
             if (i==1)
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i+1,j);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i+1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i+1,j);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            elseif (j==1)
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j+1);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j+1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i-1,j);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i-1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j-1);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j-1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j-1);
             end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            H2D = [gxx(i,j) gxy(i,j);gyx(i,j) gyy(i,j)];
            MH2D = pinv(H2D);
            if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                N2D1 = [xx(i,j+1)-xx(i,j);yy(i,j+1)-yy(i,j)];
                N2D2 = [xx(i+1,j)-xx(i,j);yy(i+1,j)-yy(i,j)];
                N2D3 = [xx(i+1,j+1)-xx(i,j);yy(i+1,j+1)-yy(i,j)];
                N2D4 = [xx(i+1,j-1)-xx(i,j);yy(i+1,j-1)-yy(i,j)];
                N2D5 = [xx(i,j-1)-xx(i,j);yy(i,j-1)-yy(i,j)];
                N2D6 = [xx(i-1,j-1)-xx(i,j);yy(i-1,j-1)-yy(i,j)];
                N2D7 = [xx(i-1,j)-xx(i,j);yy(i-1,j)-yy(i,j)];
                N2D8 = [xx(i-1,j+1)-xx(i,j);yy(i-1,j+1)-yy(i,j)];
                V1 = -N2D1'*MH2D*N2D1;
                V2 = -N2D2'*MH2D*N2D2;
                V3 = -N2D3'*MH2D*N2D3;
                V4 = -N2D4'*MH2D*N2D4;
                V5 = -N2D5'*MH2D*N2D5;
                V6 = -N2D6'*MH2D*N2D6;
                V7 = -N2D7'*MH2D*N2D7;
                V8 = -N2D8'*MH2D*N2D8;
                Vxnn(i,j) =
((Vxnn(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vxnn(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vxnn(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vxnn(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                Vynn(i,j) =
((Vynn(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vynn(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn(i+1,j-1)*exp(V4))...
                +(Vynn(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn(i-1,j-1)*exp(V6))...
                +(Vynn(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));

                Vxnn2(i,j) =
((Vxnn2(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn2(i+1,j)*exp(V2))...
                +(Vxnn2(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn2(i+1,j-1)*exp(V4))...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    +(Vxnn2(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn2(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vxnn2(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn2(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                    Vynn2(i,j) =
((Vynn2(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn2(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vynn2(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn2(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vynn2(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn2(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vynn2(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn2(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));

                    Vxnn3(i,j) =
((Vxnn3(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn3(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vxnn3(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn3(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vxnn3(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn3(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vxnn3(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn3(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                    Vynn3(i,j) =
((Vynn3(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn3(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vynn3(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn3(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vynn3(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn3(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vynn3(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn3(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));


            end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if (i==1)
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i+1,j);
                Vynn(i,j) = Vynn(i+1,j);

                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i+1,j);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i+1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i+1,j);
            elseif (j==1)
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i,j+1);
                Vynn(i,j) = Vynn(i,j+1);

                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j+1);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j+1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i-1,j);
                Vynn(i,j) = Vynn(i-1,j);

                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i-1,j);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i-1,j);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn(i,j) = Vxnn(i,j-1);
                Vynn(i,j) = Vynn(i,j-1);

                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j-1);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j-1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j-1);
             end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                Vxnn4(i,j) =
(((Vxnn2(i,j+1)*exp(V1)*w(1))+(Vxnn2(i+1,j)*exp(V2)*w(2))...
                +(Vxnn2(i+1,j+1)*exp(V3)*w(3))+(Vxnn2(i+1,j-
1)*exp(V4)*w(4))...
                +(Vxnn2(i,j-1)*exp(V5)*w(5))+(Vxnn2(i-1,j-
1)*exp(V6)*w(6))...
                +(Vxnn2(i-1,j)*exp(V7)*w(7))+(Vxnn2(i-
1,j+1)*exp(V8)*w(8)))...

/((exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8))))
;


                Vynn4(i,j) =
(((Vynn2(i,j+1)*exp(V1)*w(1))+(Vynn2(i+1,j)*exp(V2)*w(2))...
                +(Vynn2(i+1,j+1)*exp(V3)*w(3))+(Vynn2(i+1,j-
1)*exp(V4)*w(4))...
                +(Vynn2(i,j-1)*exp(V5)*w(5))+(Vynn2(i-1,j-
1)*exp(V6)*w(6))...
                +(Vynn2(i-1,j)*exp(V7)*w(7))+(Vynn2(i-
1,j+1)*exp(V8)*w(8)))...

/((exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8))))
;
            end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
             if (i==1)
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i+1,j);
            elseif (j==1)
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i,j-1);
             end
        end
    end
end
%% calculate error
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
C1 = complex(Vx,Vy);
error1 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxn ;Vyn]))*(abs([Vx Vy]-[Vxn Vyn]));
error2 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn ;Vynn]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn Vynn]));
error3 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn2 ;Vynn2]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn2 Vynn2]));
error4 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn3 ;Vynn3]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn3 Vynn3]));
error5 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn4 ;Vynn4]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn4 Vynn4]));
[n1 m1]=size(error1);
[n2 m2]=size(error2);
[n3 m3]=size(error3);
[n4 m4]=size(error4);
[n5 m5]=size(error5);
nn1=0;
nn2=0;
nn3=0;
nn4=0;
nn5=0;
for i=1:1:n1
    for j=1:1:m1
            error11(i,j) = error1(i,j);
            nn1=nn1+1;
    end
end
for i=1:1:n2
    for j=1:1:m2
            error12(i,j) = error2(i,j);
            nn2=nn2+1;
    end
end
for i=1:1:n3
    for j=1:1:m3
            error13(i,j) = error3(i,j);
            nn3=nn3+1;
    end
end
for i=1:1:n4
    for j=1:1:m4
            error14(i,j) = error4(i,j);
            nn4=nn4+1;
    end
end
for i=1:1:n5
    for j=1:1:m5
            error15(i,j) = error5(i,j);
            nn5=nn5+1;
    end
end
for i=1:1:length(C1)
    for j=1:1:length(C1)
        if Vx(i,j) ~= 0 && Vxn(i,j) ~= 0 && Vxnn(i,j) ~= 0 &&
Vxnn2(i,j) ~= 0 && Vxnn3(i,j) ~= 0 && Vxnn4(i,j) ~= 0
            A1 = atan(Vy(i,j)./Vx(i,j));
            A2 = atan(Vyn(i,j)./Vxn(i,j));
            A3 = atan(Vynn(i,j)./Vxnn(i,j));
            A4 = atan(Vynn2(i,j)./Vxnn2(i,j));
            A5 = atan(Vynn3(i,j)./Vxnn3(i,j));
            A6 = atan(Vynn4(i,j)./Vxnn4(i,j));
            error21(i,j) = (cos(A1-A2));
            error22(i,j) = (cos(A1-A3));
            error23(i,j) = (cos(A1-A4));
            error24(i,j) = (cos(A1-A5));
            error25(i,j) = (cos(A1-A6));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        end
    end
end
MSE_noise = sqrt((sum(error11(:)))/nn1)
MCE_noise = sum(error21(:))/numel(error21)
MSE_2DH = sqrt((sum(error12(:)))/nn2)
MCE_2DH = sum(error22(:))/numel(error22)
MSE_MED_2DH = sqrt((sum(error13(:)))/nn3)
MCE_MED_2DH = sum(error23(:))/numel(error23)
MSE_ATM_2DH = sqrt((sum(error14(:)))/nn4)
MCE_ATM_2DH = sum(error24(:))/numel(error24)
MSE_GA_MED_2DH = sqrt((sum(error15(:)))/nn5)
MCE_GA_MED_2DH = sum(error25(:))/numel(error25)
%% plot graph
%% Synthetic-1
figure(1)
quiver(x,y,Vx,Vy,3);
%% add noise
figure(2)
quiver(x,y,Vxn,Vyn,3);
%% 2DH
figure(3)
quiver(x,y,Vxnn,Vynn,3);
%% MED-2DH
figure(4)
quiver(x,y,Vxnn2,Vynn2,3);
%% ATM-2DH
figure(5)
quiver(x,y,Vxnn3,Vynn3,3);
%% GA-MED-2DH
figure(6)
quiver(x,y,Vxnn4,Vynn4,3);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

%% the first vector field entitled-"Synthetic-2 add Poisson noise"
clc; clear all;
%% parameter of equation (18)
x = -3:.1:3;
y = -3:.1:3;
xlabel = 1:1:length(x);
ylabel = 1:1:length(y);
lambda = 0.1;
mean = 0;
[xx,yy] = meshgrid(x,y);
%% solution for calculate optical flow
Z = (3.*((1-xx).^2).*exp(-xx.^2-(yy+1).^2))-(10.*(xx./5-xx.^3-
yy.^5)...
     .*exp(-xx.^2-yy.^2))-((1/3).*(exp(-(xx+1).^2-yy.^2)));
%% Add poisson noise to solution
Znoise =poissrnd(lambda,size(Z));
Zn = Z+Znoise;
%% calculate vector of optical flow
[Vx, Vy] = gradient(Z,.1,.1);
[Vxn, Vyn] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn, Vynn] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn2, Vynn2] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn3, Vynn3] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn4, Vynn4] = gradient(Zn,.1,.1);
[Vxnn5, Vynn5] = gradient(Zn,.1,.1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
gx = gradient(Vxnn,.1);
gy = gradient(Vynn,.1);
[gxx, gxy] = gradient(gx,.1,.1);
[gyx, gyy] = gradient(gy,.1,.1);
w = [1.9955    2.4544    0.3536    -0.6858    2.3967    1.6247    -
0.5598    0.9762];
%% smoooting optical flow
for n = 1:1:1
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                A=[Vxnn(i,j+1);Vxnn(i+1,j);Vxnn(i+1,j+1);Vxnn(i+1,j-
1);Vxnn(i,j-1);Vxnn(i-1,j-1);Vxnn(i-1,j);Vxnn(i-1,j+1)];
                B=[Vynn(i,j+1);Vynn(i+1,j);Vynn(i+1,j+1);Vynn(i+1,j-
1);Vynn(i,j-1);Vynn(i-1,j-1);Vynn(i-1,j);Vynn(i-1,j+1)];
                A = sort(A);
                B = sort(B);
                C = median(A);
                D = median(B);
                Vxnn2(i,j) = C;
                Vynn2(i,j) = D;
                Vxnn3(i,j) =
((A(3,1)/1000)+A(4,1)+A(5,1)+(A(6,1)/1000)+C)/3;
                Vynn3(i,j) =
((B(3,1)/1000)+B(4,1)+B(5,1)+(B(6,1)/1000)+D)/3;
            end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if (i==1)
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i+1,j);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i+1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i+1,j);
            elseif (j==1)
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j+1);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j+1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i-1,j);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i-1,j);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j-1);

                Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j-1);
                Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j-1);
             end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            H2D = [gxx(i,j) gxy(i,j);gyx(i,j) gyy(i,j)];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MH2D = pinv(H2D);
                if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                    N2D1 = [xx(i,j+1)-xx(i,j);yy(i,j+1)-yy(i,j)];
                    N2D2 = [xx(i+1,j)-xx(i,j);yy(i+1,j)-yy(i,j)];
                    N2D3 = [xx(i+1,j+1)-xx(i,j);yy(i+1,j+1)-yy(i,j)];
                    N2D4 = [xx(i+1,j-1)-xx(i,j);yy(i+1,j-1)-yy(i,j)];
                    N2D5 = [xx(i,j-1)-xx(i,j);yy(i,j-1)-yy(i,j)];
                    N2D6 = [xx(i-1,j-1)-xx(i,j);yy(i-1,j-1)-yy(i,j)];
                    N2D7 = [xx(i-1,j)-xx(i,j);yy(i-1,j)-yy(i,j)];
                    N2D8 = [xx(i-1,j+1)-xx(i,j);yy(i-1,j+1)-yy(i,j)];
                    V1 = -N2D1'*MH2D*N2D1;
                    V2 = -N2D2'*MH2D*N2D2;
                    V3 = -N2D3'*MH2D*N2D3;
                    V4 = -N2D4'*MH2D*N2D4;
                    V5 = -N2D5'*MH2D*N2D5;
                    V6 = -N2D6'*MH2D*N2D6;
                    V7 = -N2D7'*MH2D*N2D7;
                    V8 = -N2D8'*MH2D*N2D8;
                    Vxnn(i,j) =
((Vxnn(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vxnn(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vxnn(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vxnn(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                    Vynn(i,j) =
((Vynn(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vynn(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vynn(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vynn(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));

                    Vxnn2(i,j) =
((Vxnn2(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn2(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vxnn2(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn2(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vxnn2(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn2(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vxnn2(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn2(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                    Vynn2(i,j) =
((Vynn2(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn2(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vynn2(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn2(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vynn2(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn2(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vynn2(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn2(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));

                    Vxnn3(i,j) =
((Vxnn3(i,j+1)*exp(V1))+(Vxnn3(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vxnn3(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vxnn3(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vxnn3(i,j-1)*exp(V5))+(Vxnn3(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vxnn3(i-1,j)*exp(V7))+(Vxnn3(i-1,j+1)*exp(V8)))...

/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                    Vynn3(i,j) =
((Vynn3(i,j+1)*exp(V1))+(Vynn3(i+1,j)*exp(V2))...
                    +(Vynn3(i+1,j+1)*exp(V3))+(Vynn3(i+1,j-1)*exp(V4))...
                    +(Vynn3(i,j-1)*exp(V5))+(Vynn3(i-1,j-1)*exp(V6))...
                    +(Vynn3(i-1,j)*exp(V7))+(Vynn3(i-1,j+1)*exp(V8)))...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/(exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8));
                end
            end
        end
        for j=1:1:length(y);
            for i=1:1:length(x);
                 if (i==1)
                    Vxnn(i,j) = Vxnn(i+1,j);
                    Vynn(i,j) = Vynn(i+1,j);

                    Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                    Vynn2(i,j) = Vynn2(i+1,j);

                    Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i+1,j);
                    Vynn3(i,j) = Vynn3(i+1,j);
                elseif (j==1)
                    Vxnn(i,j) = Vxnn(i,j+1);
                    Vynn(i,j) = Vynn(i,j+1);

                    Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                    Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j+1);

                    Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j+1);
                    Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j+1);
                elseif (i==length(x))
                    Vxnn(i,j) = Vxnn(i-1,j);
                    Vynn(i,j) = Vynn(i-1,j);

                    Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                    Vynn2(i,j) = Vynn2(i-1,j);

                    Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i-1,j);
                    Vynn3(i,j) = Vynn3(i-1,j);
                elseif (j==length(y))
                    Vxnn(i,j) = Vxnn(i,j-1);
                    Vynn(i,j) = Vynn(i,j-1);

                    Vxnn2(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                    Vynn2(i,j) = Vynn2(i,j-1);

                    Vxnn3(i,j) = Vxnn3(i,j-1);
                    Vynn3(i,j) = Vynn3(i,j-1);
                end
            end
        end
        for j=1:1:length(y);
            for i=1:1:length(x);
                if ((i>1&&i<length(x))&&(j>1&&j<length(y)))
                    Vxnn4(i,j) =
(((Vxnn2(i,j+1)*exp(V1)*w(1))+(Vxnn2(i+1,j)*exp(V2)*w(2))...
                    +(Vxnn2(i+1,j+1)*exp(V3)*w(3))+(Vxnn2(i+1,j-
1)*exp(V4)*w(4))...
                    +(Vxnn2(i,j-1)*exp(V5)*w(5))+(Vxnn2(i-1,j-
1)*exp(V6)*w(6))...
                    +(Vxnn2(i-1,j)*exp(V7)*w(7))+(Vxnn2(i-
1,j+1)*exp(V8)*w(8)))...

/((exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8)))
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                Vynn4(i,j) =
(((Vynn2(i,j+1)*exp(V1)*w(1))+(Vynn2(i+1,j)*exp(V2)*w(2))...
                +(Vynn2(i+1,j+1)*exp(V3)*w(3))+(Vynn2(i+1,j-
1)*exp(V4)*w(4))...
                +(Vynn2(i,j-1)*exp(V5)*w(5))+(Vynn2(i-1,j-
1)*exp(V6)*w(6))...
                +(Vynn2(i-1,j)*exp(V7)*w(7))+(Vynn2(i-
1,j+1)*exp(V8)*w(8)))...

/((exp(V1)+exp(V2)+exp(V3)+exp(V4)+exp(V5)+exp(V6)+exp(V7)+exp(V8))))
;
            end
        end
    end
    for j=1:1:length(y);
        for i=1:1:length(x);
            if (i==1)
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i+1,j);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i+1,j);
            elseif (j==1)
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i,j+1);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i,j+1);
            elseif (i==length(x))
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i-1,j);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i-1,j);
            elseif (j==length(y))
                Vxnn4(i,j) = Vxnn2(i,j-1);
                Vynn4(i,j) = Vynn2(i,j-1);
            end
        end
    end
end
%% calculate error
C1 = complex(Vx,Vy);
error1 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxn ;Vyn]))*(abs([Vx Vy]-[Vxn Vyn]));
error2 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn ;Vynn]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn Vynn]));
error3 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn2 ;Vynn2]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn2 Vynn2]));
error4 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn3 ;Vynn3]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn3 Vynn3]));
error5 = (abs([Vx ;Vy]-[Vxnn4 ;Vynn4]))*(abs([Vx Vy]-[Vxnn4 Vynn4]));
[n1 m1]=size(error1);
[n2 m2]=size(error2);
[n3 m3]=size(error3);
[n4 m4]=size(error4);
[n5 m5]=size(error5);
nn1=0;
nn2=0;
nn3=0;
nn4=0;
nn5=0;
for i=1:1:n1
    for j=1:1:m1
            error11(i,j) = error1(i,j);
            nn1=nn1+1;
    end
end
for i=1:1:n2
    for j=1:1:m2
            error12(i,j) = error2(i,j);
            nn2=nn2+1;
    end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end
for i=1:1:n3
    for j=1:1:m3
            error13(i,j) = error3(i,j);
            nn3=nn3+1;
    end
end
for i=1:1:n4
    for j=1:1:m4
            error14(i,j) = error4(i,j);
            nn4=nn4+1;
    end
end
for i=1:1:n5
    for j=1:1:m5
            error15(i,j) = error5(i,j);
            nn5=nn5+1;
    end
end
for i=1:1:length(C1)
    for j=1:1:length(C1)
        if Vx(i,j) ~= 0 && Vxn(i,j) ~= 0 && Vxnn(i,j) ~= 0 &&
Vxnn2(i,j) ~= 0 && Vxnn3(i,j) ~= 0 && Vxnn4(i,j) ~= 0
            A1 = atan(Vy(i,j)./Vx(i,j));
            A2 = atan(Vyn(i,j)./Vxn(i,j));
            A3 = atan(Vynn(i,j)./Vxnn(i,j));
            A4 = atan(Vynn2(i,j)./Vxnn2(i,j));
            A5 = atan(Vynn3(i,j)./Vxnn3(i,j));
            A6 = atan(Vynn4(i,j)./Vxnn4(i,j));
            error21(i,j) = (cos(A1-A2));
            error22(i,j) = (cos(A1-A3));
            error23(i,j) = (cos(A1-A4));
            error24(i,j) = (cos(A1-A5));
            error25(i,j) = (cos(A1-A6));
        end
    end
end
MSE_noise = sqrt((sum(error11(:)))/nn1)
MCE_noise = sum(error21(:))/numel(error21)
MSE_2DH = sqrt((sum(error12(:)))/nn2)
MCE_2DH = sum(error22(:))/numel(error22)
MSE_MED_2DH = sqrt((sum(error13(:)))/nn3)
MCE_MED_2DH = sum(error23(:))/numel(error23)
MSE_ATM_2DH = sqrt((sum(error14(:)))/nn4)
MCE_ATM_2DH = sum(error24(:))/numel(error24)
MSE_GA_MED_2DH = sqrt((sum(error15(:)))/nn5)
MCE_GA_MED_2DH = sum(error25(:))/numel(error25)
%% plot graph
%% Synthetic-1
figure(1)
quiver(x,y,Vx,Vy,3);
%% add noise
figure(2)
quiver(x,y,Vxn,Vyn,3);
%% 2DH
figure(3)
quiver(x,y,Vxnn,Vynn,3);
%% MED-2DH
figure(4)
quiver(x,y,Vxnn2,Vynn2,3);
%% ATM-2DH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
figure(5)
quiver(x,y,Vxnn3,Vynn3,3);
%% GA-MED-2DH
figure(6)
quiver(x,y,Vxnn4,Vynn4,3);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%%%
```
function ww = ga_opticalflow()
nVar = 8;
lb = -5*ones(1,nVar);
ub = 5*ones(1,nVar);
options = gaoptimset('PlotFcns',@gaplotbestf,...
                     'FitnessScalingFcn',@fitscalingrank,...
                     'SelectionFcn',@selectionstochunif,...
                     'CrossoverFcn',@crossoversinglepoint,...
                     'PopulationSize',80,...
                     'Generations',1000,...
                     'StallGenLimit',1000,...
                     'CrossoverFraction',0.8,...
                     'EliteCount',5);
%                      'MutationFcn',@mutationadaptfeasible);
%                      'SelectionFcn',@selectionstochunif,...
%                      'FitnessScalingFcn',@fitscalingprop,...
%                      'CrossoverFcn', @crossoverarithmetic,...
% [alpha fval flag] = ga(@fun2,
nVar2,[],[],[],[],lb2,ub2,[],[],options);
% fun1 = fun(alpha,w);
tic;
[ww fval flag] = ga(@fun_V2, nVar,[],[],[],[],lb,ub,[],[],options);
toc
```
%%%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

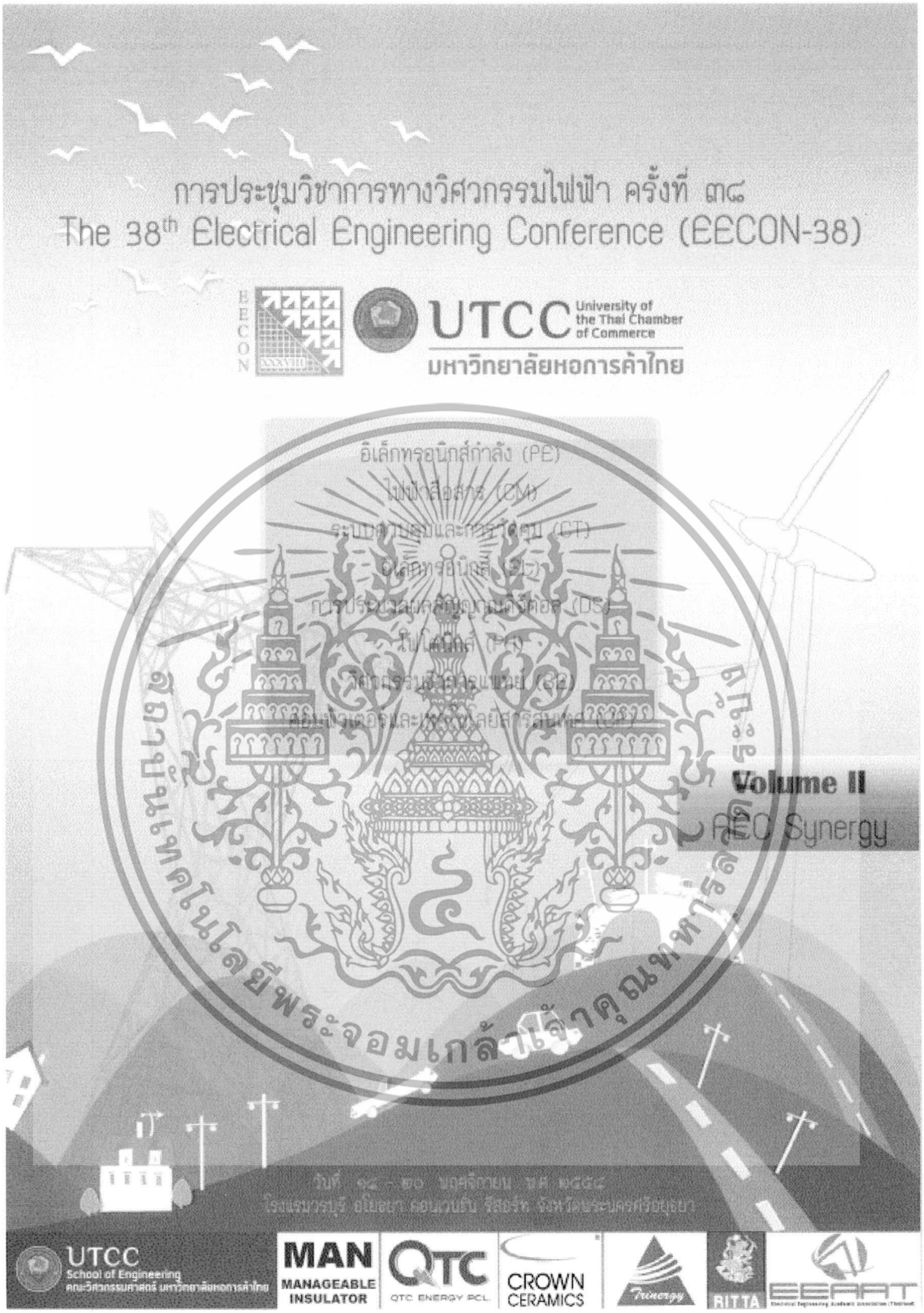
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. พิจิตร คชชา และ ดร.อนรรฆพล แสนทน, “การพัฒนาตัวกรองสัญญาณรบกวนสำหรับเทคนิคการไหลของแสงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON-38), 18-20 พฤศจิกายน 2558, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, หน้า 729-732.

2. Pijit Kochcha and Anakkapon Saenthon, “Smoothing of Optical Flow using Genetic Algorithm”, International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) 2017, Phuket Thailand, 11 – 14 January, 2017, pp. 11-14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาตัวกรองสัญญาณรบกวนสำหรับเทคนิคการไหลของแสงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
Development of Noise Filtering for Optical Flow Techniques by Using Genetic Algorithm

พิจิตร คชชา และ ดร.อนรรฆพล แสนทน

ภาควิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล คณะวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง pkochcha@gmail.com

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีมากมายในปัจจุบันได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรวิทัศน์อัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีและกระบวนการที่ใช้พื้นฐานจากภาพถ่ายในงานการตรวจสอบอัตโนมัติและการวิเคราะห์สำหรับงานต่างๆ ดังเช่น การตรวจสอบโดยอัตโนมัติ การควบคุมคุณภาพ และคำแนะนำหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมซึ่งจะช่วยลดอัตราความผิดพลาดที่เกิดโดยผู้ปฏิบัติงาน การตรวจสอบแบบต่อเนื่องเป็นกุญแจสำคัญที่ช่วยเพิ่มอัตราการผลิตในหนึ่งชั่วโมงและช่วยลดต้นทุนการผลิต เทคนิคการไหลของแสง (Optical flow) ถูกใช้เพื่อคำนวณการเคลื่อนที่ของพิกเซลของวัตถุในรูปแบบเวกเตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจพัฒนาตัวกรองสัญญารบกวนสำหรับการไหลของแสงร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมซึ่งจะศึกษาบนพื้นฐานของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่ระดับความแปรปรวนค่าต่างๆ ผลลัพธ์ประสิทธิภาพจะเปรียบเทียบกับเทคนิคเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ซึ่งเทคนิกที่นำเสนอจะแสดงผลลัพธ์ประสิทธิภาพที่ดีมากว่า 80 % และประสิทธิภาพสูงสุดที่ 83 %

คำสำคัญ: การไหลของแสง เฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ขั้นตอนเชิงพันธุกรรม สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

Abstract

The currently the technology and applications is applied by many manufacturing process to improve efficiency and product quality. Automatic machine vision is the technology and methods used to provide imaging-based automatic inspection and analysis for such applications as automatic inspection, quality control, and robot guidance in industry, which reduces the error rate cause by operator. Continuous monitoring is the key to increase units per hour (UPH) and reduce production costs. Optical flow is a technique used to compute the motion of the pixels of objects in the vector format. Noise is a major factor affecting the accuracy of the analysis of the direction of the vector. Therefore, this paper interests to develop the noise filtering for. optical flow with genetic algorithm which based on Gaussian noise at different level. The efficacy results compared with to 2-D Hessian technique that proposed technique will show better performance at 80% and best efficiency up to 83%.

Keywords: Optical flow, 2-D Hessian kernel, Genetic algorithm, Gaussian noise

DS04

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบวิทัศน์อัตโนมัติได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ช่วยเพิ่มศักยภาพในขั้นตอนการผลิตของบริษัท ดังเช่นระบบการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นระบบที่ช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจสอบของมนุษย์ การไหลของแสง เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ภายในภาพได้ ซึ่งการสร้างการไหลของแสง จะใช้การวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงภายในภาพแต่ละลำดับภาพ (image sequence) โดยที่การไหลของแสงจะประกอบไปด้วยขนาดและทิศทางของความเข้มแสงที่เปลี่ยนตำแหน่งไป การตรวจจับวัตถุโดยใช้การไหลของแสงจะอาศัยการวิเคราะห์กลุ่มของความเข้มแสงของวัตถุภายในภาพซึ่งความเข้มของวัตถุที่เปลี่ยนตำแหน่ง จะคงความเข้มแสงเท่าเดิม และจะให้ผลของการไหลของแสงของกลุ่มแสงของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งไป เปลี่ยนทิศทางและขนาดที่ใกล้เคียงกัน

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่างๆ จำนวนมากนำเสนอกระบวนการไหลของแสง สำหรับประยุกต์ใช้กับระบบวิทัศน์อัตโนมัติในการช่วยแยกวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ภายในลำดับภาพ อาทิเช่นนักวิจัย Horn & Schunck ใช้วิธีการสร้างการไหลของแสงโดยแก้ปัญหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งเป็นหลักในการประมาณค่าความสว่าง โดยอาศัยหลักการของความคงที่ของความเข้มแสงจากวัตถุภายในภาพที่เปลี่ยนแปลงไป รวมเงื่อนไขของความลาดชัน (gradient) เพื่อพิจารณาหาค่าน้อยที่สุดของการประมาณความเร็วซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการหาค่าการไหลของแสง [1] จากนั้น Lucas & Kanade ได้นำเสนอวิธีการในการหาค่าน้ำหนักเหมาะสมของค่ากำลังสองน้อยที่สุดของเงื่อนไขเฉพาะถิ่นอันดับหนึ่ง (local first-order) [2] การหาค่าการไหลของแสงด้วยวิธีการนี้บ่อยครั้งที่ได้การไหลของแสงที่ไม่ราบเรียบ และการตรวจจับวัตถุยังมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาดเคลื่อน [3] อัลกอรึทึมจะมีข้อผิดพลาดอันเนื่องจากในเวลาที่ค่าความส่องสว่างวัตถุและบริเวณในภาพมีการเปลี่ยนแปลง อาจเกิดจากขั้นตอนวิธีการหาค่าการไหลของแสงมีความผิดพลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งความไม่แน่นอนของกรอบลำดับรูปภาพที่มาใช้ประมาณค่าการไหลของแสง ดังนั้นการกำหนดกรอบที่ชัดเจนไว้สำหรับหาค่าการไหลของแสงจึงมีความจำเป็น [4-5] วิธีการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน เช่น การคัดแยกวัตถุภายในภาพ การติดตามวัตถุในลำดับภาพ [6] ทำให้ได้การไหลของแสงที่ราบเรียบ (smooth optical flows) แต่ก็ยังเป็นแบบการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของวัตถุ เนื่องจากการหาค่าการไหลของแสงจากลำดับรูปภาพบ่อยครั้งพบว่ามีสัญญาณรบกวนภายในภาพ จึงได้มีผู้นำเสนอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) มาใช้หาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมในสมการของ Lucas & Kanade [7] การใช้ตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบแยกหลายๆขั้น เพื่อให้ได้การไหลของแสงที่ราบเรียบและประมวลผลอย่างรวดเร็ว [8] การใช้ตัวกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อให้ได้การประมาณค่าการไหลของแสงที่มีคุณภาพดีขึ้น [9] ซึ่งวิธีการข้างต้นค่อนข้างซับซ้อน จะเห็นได้ว่ากระบวนการคัดแยกด้วยการไหลของแสงจำเป็นต้องมีกระบวนการกรองสิ่งรบกวนออกจากลำดับภาพ เพื่อช่วยให้การคัดแยกมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ในบทความนี้นำเสนอตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ซึ่งเป็นการนำสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) อันดับสองมาใช้ในสมการของ Lucas & Kanade เป็นสมการหลักทำให้ได้การไหลของแสงที่ราบเรียบและมีประสิทธิภาพ แต่ก็ยังพบว่าวิธีการนี้ยังใช้ไม่ได้กับทุกกรณีหรือบางกรณียังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง [10] ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการนี้รวมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมมาช่วยหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมยิ่งขึ้นในการกรองสิ่งรบกวนในลำดับภาพ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการคัดแยกด้วยการไหลของแสง ไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมในด้านระบบวิทัศน์อัตโนมัติ การตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นไป ในบทความได้จำลองการไหลของแสงด้วยสมการเวกเตอร์และใส่สิ่งรบกวนในปริมาณค่าต่างๆกันเข้าไป ทำให้เวกเตอร์การไหลของแสงไม่ราบเรียบ จากนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอการใช้ตัวกรองแบบเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมมาช่วยกรองสิ่งรบกวนก่อให้เกิดเวกเตอร์การไหลของแสงที่ราบเรียบ

2. ทฤษฎี

2.1 การไหลของแสง

การไหลของแสงมีกระบวนการโดยใช้หลักการของความคงที่ของความเข้มแสงจากวัตถุภายในภาพที่เปลี่ยนแปลงไป (brightness constancy constraint) กำหนดให้ I(x,y,t) เป็นค่าความเข้มแสงของภาพแต่ละลำดับภาพ เมื่อฟังก์ชันความเข้มแสง I คือ บริเวณพิกัด x, y ที่เวลา t พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุระหว่าง 2 ภาพ ที่เวลา t และ t+Δt ทุกๆตำแหน่ง เราสามารถใช้อนุกรมเทเลอร์ในการประมาณค่าสัญญาณรูปภาพได้ โดยที่ตำแหน่ง (x,y,t) มีค่าความเข้มแสงเป็น I(x,y,t) ภาพที่สองจะเคลื่อนที่ด้วย Δx, Δy และ Δt เมื่อประมาณว่าเป็นการเคลื่อนที่เพียงช่วงเวลาสั้นๆ และเมื่อไม่พิจารณาพจน์ของอนุพันธ์อันดับสูง จากอนุกรมเทเลอร์สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I(x+\Delta x, y+\Delta y, t+\Delta t) \approx I(x,y,t)+\frac{\partial I}{\partial x}\Delta x+\frac{\partial I}{\partial y}\Delta y+\frac{\partial I}{\partial t}\Delta t \tag{1}$$

เมื่อ V_x, V_y คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วที่ตำแหน่ง x และ y ตามลำดับ หรือคือการไหลของแสงของภาพที่ค่า I(x,y,t) และ $\partial I/\partial x, \partial I/\partial y$ และ $\partial I/\partial t$ คือ อนุพันธ์ของรูปภาพที่ตำแหน่ง (x,y,t) ที่สอดคล้องกับทิศทาง I_x, I_y และ I_t ดังนั้นสามารถเขียนสมการอนุพันธ์ใหม่ได้ดังนี้

$$\nabla I \cdot \vec{V} + I_t = 0 \tag{2}$$

โดยสมการนี้จะนำไปใช้ในการแก้สมการอนุพันธ์เพื่อหาค่าส่วนประกอบเวกเตอร์ความเร็ว V_x, V_y ในลำดับต่อไป

2.2 เฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ

เมตริกซ์เฮซเซียน คือ เมตริกซ์จตุรัสของฟังก์ชันสมการเชิงอนุพันธ์อันดับสอง เมื่อให้ $V=(V_x, V_y)$ เป็นเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ สามารถหาเมตริกซ์เฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ของ V ได้ดังสมการ (3) และ (4)

$$\nabla V = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial V_x}{\partial x} & \dfrac{\partial V_x}{\partial y} \\ \dfrac{\partial V_y}{\partial x} & \dfrac{\partial V_y}{\partial y} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$H_{2D} = \nabla \cdot \nabla V = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} & \dfrac{\partial^2 V_x}{\partial x \partial y} \\ \dfrac{\partial^2 V_y}{\partial y \partial x} & \dfrac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} \end{bmatrix} \tag{4}$$

โดยเมตริกซ์นี้จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของแสง ได้ดังสมการ (5)

$$\hat{V}_{kc}^{\tau+1} = \frac{\sum_{x_i \in N(z_c)} V_{ki}^{\tau} \exp\left[-(x_i-z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i-z_c)\right]}{\sum_{x_i \in N(z_c)} \exp\left[-(x_i-z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i-z_c)\right]} \tag{5}$$

เมื่อ V_{ki}^{τ} คือเวกเตอร์ที่ตำแหน่ง x_i จากตำแหน่งบริเวณใกล้เคียง (neighborhood) $N(z_c)$, H_{2D} คือเมตริกซ์ที่คำนวณจากสมการ (4) และ k เป็นตัวแปรแทนเลขของกรอบ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm – GA) เป็นเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์อย่างหนึ่งที่ใช้ในการค้นหา การเพิ่มประสิทธิภาพ และการเรียนรู้ โดยการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ เพื่อพัฒนาหรือทำการวิวัฒนาการคำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา เนื่องจากคุณสมบัติการเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งจะนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้พิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา ซึ่งมีการใช้ตัวดำเนินการ (Operator) คือการเลือก (Selection) การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นตัวสุ่มในการหาคำตอบในบริเวณของปัญหาซึ่งจะช่วยให้มีความหลากหลายในการหาคำตอบทุกบริเวณของปัญหา

จากสมการ (5) ปรับปรุงโดยเพิ่มพารามิเตอร์ในการค้นหาด้วยเทคนิคขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ได้ดังนี้

$$\hat{V}_{kc}^{\tau+1} = \frac{\sum_{x_i \in N(z_c)} w_i V_{ki}^{\tau} \exp\left[-(x_i - z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i - z_c)\right]}{\sum_{x_i \in N(z_c)} \exp\left[-(x_i - z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i - z_c)\right]} \quad (6)$$

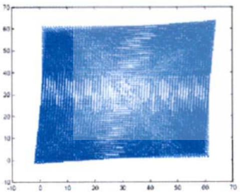
เมื่อ w_i คือพารามิเตอร์ในการค้นหา นำสมการ (6) ไปใช้ในการหาเวกเตอร์การไหลของแสงในลำดับต่อไป

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

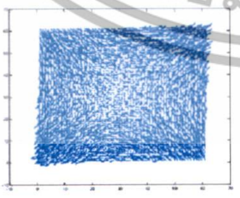
จำลองการไหลของแสงด้วยสมการเวกเตอร์ Synthetic-1 ซึ่งมีโมเดลดังสมการ (7)

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & -s \\ s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D+S & -R \\ R & D-S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x-\mu \\ y-\mu \end{bmatrix} \quad (7)$$

เมื่อ V_x, V_y คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วที่ตำแหน่ง x และ y ตามลำดับ, $c = \cos(\theta)$, $s = \sin(\theta)$, $\theta = 0$, $D = 0.8$ คือ dilation coefficient, $S = 0.05$ คือ shear coefficient, $R = 0.1$ คือ rotation coefficient และ $\mu = 31$ คือ center of the resultant flow ลักษณะของเวกเตอร์ค่อนข้างซับซ้อนแสดงดังรูปที่ 1(ก)



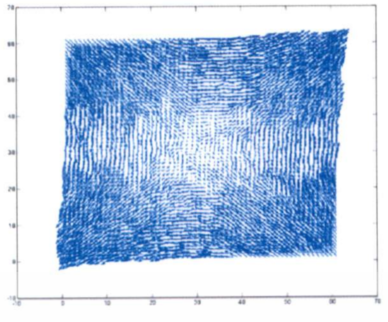
(ก) Synthetic-1



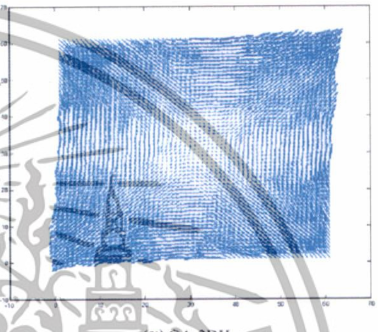
(ข) $\sigma^2 = 100$

รูปที่ 1 Synthetic-1 และหลังเพิ่มสิ่งรบกวนชนิดเกาส์เซียน

จากการจำลองเวกเตอร์ด้วยสมการ (7) โดยเพิ่มสิ่งรบกวนชนิดเกาส์เซียน ที่ค่าความแปรปรวน (σ^2) 9, 16, 25, 64, 100 แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 1(ข) พบว่าเวกเตอร์การไหลของแสงมีลักษณะไม่ราบเรียบ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวกรอง 2DH และ GA-2DH เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนดังรูปที่ 2



(ก) 2DH



(ข) GA-2DH

รูปที่ 2 Synthetic-1 ที่ความแปรปรวนเท่ากับ 100 ที่ผ่านตัวกรองแล้ว

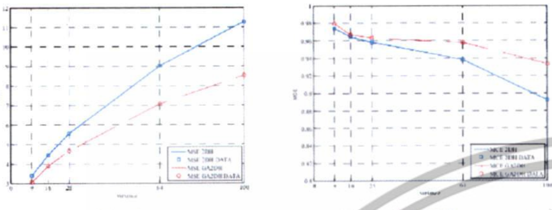
การจำลองเวกเตอร์การไหลของแสง Synthetic-1 ที่เพิ่มสิ่งรบกวนประเภทเกาส์เซียน ที่ระดับความแปรปรวนค่าต่างๆดังรูปที่ 1 เวกเตอร์จะมีความแปรปรวนทั้งขนาดและทิศทาง เมื่อค่าความแปรปรวนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลอย่างมากต่อขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการกรองสิ่งรบกวนด้วยวิธีที่นำเสนอดังรูปที่ 2 จึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบทั้งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE) และความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย (mean cosine error, MCE) โดยแนวโน้มของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่ายิ่งน้อยหมายถึงตัวกรองมีประสิทธิภาพดีมาก และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเท่ากับหนึ่งหมายถึงทิศทางของเวกเตอร์ที่ผ่านตัวกรองมีความถูกต้องใกล้เคียงกับเวกเตอร์ต้นฉบับ

จากผลตารางที่ 1 พบว่าการจำลองเวกเตอร์การไหลของแสงที่เพิ่มสิ่งรบกวนชนิดเกาส์เซียน ผลการทดลองพบว่าเทคนิค GA-2DH มีประสิทธภาพการกรองสัญญาณรบกวนดีกว่าเทคนิค 2DH ทุกระดับความแปรปรวนทั้งค่า MSE และ MCE ดังรูปที่ 3(ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยที่ระดับสิ่งรบกวนเกาส์เซียน ความแปรปรวนเท่ากับ 100 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันมากที่สุด คือ เมื่อผ่านตัวกรอง 2DH มีค่า MSE เท่ากับ 11.2570 และ MCE เท่ากับ 0.8922 และเมื่อผ่านตัวกรอง GA-2DH มีค่า MSE เท่ากับ 8.5441 และ MCE เท่ากับ 0.9338 ซึ่งเข้าใกล้ค่าเท่ากับหนึ่งมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

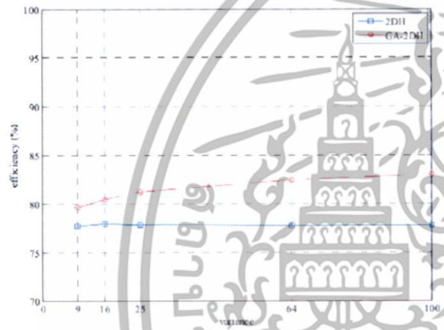
ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลอง

Gaussian noise (σ^2)	ประเภทตัวกรอง			
	2DH		GA-2DH	
	MSE	MCE	MSE	MCE
9	3.3962	0.9742	3.0935	0.9800
16	4.4288	0.9648	3.9124	0.9672
25	5.5570	0.9582	4.6912	0.9636
64	9.0196	0.9383	7.0765	0.9581
100	11.2570	0.8922	8.5441	0.9338



(ก) MSE (ข) MCE

รูปที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนของการกรองสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนของแต่ละตัวกรอง

จากรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาที่ค่าความแปรปรวนตั้งแต่ 9 – 100 จะพบว่าเทคนิคที่นำเสนอจะมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติอย่างชัดเจนที่ค่าความแปรปรวนสูง

4. สรุป

บทความนี้อธิบายการออกแบบและพัฒนาเทคนิคการไหลของแสงโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ที่ผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันซึ่งทำการทดลองเวกเตอร์ที่มีสิ่งรบกวน จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการกรองสัญญาณรบกวนสูงถึง 83% เทคนิคที่นำเสนอมีความสามารถในการกรองสัญญาณรบกวนดีกว่าเทคนิคเฮซเซียนเคอร์เนล 2 มิติ ทุกระดับความแปรปรวนทั้งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และความคลาดเคลื่อนเชิงมุมเฉลี่ย ดังนั้นการนำเทคนิคที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้สำหรับการกรองสัญญาณรบกวนของการไหลของแสงจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจหาตำแหน่งของวัตถุ และส่งผลให้การประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ในการพัฒนาต่อไปในอนาคตคาดหวังว่าจะทดสอบประสิทธิภาพการกรองกับสัญญาณรบกวนชนิดอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท แคล-คอมพ์ อิเล็กโทรนิค (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) , วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้สนับสนุนทุนวิจัยและสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] B. Horn and B. Schunck, "Determining optical flow," Artifical Intelligence, vol. 17, issue 1-3, pp. 185-203, Aug. 1981.

[2] B. Lucas and T. Kanade, "An iterative image registration technique with an application to stereo vision," Proceeding of the 7th International Joint Conference on Artifical Intelligence, vol. 2, pp. 674-679, Aug. 1981.

[3] A. Bainbridge-Smith and R.G. Lane, "Determining optical flow using a differential method," Image and Vision Computing, Vol. 15, issue 1, pp. 11-22, Jan. 1997.

[4] A.G. Bors and I. Pitas, "Optical flow estimation and moving object segmentation based on median radial basis function network," IEEE Trans. Image Process., vol. 7, issue 5, pp. 693-702, May 1998.

[5] A.G. Bors and I. Pitas, "Prediction and tracking of moving objects in image sequences," IEEE Trans. Image Process., vol. 9, issue 8, pp. 1441-1445, Aug. 2000.

[6] S. Roth and M.J. Black, "On the spatial statistics of optical flow," International Journal of Computer Vision, vol. 74, pp. 33-50, Aug. 2007.

[7] M. Tagliasacchi, "A genetic algorithm for optical flow estimation," Image and Vision Computing, vol. 25, issue 2, pp. 141-147, Feb. 2007.

[8] J. Hirai, T. Yamaguchi and H. Harada, "Measurement of optical flow in real-time," IEEE Trans. Autom. Control, pp. 2523-2528, 14-17 Oct. 2008.

[9] M. Heindlmaier, L. Yu and K. Diepold, "The impact of nonlinear filtering and confidence information on optical flow estimation in a Lucas & Kanade framework," IEEE Trans. Image Process., pp. 1593-1596, 7-10 Nov. 2009.

[10] A. Doshi and A.G. Bors, "Smoothing of optical flow using robustified diffusion kernels," Image and Vision Computing, vol. 28, issue 12, pp. 1575-1589, Dec. 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.iceic2017.org

ICEIC 2017

International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) 2017

Jan 11 (Wed) ▶ Jan 14 (Sat), 2017
Hilton Phuket Arcadia Resort & Spa, Phuket, Thailand

Call for Papers

The 16th International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC 2017) is a forum open to all the participants who are willing to broaden professional contacts and to discuss the state-of-the-art technical topics. Especially the participation from Asia-pacific region is encouraged.
The general session of ICEIC 2017 will include more than 300 oral and poster presentations. In addition, the conference will offer special sessions, invited talk, keynote speeches, and tutorials to cover a broader spectrum of topics on electronics, information, and communication technologies.

ICEIC 2017 is soliciting papers in the following areas, but not limited:

- Regular Sessions

Communications
Communication & Information Theories, Communication Networks & Systems, Microwave & Optics, Switching and Routing, Microwave, Antennas and Propa gation, Intelligent Transportation System (ITS), Wireless PAN/BAN, Future Networks

Semiconductor and Devices
Analog/Digital Circuits & Systems, , RF Integrated Circuits, Computer-Aided Design & Modeling, SoC Design & Applications, Semiconductors, Materials and Components, Lightwave and Quantum Electronics, PCB & Packaging, Solar Cell & Semiconductor Devices

Computer and Information
Computer Systems & Applications, Software for Smart Systems, Human Computer Interaction (HCI), Convergence Computing, and Multimedia, Graphics, Ubiquitous System, Information Security, Artificial Intelligence, Neural Networks

Signal Processing
Computer Vision, Digital Signal Processing, Digital Image/Video Processing, Audio, Speech & Acoustic Signal Processing

System and Control
Vehicular Electronics, Instrumentation and Control, Power Electronics & Circuits

Emerging Technologies
Biomedical Electronics and Bioengineering, Bioelectronics, IT Convergence, Renewable Energy, Car & Aviation IT

- Special Sessions

Special session proposals are invited to ICEIC 2017, and inquires regarding your submission should be directed to TPC Chair or Special Session Chairs. The proposal needs to be submitted by July 31, 2016. The proposal template can be found at the conference homepage.

Best Paper Awards

The authors of the best papers will be presented Gold, Silver, and Bronze awards. The selected top quality papers will be recommended to be published on the Journal Semiconductor Technology and Science (JSTS) or a special issue of IEIE Transactions on Smart Processing and Computing.

Paper submission

The prospective authors can submit their papers by selecting regular oral presentation or poster presentation. The regular papers are recommended to be in 2–4 pages and the papers shortended 2-page format, according to the guidelines by the official website (http://www.iceic2017.org). Only the regular papers will be published in IEEE Xplore.

Author's Schedule

- Submission date: September 23, 2016
- Notification of acceptance date: October 28, 2016
- Final paper submission date: November 18, 2016
- General information: inter@theieie.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Smoothing of Optical Flow using Genetic Algorithm

Pijit Kochcha, Anakkapon Saenthon
College of Advanced Manufacturing Innovation
King Mongkul's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
pkochcha@gmail.com

Abstract

This paper presents a new optical flow estimation technique using a genetic algorithm combining with median 2-D Hessian kernels. This technique overcomes the smoothing of optical flow estimation problem. The optical flow technique is used to compute the motion vector of a moving object. Results from the proposed method are compared with the 2DH, MED-2DH and ATM-2DH methods. All methods are used to filter noise to get a smoother vector field. Experimental results show that calculation of the mean square error (MSE) and mean cosine error (MCE) of the smooth optical flow are minimized which indicates a better performance of this technique. The efficiency calculated is about 80% to 85%.

Keywords: Optical flow, 2-D Hessian kernels, Genetic algorithm.

1. Introduction

The automatic system with vision has been adapted in many industrial sectors. The technology can increase the productivity in the manufacturing process. For example, motion detection using vision can be used as a cross check with human operators to reduce errors. Optical flow is one of the methods to check object movement. To detect the motion, the intensity of each image sequence is investigated and compared. The Optical flow consists of both magnitude and direction. Because an object has specific intensity, motion detection can check this optical flow to detect the movement of the object.

For automatic vision system, this technique can detect and identify moving objects. Horn and Schunck use optical flow generation method which requires a regularization methodology [1], Lucas and Kanade present a new image registration technique that makes use of the spatial intensity gradient of the images [2]. Optical flow techniques estimated by various methods are usually not smooth and not accurate. Among those methods, the optical flow estimation is produced outliers because of the local frame correlation uncertainty. Therefore, it is important to define the frame image sequence in optical flow estimation [4-5]. The different methods for detection of the object such as moving object segmentation, tracking in image sequences [6-9] depend on smooth optical flows.

This article describes the operation principle of the optical flow, the 2-D Hessian kernels, the adaptive averaging technique, and the genetic algorithm (GA) in Section 2. Section 3 presents GA-based optical flow estimation algorithm. Section 4 shows experiment results, the mean square error (MSE), mean cosine error (MCE) and efficiency are discussed. The conclusion follows in Section 5.

2. Principle of Operation

2.1 Optical Flow

Given an image sequence intensity $I(x,y,t)$, the optical flow estimation consists of measuring the velocity of the motion vector $V=(V_x,V_y)$ of pixel x, y between time t and $t+\Delta t$. Assuming the brightness constant across successive frames, this velocity, by using a Taylor expansion and neglecting higher order derivatives, can be written as:

$$I(x+dx,y+dy,t+dt) \approx I(x,y,t)+\frac{\partial I}{\partial x}dx+\frac{\partial I}{\partial y}dy+\frac{\partial I}{\partial t}dt \quad (1)$$

Let us consider $\nabla I=(\partial I/\partial x,\partial I/\partial y)$ and $\partial I/\partial t$, which are the first order partial spatial and temporal derivatives, respectively. After dividing Eq. (1) with dt, we can obtain the optical flow equation:

$$\nabla I\cdot\vec{V}+I_t=0 \quad (2).$$

2.2 2-D Hessian Kernels

The Hessian matrix is a square matrix of second-order partial derivatives. The second derivatives with respect to motion vector $V=(V_x,V_y)$ give a matrix as in the following:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla V = \begin{bmatrix} \frac{\partial V_x}{\partial x} & \frac{\partial V_x}{\partial y} \\ \frac{\partial V_y}{\partial x} & \frac{\partial V_y}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$H_{2D} = \nabla \cdot \nabla V = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 V_x}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 V_y}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Eq. (4) can be used as a detector of change in the optical flow direction. After normalization on discrete time, write the following equation:

$$\hat{V}_{ki}^{\tau+1} = \frac{\sum_{x_i \in N(z_c)} V_{ki}^{\tau} \exp\left[-(x_i - z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i - z_c)\right]}{\sum_{x_i \in N(z_c)} \exp\left[-(x_i - z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i - z_c)\right]} \quad (5)$$

Where V_{ki}^{τ} is the vector at x_i from the neighborhood $N(z_c)$, H_{2D} is the matrix calculated from Eq. (4) and k is the frame number [10].

2.3 Adaptive averaging technique

2.3.1 Mean filter

The mean filtering method uses an average of the element across its neighborhood. Normally the element that we are operating on positioned at leftmost of the window on start by calculation of the vector field. It can be illustrated as a two-dimensional picture in Fig. 1.

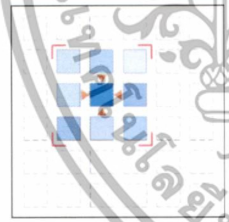


Fig. 1 Window of size 3x3 in two-dimensions.

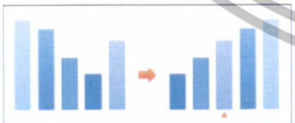


Fig. 2 tracking the median

2.3.2 Median filter

This method easily removes noise, and we can apply the median on the 2-D Hessian kernel algorithm [11]. The basic idea of the filter is for vector field of the optical flow estimation. This method to sort an element across its neighborhood and chooses the middle element for calculation of vector field. For example, Fig.2 shows finding of the median for the case.

2.3.3 Alpha-trimmed mean filter

This method uses a combination of mean filter and median filter method [12]. The basic idea of the filter is first discarding the most atypical neighborhood element around its center. Then using the remaining elements to calculate its mean value. The α is the parameter responsible for the number of trimmed element. Fig. 3 shows the diagram of the method. The remaining middle values are used to obtain a weighted sum output. The aim of this method is to remove outliers and to apply the 2-D Hessian kernels algorithm.

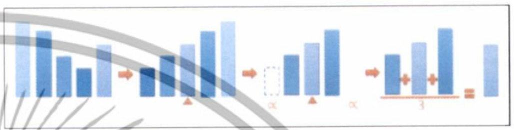


Fig. 3 Alpha-trimmed mean calculation

2.4 Genetic Algorithm (GA)

The genetic algorithm is an artificial intelligent technique used in optimization problems based on a natural selection process that mimics biological evolution. The genetic algorithm can yield a better result. The method uses an operator which is selection, crossover, and mutation, in randomly searching the solution in the problem domain. Genetic algorithm parameters are added in Eq. (5) to yield a motion vector as:

$$\hat{V}_{ki}^{\tau+1} = \frac{\sum_{x_i \in N(z_c)} w_i V_{ki}^{\tau} \exp\left[-(x_i - z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i - z_c)\right]}{\sum_{x_i \in N(z_c)} \exp\left[-(x_i - z_c)^T H_{2D}^{-1}(x_i - z_c)\right]} \quad (6)$$

where w_i is the searching parameters. Instead of using a fixed value of weighting factor, w_i, as in the mean filter or the median factor, the genetic algorithm searches for the best weighting factor which is not necessary being an equal value. Equation (6) is then used in the proposed genetic algorithm-based optical flow estimation algorithm. Next the proposed algorithm is explained in solving optical flow estimation.

3. GA-based optical flow estimation Algorithm

A testing image is created by using a mathematical model of optical flow Synthetic-2 with Gaussian noise added. Then the optical flow estimation is calculated by a proposed filter which is the two-dimensional Hessian kernels with a combination of median and genetic algorithm method (GA-MED-2DH). The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

genetic algorithm is used to find the weight to improve the filter efficiency by reducing the mean square errors (MSE). The process diagram of the proposed method is shown in Fig. 4.

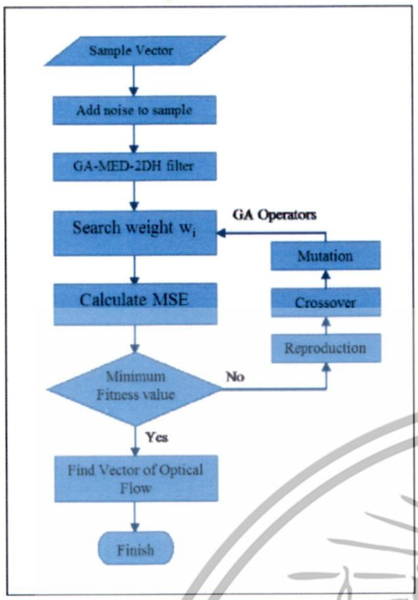


Fig. 4 Flow of GA-based

To test the algorithm, a sample vector with added noise is considered. The algorithm starts with assuming weight values. Then the mean-square error (MSE) is calculated. Then the MSE value is used as a fitness function for the genetic algorithm.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{L} \left(V_i - \hat{V}_i\right)^T \left(V_i - \hat{V}_i\right)}{L} \quad (9)$$

If the fitness values does not reach the minimum, the algorithm process will repeat by reproduction, crossover and mutation. To consider the algorithm reaching the minimum, this method uses the relative change of the MSE value of the consecutive processes as the stopping criteria. If the relative change of the MSE is minimum, then the process stops and the minimum fitness value is obtained. This fitness value is then used in finding the optical flow vector.

4. Experimental results

The experiment uses the vector field entitled "Synthetic-2" created by differentiating the following expression:

$$Z(x,y) = 3(1-x)^2 e^{-x^2-(y+1)^2} - 10\left(\frac{x}{5} - x^3 - y^5\right) e^{-x^2-y^2} - \frac{1}{3} e^{-(x+1)^2-y^2} \quad (8)$$

The velocity components are obtained as $V = (\partial Z/\partial x, \partial Z/\partial y)$. This vector field has two attractors and two divergent centers and is displayed in Fig. 5.

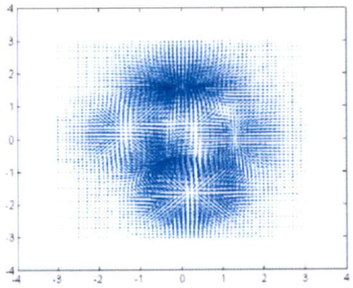


Fig. 5 Synthetic-2

The modeling vector calculated by Eq. (8) is added with Gaussian noise with variances (σ^2): 9, 16, 25, 64 and 100. Fig. 6 and 7 show the result with σ^2 being 9 and 100 respectively. From the figures, the vectors show not smooth of optical flow which affects the magnitude and direction.

Next experiment is to use 2DH, MED-2DH, and ATM-2DH methods to compare to the proposed method, GA-MED-2DH. Fig. 8 shows the result with a variance of 100.

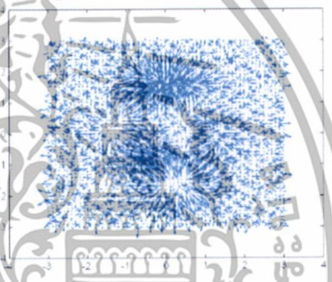


Fig. 6 Gaussian $\sigma^2 = 9$

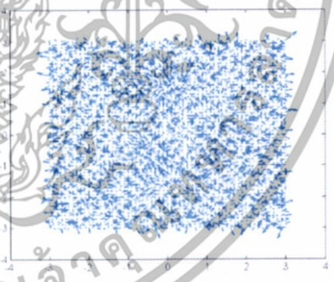


Fig. 7 Gaussian $\sigma^2 = 100$

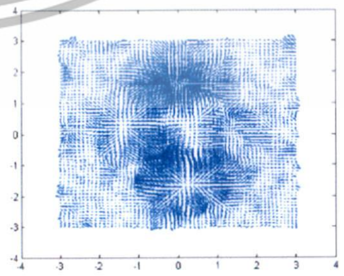


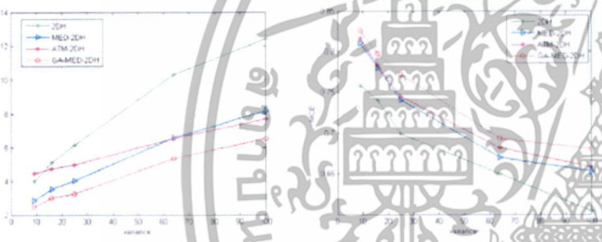
Fig. 8 GA-MED-2DH filtering, Gaussian $\sigma^2 = 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modeling of optical flow vector Synthetic-2 with additive noise yields variation in both magnitude and direction. Therefore, to analyze the data, both mean square error (MSE) and mean cosine error (MCE) are used. If the mean square error is minimum, it means the filter yields a better result. The indicated by MCE between the smoothed vector field and the original ideally should be close to 1. The numerical results obtained after smoothing the synthetic vector fields is corrupted by noise, by given algorithms provided in Table 1. The results produced by these tests are shows in Fig. 9 and the efficiency of filters shows in Fig. 10.

Table 1: Results

Gaussian noise (σ^2)	Method							
	2DH		MED-2DH		ATM-2DH		GA-MED-2DH	
	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE	MSE	MCE
9	3.999	0.758	2.869	0.810	4.473	0.817	2.474	0.826
16	5.118	0.740	3.529	0.780	4.752	0.784	3.039	0.798
25	6.137	0.699	4.020	0.741	4.990	0.746	3.283	0.773
64	10.310	0.649	6.592	0.670	6.527	0.682	5.339	0.694
100	12.393	0.604	8.157	0.653	7.710	0.659	6.551	0.681



(a) MSE (b) MCE

Fig. 9 Error of noise filters

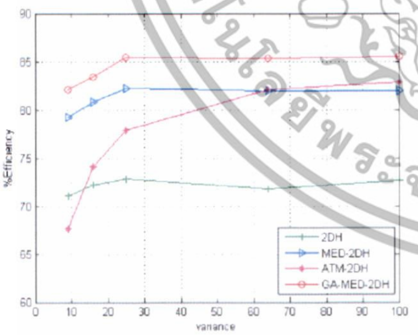


Fig. 10 %Efficiency of filters

5. Conclusion

This work has explained the development of noise filtering for optical flow techniques by using a combination of MED-2DH and genetic algorithm method (GA-MED-2DH). It also presents the modeling of optical flow vector Synthetic-2, and the development of the filter. Detailed simulation results are presented, and the following conclusions: (i) the GA-MED-2DH method show very good smoothness of optical flow with minimum MSE and MCE, and (ii) the efficiency results show high performance at over 80% and best efficiency up to 85%. Therefore, the method derived from the GA-MED-2DH method are suitable for using the noise filtering of the optical flow.

References

[1] B. Horn and B. Schunck, "Determining optical flow," *Artifical Intelligence*, vol. 17, issue 1-3, pp. 185-203, Aug. 1981.

[2] B. Lucas and T. Kanade, "An iterative image registration technique with an application to stereo vision," *Proceeding of the 7th International Joint Conference on Artifical Intelligence*, vol. 2, pp. 674-679, Aug. 1981.

[3] A. Bainbridge-Smith and R.G. Lane, "Determining optical flow using a differential method," *Image and Vision Computing*, Vol. 15, issue 1, pp. 11-22, Jan. 1997.

[4] A.G. Bors and I. Pitas, "Optical flow estimation and moving object segmentation based on median radial basis function network," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 7, issue 5, pp. 693-702, May 1998.

[5] A.G. Bors and I. Pitas, "Prediction and tracking of moving objects in image sequences," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, issue 8, pp. 1441-1445, Aug. 2000.

[6] S. Roth and M.J. Black, "On the spatial statistics of optical flow," *International Journal of Computer Vision*, vol. 74, pp. 33-50, Aug. 2007.

[7] M. Tagliasacchi, "A genetic algorithm for optical flow estimation," *Image and Vision computing*, vol. 25, issue 2, pp. 141-147, Feb. 2007.

[8] J. Hirai, T. Yamaguchi and H. Harada, "Measurement of optical flow in real-time," *IEEE Trans. Autom. Control*, pp. 2523-2528, 14-17 Oct. 2008.

[9] M. Heindlmaier, L. Yu and K. Diepold, "The impact of nonlinear filtering and confidence information on optical flow estimation in a Lucas & Kanade framework," *IEEE Trans. Image Process.*, pp. 1593-1596, 7-10 Nov. 2009.

[10] A. Doshi and A.G. Bors, "Smoothing of optical flow using robustified diffusion kernels," *Image and Vision Computing*, vol. 28, issue 12, pp. 1575-1589, Dec. 2010.

[11] J. Astola, P. Haavisto and Y. Neuvo, "Vector median filters," *Proceeding of the IEEE*, vol. 78, pp. 678-689, Apr. 1990.

[12] A.G. Bors and I. Pitas, "Object classification in 3-D images using alpha-trimmed mean radial basis function network," *IEEE Trans. Image Process,* vol. 8, pp. 1744-1756, Dec. 1999.

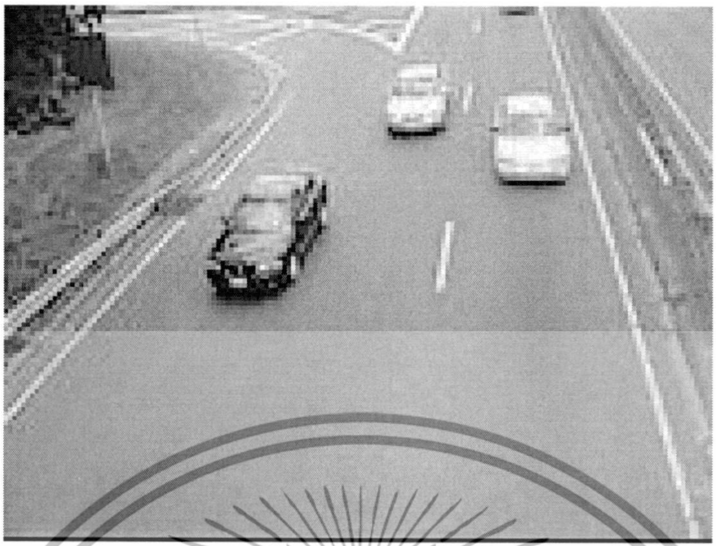
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

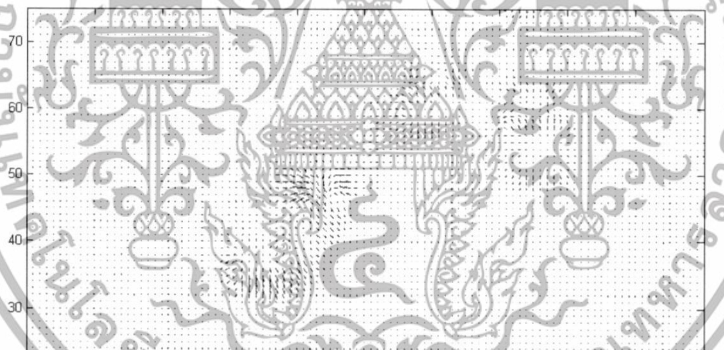
ผลการทดลองกับภาพจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองกับภาพจริง



รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 2 กรณีที่ 1



รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 2 กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 3 กรณีที่ 1

รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 3 กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 4 กรณีที่ 1

รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 4 กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 5 กรณีที่ 1

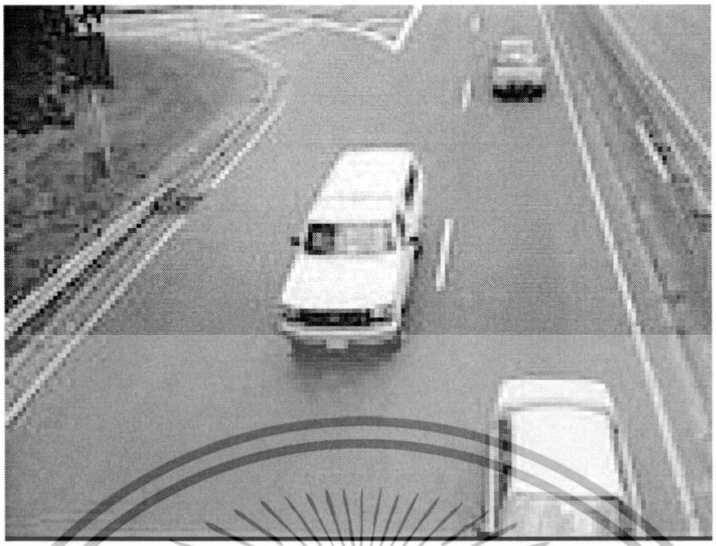
รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 5 กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 2 กรณีที่ 2

รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 2 กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 3 กรณีที่ 2

รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 3 กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 4 กรณีที่ 2

รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 4 กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปการเคลื่อนที่ของรถบนท้องถนนเฟรมที่ 5 กรณีที่ 2

รูปการไหลของแสงเมื่อผ่านตัวกรอง GA-MED-2DH เฟรมที่ 5 กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายพิจิตร คชชา เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2529 ที่อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนวัดหาดทราย (เรือนมั่นนิรมิต) อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนพรหมานุสรณ์จังหวัดเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ในปี พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2551 จากนั้นได้ทำงานวิจัยเป็นผู้ช่วยวิจัยในกลุ่มวิจัยระบบควบคุมและอัตโนมัติ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในขณะทำงาน ได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 3 รายวิชาได้แก่ (1) ปฏิบัติการระบบควบคุม (2) ปฏิบัติการวงจรและอุปกรณ์ (3) ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม ภายหลังได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรที่วิทยาลันนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2555 ในขณะทำงาน ได้เป็นผู้ช่วยอบรมในโครงการอบรมให้กับบุคลากรภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด โดยได้เป็นผู้ช่วยอบรมจำนวน 2 โครงการ ได้แก่ (1) โครงการอบรมระบบปฏิบัติการนิวเมติกส์สำหรับการควบคุมอัตโนมัติ และ (2) โครงการอบรมระบบอัตโนมัติ และได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง จำนวน 4 รายวิชาได้แก่ (1) ปฏิบัติการทางวิศวกรรม 1 (2) ปฏิบัติการทางวิศวกรรม 2 (3) ปฏิบัติการทางวิศวกรรมการผลิต 1 และ (4) ปฏิบัติการทางวิศวกรรมการผลิต 2 จากนั้นได้ลาศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง ใน ปี พ.ศ. 2556 โดยมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษาดังปรากฏในภาคผนวก ข. ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจทางด้านระบบควบคุมและอัตโนมัติ การศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้