

การตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุหลายชิ้นจาก Optical Flow

MULTIPLE OBJECT MOTION DETECTION FROM AN OPTICAL FLOW



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

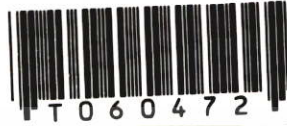
พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1942-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุหลายชิ้นจาก Optical Flow

MULTIPLE OBJECT MOTION DETECTION FROM AN OPTICAL FLOW



ฉพ.  
๐๔๔๒๗  
๒๕๔๘

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **60472**  
วัน,เดือน,ปี **29 ส.ย. 2549**

b. 11511714  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1942-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MULTIPLE OBJECT MOTION DETECTION FROM  
AN OPTICAL FLOW**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2005**

**ISBN 974-15-1942-7**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุหลายชิ้นจาก Optical Flow
นักศึกษา	นายเดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย
รหัสนักศึกษา	43061445
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

### บทคัดย่อ

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่จากภาพลำดับต่อเนื่อง คือขั้นตอนหนึ่งในการเพิ่มขีดความสามารถของคอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุและติดตามวัตถุ อย่างไรก็ตาม การตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้การคำนวณ Optical flow เพื่อสร้างสนามเวกเตอร์การเคลื่อนที่ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ การ matching, การกรองแบบ spatio-temporal และวิธีที่อยู่บนพื้นฐานของ gradient การหา Optical flow บนพื้นฐานของวิธี gradient ได้ถูกนำเสนอโดยผู้วิจัยจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ของงานวิจัยเป็นการใช้วิธีการวนซ้ำ ซึ่งยากต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม และมีความไม่แน่นอนในเวลาของการประมวลผล เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการคำนวณ Optical flow บนพื้นฐานของ gradient ที่ไม่มีการซ้ำ เป้าหมายของวิทยานิพนธ์คือการตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุหลายๆ ชิ้นในภาพ

<b>Thesis Title</b>	Multiple Object Motion Detection from an Optical Flow
<b>Student</b>	Mr. Decha Phattanaprasitchai
<b>Student ID.</b>	43061445
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Instrumentation Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Kaset Sirisantisamrid

### ABSTRACT

Motion analysis from image sequence is a procedure to upgrade the capability of computer for detecting the object movement and object tracking. However, these detecting using optical flow computation for creating the motion vector field can be divided into three approaches: matching, spatio-temporal filter, and gradient-based methods. The determination of optical flow based on gradient method have been introducing by many researchers, but most of presented papers are used iterative method, whose difficulty is to setting the suitable parameters and also have the uncertainty of computational time. To solving these problems, this thesis presents non-iterative and gradient-based optical flow computation. The goal is to detect the multiple objects motion in the scene.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำและกระตุ้นเตือน  
ในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอย  
ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายขอส่งคำดีสิริทักทายทั้งหลายและคุณพระศรีรัตนไตรจงคณาบรรดาลาให้ทุกๆ ท่านจงมีแต่  
ความสุขตลอดไป

เดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

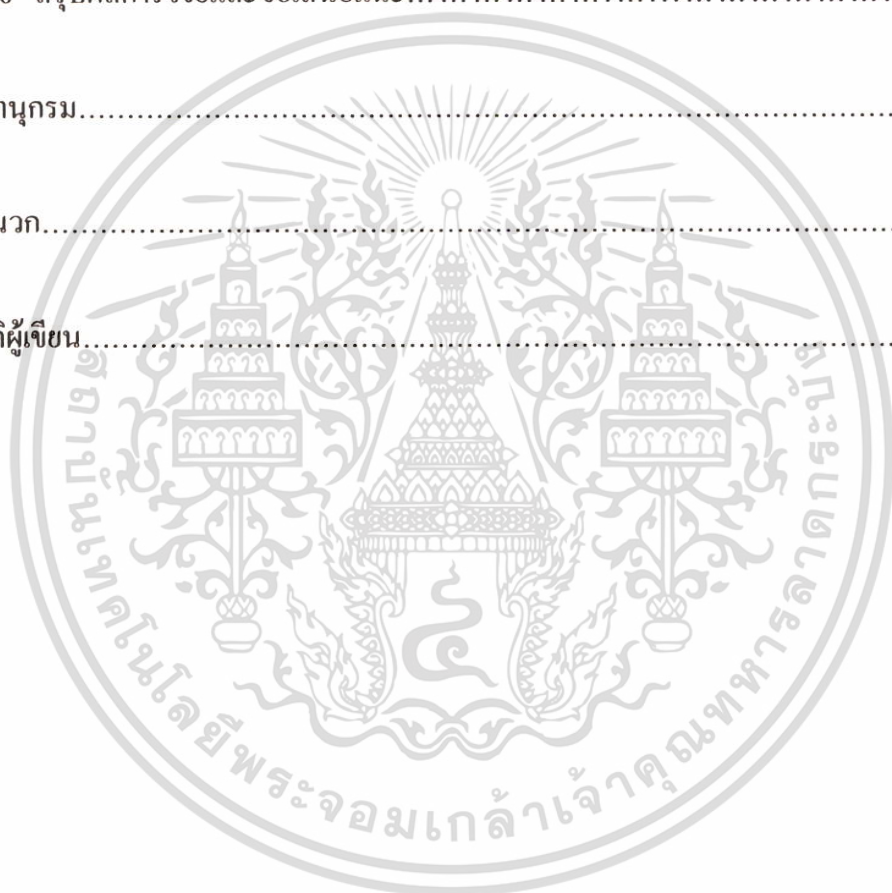
# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 แสงและการมองเห็น.....	5
2.1 องค์ประกอบของการมองเห็น.....	5
2.2 การมองเห็นของมนุษย์.....	6
2.3 การมองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์.....	10
2.4 การประมวลผลภาพ.....	11
บทที่ 3 ตัวกรองเกาส์เซียน.....	16
3.1 ตัวกรองเกาส์เซียนรูปแบบทั่วไป.....	16
3.2 ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทาง.....	17
บทที่ 4 การคำนวณ Optical Flow.....	22
4.1 การคำนวณ Optical Flow ด้วยวิธีวนซ้ำ.....	22
4.2 การคำนวณ Optical Flow ด้วยวิธีคำนวณแบบไม่วนซ้ำ.....	28
4.3 การตรวจหาวัตถุ (Segmentation).....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	38
5.1 ภาพอินพุตที่นำมาทดสอบ.....	38
5.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	43
5.3 ผลการทดลอง.....	44
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	51
ประวัติผู้เขียน.....	52



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ตัวอย่างผลการตรวจหาวัตถุจากภาพสังเคราะห์.....	46
5.2 ตัวอย่างผลการตรวจหาวัตถุจากภาพมาตรฐาน.....	50
5.3 ตัวอย่างผลการตรวจหาวัตถุจากภาพที่ได้จากกล้อง CCD.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ผลการหาการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการลบบ	2
1.2 การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของจุดภาพ	3
1.3 ตัวอย่างภาพการคำนวณ Optical Flow	3
2.1 องค์ประกอบของการมองเห็น	5
2.2 ภาพตัดตามยาวของลูกตา	6
2.3 เซลล์ประสาทชนิดต่าง ๆ เรียงตัวกันอยู่เป็นชั้นๆ ใน Retina	8
2.4 Neural pathway จาก Retina ทั้งสองข้างไปยัง Visual cortex	9
2.5 การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบและคัดแยกในงานอุตสาหกรรม	10
2.6 การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ในการหยิบจับวัตถุ	11
2.7 วิธีการเก็บภาพดิจิทัล	12
2.8 วิธีการเก็บภาพจากกล้องวิดีโอเข้าสู่คอมพิวเตอร์	13
2.9 การประมวลผลที่ละจุดภาพ	14
2.10 การประมวลผลที่ละกลุ่ม	15
3.1 หน้าต่างของตัวกรองเกาส์เซียน	16
3.2 หน้าต่างของตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้	17
3.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุนระนาบภาพ	18
3.4 ผลการประสานภาพอินพุตกับหน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียน	19
3.5 ผลการประสานภาพอินพุตกับตัวกรองที่ 0 องศา ที่ $\rho$ ค่าต่างๆ	20
3.6 ผลการประสานภาพอินพุตกับตัวกรองที่ 90 องศา ที่ $\rho$ ค่าต่างๆ	20
3.7 ผลการประสานภาพอินพุตกับตัวกรองที่ 90 องศา ที่ $\sigma$ ค่าต่างๆ	21
4.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุนระนาบภาพ	22
4.2 หน้าต่างเกรเดียน Ex, Ey และ Et	23
4.3 หน้าต่างผลรวมของ $\bar{u}$ และ $\bar{v}$	23
4.4 ภาพอินพุต	26
4.5 การคำนวณด้วยวิธีของ Horn and Schunck ที่ค่า $\alpha=3$ , $N=284$ รอบ	27
4.6 การคำนวณด้วยวิธี Adaptive gradients and Successive over – relaxation	27
4.7 การพิจารณาเลือกค่า Normal Vector	30
4.8 flow chart การคำนวณ Optical flow ด้วยวิธีการคำนวณแบบไม่วนซ้ำ	31
4.9 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าคงเหลือของสมการ OFC	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 ทิศทางการสแกนหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y.....	33
4.11 ผลการตรวจหากลุ่มเวกเตอร์การเคลื่อนที่.....	34
4.12 ผลการตรวจหาวัตถุ.....	34
4.13 กราฟแสดงมุมการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ 4.12 a.....	35
4.14 กลุ่มข้อมูลก่อนการทำ Curve fitting.....	35
4.15 ผลที่ได้จากการทำ Curve fitting และขอบเขตบนกับขอบเขตล่างของข้อมูล.....	36
4.16 การกำหนดขอบเขตของวัตถุจากการนำค่าที่ได้จาก Curve fitting.....	36
4.17 การกำหนดขอบเขตของวัตถุหลังจากตัดค่าความผิดพลาดออก.....	37
5.1 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 1.....	38
5.1 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 2.....	39
5.3 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 3.....	39
5.4 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 4.....	39
5.5 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 5.....	40
5.6 ตัวอย่างภาพอินพุตจากภาพมาตรฐาน.....	41
5.7 ตัวอย่างภาพอินพุตจากกล้อง CCD.....	42
5.8 ลำดับขั้นการหาการเคลื่อนที่ของวัตถุ.....	43
5.9 การประสานของภาพอินพุตกับหน้าต่าง Gaussian Filter ที่มุมต่างๆ.....	44
5.10 ภาพผลการทดลองกับภาพ Synthetic.....	44
5.11 สนามเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้จากการคำนวณแบบวนซ้ำ.....	45
5.12 ผลการทดลองกับภาพที่มีวัตถุหลายชิ้นเคลื่อนที่.....	45
5.13 ภาพอินพุตจากภาพมาตรฐาน.....	47
5.14 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพมาตรฐาน.....	48
5.15 ภาพแสดงการทำ Curve fitting กลุ่มเวกเตอร์ของวัตถุ.....	48
5.16 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพมาตรฐาน.....	49
5.17 ภาพอินพุตและผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพมาตรฐาน.....	49
5.18 ภาพอินพุตและผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพที่ได้จากกล้อง CCD.....	51
5.19 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพที่ได้จากกล้อง CCD.....	51
5.20 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่ที่มีความผิดพลาด.....	53
5.21 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่ที่มีความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของกล้อง.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.22 ภาพอินพุทที่มีการซ้อนทับกันของวัตถุ.....	54
5.23 ภาพกราฟแสดงการกระจายของมุมการเคลื่อนที่.....	55
5.24 ผลการตรวจหาวัตถุที่มีการซ้อนทับกัน.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์มีความสามารถในการแยกแยะวัตถุที่มีการเคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่ได้ โดยผ่านจากการมองเห็น แล้วส่งข้อมูลที่รับรู้ต่อไปยังสมองที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ว่าจะจดจำวัตถุนั้น และติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นหรือไม่ ขึ้นอยู่กับสถานะความสนใจในเหตุการณ์นั้นๆ เป็นต้น แต่ในเรื่องของการจำลองการมองเห็นและการรับรู้ถึงสิ่งที่มีการเคลื่อนไหวและเคลื่อนที่ของมนุษย์ไปยังหุ่นยนต์นั้น เป็นหัวข้อสำคัญที่ต้องศึกษา โดยจะต้องทำการจำลองหุ่นยนต์นั้นให้มีขีดความสามารถใกล้เคียงกับมนุษย์เรามากที่สุด ทั้งในเรื่องของความเร็วในการรับรู้ข้อมูลและในเรื่องของความถูกต้อง เพื่อลดความผิดพลาดของการรับรู้ข้อมูลอื่นที่จะเป็นผลถึงการรับรู้ที่ไม่ถูกต้องของหุ่นยนต์และทำให้การใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญ ในการทำการติดตามวัตถุหรือการทำ Robot navigation เพื่อที่คอมพิวเตอร์หรือหุ่นยนต์สามารถรับรู้ถึงระยะทางและทิศทางที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ โดยในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ที่สามารถทำได้ด้วยการคำนวณ Optical flow ซึ่งในการคำนวณ Optical flow ได้มีผู้นำเสนอวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน แต่สามารถจำแนกออกเป็นหมวดหมู่ใหญ่ๆ ได้เป็นทฤษฎีการ Matching การทำ Spatio-temporal filter และการใช้หลักการ Gradient method ผลที่ได้จากการคำนวณ Optical flow นี้จะออกมาในรูปของสนามเวกเตอร์ ที่สามารถนำไปทำการวิเคราะห์หาขอบเขตของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อแยกส่วนของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ออกมา ทำการติดตามวัตถุนั้นๆ ต่อไป

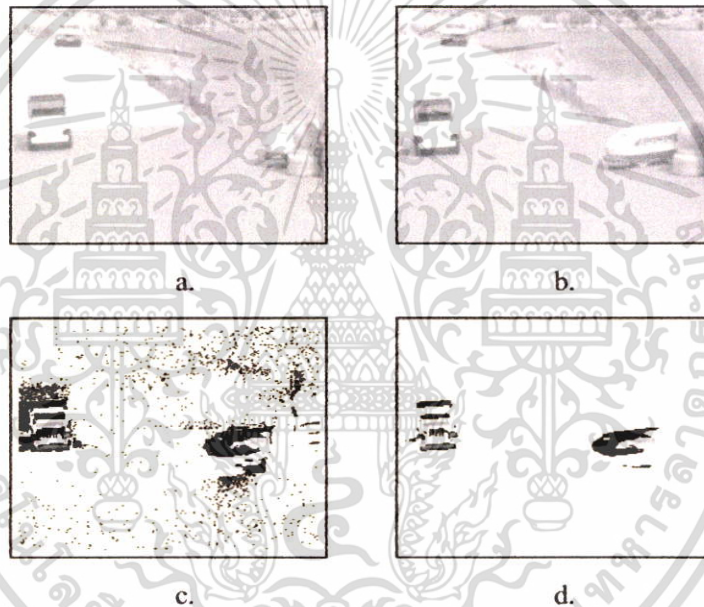
### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น มีหลักการคำนวณที่เรียกว่า Optical flow อยู่หลากหลายหลักการด้วยกัน แต่ที่ได้รับความนิยมและให้ความสนใจเป็นหลักการ Gradient method เนื่องมาจากการคำนวณที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนเท่าไรนัก แต่ก็ยังมีข้อด้อยในเรื่องของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับภาพในแต่ละสถานะ อีกทั้งในเรื่องของเวลาในการประมวลผลแบบวนซ้ำมีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของภาพนั้นๆ ดังนั้นหากว่าทำการลดหรือกำจัดข้อด้อยเหล่านี้ออกไป จะทำให้ความสามารถในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุมีประสิทธิภาพมากขึ้น วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือการติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ ด้วยการคำนวณ Optical flow ด้วยหลักการ Gradient method ที่ไม่ต้องคำนวณแบบวนซ้ำ (Iterative) เพื่อทำการ

วิเคราะห์หาขอบเขตของวัตถุ ที่มีการเคลื่อนที่เพื่อแยกส่วนของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ออกจากส่วนที่ไม่เคลื่อนที่

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

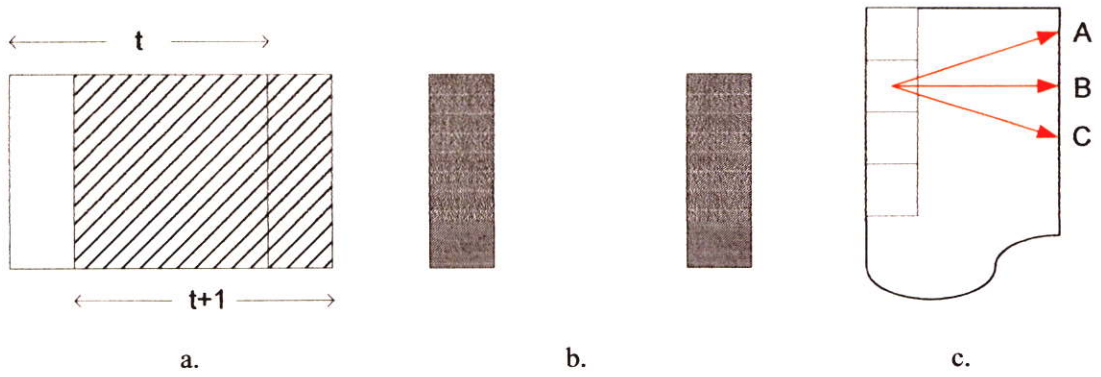
มนุษย์มีความสามารถในการแยกแยะวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยการจดจำสิ่งที่เห็น ณ วินาทีนั้นไปเปรียบเทียบกับภาพที่เห็นในวินาทีถัดไป โดยหาความแตกต่างระหว่างภาพที่เห็น แต่หุ่นยนต์ต้องอาศัยโปรแกรมที่เราต้องจัดทำ เพื่อให้รู้ถึงความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้รับรู้ วิธีการหาความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพนั้นอย่างง่ายที่สุดคือ การนำภาพทั้งสองนั้นมาลบกัน ส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ก็จะหายไป คงเหลือแต่ส่วนที่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 1.1 ผลการหาการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการลบ a. และ b. เป็นภาพอินพุต c. เป็นผลการลบกันของภาพ ส่วน d. เป็นผลการลบกันของภาพและแสดงผลด้วยค่า Threshold เท่ากับ 20

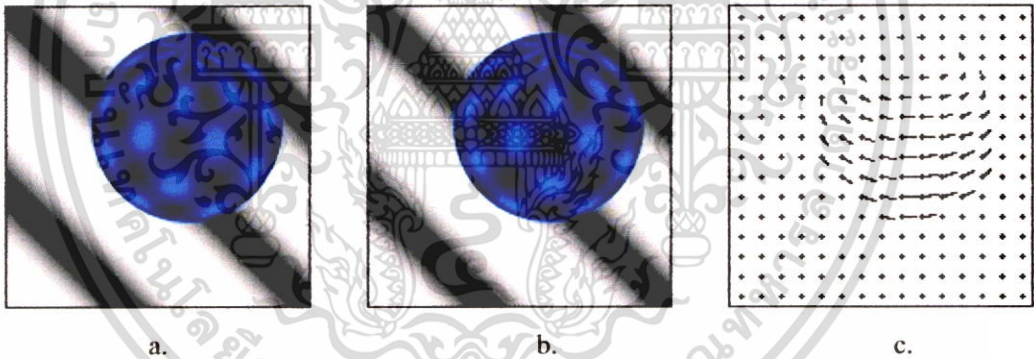
แต่ผลลัพธ์ที่ได้มานั้นไม่ได้ให้ข้อมูลอะไรมากกว่าการที่บอกให้รู้ว่ามี การเคลื่อนที่ ดังในภาพที่ 1.1 c. ผลที่ได้จากการลบกันมีสัญญาณรบกวนรวมปะปนมาด้วย แต่ในภาพ 1.1 c. เป็นผลที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยค่า Threshold เท่ากับ 20 แต่ในการนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่จะเป็นเรื่องยากในการที่จะบอกถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น ดังภาพที่ 1.2 เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุรูปสี่เหลี่ยม ภาพที่ 1.2 b. เป็นผลที่ได้จากการลบภาพที่เวลาต่างกัน โดยที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของจุดภาพนั้นเป็นเรื่องยากในการบอกว่าจะมีทิศทางไปยังจุด A, B หรือ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.2 การกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ของจุดภาพ

ดังนั้นการศึกษาในเรื่องของ Optical Flow สามารถที่จะบอกข้อมูลในเรื่องทิศทางเคลื่อนที่, วัตถุเคลื่อนที่หรือเป็นการหมุนของวัตถุ, ความเร็วของการเคลื่อนที่ และจำนวนของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ ดังในภาพที่ 1.3 เป็นการคำนวณ Optical Flow จากภาพอินพุตต่อเนื่องของวัตถุทรงกลมที่มีการหมุน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในรูปของสนามเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของจุดพิกเซลในภาพ ที่บอกถึงทิศทางเคลื่อนที่ในแต่ละจุดพิกเซลของวัตถุ



ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างภาพการคำนวณ Optical Flow โดย a. และ b. เป็นภาพอินพุตต่อเนื่อง ส่วน c. เป็นผลลัพธ์จากการคำนวณ ที่แสดงในรูปของสนามเวกเตอร์

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การคำนวณ optical flow ด้วยวิธีวนซ้ำ มักจะประสบปัญหาการกำหนดค่า weighting factor ที่เหมาะสม และเวลาในการประมวลผลไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของภาพ ในบทความนี้ นำเสนอการคำนวณ optical flow บนพื้นฐานของวิธีการไม่วนซ้ำ การคำนวณหาการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่ ซึ่งสมการการเคลื่อนที่นี้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น 1 สมการ 2 ตัวแปร ดังนั้นการหาคำตอบของสมการจะอาศัยตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้จะ convolution กับภาพต้นแบบที่ต่อเนื่อง ทำให้สมการ optical flow constraint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(OFC) มีจำนวนของสมการเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และตัวกรองเกาส์เซียนยังช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการกระทำ gradient ระหว่างเฟรมต่อเฟรมอีกด้วย

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาการตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุหลายชิ้นจาก Optical Flow มีดังนี้

1. สามารถตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในภาพได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถตรวจหาทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นๆ ได้
3. สามารถตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ได้ไม่เกินจำนวน 3 วัตถุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

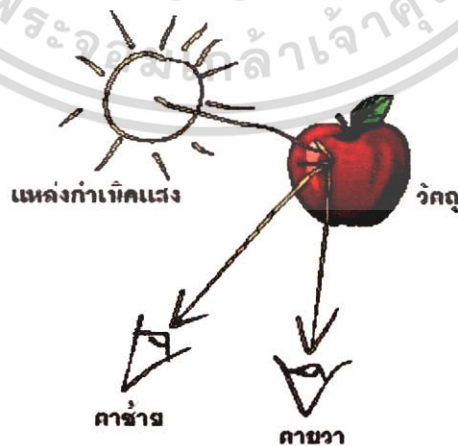
## บทที่ 2

### แสงและการมองเห็น

การที่ร่างกายจะดำรงชีวิตอยู่ได้จะต้องมีระบบรับความรู้สึก ซึ่งประกอบด้วยอวัยวะรับความรู้สึกภายในเพื่อรักษาหรือปรับสภาพแวดล้อมภายในร่างกายให้คงที่อยู่เสมอ และอวัยวะรับความรู้สึกภายนอกสำหรับให้ร่างกายได้รับรู้การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมภายนอกและมีการตอบสนองที่เหมาะสม อวัยวะรับความรู้สึกจากภายนอกที่รับข้อมูลส่วนใหญ่ก็คือปลายประสาทรับความรู้สึกต่างๆ ไปตามผิวหนังหรือรวมกลุ่มอยู่เฉพาะที่ เช่น ต่อมรับรสบนลิ้นและเซลล์รับกลิ่นบนเยื่อจมูก หรือประกอบเป็นระบบอวัยวะที่ซับซ้อนเช่น หูและตา เป็นต้น การที่เราสามารถที่มองเห็นหรือรับความรู้สึกเกี่ยวกับแสงสีและรูปร่างลักษณะของสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ก็เนื่องจากการทำงานของระบบรับภาพ (Visual system) ซึ่งนับเป็น Sensory system ที่สำคัญที่สุดของมนุษย์ ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงระบบการมองเห็นของมนุษย์ การมองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์ และการเก็บภาพเข้ามาเพื่อประมวลผล

#### 2.1 องค์ประกอบของการมองเห็น

กระบวนการรับรู้สิ่งต่างๆ ของมนุษย์ที่เกิดขึ้นทางกายภาพนั้นเช่น การได้ยิน การสัมผัส การได้กลิ่น และการมองเห็นนั้นมีองค์ประกอบต่างๆ ที่สลับซับซ้อนมากในร่างกายของมนุษย์แต่มีสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งคือการมองเห็นซึ่งทำให้มนุษย์นั้นเข้าใจอะไรต่างๆ ได้อีกมากมายเช่น รูปร่าง ขนาด สี ของวัตถุ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ช่วยให้มนุษย์นำไปประมวลผลและทำการตัดสินใจอย่างหนึ่งอย่างใดได้ ดังนั้นกระบวนการมองเห็นวัตถุมีองค์ประกอบของการมองเห็นดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของการมองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

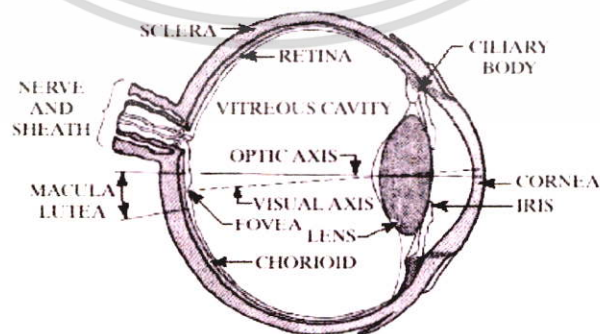
ภาพที่ 2.1 การมองเห็นวัตถุได้นั้นจะต้องมีแสงสว่างจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากแหล่งอื่นๆ เช่น โคมไฟเป็นต้น แสงนั้นจะเดินทางเป็นเส้นตรงและแสงจากดวงอาทิตย์เรียกว่าแสงขาวเพราะเมื่อตกกระทบกับฉากรสีขาวจะเห็นฉากรเป็นสีขาว แสงขาวเป็นแสงประกอบ (Compound light) หมายความว่า เป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงสีต่างๆกันมากมาย ถ้าผ่านแสงขาวเข้าไปในปริซึมมันจะถูกแยกมาเป็นแสง 7 สี (ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และ แดง) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การกระจายแสง และเมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับไป วัตถุจะสะท้อนแสงสีออกมา จึงทำให้มนุษย์นั้นมองเห็นวัตถุได้ ในหัวข้อต่อไปจะอธิบายการมองเห็นและการเกิดภาพที่ทำให้มนุษย์ได้รับรู้สิ่งต่างๆที่ได้จากการมองเห็น

## 2.2 การมองเห็นของมนุษย์

### โครงสร้างและหน้าที่ของตา(Function Anatomy of eye) [6]

ลูกตา (Eyeball) ตั้งอยู่ในกระบอกตามีหนังตา (Eyelid) ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายซึ่งมาจากด้านหน้า เช่นในขณะที่มีแสงจ้าเข้าตาหนังตาก็จะปิดทันทีโดยปฏิกิริยา Reflex ส่วนน้ำตา (Lacrimal fluid) จะช่วยหล่อเลี้ยงให้ดวงตาชุ่มชื้นและรักษาแก้วตาให้สะอาดอยู่เสมอ เพราะน้ำตามีส่วนประกอบของ Lysozyme ซึ่งมีฤทธิ์ทำลาย Bacteria ลูกตาจะสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ในช่องกระบอกตาโดยการทำงานของกล้ามเนื้อตา (Eye muscle) ตามีองค์ประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ

1. ระบบเลนส์ (Lens system) ประกอบด้วยกระจกตา (Cornea) และเลนส์ (Lens) ทำหน้าที่หักเหและรวบรวมแสงให้ตกลงบนจอรับภาพ (Retina)
2. เซลล์รับแสง (Receptor cell) และเซลล์ประสาทอื่นๆ ซึ่งเรียงตัวกันอยู่เป็นชั้นๆ ในส่วนของ Retina ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็น Nerve impulse
3. ระบบเส้นประสาท (Nerve system) สำหรับส่ง Nerve impulse จาก Retina cortex



ภาพที่ 2.2 ภาพตัดตามยาวของลูกตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างตัดตามยาวของลูกตา (Horizontal section) จะเห็นได้ว่าลูกตามีลักษณะเป็นทรงกลมภายในบรรจุอยู่ด้วยของเหลวทั้งด้านหน้าและด้านหลังเลนส์และผนังลูกตาแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้นคือ Sclera, Choroid และ Retina

1. **Sclera** (หรือ Protective layer) เป็น Fibrous tissue จึงมีลักษณะเหนียวแข็งแรงทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้แก่โครงสร้างที่ละเอียดอ่อนภายใน ผนังลูกตาชั้นนี้ส่วนใหญ่จะมองเห็นเป็นสีขาวและทึบแสง ยกเว้นด้านหน้า ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปจนมีลักษณะใสโปร่งแสง (Transparent) เรียกกระจกตา

2. **Choroid** (Pigmented layer) ประกอบด้วยเส้นเลือดที่มาเลี้ยงลูกตาจำนวนมากและยังมีชั้นรงควัตถุ (Pigmented coat) ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดแสงที่ผ่านมาจาก Retina เอาไว้เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของแสงเข้าไปใน Retina อีก ซึ่งจะทำให้ภาพพร่ามัว (Blur)

Choroid ส่วนที่อยู่ด้านหน้าจะหนาตัวขึ้นเรียกว่า Ciliary body ทำหน้าที่ผลิตของเหลวที่เรียก Aqueous humor เข้าไปอยู่ในช่องว่างของลูกตาด้านหน้าเลนส์ (Anterior chamber) ของเหลวนี้ปกติจะถูกดูดซึมกลับเข้าเส้นเลือดดำของตาโดยผ่านท่อ Canal of schlemm ดังนั้นถ้ามีการอุดตันของท่อนี้เกิดขึ้น จะทำให้ความดันของเหลวในลูกตาสูงขึ้นและเป็นสาเหตุของการเกิดต้อหิน (Glaucoma) บริเวณด้านหน้าของเลนส์จะมีแผ่นกั้นเนื้อเรียก Iris diaphragm ขึ้นออกมาบังส่วนขอบของเลนส์ไว้ เหลือบริเวณตรงกลางให้แสงผ่านเข้าไปสู่เลนส์ได้เรียกว่า รูม่านตา (Pupil) Iris จะมี Choroid membrane คลุมอยู่ด้านบนจึงมีลักษณะทึบแสง (Opaque) ถ้า Choroid membrane มีรงควัตถุมากจะทำให้ตมสีเข้ม (Dark eye) และถ้ามีน้อยตาก็จะมีสีอ่อนเช่นตาสีฟ้าเป็นต้น การมีรงควัตถุมากหรือน้อยเป็นลักษณะที่ควบคุมโดยพันธุกรรม (ตาสีอ่อนเป็นลักษณะด้อย) Iris ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้าสู่ตา ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชุดคือ

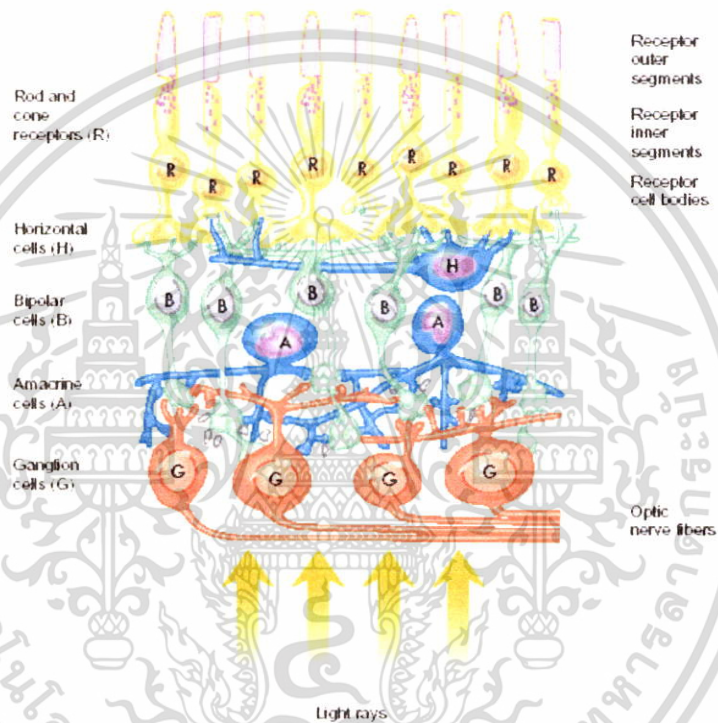
1. Circular muscle หรือ Sphincter pupillae ควบคุมโดยประสาท Parasympathetic ซึ่งเมื่อกระตุ้นจะทำให้รูม่านตาหดแคบลง (Miosis) หรือปริมาณแสงที่จะเข้าตาลดลง

2. Radial muscle หรือ Dilator pupillae ควบคุมโดยประสาท Sympathetic ซึ่งเมื่อกระตุ้นจะทำให้รูม่านตาขยายกว้างขึ้น (Mydriasis) หรือปริมาณแสงที่จะเข้าสู่ตาเพิ่มขึ้น การหุบและการขยายรูม่านตานี้จะเป็นปฏิกิริยาอัตโนมัติ นอกจากจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้าสู่ตาแล้ว ยังช่วยกันแสงจากทางด้านข้างไม่ให้เข้าสู่ตาผ่านบริเวณขอบ ๆ เลนส์ ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่ไม่ชัดเจนอันเกิดจากการเกิด Spherical และ Chromatic aberration ด้วย

3. **Retina** (หรือ Light sensitive layer) อยู่ด้านในสุดของลูกตาเริ่มจาก Ciliary body มาจนถึงบริเวณทางออกของ Optic nerve จากตาไปยังสมอง Retina ประกอบด้วย Photo receptor cell 2 ชนิดคือ Rod และ Cone และ Nerve cell อื่นๆ เรียงตัวกันเป็นชั้นๆดังภาพที่ 2.3 ชั้นนอกสุดของ Retina อยู่ติดกับของเหลวใสลักษณะคล้ายวุ้นในช่องว่างของลูกตาด้านหลังเลนส์ (Posterior chamber) ของเหลวนี้เรียกว่า Vitreous humor ทำหน้าที่ช่วยให้ลูกตาดังรูปทรงอยู่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่า Retina ประกอบด้วยเซลล์ประสาทหลายชนิดคือ Receptor cell (Rod และ Cone) , Bipolar cell, Ganglion cell, Horizontal cell และ Amacrine cell เรียงตัวอยู่เป็นชั้นๆ โดย Receptor cell ซึ่งอยู่ชั้นในสุดหลายๆเซลล์จะมา Synapse กับ Bipolar cell และหลายๆ Bipolar cell มา Synapse กับ Ganglion cell ซึ่งจะส่ง Axon ออกมารวมกันเป็น Optic nerve ไปยังสมอง สำหรับ Horizontal cell จะทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง Receptor cell กับ Bipolar cell ส่วน Amacrine cell ก็จะเชื่อมระหว่าง Ganglion cell ด้วยกันเองระหว่าง Bipolar cell กับ Ganglion cell ด้วยกันเองและระหว่าง Bipolar cell กับ Ganglion cell

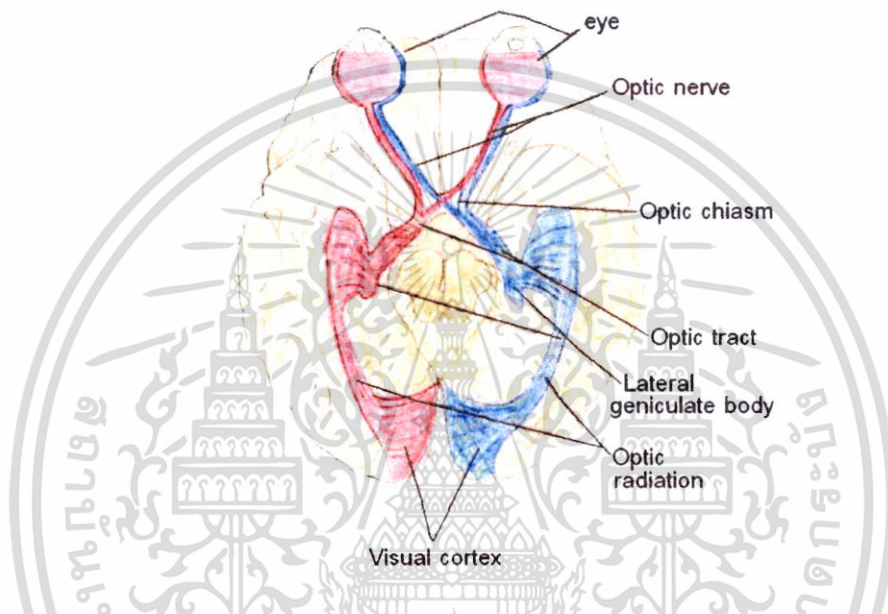


ภาพที่ 2.3 เซลล์ประสาทชนิดต่าง ๆ เรียงตัวกันอยู่เป็นชั้นๆใน Retina

เนื่องจาก Rod และ Cone เรียงตัวอยู่ด้านในสุดติดกับ Choroid ลำแสงต้องเดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของ Retina เข้ามาก่อนที่จะมาถึง Rod และ Cone ซึ่ง Sensitive ต่อแสง ดังนั้นในสัตว์ชั้นสูง (เฉพาะ Primates) จึงมีวิวัฒนาการโดยมีบริเวณหนึ่งของ Retina เรียก Fovia centralis (อยู่ใกล้ Posterior pole) ที่มีเฉพาะ Cone (ซึ่งไวต่อแสงเข้ม) เรียงตัวกันอยู่จำนวนมากเซลล์ต่างๆ ที่อยู่ก่อนถึง Cone รวมทั้งเส้นเลือดจะมีจำนวนน้อยลง หรือหลบไปอยู่ด้านข้างทำให้ Retina บางลงและแสงสามารถผ่านเข้ามาถึง Cone ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้นนอกจากนี้อัตราส่วนของ Cone : Bipolar : Ganglion cell ในบริเวณนี้ยังมีค่าเท่ากับ 1:1:1 Fovia centralis จึงเป็นบริเวณที่ให้ภาพชัดไวและมี ความคมชัดที่สุดในเวลากลางวันหรือในขณะที่มีแสงเข้ม

สำหรับบริเวณ Optic disc ซึ่งเป็นทางออกของ Optic nerve ไปยังสมองจะไม่มี Receptor cell (ทั้ง Rod และ Cone) อยู่เลยดังนั้นเราจึงไม่สามารถมองเห็นภาพที่มาตกบริเวณนี้ได้เรียกบริเวณนี้ว่า Blind spot

ทางเดินประสาทตา(Visual pathways) ในภาพที่ 2.4 Impulse จาก Retinal cell จะถูกส่งผ่าน Axon ของ Ganglion cell ซึ่งมารวมเป็น Optic nerve โดยเส้นใยประสาทแต่ละเส้นจะมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบตามตำแหน่งที่มาจาก Receptor cell ใน Retina



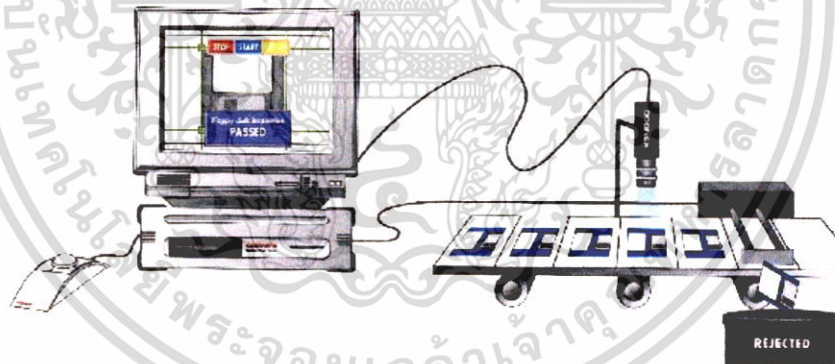
ภาพที่ 2.4 Neural pathway จาก Retina ทั้งสองข้างไปยัง Visual cortex

เมื่อมาถึง Optic chiasm ใยประสาทที่มาจาก Retina ด้านข้างจมูกจะมีการข้ามไปอยู่ใน Optic tract ด้านตรงข้าม Optic tract จะนำไปสู่ Lateral geniculate body ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Hypothalamus เพื่อ Synapse กับ Neuron ตัวใหม่ จากนั้น Impulse จะถูกส่งผ่าน Geniculo calcarine tract ไปสมองส่วน Visual cortex ซึ่งทำหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการมองเห็นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญส่วนแรกเป็น Primary visual area ทำหน้าที่ในการรับรู้และการบอกให้ทราบถึงรูปร่างและความคมชัดของวัตถุถ้าส่วนนี้เสียไปจะทำให้ตาบอด ส่วนที่สองเป็น Visual association area ทำหน้าที่ในการแปลผลถ้าส่วนนี้เสียไปทำให้ความสามารถในการบอกรูปร่างขนาดและชนิดของวัตถุเสียไปเกิด Alexia คือ มองเห็นแต่ไม่สามารถอธิบายภาพที่เห็นได้

## 2.3 การมองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์

จากการศึกษากระบวนการความสามารถในการมองเห็นได้ของมนุษย์และกระบวนการของการเกิดภาพ ทำให้เกิดแนวทางที่จะพัฒนาการมองเห็นได้ของคอมพิวเตอร์และการสร้างประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้รับรู้สถานะทางฟิสิกส์ได้มากขึ้น

ระบบการมองเห็นโดยทั่วไปในที่นี้จะกล่าวถึงระบบการมองเห็นของมนุษย์เบื้องต้น ซึ่งในหลายปีที่ผ่านมาในงานอุตสาหกรรมจะใช้การมองของมนุษย์ในการควบคุมคุณภาพ เช่นการตรวจสอบความชำรุด สี รอยตำหนิและลวดลายของชิ้นงานหรือวัตถุใดๆ ก็ตาม แต่เนื่องมาจากระบบการมองเห็นของมนุษย์มีความไม่แน่นอน เช่นการมองวัตถุชนิดเดียวกันที่มีความเข้มของสีต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้มนุษย์ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างดังกล่าวได้และยังคงเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกันอยู่ การตรวจสอบวัตถุที่กระทำซ้ำๆ กันเป็นเวลานานๆ เป็นผลให้เกิดความอ่อนล้าขึ้นที่ดวงตาและตัวมนุษย์เอง ซึ่งทำให้คุณภาพที่ออกมาไม่ถูกต้องไม่สม่ำเสมอ การตัดสินใจของแต่ละบุคคลที่ไม่เหมือนกันเป็นต้น สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการแยกแยะของดวงตา รวมถึงเขาวีปัญญา (Intelligent) ของแต่ละบุคคลด้วย โดยเขาวีปัญญานั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายทางเช่นการเรียนรู้จากประสบการณ์การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น การสังเกตเห็น ความรู้สึกที่รับรู้ได้เองเป็นต้น แต่เป็นเพียงส่วนน้อยที่เขาวีปัญญาจะเกิดขึ้นได้เอง



ภาพที่ 2.5 การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบและคัดแยกในงานอุตสาหกรรม

ในระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์มีลักษณะตายตัวจะสร้างขึ้นมาจากฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งตัวตรวจจับ (Sensor) ที่นิยมใช้งานมีอยู่หลายชนิดแต่เราได้เลือกเอากล้องวิดีโอมาใช้เป็นอุปกรณ์หลัก โดยกล้องวิดีโอสามารถมองเห็นภาพได้ใกล้เคียงกับตามนุษย์มากที่สุด ภาพที่ 2.5 เป็นระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์สามารถมองหรือตรวจสอบวัตถุที่กระทำซ้ำๆ กันเป็นเวลานานๆ และมีประสิทธิภาพสูงกว่ามนุษย์มาก แต่เนื่องจากในระบบการตรวจสอบนั้นจะออกแบบเป็นอัลกอริทึมเพียงครั้งเดียวเพื่อใช้ในการตรวจสอบเฉพาะงานใดงานหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อเสียของวิธีนี้ แต่จะทำให้ผลที่ได้มีความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความเชื่อถือได้เป็นอย่างดี เช่น เมื่อออกแบบอัลกอริทึมเฉพาะใช้ในการตรวจสอบสีของชิ้นงาน จะไม่สามารถนำอัลกอริทึมดังกล่าวไปตรวจสอบชิ้นงานได้จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขอัลกอริทึมขึ้นใหม่เสียก่อน แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้เริ่มมีการออกแบบพัฒนาระบบและฟังก์ชันในการตรวจสอบให้มีความสามารถใช้งานได้ทั่วไป โดยขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าจะนำไปประยุกต์ใช้งานประเภทใดไม่ว่าจะเป็นการแยกประเภทตำแหน่งขนาด ลวดลาย สี และชนิดของวัตถุใดๆก็ตาม

หุ่นยนต์ที่นิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมได้แบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile robot) และหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ไม่ได้ (Stationary robot) เหตุผลที่ต้องใช้หุ่นยนต์ก็เพราะว่าทำงานได้รวดเร็ว มีคุณภาพที่แน่นอน และสามารถทำงานที่เสี่ยงอันตรายแทนมนุษย์ได้ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมนำหุ่นยนต์ไปใช้งานต่างๆ เช่น ใช้งานตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน ใช้แขนกลในการหยิบจับชิ้นงานและนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ในการหยิบจับวัตถุ

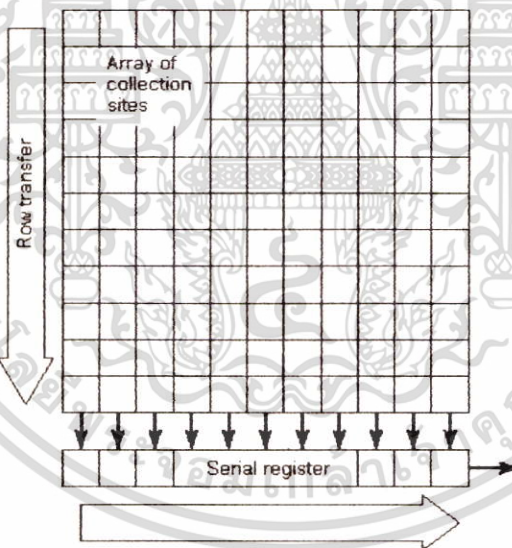
## 2.4 การประมวลผลภาพ (Image processing)

2.4.1 วิธีการเก็บภาพ ในการเก็บภาพของวัตถุจะอาศัยอุปกรณ์สำหรับเก็บภาพคือกล้อง CCD เพื่อทำการแปลงระดับความสว่างในแต่ละตำแหน่งของภาพให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอนาล็อก จากนั้นจะมีอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณภาพดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยทั่วไปจะใช้การ์ดดิจิทัลเซอร์ที่ประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและจะมีการจัดเรียงสัญญาณดิจิทัลนี้ลงสู่หน่วยความจำ (Video เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

memory) ซึ่งจะแทนค่าความสว่างของภาพในแต่ละจุดให้เกิดเป็นภาพเรียกว่าภาพดิจิทัล (Digital image)

ในภาพที่ 2.7 ภาพหนึ่งๆจะถูกแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆจำนวนมากเรียกว่าส่วนประกอบภาพ (Picture element) หรือจุดภาพ (Pixel) จำนวนของจุดภาพยิ่งมากยิ่งจะทำให้ภาพมีความละเอียดคมชัดมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงแทนภาพของแต่ละจุดภาพด้วยสัญญาณดิจิทัลหรือแทนด้วยสถานะลอจิก “0” และ “1” การใช้สัญญาณดิจิทัลมีข้อดีคือ การนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้สามารถทำได้ง่าย สิ่งที่สำคัญในการเก็บภาพคือกระบวนการดิจิทัลเซชันและหน่วยความจำภาพ

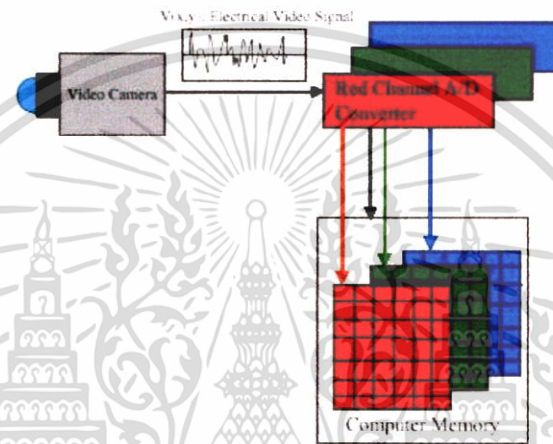
กระบวนการดิจิทัลเซชัน (Digitization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณภาพจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นข้อมูลทางดิจิทัลแล้วนำไปจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital conversion หรือ A/D) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ 1. การสุ่มตัวอย่างสัญญาณอนาล็อก (Sampling) และ 2. การจัดระดับของสัญญาณที่สุ่มมา (Quantizing) แต่ละระดับแทนด้วยรหัสดิจิทัลขนาด 8 บิต แทนระดับสัญญาณได้ 256 ระดับ ซึ่งพอเพียงสำหรับรายละเอียดภาพ



ภาพที่ 2.7 วิธีการเก็บภาพดิจิทัล

สัญญาณภาพประกอบด้วยสัญญาณหลายชนิดปะปนกันมา ในการแปลงสัญญาณจะทำการแปลงส่วนข้อมูลภาพจริงๆเท่านั้นในส่วนของสัญญาณอื่นๆเช่น สัญญาณแบล็กกิ้งไม่ได้ถูกแปลงด้วย แต่จะใช้ในการควบคุมการแปลงสัญญาณและการเขียนข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วลงหน่วยความจำ เนื่องจากสัญญาณภาพมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วมาก การจะเก็บรายละเอียดของสัญญาณภาพให้ครบ A/D ต้องทำงานที่ความถี่สูง และต้องใช้รหัสดิจิทัลขนาด 8 บิตเป็นอย่างน้อยโดยส่วนมาก A/D ที่ใช้เป็นประเภทแฟลช (Flash A/D) ซึ่ง แฟลช A/D นี้สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นค่าดิจิทัลได้เสร็จภายใน 1 คาบสัญญาณนาฬิกา สำหรับภาพขาวดำ สัญญาณ Y หรือ ลูมิแนนซ์เท่านั้นที่ถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพราะเป็นส่วนข้อมูลภาพ สำหรับภาพสีใช้แต่สัญญาณ Y เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายความหมายของสีได้จึงจำเป็นต้องใช้ 3 สัญญาณ Y , R-Y และ B-Yมาทำการแปลงสัญญาณจะทำให้ต้องใช้ A/D และ หน่วยความจำเพิ่มถึง 3 ชุด ถ้าไม่ใช้สัญญาณดังกล่าวสามารถใช้สัญญาณสี RGB ก็ได้โดยการนำสัญญาณภาพไปเข้าวงจรถอดรหัส (Decoder) เพื่อแยกเอาสัญญาณสี RGB ออกมาจากสัญญาณภาพ แล้วจึงนำไปแปลงสัญญาณต่อไป



ภาพที่ 2.8 วิธีการเก็บภาพจากกล้องวิดีโอเข้าสู่คอมพิวเตอร์

ในภาพที่ 2.8 สัญญาณอนาล็อกจากกล้องวิดีโอสามารถแสดงความละเอียดและจำนวนสีของภาพอาจเรียกได้ว่าไม่จำกัด เนื่องจากความต่อเนื่องของสัญญาณ แต่เมื่อสัญญาณภาพอนาล็อกถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลความละเอียดและจำนวนสีของภาพถูกจำกัดด้วยความเร็วของ A/D จำนวนบิตที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของหน่วยความจำ ในภาพระดับเกรย์สเกลแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ 256 ระดับนั่นคือ 1 จุดภาพ จะต้องสร้างจากข้อมูลจำนวน 8 บิตแต่ถ้าเป็นภาพสี 1 จุดภาพจะประกอบด้วยสัญญาณสี RGB ดังนั้นในแต่ละจุดภาพจึงต้องใช้จำนวนบิตที่เท่ากับ 24 บิต เพื่อให้สามารถเห็นระดับความแตกต่างของสีได้อย่างเพียงพอ ซึ่งสามารถแสดงสีที่แตกต่างกันได้ 16,777,216 สี

หน่วยความจำ (Video memory) สัญญาณภาพอนาล็อกเมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจะทำให้เกิดข้อมูลเป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราวก่อนที่นำไปใช้งาน หน่วยความจำที่ใช้เป็นประเภทอ่านและเขียนข้อมูลใหม่ได้หรือเรียกว่า RAM (Random Access Memory) บางครั้งหน่วยความจำภาพถูกเรียกว่า วิดีโอแรม (Video ram) คุณสมบัติของวิดีโอแรมที่ใช้ในการเก็บภาพที่สำคัญคือ ต้องใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล (Access time) ที่ต่ำมากนั่นคือความเร็วในการเขียนและอ่านข้อมูลต้องมากเพียงพอ ขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการจัดเก็บ ส่วนข้อมูลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพ

**2.4.2 การประมวลผลภาพ** ข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในการเก็บภาพในกระบวนการดิจิทัลเซชันคือไม่สามารถแยกแยะหรือกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นกับภาพนั้นได้ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลภาพบางตำแหน่งยังปกปิดข้อมูลที่เราสนใจ ซึ่งหากมองด้วยตาเปล่าแล้วไม่สามารถจะมองเห็นได้จึงได้มีการนำภาพดังกล่าวนี้ไปดำเนินการด้วยวิธีการที่เรียกว่า “การประมวลผลภาพ” ซึ่งจะทำการสร้างภาพใหม่ขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลตัวเลขคือในบริเวณที่เราสนใจจะถูกกระทำการปรับปรุงรายละเอียดของภาพ (Enhancement) และยังเป็นผลให้สัญญาณรบกวนลดลงหรือถูกกำจัดทิ้งไป

การประมวลผลภาพหรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ

1. วิธีประมวลผลทีละจุดใน 1 ภาพ (Point by point) โดยแต่ละจุดภาพของภาพต้นแบบ (Original image) จะถูกแปลงไปเป็นภาพใหม่ซึ่งค่าของแต่ละจุดภาพในภาพใหม่นี้จะสัมพันธ์กับค่าของจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันกับภาพต้นแบบตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนภาพไบนารี (Binary image) จุดภาพที่มีระดับเป็น “0” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นระดับ “1” ในภาพใหม่และจุดภาพที่มีระดับเป็น “1” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็น “0” ในภาพใหม่ในภาพที่ 2.9

2. วิธีประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกัน (Corresponding point) จากภาพตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป วิธีนี้จะสร้างภาพใหม่โดยใช้วิธีสหสัมพันธ์ (Correlation) ของแต่ละจุดภาพเพื่อหาค่าของจุดภาพที่เหมือนกันหรือสอดคล้องกันจากภาพ 2 ภาพหรือตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป



a.

b.

**ภาพที่ 2.9** การประมวลผลทีละจุดภาพ (a) ภาพก่อนการประมวลผลทีละจุดภาพ

(b) ภาพหลังการประมวลผลทีละจุดภาพ

ค่าของจุดภาพดังกล่าวสามารถนำมารวมกันด้วยวิธีการต่างเช่นค่าของจุดภาพจากภาพ 2 ภาพของเมืองๆหนึ่งที่เก็บเวลาต่างกันสามารถนำมาลบกันเพื่อคำนวณหาความเปลี่ยนแปลงที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดต่างๆ จำนวนหนึ่ง เพื่อแปลงไปเป็นข้อมูลภาพที่มีความสมบูรณ์หรือมีรายละเอียดของภาพที่สามารถแสดงให้เข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งตัวตรวจวัดอาจจะเป็นกล้องถ่ายภาพดาวเทียม โดยเก็บภาพของสเปกตรัมต่างๆกันเช่นรังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ต และรังสีที่สามารถมองเห็นได้เป็นต้น



ภาพที่ 2.10 การประมวลผลทีละกลุ่ม (a) ภาพก่อนการประมวลผล (b)ภาพหลังการประมวลผล

ภาพที่ 2.10 (a) แสดงภาพต้นแบบจะเห็นว่ามีส่วนถูกรบกวนเกิดขึ้นบนภาพแต่เมื่อนำมาประมวลผลโดยการเฉลี่ยทีละกลุ่มแล้วจะได้ ภาพที่ 2.10 (b) จะเห็นว่าส่วนถูกรบกวนจะลดลงมาก

3. วิธีประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพ (Regional points) ในการคำนวณจะใช้ค่าของจุดภาพที่อยู่รอบๆจุดภาพหลักนำมาสร้างภาพใหม่ด้วยวิธีการต่างๆเช่น การเฉลี่ยข้อมูลจากจุดภาพที่อยู่รอบๆจุดภาพหลัก ซึ่งจะช่วยลดข้อมูลที่มีความผิดพลาดให้ลดลง ดังนั้นค่าของจุดภาพในภาพใหม่นี้จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของจุดภาพ 9 จุดที่ติดกัน (จุดภาพหลักหนึ่งจุดและรอบๆจุดภาพหลักอีก 8 จุด)

## บทที่ 3

### ตัวกรองเกาส์เซียน

การลดสัญญาณรบกวนที่มีปะปนกับภาพอินพุท สามารถกระทำได้ด้วยการใช้ตัวกรองเกาส์เซียน [9] เพื่อให้ภาพที่นำมาประมวลผลนั้นมีความราบเรียบ (Smooth) มากขึ้น ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถปรับทิศทางได้ เนื่องจากให้ผลในเรื่องของการลดสัญญาณรบกวนแล้วยังมีความสามารถในการตรวจหาเส้นขอบของวัตถุในทิศทางต่างๆ ด้วย

#### 3.1 ตัวกรองเกาส์เซียนรูปแบบทั่วไป

สมการเกาส์เซียนเป็นสมการที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกรองความถี่โดยมีค่าสเกล-สเปซ (Scale-Space) เป็นตัวควบคุมคุณสมบัติในการกรองความถี่ กล่าวคือ ถ้าค่าสเกล-สเปซมีค่าน้อย ตัวกรองเกาส์เซียนจะมีคุณสมบัติยอมให้ความถี่สูงผ่านไปได้ แต่ในทางตรงข้ามกัน ถ้าค่าสเกล-สเปซมีค่าสูง ตัวกรองเกาส์เซียนจะมีคุณสมบัติเป็นตัวกีดความถี่สูง โดยสมการของตัวกรองถูกนิยามไว้ดังนี้

$$G(r,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (3.1)$$

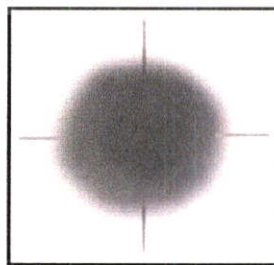
โดยที่

$r$  คือ polar coordinate ( $\sqrt{x^2 + y^2}$ )

$\sigma$  คือ scale space

เมื่อนำสมการตัวกรองเกาส์เซียนนี้มาทำเป็นหน้าตา (Mask) ขนาด 21\*21 จะได้ดังภาพที่

3.1



ภาพที่ 3.1 หน้าตาของตัวกรองเกาส์เซียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้

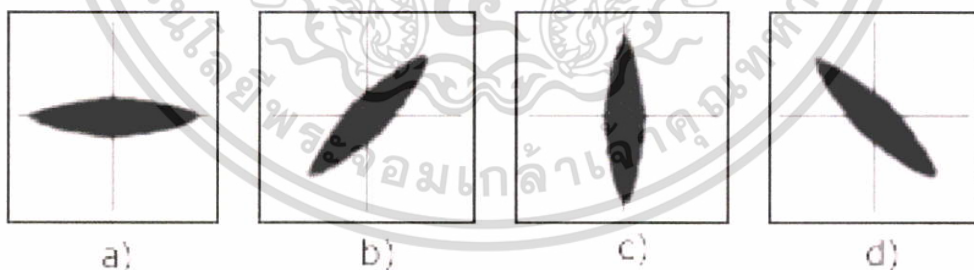
ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้ ที่นำเสนอโดย H. J. Chen และคณะ [10] สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G_i(r, \phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \cdot e^{\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \beta_i(r, \phi) \tag{3.2}$$

$$\beta_i(r, \phi) = e^{\frac{-r^2 \sin^2(\phi - \phi_i)}{2(\sigma/\rho)^2}} \tag{3.3}$$

- โดยที่  $r$  คือ polar coordinate ( $\sqrt{x^2 + y^2}$ )
- $\sigma$  คือ scale space
- $\phi$  เป็นทิศทางของหน้าต่างตัวกรอง
- $\phi_i$  เป็นค่า coordinate angle ที่พิกัด X และ Y
- $\rho$  เป็นค่า Gaussian scaling

เมื่อ  $\beta_i(r, \phi)$  คือฟังก์ชันที่เป็นตัวกำหนดทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียน โดยกำหนดได้จาก  $\phi_i$  โดยที่  $i$  คือลำดับของตัวกรอง 1, 2...4 เป็นต้น



ภาพที่ 3.2 หน้าต่างของตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้

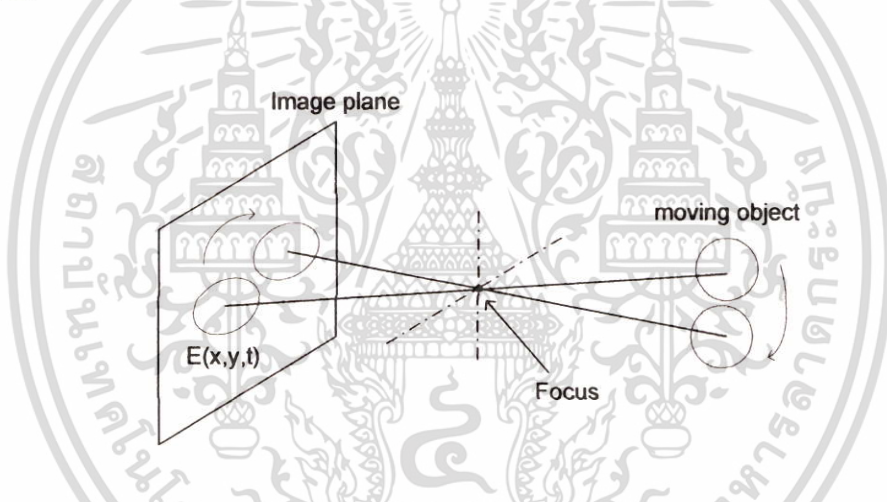
โดยที่ภาพ a. เป็นการแสดงหน้าต่างตัวกรองที่มีมุม 0 องศา และภาพ b, c และ d จะมีมุมของตัวกรองเป็น 45, 90 และ 135 องศา ตามลำดับ ซึ่งการใช้ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้จะให้ผลในเรื่องของการลดสัญญาณรบกวนและยังให้ผลในด้านการตรวจหาขอบของวัตถุด้วย กล่าวคือเส้นขอบของวัตถุที่มีมุมเดียวกันหรือใกล้เคียงกับมุมของตัวกรองจะแสดงชัดเจนขึ้น การประสานตัวกรองเกาส์เซียนกับภาพสามารถกระทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G \bullet I_{(x,y)} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} G_{(i,j)} \bullet I_{(x+i,y+j)} \quad (3.4)$$

- โดยที่  $G_{(x,y)}$  เป็นตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้ขนาด  $(n \times m)$   
 $I_{(x,y)}$  เป็นภาพระดับสีเทาที่มีขนาด  $(N \times M)$
- เป็นการ Convolution ตัวกรองกับภาพ

ในการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบภาพด้วย Optical flow โดยหลักการของ Horn และ Shunck [1] ดังภาพที่ 3.3 ในการวัดการเคลื่อนที่โดยทั่วไปจะสมมุติว่าการเคลื่อนที่ของ pattern ความสว่างบนระนาบภาพ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีค่าความเข้มของแสงหรือความสว่างค่อนข้างคงที่อย่างน้อยๆ ก็ในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้ากำหนดให้  $E(x,y,t)$  เป็นความเข้มของแสงที่พิกัด  $(x,y)$  ในช่วงเวลา  $t$  สมการ Optical flow สามารถหาได้จากสมการที่ 3.5



ภาพที่ 3.3 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบภาพ

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (3.5)$$

จากสมการที่ 3.5 เมื่อเขียนอยู่ในรูปสมการเชิงเส้น โดยกำหนดให้  $\frac{\partial E}{\partial x} = E_x$ ,  $\frac{\partial E}{\partial y} = E_y$  และ  $\frac{\partial E}{\partial t} = E_t$  ส่วน  $\frac{dx}{dt} = u$  และ  $\frac{dy}{dt} = v$  แทนค่ากลับไปในสมการ 3.5 จะได้เป็นสมการเชิงเส้นที่เรียกว่า สมการ Optical Flow Constraint (OFC)

$$E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแนวคิดที่จะหาคำตอบของสมการการเคลื่อนที่ด้วยวิธีที่ไม่ต้องคำนวณแบบวนซ้ำ (Iterative) ดังนั้นจึงต้องสร้างสมการการเคลื่อนที่ของจุดภาพเพิ่มขึ้น โดยอาศัยหน้าต่างตัวกรอง เกาซ์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้เป็นตัวสร้างสมการ ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้าง หน้าต่างตัวกรองเกาซ์เซียนจำนวน 4 ทิศทาง อันเนื่องมาจากสมการการเคลื่อนที่ ที่ถูกนำเสนอโดย Horn และ Schunck [1] ที่มีรูปแบบของสมการที่เป็น 1 สมการ 2 ตัวแปร ซึ่งไม่สามารถหาคำตอบ ของสมการได้ด้วยตัวเอง การหาคำตอบ ณ ที่จุดภาพนั้นๆ ของสมการอาศัยหน้าต่างตัวกรองเกาซ์ เซียนประสานกับภาพอินพุทเป็นตัวสร้างสมการการเคลื่อนที่ให้มีจำนวนเพิ่มขึ้น ตามจำนวนของ หน้าต่างตัวกรอง เช่น ภาพอินพุทที่จุดภาพพิกัด (2,2) เมื่อผ่านกระบวนการประสานกับหน้าต่างตัว กรองที่มีจำนวน 4 ตัวกรองที่มีมุมต่างกัน จะทำให้ได้สมการการเคลื่อนที่จำนวน 4 สมการ ที่จะ นำไปใช้ในการหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ต่อไป

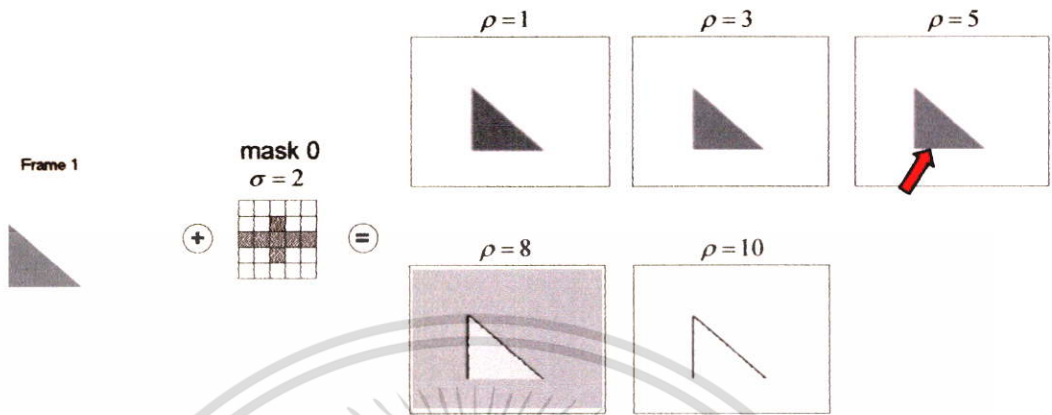


ภาพที่ 3.4 ผลการประสานภาพอินพุทกับหน้าต่างตัวกรองเกาซ์เซียน

จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 พิจารณาพบว่ารูปลักษณะของหน้าต่างตัวกรองจะมีการเปลี่ยนแปลงตามตัวแปร  $\sigma$  และ  $\rho$  ในการวิจัยพบว่าเป็นการยากที่จะกำหนดค่า  $\sigma$  และ  $\rho$  ให้มีความเหมาะสมกับภาพต่างๆ ดังนั้นหากสามารถทำการกำหนดให้มีค่าคงที่ได้ จะช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณลง โดยในสมมุติฐานแรกคือการกำหนดค่า Gaussian Scaling ( $\rho$ ) ให้มีค่าคงที่ เหมาะสมกับภาพต่างๆ ดังตัวอย่างภาพที่ 3.5 แสดงผลภาพเอ้าท์พุทที่ได้จากการ Convolution ภาพ

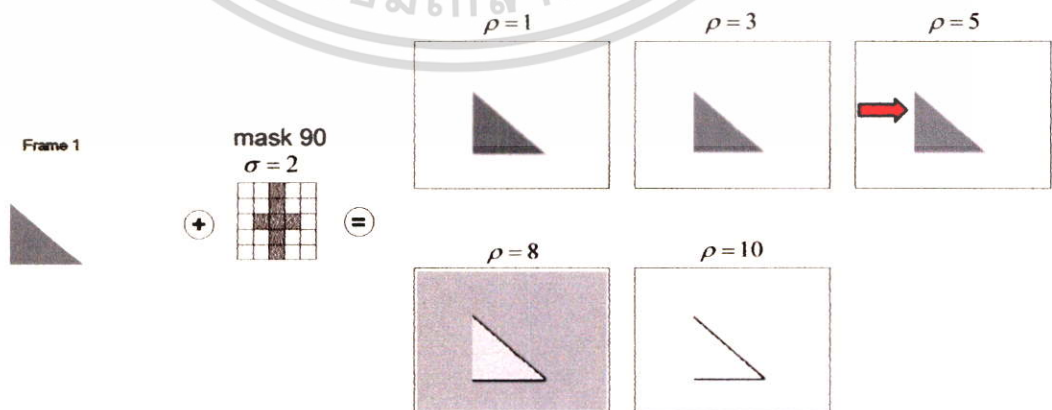
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทกับหน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียน ทิศทาง 0 องศา ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) ให้มีค่าระหว่าง 1 ถึง 10 โดยกำหนดให้ตัวแปร scale space ( $\sigma$ ) มีค่าคงที่เท่ากับ 2



ภาพที่ 3.5 ผลการประสานภาพอินพุทกับตัวกรองที่ 0 องศา ที่  $\rho$  ค่าต่างๆ

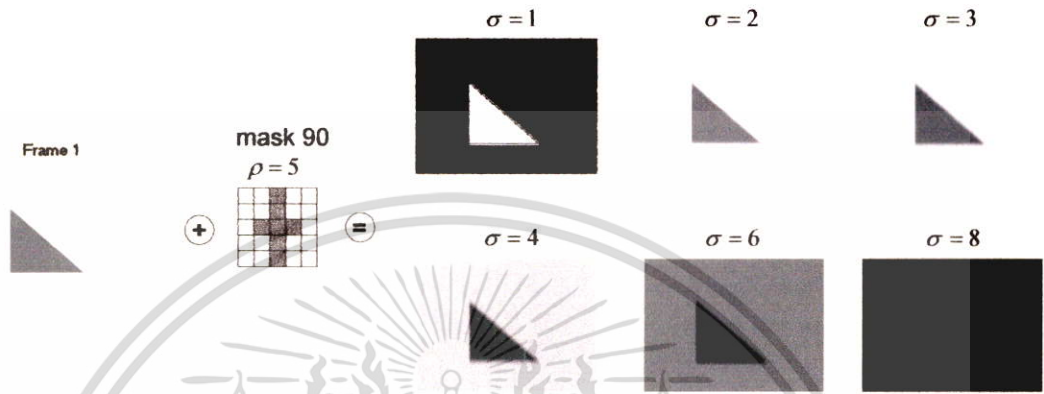
จากการทดลองประสานภาพอินพุทกับหน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียนมุม 0 องศา ทำการทดลองโดยคงที่ค่า scale space ( $\sigma$ ) เท่ากับ 2 และทำการปรับค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) ให้มีค่าระหว่าง 1 ถึง 10 จากการทดลองพบว่าเมื่อค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) มีการเปลี่ยนแปลง ความคมชัดของเส้นขอบของวัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงตาม ดังในภาพส่วนของเส้นขอบด้านมุม 0 องศาจะมีความคมชัดที่สุดที่ค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) ที่ค่าเท่ากับ 5 และในภาพที่ 3.6 เป็นภาพตัวอย่างการประสานภาพอินพุทกับหน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียนที่มีมุม 90 องศา โดยทำการคงที่ค่า scale space ( $\sigma$ ) และทำการปรับค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) เหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา ในการทดลองผลลัพธ์ที่ได้ให้ผลเหมือนกับการทดลองที่มุม 0 องศา คือเส้นขอบของวัตถุด้านที่มีทิศทางตรงกับทิศทางของตัวกรองที่มุม 90 องศา มีความคมชัดที่สุดที่ค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) เท่ากับ 5



ภาพที่ 3.6 ผลการประสานภาพอินพุทกับตัวกรองที่ 90 องศา ที่  $\rho$  ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติฐานอีกส่วนคือการทดลองกำหนดค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) ให้มีค่าคงที่ แล้วปรับเปลี่ยนค่า scale space ( $\sigma$ ) ให้มีค่าต่างๆ กัน โดยในการทดลองทำการทดลองที่หน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียน ที่มีมุม 90 องศา และกำหนดให้ค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) มีค่าเท่ากับ 5 ผลการทดลองแสดงได้ในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ผลการประสานภาพอินพุทกับตัวกรองที่ 90 องศา ที่  $\sigma$  ค่าต่างๆ

จากการทดลองเมื่อทำการคงที่ค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) และทำการปรับเปลี่ยนค่า scale space ( $\sigma$ ) ที่ค่าต่างๆ พบว่าเมื่อปรับค่า scale space ( $\sigma$ ) ให้มีค่าสูง ผลที่ได้คือภาพผลลัพธ์จะมีความคมชัดลดลง ดังนั้นในการเลือกใช้ค่า scale space ( $\sigma$ ) และ Gaussian scaling ( $\rho$ ) หากเลือกค่าที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลถึงการนำข้อมูลภาพไปใช้ในการคำนวณขั้นตอนต่อไป ในการทดลองปรับค่า Gaussian scaling ( $\rho$ ) ที่มีความเหมาะสมคือ มีค่าเท่ากับ 5 อันเนื่องมาเป็นค่าที่ทำให้เส้นขอบของวัตถุที่มีทิศทางเดียวกันกับมุมของหน้าต่างตัวกรอง มีความคมชัดที่สุด ส่วนค่า scale space ( $\sigma$ ) จะกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าได้ เพื่อให้ได้ค่า scale space ที่เหมาะสมกับภาพในแต่ละภาพ จากตัวอย่างการทดลองดังภาพที่ 3.6 ซึ่งทำการทดลองปรับค่า scale space ( $\sigma$ ) จากค่าเท่ากับ 1 ถึง 8 โดยพบว่าในช่วงที่ค่า scale space ( $\sigma$ ) ที่มีมากกว่า 4 ภาพที่ได้มีความราบเรียบ (Smooth) มากจนแทบที่จะแยกออกจากระดับสีเทาของพื้นหลังไม่ได้ และในช่วงที่ค่า scale space ( $\sigma$ ) มีค่าระหว่าง 1-4 นั้นจะพบปัญหา ในเรื่องของการกำหนดค่าให้มีความเหมาะสมกับภาพแต่ละภาพ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการกำหนดค่า scale space ( $\sigma$ ) ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 4 โดยในการปรับค่าจะกำหนดให้มีการปรับเป็นระดับ ซึ่งไม่เกิน 20 ช่วง เช่น กำหนดค่า scale space ( $\sigma$ ) ด้านต่ำที่ 2 และด้านสูงที่ 4 และมีระดับในการเปลี่ยนเท่ากับ 0.2 ดังนั้นค่า scale space ( $\sigma$ ) จะมีค่าเป็น 2, 2.2, 2.4, 2.6, .....3.8, 4 ซึ่งรวมแล้วจะมีค่า scale space ( $\sigma$ ) เท่ากับ 11 ค่า แล้วนำแต่ละค่าไปทำการประสานกับภาพอินพุท เพื่อที่ใช้ในการคำนวณ Optical flow หาเวกเตอร์ความเร็วของการเคลื่อนที่ต่อไป

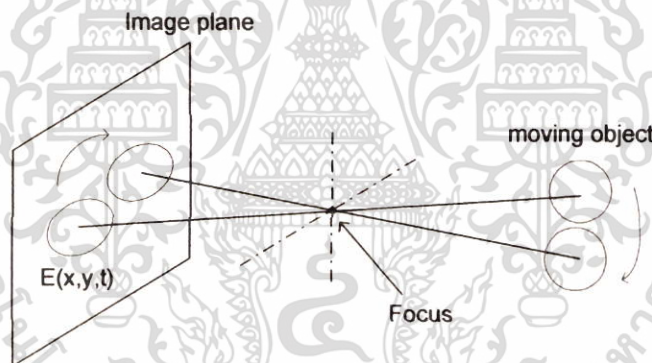
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การคำนวณ Optical Flow

การตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Optical flow) จากข้อมูลภาพที่ต่อเนื่องเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระบบการมองเห็นของมนุษย์โดยจำลองการรับรู้ข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์หรือหุ่นยนต์ วิธีการคำนวณการเคลื่อนที่ที่ถูกจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ การคำนวณแบบวนซ้ำ (Iterative Method) ที่นำเสนอโดย Horn และ Schunck [1] ส่วนอีกวิธีคือ Adaptive Gradients [2] และ Relaxation method [3] ซึ่งอาศัยหลักการคำนวณแบบวนซ้ำเช่นกัน ในอีกกรณีคือการคำนวณแบบไม่วนซ้ำ (Non-Iterative Method) ที่อาศัยการหาคำตอบของสมการด้วยการใช้วิธี Least Square ดังจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

#### 4.1 การคำนวณแบบวนซ้ำ (Iterative Method)



ภาพที่ 4.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบภาพ

ความสัมพันธ์ระหว่าง Optical flow ในระนาบภาพกับความเร็วของวัตถุในโลกสามมิติจากหลักการของ Horn และ Schunck [1] สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.1 ในการวัดการเคลื่อนที่โดยทั่วไปจะสมมุติว่าการเคลื่อนที่ของ pattern ความสว่างบนระนาบภาพ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีค่าความเข้มของแสงหรือความสว่างค่อนข้างคงที่อย่างน้อยๆ ก็ในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้ากำหนดให้  $E(x, y, t)$  เป็นความเข้มของแสงที่พิกัด  $(x, y)$  ในช่วงเวลา  $t$  สมการ Optical flow สามารถหาได้บนพื้นฐานสมมุติฐานที่ว่า

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อเขียนในรูปของสมการเชิงเส้นที่ประกอบด้วยตัวแปร  $u$  และ  $v$  จะได้

$$E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (4.2)$$

i	i+1	
-1/4	1/4	j
-1/4	1/4	j+1

Ex - Mask

i	i+1	
-1/4	-1/4	j
1/4	1/4	j+1

Ey - Mask

t1	t2	
-1/4	-1/4	1/4
-1/4	-1/4	1/4

Et - Mask

ภาพที่ 4.2 หน้าต่างเกรเดียน Ex, Ey และ Et

$E_x$  และ  $E_y$  คือเกรเดียนที่ทางระยะทางของความเข้มของแสงในแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ  $u$  และ  $v$  เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแกน x และแกน y และ  $E_t$  คือเกรเดียนที่ทางเวลาของความเข้มของแสงอย่างไรก็ตาม สมการที่ 4.2 ไม่สามารถคำนวณหาตัวแปร  $u$  และ  $v$  ได้ Horn และ Schunck [1] ได้นำเสนอ Smoothness constraint เพื่อแก้สมการ Optical flow โดยพิจารณาว่าความเร็วของจุดภาพใกล้เคียงจะมีค่าเหมือนกัน จากการเพิ่มสมการ Smoothness constraint ทำให้ง่ายต่อการแก้สมการที่ 4.2 ทำได้โดยการคำนวณสมการที่ 4.3 ให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

$$\min_{u,v} \int_D \{ (E_x u + E_y v + E_t)^2 + \alpha^2 [(\bar{u} - u)^2 + (\bar{v} - v)^2] \} d_x d_y \quad (4.3)$$

โดยที่  $\bar{u}$  และ  $\bar{v}$  เป็นค่าเฉลี่ยความเร็วของจุดภาพข้างเคียงในแนวแกน x และแกน y ส่วน  $\alpha$  คือค่า Weighting factor ซึ่งตามปกติจะถูกเลือกให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด

i-1	i	i+1	
1/12	1/6	1/12	j-1
1/6		1/6	j
1/12	1/6	1/12	j+1

ภาพที่ 4.3 หน้าต่างผลรวมของ  $\bar{u}$  และ  $\bar{v}$

สมการที่ 4.3 จะหาคำตอบได้ด้วยวิธีการวนซ้ำ Gauss-Seidal (Gauss-Seidal iterative method) โดยใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องสองเฟรม ด้วยสมการ

$$\begin{aligned} u^{n+1} &= \bar{u}^n - E_x [E_x \bar{u}^n + E_y \bar{v}^n + E_t] / (\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2) \\ v^{n+1} &= \bar{v}^n - E_y [E_x \bar{u}^n + E_y \bar{v}^n + E_t] / (\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2) \end{aligned} \quad (4.4)$$

เนื่องจากการหา Optical flow ด้วยวิธีการของ Horn และ Schunck [1] จะเกิดปัญหาข้อมูลส่วนเกิน (Numerical artifacts) ที่เกิดจากการปิดบังของวัตถุระหว่างเฟรมต่อเฟรม อย่างไรก็ตามข้อมูลส่วนเกินนี้สามารถลดและกำจัดได้ด้วยการใช้ Adaptive Gradients ที่นำเสนอโดย S. Sun และคณะ [2] ถ้ากำหนดให้ตัวแปร  $R$  เป็นค่าคงเหลือโดยสมบูรณ์ (Absolutely residual numbers) ของสมการที่ 4.2

$$R = |E_x u + E_y v + E_t| \quad (4.5)$$

ซึ่งในทางปฏิบัติสมการที่ 4.1 และ 4.2 จะไม่เป็นจริง อย่างไรก็ตามคำตอบของสมการที่ 4.5 จะถูกต้องมากที่สุดเมื่อค่า  $R$  มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นการคำนวณหา Optical flow ด้วย Adaptive Gradients จะใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องสามภาพ ถ้ากำหนดให้เกรเดียนต์ความเข้มของแสงในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  หาได้จาก

$$\begin{aligned} E_{x(i,j,t)} &= \frac{1}{4} [E_{(i-1,j+1,t)} - E_{(i+1,j+1,t)} + E_{(i-1,j-1,t)} - E_{(i+1,j-1,t)} + 2E_{(i-1,j,t)} - 2E_{(i+1,j,t)}] \\ E_{y(i,j,t)} &= \frac{1}{4} [E_{(i-1,j-1,t)} - E_{(i-1,j+1,t)} + E_{(i+1,j-1,t)} - E_{(i+1,j+1,t)} + 2E_{(i,j-1,t)} - 2E_{(i,j+1,t)}] \end{aligned} \quad (4.6)$$

เมื่อ  $E_{x(i,j,t)}$  คือ เกรเดียนต์ทางระยะทางของความเข้มของแสงในแนวแกน  $x$  ที่พิกัด  $(i, j)$  ในเฟรม  $t$

$E_{y(i,j,t)}$  คือ เกรเดียนต์ทางระยะทางของความเข้มของแสงในแนวแกน  $y$  ที่พิกัด  $(i, j)$  ในเฟรม  $t$

จากการที่เราต้องการให้ได้คำตอบของ Optical flow ถูกต้องมากที่สุด เราจะทำการหาค่าเกรเดียนต์ของแต่ละจุดภาพทั้งไปข้างหน้าและไปข้างหลังจากข้อมูลภาพในเฟรมที่  $t$  โดยให้ตัวยกขึ้น  $f$  แทนไปข้างหน้าและ  $b$  แทนไปข้างหลัง จุดภาพใดที่ให้ค่าคงเหลือโดยสมบูรณ์น้อยที่สุดไม่ว่าจะไปข้างหน้าและข้างหลังจะถูกเลือก นั่นคือ ณ ที่จุดภาพนั้นๆ พิจารณาที่ค่าสัมบูรณ์ดังสมการที่ 4.5 ถ้าหากว่าผลของสมการ  $R^b$  เทียบกับสมการ  $R^f$  โดยที่นำผลการคำนวณค่า  $u$  และ  $v$  ที่ได้ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันนั้นกลับเข้าไปแทนค่าในสมการ 4.7 ซึ่งข้อแม้ในการเปรียบเทียบกำหนดให้เป็นดังสมการที่ 4.8

$$R^b = E_x u + E_y v + E_t^b$$

$$\text{และ } R^f = E_x u + E_y v + E_t^f \quad (4.7)$$

$$\text{If } R^b(i,j,t) \leq R^f(i,j,t) \quad (4.8)$$

$$\text{Then } E_t(i,j,t) = E_t^b(i,j,t) \quad (4.9)$$

$$\text{Else } E_t(i,j,t) = E_t^f(i,j,t) \quad (4.10)$$

โดยที่

$$E_t^f(i,j,t) = \frac{1}{16} [4E_{(i,j,t+1)} - 4E_{(i,j,t)} + E_{(i+1,j+1,t+1)} - E_{(i+1,j+1,t)} + 2E_{(i,j+1,t+1)} - 2E_{(i,j+1,t)} + 2E_{(i+1,j,t+1)} - 2E_{(i+1,j,t)} + 2E_{(i,j-1,t+1)} - 2E_{(i,j-1,t)} + 2E_{(i-1,j,t+1)} - 2E_{(i-1,j,t)} + E_{(i-1,j-1,t+1)} - E_{(i-1,j-1,t)} + E_{(i-1,j+1,t+1)} - E_{(i-1,j+1,t)} + E_{(i+1,j-1,t+1)} - E_{(i+1,j-1,t)}] \quad (4.11)$$

$$E_t^b(i,j,t) = \frac{1}{16} [4E_{(i,j,t)} - 4E_{(i,j,t-1)} + E_{(i+1,j+1,t)} - E_{(i+1,j+1,t-1)} + 2E_{(i,j+1,t)} - 2E_{(i,j+1,t-1)} + 2E_{(i+1,j,t)} - 2E_{(i+1,j,t-1)} + 2E_{(i,j-1,t)} - 2E_{(i,j-1,t-1)} + 2E_{(i-1,j,t)} - 2E_{(i-1,j,t-1)} + E_{(i-1,j-1,t)} - E_{(i-1,j-1,t-1)} + E_{(i-1,j+1,t)} - E_{(i-1,j+1,t-1)} + E_{(i+1,j-1,t)} - E_{(i+1,j-1,t-1)}]$$

การคำนวณค่า  $u, v$  ครั้งต่อไปสมการที่ 4.4 นั้นค่าของ  $E_t(i,j,t)$  จะถูกเลือกตามเงื่อนไขในสมการที่ 4.8 และจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณรอบถัดไป

#### การคำนวณ Optical flow ด้วย Adaptive gradient ร่วมกับ Successive Over-Relaxation

ปัญหาอีกประการหนึ่งของการคำนวณหา Optical flow ตามวิธีของ Horn และ Schunck [1] ก็คือใช้เวลาในการคำนวณมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวเราจะใช้วิธีการวนซ้ำแบบ Successive over-relaxation ที่นำเสนอโดย H. Li [3] ทั้งนี้ก็เพื่อให้การวนซ้ำเข้าสู่ค่าจริงหรือสภาวะคงตัวได้เร็วขึ้น สมการการวนซ้ำด้วยวิธีการนี้สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\bar{X}^{n+1} = \bar{X}^n + \omega \bar{r}^n \quad (4.12)$$

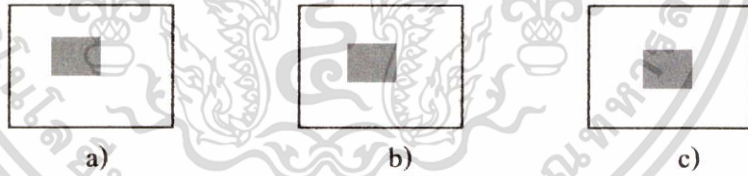
การคำนวณ Optical flow ด้วยวิธีการวนซ้ำแบบ Successive over-relaxation ที่นำเสนอโดย H. Li [3] นั้นให้ผลในเรื่องของความเร็วในการประมวลผล แต่ปัญหาที่พบตามมาคือ เรื่องของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ของเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตสนามเวกเตอร์ ของวัตถุมีการกระจายออกกรอบนอก โดยงานวิจัยที่นำเสนอโดยเกษตร์และคณะ [7] เป็นการประยุกต์ใช้ Adaptive Gradients ที่นำเสนอโดย S. Sun และคณะ [2] ร่วมกับการคำนวณแบบวนซ้ำแบบ Successive over-relaxation ที่นำเสนอโดย H. Li [3] เพื่อแก้ไขปัญหาทั้งในเรื่องของเวลาในการคำนวณและปัญหาของการกระจายของสนามเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการนำเสนอสมการที่ 4.12 ไปประยุกต์เข้ากับสมการที่ 4.4 เขียนเป็นสมการใหม่ขึ้นมาเป็นสมการที่ 4.13

$$\begin{aligned}
 u^{n+1}_{(i,j,t)} &= (1 - \varpi)u^n_{(i,j,t)} + \frac{\varpi}{4 + \alpha Ex_{(i,j,t)}^2} (u^{n+1}_{(i-1,j,t)} + u^{n+1}_{(i+1,j,t)} + u^{n+1}_{(i,j-1,t)} + u^n_{(i,j+1,t)} \\
 &\quad - \alpha Ex_{(i,j,t)} Ey_{(i,j,t)} v^n_{(i,j,t)} - \alpha Ex_{(i,j,t)} Et_{(i,j,t)}) \\
 v^{n+1}_{(i,j,t)} &= (1 - \varpi)v^n_{(i,j,t)} + \frac{\varpi}{4 + \alpha Ey_{(i,j,t)}^2} (v^{n+1}_{(i-1,j,t)} + v^{n+1}_{(i+1,j,t)} + v^{n+1}_{(i,j-1,t)} + v^n_{(i,j+1,t)} \\
 &\quad - \alpha Ex_{(i,j,t)} Ey_{(i,j,t)} u^{n+1}_{(i,j,t)} - \alpha Ey_{(i,j,t)} Et_{(i,j,t)})
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

ส่วนการพิจารณาเกรเดียนต์ทางระยะทางของความเข้มของแสงในแนวแกน X , Y และในส่วนของเวลา ใช้หลักการของ Adaptive gradient ที่นำเสนอโดย S. Sun และคณะ [2] ในการทดลองการคำนวณ Optical flow ด้วยวิธี Adaptive gradient ร่วมกับ Successive Over-Relaxation [7] เปรียบเทียบกับการคำนวณ Optical flow ด้วยหลักการของ Horn และ Schunck [1] ด้วยภาพอินพุตดังภาพที่ 4.4

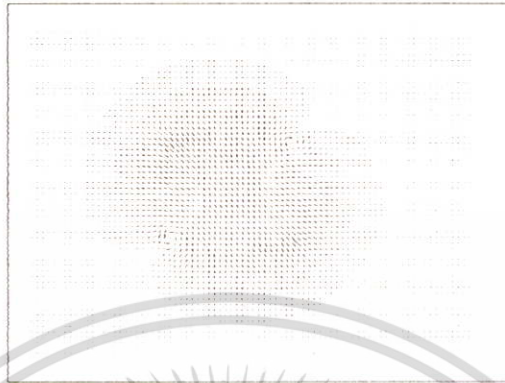


ภาพที่ 4.4 ภาพอินพุต a) เฟรมที่ 1 b) เฟรมที่ 2 c) เฟรมที่ 3

โดยในภาพที่นำมาทดลองเป็นภาพ Synthesis กำหนดให้วัตถุในภาพเป็นวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยม ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางเป็นมุม -45 องศา ด้วยระยะทาง 5 พิกเซล ทั้งในแนวแกน x และแกน y เป็นภาพลำดับต่อเนื่องจำนวน 3 ภาพต่อเนื่อง ในการทดลองด้วยวิธีของ Horn และ Schunck จะใช้ภาพอินพุตจำนวน 2 ภาพซึ่งจะใช้ภาพอินพุตเฟรมที่ 2 และ 3 ส่วนการทดลองกับวิธี Adaptive Gradients และ Relaxation [7] จะใช้ภาพอินพุตจำนวน 3 ภาพด้วยกัน ซึ่งผลลัพธ์แสดงในรูปของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ เมื่อกำหนด Weighting factor ( $\alpha$ ) มีค่าเท่ากับ 3 เท่ากันทั้งสองวิธี ภาพที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ เป็นภาพสนามเวกเตอร์ที่ได้จากการทดลองทั้งสองวิธี จากรูปที่ 4.5 เป็นผลที่ได้จากวิธีการของ Horn และ Schunck ที่การกำหนดค่าเริ่มต้นของการวนซ้ำที่  $u=1$  และ  $v=1$

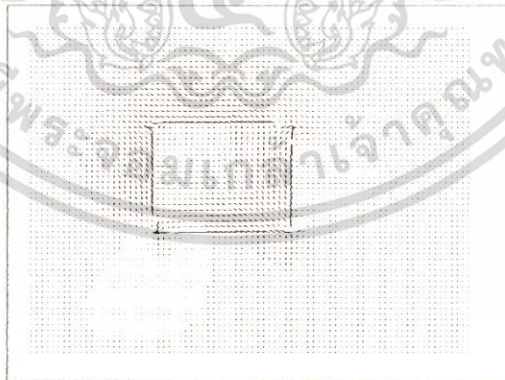
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าสนามเวกเตอร์ที่ได้มีข้อมูลส่วนเกินที่เกิดจากการปิดบังกันรวมอยู่เป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 4.5 การคำนวณด้วยวิธีของ Horn and Schunck [1] ที่ค่า  $\alpha=3$  ,  $N=284$  รอบ

รูป 4.6 เป็นสนามเวกเตอร์ที่ได้จากวิธี Adaptive Gradients และ Relaxation [7] ในการทดลองกำหนดค่าอัตราเร่ง  $\omega$  ที่ค่า 1.5 พบว่าจำนวนรอบของการคำนวณลดลงเท่ากับ 150 รอบ โดยทำการตั้งค่า error ของผลต่างระหว่างรอบเท่ากันอยู่ที่  $error < 1\%$  พบว่าการคำนวณด้วยวิธี Adaptive Gradients และ Relaxation [7] สามารถที่จะช่วยลดเวลาในการคำนวณลงได้ และผลที่ได้ก็ประการคือข้อมูลส่วนเกินได้ถูกกำจัดออก ทำให้ได้ขอบเขตการเคลื่อนที่ของวัตถุถูกต้องชัดเจนมากกว่า



ภาพที่ 4.6 การคำนวณด้วยวิธี Adaptive gradients and Successive over – relaxation  
ที่ค่า  $\alpha=3$  ,  $\omega=1.5$   $N=150$  รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การคำนวณแบบไม่วนซ้ำ (Non - Iterative Method)

จากงานวิจัยของ เกษตร์และคณะ [8] การคำนวณแบบไม่วนซ้ำจะพิจารณาให้สมการ Optical flow ในสมการที่ 4.2 เป็นสมการในระบบเชิงเส้น (Linear system) ที่สามารถแก้สมการได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) แต่เนื่องจากสมการที่ 4.2 นั้นไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีการธรรมดา ดังนั้นเราจึงใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ที่สามารถกำหนดทิศทางได้มาทำการ convolution กับภาพที่เรียงต่อเนื่องกัน (image sequence) ทำให้เราได้ภาพที่เรียงต่อเนื่องกันอันใหม่ ที่มีสมการ OFC เท่ากับจำนวนทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียน นั่นคือ

$$Ex_i u + Ey_i v + Et_i = 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (4.14)$$

เมื่อ  $m$  = จำนวนทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียน

ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G_i(r, \phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \beta_i(r, \phi) \quad (4.15)$$

$$\beta_i(r, \phi) = e^{\frac{-r^2 \sin^2(\phi - \phi_i)}{2(\sigma/\rho)^2}} \quad (4.16)$$

โดยที่  $r$  คือ polar coordinate ( $\sqrt{x^2 + y^2}$ )

$\sigma$  คือ scale space

$\phi$  เป็นทิศทางของหน้าต่างตัวกรอง

$\phi_i$  เป็นค่า coordinate angle

$\rho$  เป็นค่า Gaussian scaling

เมื่อ  $\beta_i(r, \phi)$  คือฟังก์ชันที่เป็นตัวกำหนดทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียน โดยกำหนดได้จาก  $\phi_i$  โดย  $i$  คือจำนวนหน้าต่างตัวกรองที่ 1, 2, ..., 4 เป็นต้น

ถ้าเรากำหนดให้ทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียนมี 4 ทิศทาง ซึ่งเมื่อนำหน้าต่างของตัวกรองเกาส์เซียน มาทำการ convolution กับภาพที่เรียงต่อเนื่องกัน เราจะได้สมการ Optical flow จำนวน 4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ โดยมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัวแปร การแก้สมการหาคำตอบ  $u$  และ  $v$  นั้นทำได้โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ผลจากการนำหน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียนที่มีทิศทางต่างกัน 4 ทิศทางคือ 0, 45, 90 และ 135 องศา ทำการ convolution กับภาพอินพุตทั้ง 2 เฟรม ทำให้ได้สมการ OFC จำนวน 4 สมการ ดังสมการที่ 4.17

$$\begin{aligned} Ex_0u + Ey_0v + Et_0 &= 0 \\ Ex_{45}u + Ey_{45}v + Et_{45} &= 0 \\ Ex_{90}u + Ey_{90}v + Et_{90} &= 0 \\ Ex_{135}u + Ey_{135}v + Et_{135} &= 0 \end{aligned} \quad (4.17)$$

นำสมการ 4.17 แก้สมการหาคำตอบ  $u$  และ  $v$  นั้นทำได้โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ดังสมการที่ 4.18

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n (Ex_iu + Ey_iv + Et_i)^2 \quad (4.18)$$

กำหนดให้  $\frac{\partial \varepsilon}{\partial u} = 0$  และ  $\frac{\partial \varepsilon}{\partial v} = 0$  ดังนั้นสามารถจัดรูปสมการให้เป็น

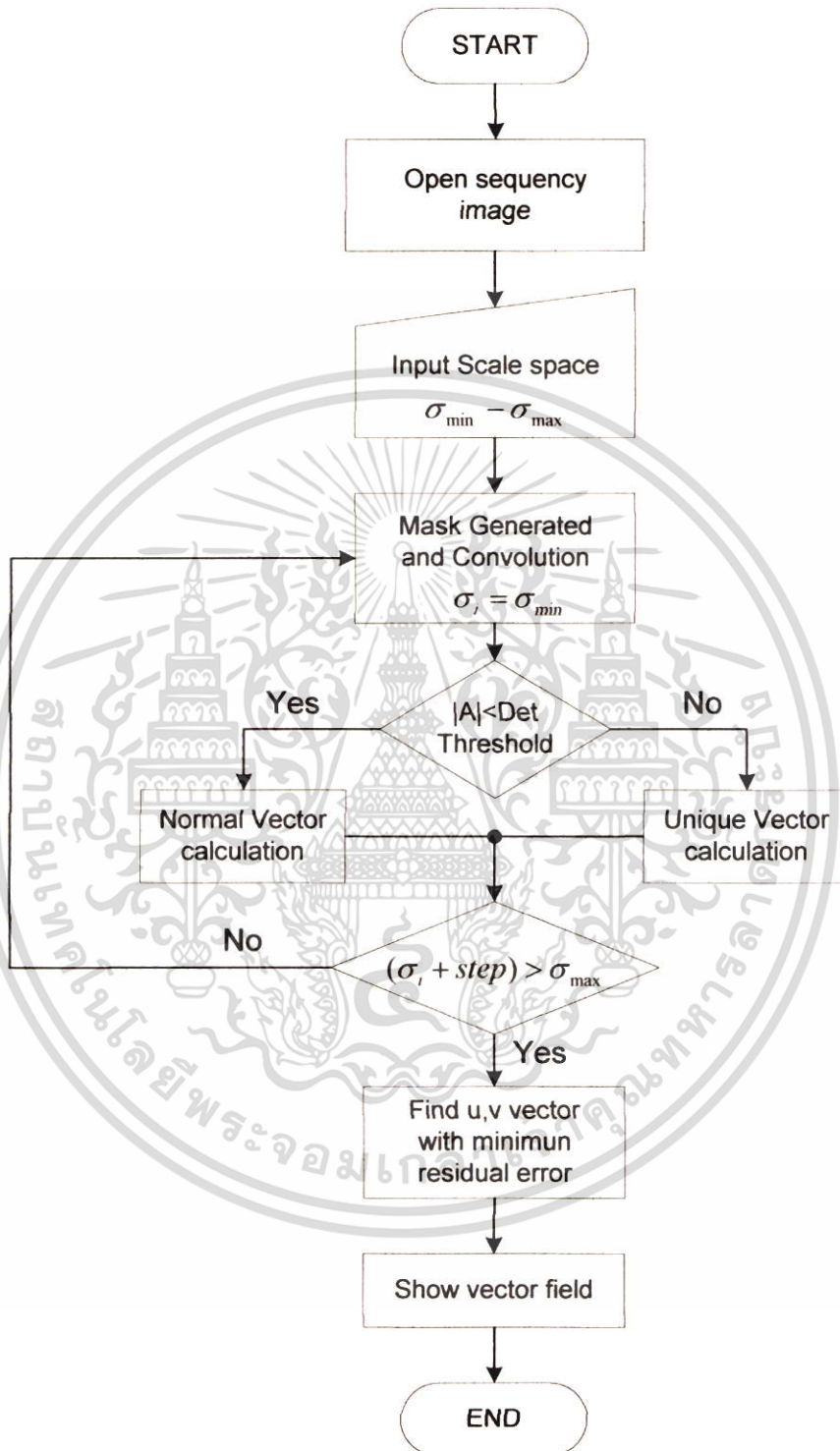
$$[A][v] = [b]$$

$$\begin{bmatrix} \sum E_{ix}^2 & \sum E_{ix}E_{iy} \\ \sum E_{ix}E_{iy} & \sum E_{iy}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum E_{ix}E_{it} \\ \sum E_{iy}E_{it} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

การใช้ตัวกรองเกาส์เซียนที่กำหนดทิศทางได้ ทำให้เราสามารถคำนวณหาความเร็วในแนวแกน x และ y ได้และตัวกรองเกาส์เซียนยังช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำ gradient ระหว่างเฟรมต่อเฟรมอีกด้วย อย่างไรก็ตามค่า scale space ( $\sigma$ ) ของตัวกรองเกาส์เซียนมีผลต่อระดับความเชื่อถือ ดังนั้นในการทดลองเราจะใช้ scale space ที่เปลี่ยนแปลงค่าที่อยู่ในช่วงที่เรา กำหนด โดยหลักการพิจารณาใช้ scale space ที่ค่าใดค่าหนึ่งนั้น พิจารณาได้จากสมการที่ 4.18 ว่าที่ค่า scale space ใดที่ให้ค่า error น้อยกว่าจะเลือกค่า  $u$  และ  $v$  จาก scale space ค่านั้น

ในการหาค่าเวกเตอร์ความเร็วจาก  $[v] = A^{-1}b$  พิจารณาที่ทุกจุดของภาพต้นแบบ หากพบว่า  $|A|$  มีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 0 จะทำให้กลายเป็น singular matrix ซึ่งทำให้ไม่สามารถที่จะหาค่า  $[v]$  ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบว่าที่จุดภาพใดบ้างที่ให้ผลเป็น singular matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 flow chart การคำนวณ Optical flow ด้วยวิธีการคำนวณแบบไม่วนซ้ำ

โดยลำดับการคำนวณเริ่มจากการรับภาพอินพุตที่ต่อเนื่อง 2 ภาพ ทำการกำหนดค่าของ scale space ( $\sigma$ ) ที่ค่าด้านต่ำและด้านสูงโดยให้มีความสัมพันธ์กับจำนวน step ในการคำนวณ เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด step การคำนวณที่ 20 step โดยมีความห่างครั้งละ 0.2 นั้นแสดงว่าถ้าให้  $\sigma_{\min} = 2$  จะได้ค่า  $\sigma_{\max} = 4$  นำค่า scale space แต่ละ step ไปทำการสร้างหน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียน ลำดับต่อไปเป็นการนำเอาตัวกรองที่สร้างขึ้นไปทำการประสาน (Convolution) กับภาพอินพุท หลังจากนั้นทำการคำนวณ gradient ( $E_x, E_y$  และ  $E_t$ ) เพื่อทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ของเมทริก U และ V ว่ามีค่าเป็น Singular matrix หรือไม่ ถ้าเป็น Singular matrix เวกเตอร์ความเร็วจะหาได้จาก normal vector ตามสมการที่ 4.20 แต่ถ้าไม่เป็น Singular matrix เวกเตอร์ความเร็วจะหาได้จากการคำนวณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) โดยในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการพิจารณาหาเวกเตอร์ความเร็วที่ทำให้สมการ OFC มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ดังตัวอย่างการคำนวณที่แสดงในภาพที่ 4.9

$\sigma$	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6
OFC Residual	3	5	3.3	5.7	1.4	5.9	2.3	3	3.6

ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าคงเหลือของสมการ OFC

ดังในภาพ 4.9 พบว่า ณ ที่จุดภาพจุดนี้ที่ค่า scale space เท่ากับ 2.8 ให้ผลค่าคงเหลือของสมการ OFC เท่ากับ 1.4 เป็นค่าที่เข้าใกล้ค่า 0 มากที่สุด ดังนั้นที่จุดภาพจุดนี้จะเลือกเอาค่า U และ V ที่ได้จากหน้าต่างตัวกรองที่ค่า scale space เท่ากับ 2.8 ดังนั้นในการเลือกค่าเวกเตอร์ความเร็วที่จุดต่อไป ก็จะกระทำในลักษณะเดียวกันทั้งภาพ

### 4.3 การตรวจหาวัตถุ (Segmentation)

เป็นกระบวนการแยกวัตถุแต่ละวัตถุออกจากกัน (Segmentation) อาศัยหลักการแยกวัตถุโดยพิจารณากราฟ Histogram ที่ได้จากเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่คำนวณได้ ในการคำนวณ Optical Flow ผลลัพธ์ที่ได้คือเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุ ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง การเคลื่อนที่ โดยเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่คำนวณได้จะถูกนำมาทำกราฟ Histogram ในการตรวจหา นั้นสามารถทำได้จากการสแกนทั้งในแนวแกน X และแกน Y ตลอดทั้งภาพ เพื่อหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ โดยในการสแกนนั้นทิศทางสแกนในแนวแกน X จะทำจากบนลงล่างและจากซ้ายไปขวา ส่วนในแนวแกน Y นั้นทำจาก ขวาไปซ้ายและบนลงล่าง ที่ดังภาพที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจหาวัตถุสามารถทำได้จากการสแกนกราฟ Histogram เพื่อแบ่งกลุ่มของวัตถุโดยมีขั้นตอนในการพิจารณาดังนี้

1. หาค่าแห่งจุดสูงสุดของกราฟ Histogram จากเงื่อนไข

$$\text{Maximum} = \text{Maximum Value of } \{h(m): m = (i - \text{range}) \rightarrow (i + \text{range})\}$$

โดยที่ range คือระยะในการตรวจหาค่าสูงสุด

$i$  คือตำแหน่งพิกัดของ Histogram

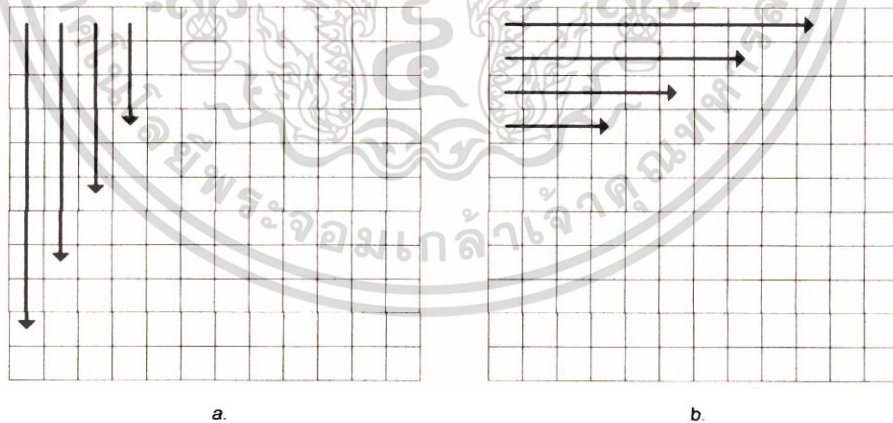
$m$  คือค่าของกราฟ Histogram ที่พิกัด  $i$

2. หาค่าแห่งจุดต่ำสุดทางด้านซ้ายและขวา พิจารณาจากเงื่อนไข

$$\text{Min left} = \text{Minimum Value of } \{h(m): m = (\text{Max} - \text{range})\}$$

$$\text{Min right} = \text{Minimum Value of } \{h(m): m = (\text{Max} + \text{range})\}$$

3. ทำการกำหนดจุดสูงสุดและตำแหน่งจุดซ้าย-ขวา เช่นนี้ไปตลอดกราฟ Histogram โดยในแนวแกน X จะมีค่าตั้งแต่ 0–240 และในแกน Y จะมีค่าตั้งแต่ 0–180 ตามขนาดของภาพ

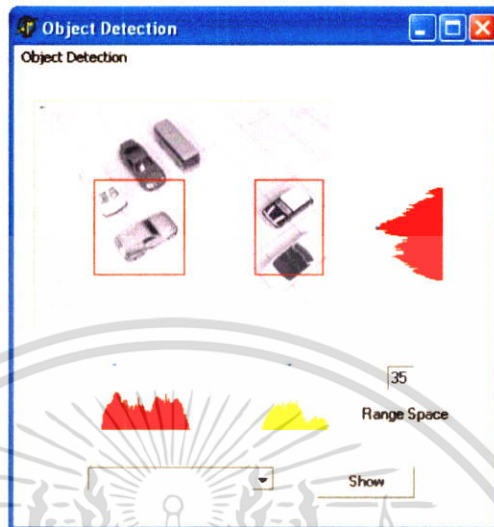


ภาพที่ 4.10 ทิศทางการสแกนหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ Y

ในการทดลองการตรวจหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในภาพ ดังในรูปที่ 4.11 ผลที่ได้ในแนวแกน X จะถูกแบ่งกลุ่มของกราฟได้จำนวน 2 กลุ่ม และในแกน Y ได้จำนวนกลุ่มเท่ากับ 1 กลุ่ม

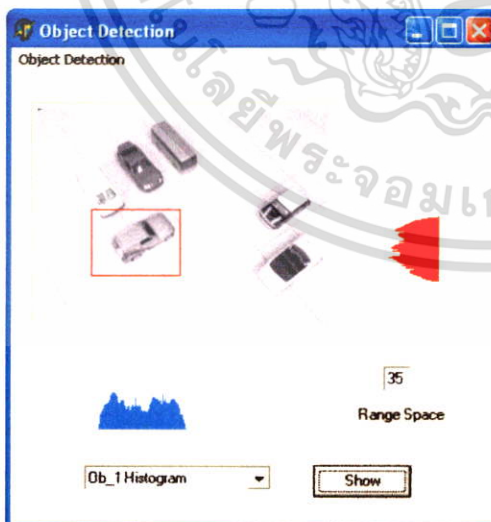
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาผลการจับคู่ของกลุ่มได้กลุ่มที่น่าจะเป็นวัตถุอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน นำขอบเขตของแต่ละกลุ่มมาทำกราฟ Histogram อีกครั้งเพื่อตัดขอบเขตของส่วนที่เกินในการตรวจหาครั้งแรกออก

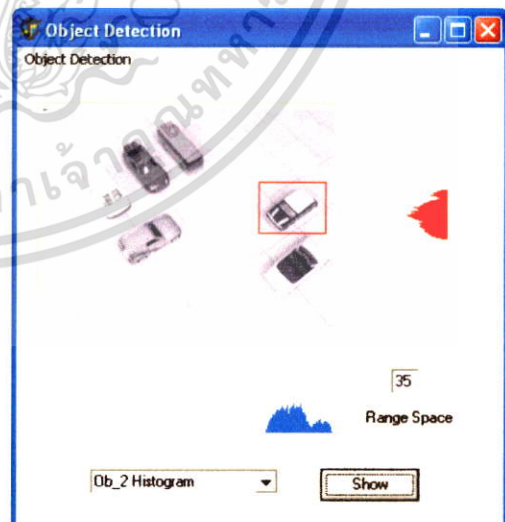


ภาพที่ 4.11 ผลการตรวจหากลุ่มเวกเตอร์การเคลื่อนที่

จากภาพที่ 4.11 สังเกตได้ว่าขอบเขตของวัตถุที่ตรวจหาได้นั้นจะมีส่วนเกินรวมมาด้วย เมื่อผ่านกระบวนการจัดทำ Histogram ซ้ำอีกครั้งจะทำให้สามารถกำจัดส่วนเกินนั้นออกไปได้ ดังภาพที่ 4.12 ซึ่งแสดงผลการตรวจหาวัตถุจากการผ่านกระบวนการดังที่กล่าวแล้วข้างต้น



a.

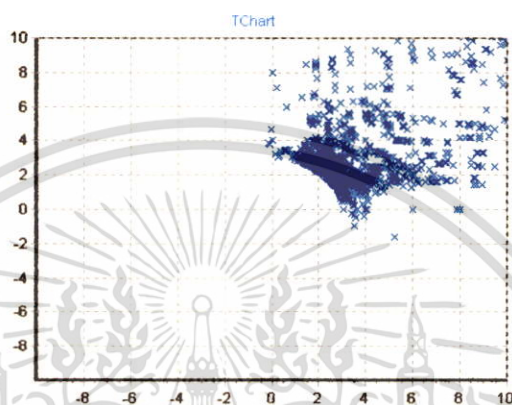


b.

ภาพที่ 4.12 ผลการตรวจหาวัตถุ

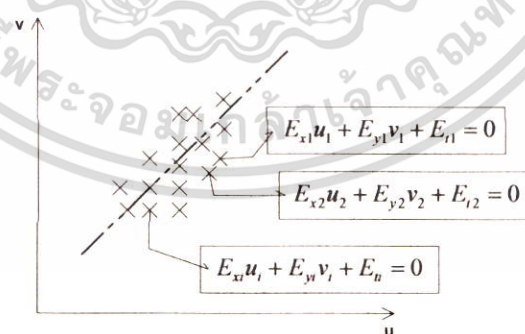
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในการพิจารณากราฟ Histogram ดังภาพที่ 4.12 a. พบว่าผลการตรวจหาขอบเขตของวัตถุนั้นยังมีความกว้างกว่าตัววัตถุอยู่ อันเนื่องมาจากผลการคำนวณที่ได้ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่มีการกระจายกระจายเป็นกลุ่มกว้างๆ ดังภาพที่ 4.13 โดยกลุ่มเวกเตอร์ที่กระจายนั้นจะอยู่ในรูปของสมการที่ 4.2 ซึ่งการกระจายของข้อมูลนั้นสามารถทำการ Curve fitting เพื่อหาแนวโน้มของสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นๆ



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงมุมการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ 4.12 a.

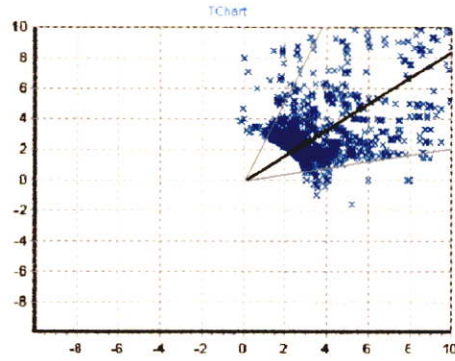
การกระจายของกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการคำนวณที่อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นนี้สามารถทำการหาแนวโน้มของคำตอบได้จากการทำ Curve fitting ด้วยการทำให้ Least Square ดังภาพที่ 4.14 ซึ่งวิธีการดังกล่าวหาได้จากสมการที่ 4.18 และสมการที่ 4.19



ภาพที่ 4.14 กลุ่มข้อมูลก่อนการทำ Curve fitting

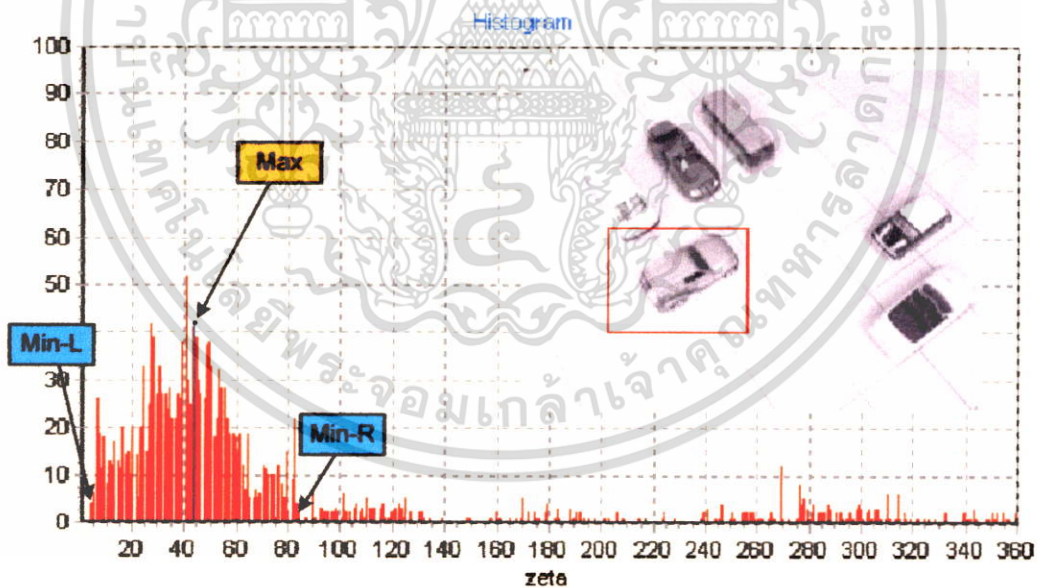
การทำ Curve fitting เพื่อที่จะได้เส้นแนวโน้มสมการการเคลื่อนที่ของกลุ่มข้อมูลดังภาพ 4.15 โดยนำมุมของสมการที่ได้กลับไปเป็นจุด Max ของกราฟ Histogram แล้วทำการหาจุดต่ำสุดทางด้านซ้ายและจุดต่ำสุดทางด้านขวาของกราฟ Histogram เพื่อที่ใช้เป็นขอบเขตใหม่ของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 ผลที่ได้จากการทำ Curve fitting และขอบเขตบนกับขอบเขตล่างของข้อมูล

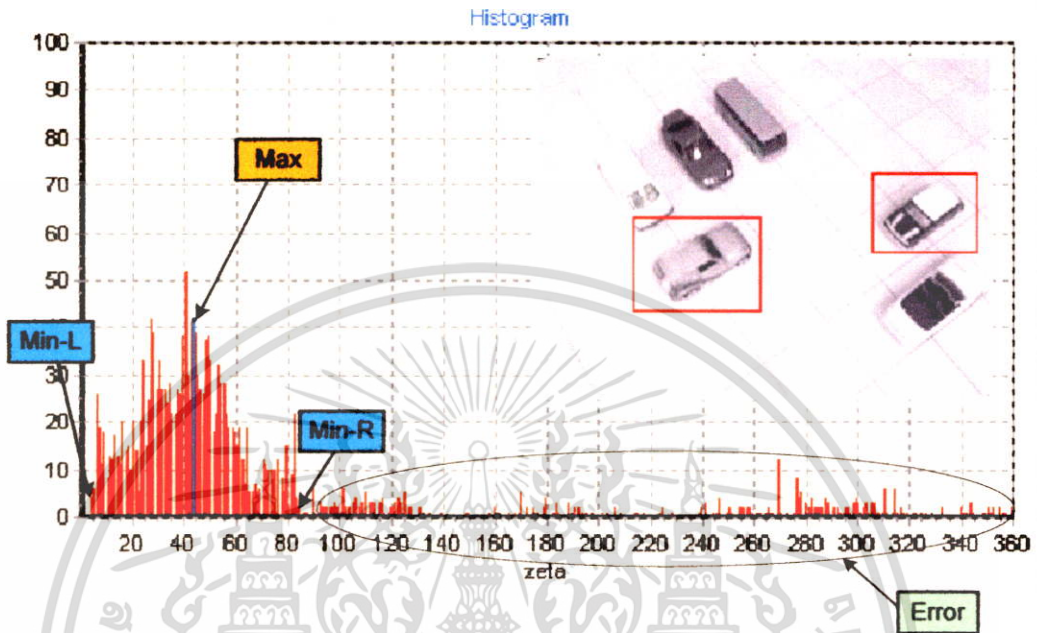
ผลที่ได้จากการกำหนดขอบเขตของกลุ่มข้อมูลหลังจากการ Curve Fitting ทำให้สามารถลดข้อมูลส่วนเกินที่ทำให้การตีกรอบวัตถุมีขนาดเล็กลง โดยนำผลแนวโน้มมุมการเคลื่อนที่ มากำหนดเป็นค่า maximum ของกราฟ Histogram ที่ได้จากการนำมุมการเคลื่อนที่ของวัตถุมาเป็นข้อมูล แล้วทำการหาจุดต่ำสุดทั้งด้านขวาและด้านซ้าย ของค่า maximum ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 การกำหนดขอบเขตของวัตถุจากการนำค่าที่ได้จาก Curve fitting

เมื่อทำการแทนค่าแนวโน้มมุมการเคลื่อนที่จาก การคำนวณ Curve fitting มากำหนดให้เป็นค่า Max ในกราฟ Histogram แล้วทำการหาจุดต่ำสุดด้านซ้ายและขวา เพื่อกำหนดเป็นขอบเขตของมุมการเคลื่อนที่ของวัตถุ ส่วนมุมการเคลื่อนที่ที่อยู่นอกขอบเขตนี้จะถูกพิจารณาเป็นค่าความเอกสาร์นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาด (error) ไม่เก็บมารวมเข้ากลุ่มข้อมูลอีก ดังภาพที่ 4.17 เป็นการแสดงขอบเขตของวัตถุ หลังจากตัดส่วนที่เป็นค่าความผิดพลาด (error) ออกไป



ภาพที่ 4.17 การกำหนดขอบเขตของวัตถุหลังจากตัดค่าความผิดพลาดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

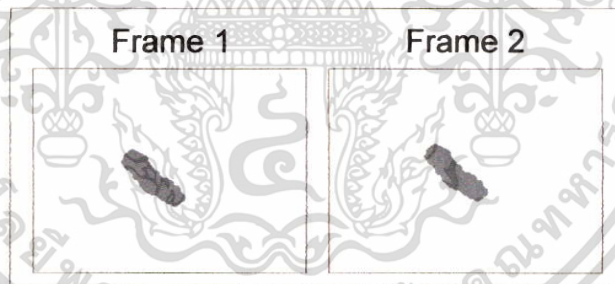
### ผลการทดลอง

จากทฤษฎีและหลักการที่ได้กล่าวไปแล้ว สามารถนำมาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Delphi version 5.0 และทำการประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 3 Processor 1.2 GHz เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม ในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวม และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม และสรุปผลการทดสอบ

#### 5.1 ภาพอินพุตที่นำมาทดสอบ

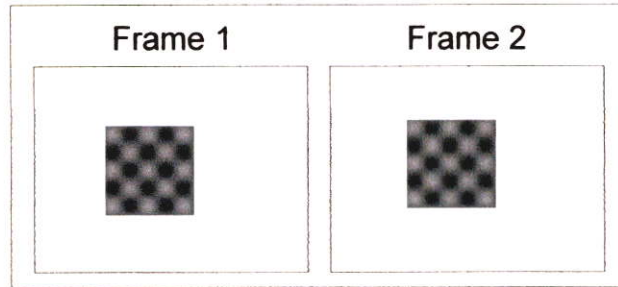
ภาพอินพุตที่นำมาทดสอบเป็นภาพระดับสีเทา 256 ระดับ ที่มีขนาดภาพ 240\*180 พิกเซล ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

5.1.1 ภาพที่สังเคราะห์ (Synthetic) เป็นภาพที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบความถูกต้องในการหามุมและระยะทางการเคลื่อนที่ โดยจำลองวัตถุเป็นรูปแบบต่างๆ มา 2 ภาพ ซึ่งในภาพที่ 2 จะมีการจับวัตถุเคลื่อนที่ให้เป็นมุมและระยะทางอ้างอิง แล้วทำการทดสอบหาความถูกต้องที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 5.1 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 1

จากภาพที่ 5.1 เป็นภาพตัวอย่างที่วัตถุระดับสีเทาค่าหนึ่งที่ถูกจับให้เคลื่อนที่ด้วยมุม 45 องศา ด้วยระยะทางของแกน  $X=5$  พิกเซล และแกน  $Y=5$  พิกเซล อยู่บนพื้นหลังสีขาวโดยไม่มีวัตถุอื่นมารบกวน วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมมุติฐานอย่างง่ายที่สุด กล่าวคือขึ้นวัตถุมีสีเทาค่าหนึ่งทั้งวัตถุเคลื่อนที่อยู่บนพื้นหลังสีขาว



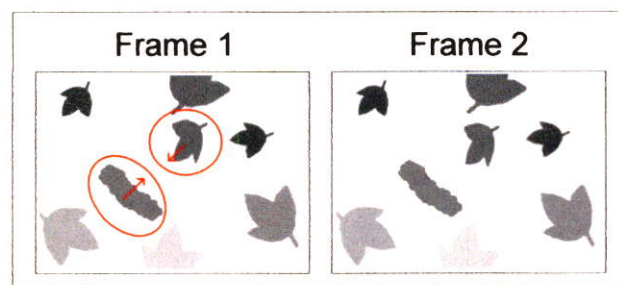
ภาพที่ 5.2 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 2

จากภาพที่ 5.2 เป็นภาพตัวอย่างที่ของวัตถุรูปทรงเรขาคณิตที่มีลวดลาย (Texture) ถูกจับให้เคลื่อนที่ด้วยมุม 30.96 องศา ด้วยระยะทางของแกน  $X=5$  พิกเซล และแกน  $Y=3$  พิกเซล อยู่บนพื้นหลังสีขาวไม่มีวัตถุอื่นมารบกวน เพื่อทดสอบสมมุติฐานว่าเมื่อวัตถุมีลวดลายและสีที่ซับซ้อนขึ้น จะมีผลอย่างไรต่อการคำนวณ



ภาพที่ 5.3 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 3

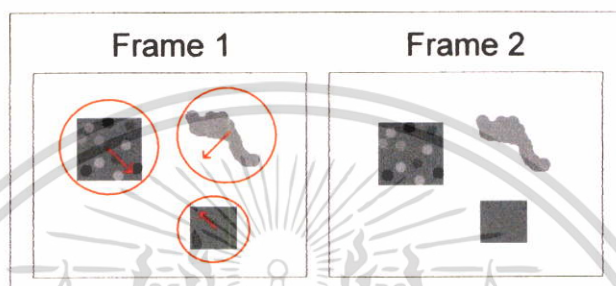
จากภาพที่ 5.3 เป็นภาพตัวอย่างของวัตถุที่มีรูปร่างไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต โดยในภาพจำลองให้เป็นรูปใบไม้ที่มีการเคลื่อนที่เป็นมุม 315 องศา ด้วยระยะทางในแกน  $X=5$  พิกเซล และแกน  $Y=5$  พิกเซล ซึ่งกำหนดให้อยู่บนพื้นหลังสีขาวที่มีใบไม้หลากหลายขนาดที่ไม่มีการเคลื่อนที่ปะปนอยู่ เพื่อทดสอบสมมุติฐานในเรื่องของการที่พื้นหลังประกอบด้วยความซับซ้อนมากขึ้น



ภาพที่ 5.4 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.4 เป็นภาพตัวอย่างของวัตถุ 2 ชนิดที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยวัตถุรูปใบไม้มีทิศทางการเคลื่อนที่เป็นมุม 225 องศา มีระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกน  $X=-5$  พิกเซล และในแนวแกน  $Y=-5$  พิกเซล ส่วนวัตถุอีกอันมีการเคลื่อนที่ที่เป็นมุม 45 องศา มีระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกน  $X=5$  พิกเซล และในแนวแกน  $Y=5$  พิกเซล บนพื้นหลังสีขาวที่มีวัตถุอื่นปะปนอยู่เพื่อทดสอบสมมุติฐานในเรื่องของภาพที่ประกอบด้วยวัตถุหลายอัน ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต่างกัน

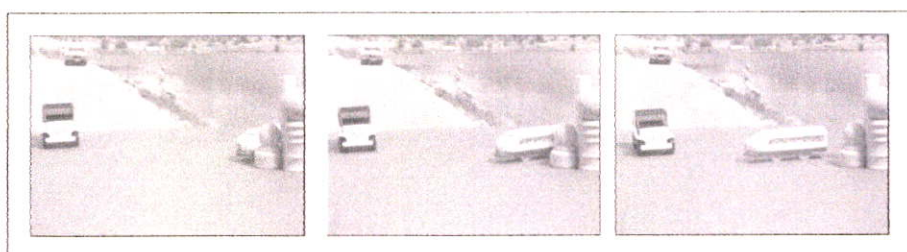


ภาพที่ 5.5 ภาพอินพุตที่สังเคราะห์แบบที่ 5

จากภาพที่ 5.5 เป็นภาพตัวอย่างของวัตถุ 3 ชนิดที่มีรูปทรงต่างกันและมีทิศทางการเคลื่อนที่ในทิศทางที่แตกต่างกัน เป็นการทดสอบสมมุติฐานในเรื่องของภาพที่มีวัตถุหลายอันเคลื่อนที่ในทิศทางที่แตกต่างกัน อยู่บนพื้นหลังสีขาว

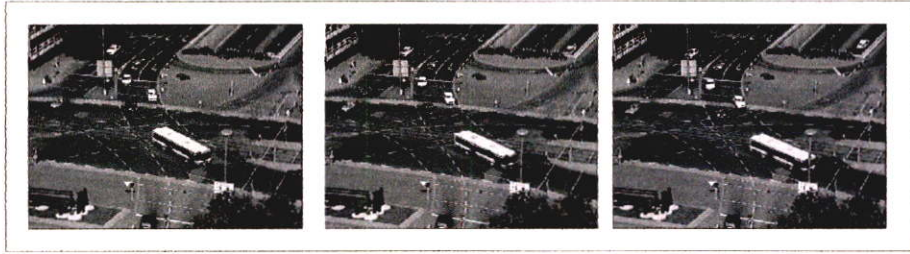
5.1.2 ภาพที่ได้จากภาพมาตรฐาน (Standard Image) เป็นภาพมาตรฐานที่ใช้ทดสอบเพื่อหาความถูกต้องในการตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งภาพที่นำมาทดลองเป็นภาพระดับสีเทามีขนาดภาพ  $240 \times 180$  พิกเซล โดยภาพบางภาพเป็นภาพที่ทำการ capture ออกมาจากภาพวิดีโอ ในอัตรา 30 เฟรมต่อวินาที แล้วนำภาพลำดับต่อเนื่องที่ต่างกัน 5 เฟรม มาทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่

ภาพมาตรฐานที่นำมาทดลองควรรณีโหลดจาก <http://www-2.cs.cmu.edu/~cil/vision.html/> และ <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CAVIARDATA/>



a.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b.



c.

### ภาพที่ 5.6 ตัวอย่างภาพอินพุตจากภาพมาตรฐาน

ตัวอย่างภาพมาตรฐานที่นำมาแสดง ภาพ a. เป็นตัวอย่างการลำดับภาพแสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์เด็กเล่นจำนวน 2 คัน ที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันและมีภาพฉากหลังที่ซับซ้อน ส่วนภาพ b. เป็นภาพแสดงการจราจรของรถยนต์บริเวณสี่แยกที่มีรถยนต์หลากหลายสีและมีขนาดที่แตกต่างกัน เคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ และภาพ c. เป็นภาพแสดงการเคลื่อนไหวของบุคคลโดยในภาพเป็นการเคลื่อนไหวศีรษะในทิศทางต่างๆ

5.1.3 ภาพที่ถ่ายจากกล้อง CCD เป็นภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ แล้วทำการเก็บภาพที่ได้มาทดสอบเพื่อหาความถูกต้องในการค้นหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ โดยทำการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่างๆ โดยในการทดลองเป็นการถ่ายภาพที่เวลาต่างกันของสถานการณ์ ทำให้ได้ภาพที่เสมือนเป็นภาพต่อเนื่องที่ได้จากภาพวิดีโอ

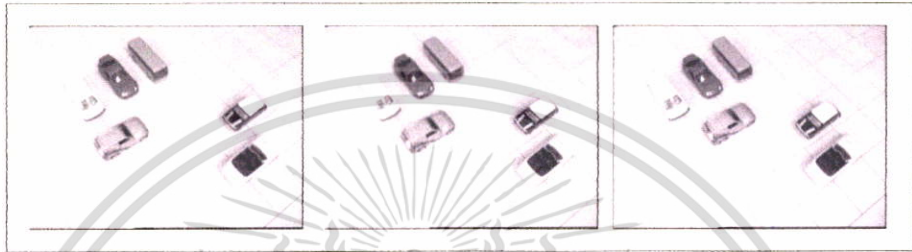


a.

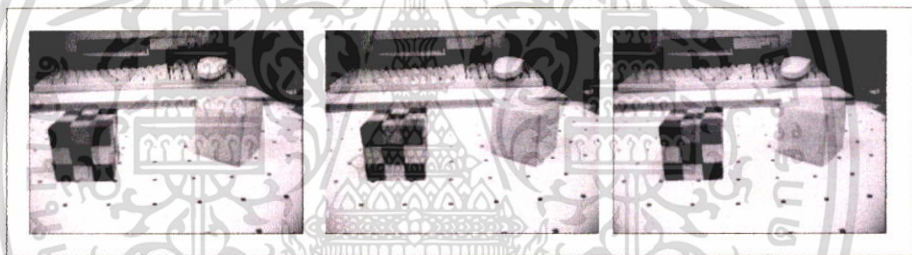
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b.



c.

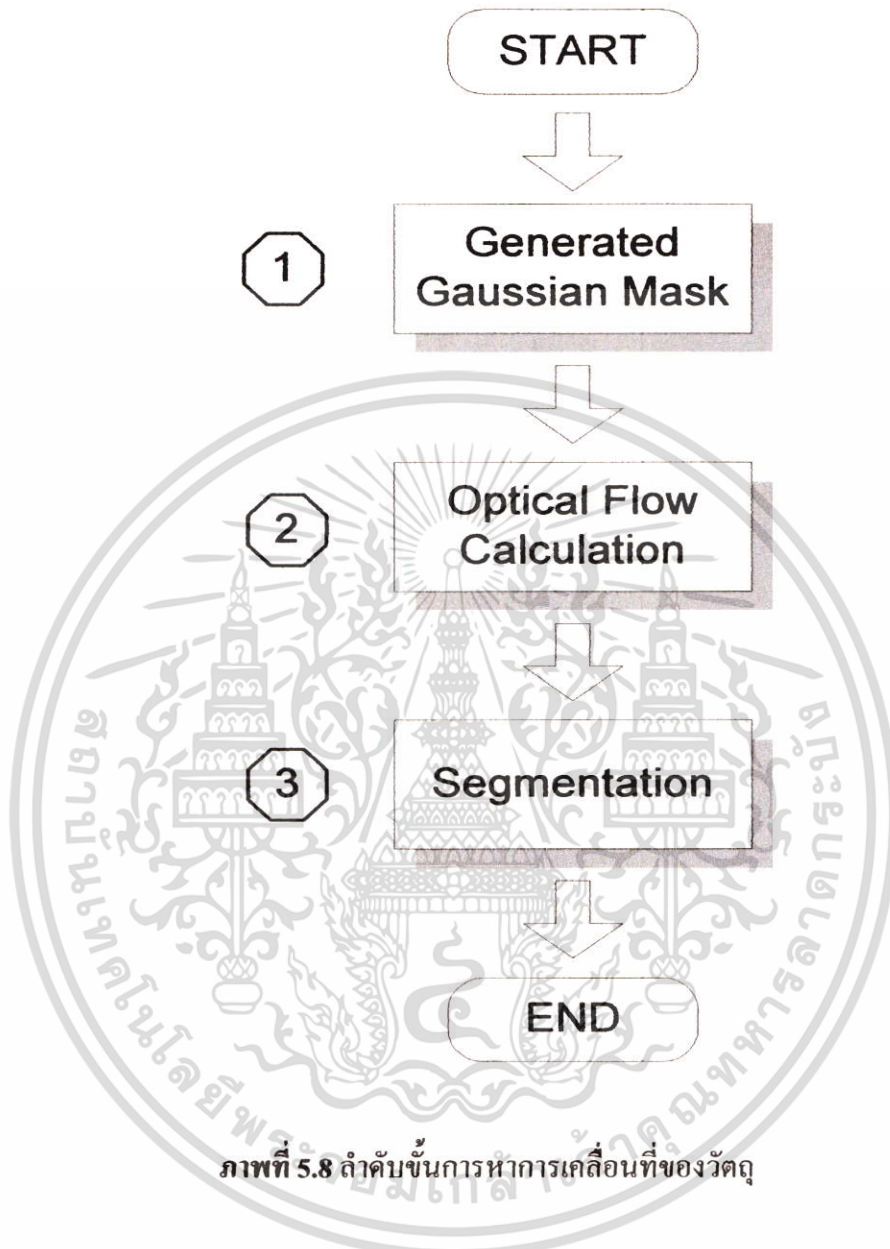


d.

ภาพที่ 5.7 ตัวอย่างภาพอินพุทจากกล้อง CCD

จากภาพที่ 5.7 a. ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของบุคคลที่มีการเดินผ่านกล้อง CCD โดยมีบุคคลอีกบุคคลนั่งไม่เคลื่อนไหว ส่วนภาพ 5.7 b. เป็นภาพจำลองการเคลื่อนไหวของหุ่น โดยที่ตัวหุ่นถูกขยับแขนขึ้นลงแล้วถ่ายภาพเป็นครั้งๆ ไป และในภาพ 5.7 c. เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์เด็กเล่นที่มีการเคลื่อนที่ โดยกระทำการถ่ายภาพเป็นครั้งๆ ไป ส่วนภาพสุดท้ายเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของกล่องไม้ที่มีลวดลาย ให้มีการขยับไปข้างหน้าทีละช่วงแล้วจึงทำการเก็บภาพไว้

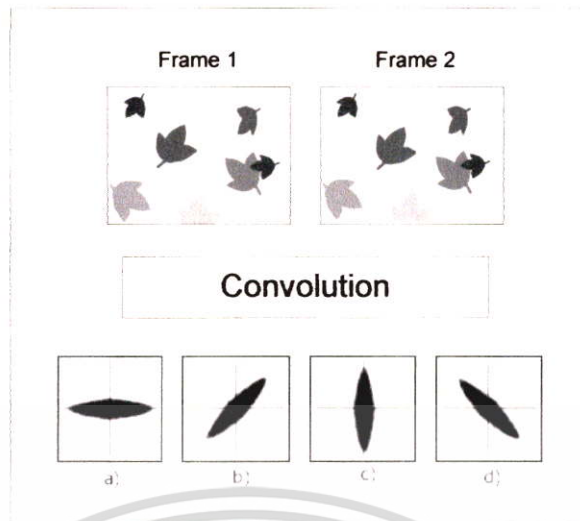
## 5.2 ขั้นตอนการทดลอง



ภาพที่ 5.8 ลำดับขั้นการหาการเคลื่อนที่ของวัตถุ

**ขั้นตอนที่ 1.** Generated Gaussian Mask เป็นขั้นตอนตั้งแต่การเปิดภาพต่อเนื่องจำนวน 2 ภาพ มาทำการประสานเข้ากับหน้าต่างของ Gaussian Filter ที่มีขนาด  $5 \times 5$  พิกเซลตลอดทั้งภาพดังรูปที่ 5.2 หน้าต่างเกาส์เซียนที่สร้างขึ้นจากสมการที่ 4.14 และ 4.15 ที่ทำการกำหนดมุมของตัวกรองไว้ที่  $0, 45, 90$  และ  $135$  องศา ไปประสานกับภาพอินพุตเฟรมที่ 1 โดยการประสานจะถูกดำเนินการตามสมการที่ 3.4 ผลลัพธ์ของภาพเป็นภาพใหม่คือ  $Frame1_0, Frame1_{45}, Frame1_{90}$  และ  $Frame1_{135}$  ส่วนภาพอินพุตเฟรมที่ 2 ก็จะมีการดำเนินการเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.9 การประสานของภาพอินพุตกับหน้าต่าง Gaussian Filter ที่มีมุมต่างๆ

จากการประสานภาพดังกล่าวผลลัพธ์ที่ได้คือภาพที่ผ่านการประสานกับ Gaussian Filter จำนวน 8 ภาพ เพื่อสร้างสมการใช้ในการคำนวณหาสนามเวกเตอร์ขั้นตอนต่อไป

**ขั้นตอนที่ 2.** เป็นการคำนวณ Optical flow แบบที่ไม่วนซ้ำ ที่มีขั้นตอนการคำนวณดังกล่าวไปแล้วในบทที่ 4

**ขั้นตอนที่ 3.** เป็นกระบวนการแยกวัตถุแต่ละวัตถุออกจากกัน (Segmentation) อาศัยหลักการแยกวัตถุโดยพิจารณากราฟ Histogram ที่ได้จากเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่คำนวณได้

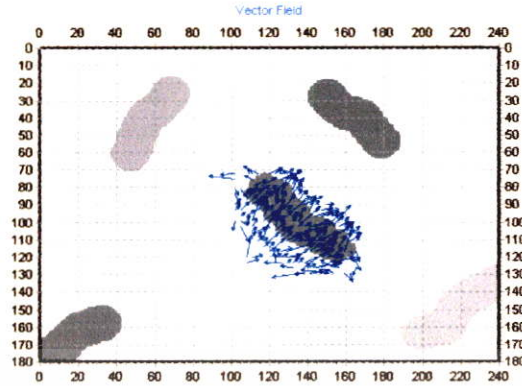
### 5.3 ผลการทดลอง

การทดลองจะทำการทดลองกับภาพ 3 กลุ่ม โดยในส่วนแรกทำการทดลองกับภาพ synthetic ขนาด 240\*180 พิกเซล ที่ทำการจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ โดยที่ในภาพแรกวัตถุส่วนตรงกลางภาพ (ภายในกรอบสี่เหลี่ยม) ถูกจำลองให้เคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นด้านบนขวามือ ด้วยมุม 45 องศา เป็นระยะทางเท่ากับ 5 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 5.10



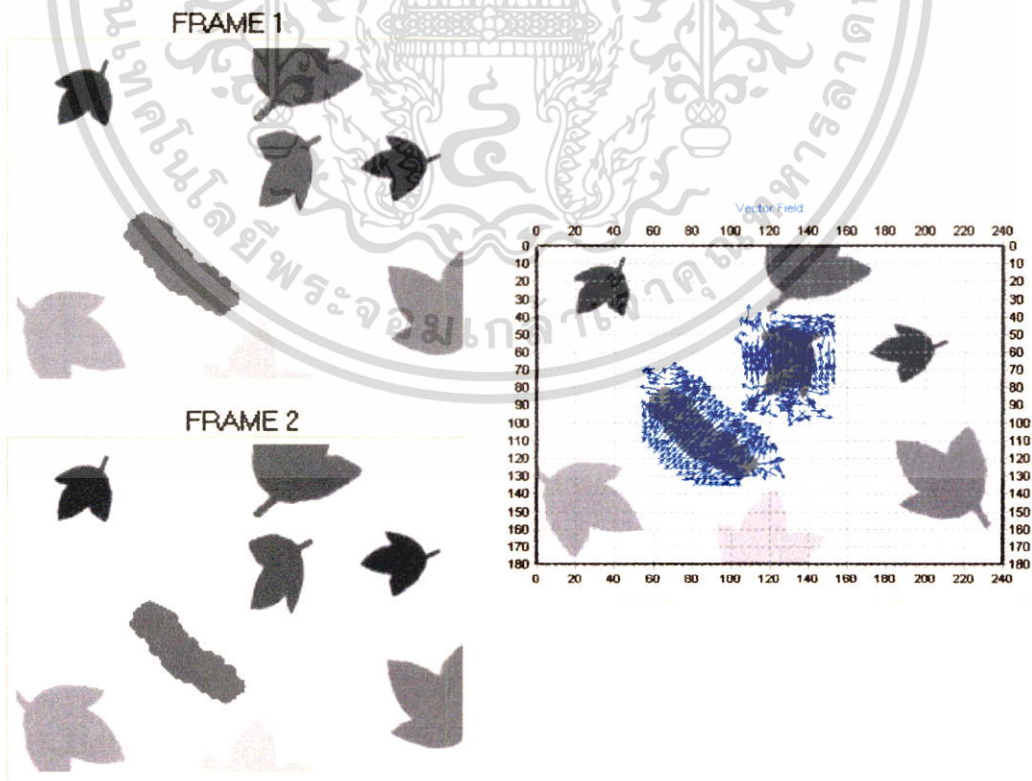
ภาพที่ 5.10 ภาพผลการทดลองกับภาพ Synthetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.11 สนามเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้จากการคำนวณแบบไม่วนซ้ำ

จากภาพที่ 5.11 ที่ค่าพารามิเตอร์  $\sigma_1 = 4.5$ ,  $\sigma_2 = 3.12$ ,  $\rho = 5$  ผลการคำนวณได้มุม  $\theta = 45.69$  องศา โดยใช้เวลา 3.2 วินาที ส่วนอีกภาพเป็นการทดลองกับภาพ Synthetic ที่มีวัตถุ 2 วัตถุเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.12 โดยมีการเคลื่อนที่ทิศทางแรกที่มีมุม 45 องศา ส่วนวัตถุรูปใบไม้ไม่มีทิศทางเคลื่อนที่เป็นมุม 135 องศาผลการทดลองที่ค่าพารามิเตอร์  $\sigma_1 = 2.1$ ,  $\sigma_2 = 3.12$ ,  $\rho = 5$  ได้มุมเฉลี่ย  $\theta_1 = 45.84$  องศา และ  $\theta_2 = 135.56$  องศา




















ภาพที่ 5.12 ผลการทดลองกับภาพที่มีวัตถุหลายชิ้นเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองกับภาพสังเคราะห์หลายรูปแบบ ซึ่งตัวอย่างผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.1 เป็นตารางแสดงผลการตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในภาพ และแสดงมุมการเคลื่อนที่ ที่ได้ทำการจำลองให้มีการเคลื่อนที่เป็นมุมต่างๆ

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างผลการตรวจหาวัตถุจากภาพสังเคราะห์

ภาพอินพุท 1	ภาพอินพุท 2	ผลการตรวจหาวัตถุ	มุมจริง	มุมคำนวณ	ผิดพลาด
FRAME 1 	FRAME 2 		45	44.78	0.49%
FRAME 1 	FRAME 2 		45	44.32	1.51%
FRAME 1 	FRAME 2 		329.03	331.12	0.64%
FRAME 1 	FRAME 2 		198.43	201.39	1.49%
			225	228.38	1.50%
FRAME 1 	FRAME 2 		213.63	211.44	1.03%
			71.56	72.74	1.65%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

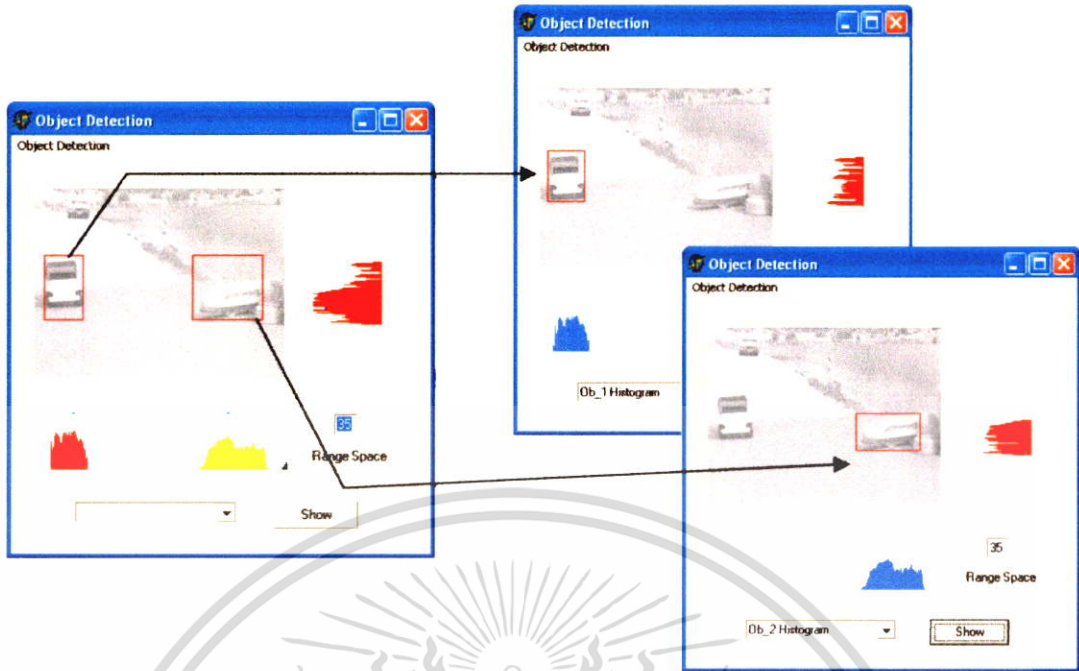
จากตารางที่ 5.1 เป็นตัวอย่างการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพสังเคราะห์ โดยหลักการคำนวณหาสนามการเคลื่อนที่ด้วยวิธีไม่วุ่นซ้ำ ซึ่งให้ค่าความผิดพลาดโดยรวมแล้วมีค่าไม่เกิน 2% ดังแสดงในตาราง ภาพแรกเป็นการทดลองกับภาพรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลวดลายไม่ซับซ้อนมาก ที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยมุม 45 องศา โปรแกรมคำนวณมุมการเคลื่อนที่ได้มุม 44.78 มีความผิดพลาดเท่ากับ 0.49% ส่วนอีกภาพเป็นภาพลักษณะเดียวกัน แต่ต่างกันที่เพิ่มลวดลายที่ตัววัตถุให้มีความละเอียดขึ้น ผลการคำนวณให้ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1.51% ส่วนภาพที่สามเป็นการทดลองกับภาพที่วัตถุไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต และมีการเคลื่อนที่ในแนวแกน  $X=5$  พิกเซล และแกน  $Y=-3$  พิกเซล เป็นมุมการเคลื่อนที่เท่ากับ 329.03 องศา ซึ่ง โปรแกรมคำนวณหามุมการเคลื่อนที่ได้เท่ากับ 331.12 องศา มีความผิดพลาดเท่ากับ 0.64% ในสองภาพสุดท้ายทำการทดลองกับภาพที่มีวัตถุจำนวนสองวัตถุ ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่แตกต่างกัน ผลการคำนวณพบว่าที่ภาพรูปเครื่องบินทำการจำลองให้จรวดมีการเคลื่อนที่ในทิศทาง 198.43 และ 225 องศา การคำนวณที่ได้ให้ผลความผิดพลาดที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 1.5% และในภาพสุดท้ายมีการเคลื่อนที่ของวัตถุรูปโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่เป็นมุม 213.63 องศา ส่วนภาพที่เป็นรูปเข็มนั้นมีการยกขึ้นเป็นมุม 71.56 องศา ผลที่ได้จากการคำนวณมีความผิดพลาดที่ได้มีค่าเท่ากับ 1.03% และ 1.65% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าผลของค่าความผิดพลาดที่ได้จะมีค่าไม่เกิน 2% แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าของ ระยะเวลาหาค่าสูงสุด (Range Space) ให้มีความเหมาะสมกับภาพนั้นๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้โดยมากเลือกค่าระยะเวลาหาค่าสูงสุดไว้ที่ 35

ส่วนการทดลองกับภาพมาตรฐานวัตถุประสงค์เพื่อทำการตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ให้ถูกต้อง ดังภาพที่ 5.13 เป็นภาพมาตรฐานที่มีการเคลื่อนที่ของรถจำลอง 2 คันด้วยกัน โดยมีฉากหลังเป็นภาพระดับสีเทาที่ซับซ้อนขึ้น การตรวจหาวัตถุอาศัยหลักการจากหัวข้อ 4.3 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งผลการคำนวณหาสนามเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ถูกนำมาทำกราฟ Histogram เพื่อทำการตรวจหาขอบเขตของวัตถุ ผลการตรวจหาวัตถุนั้นแสดงในภาพที่ 5.14



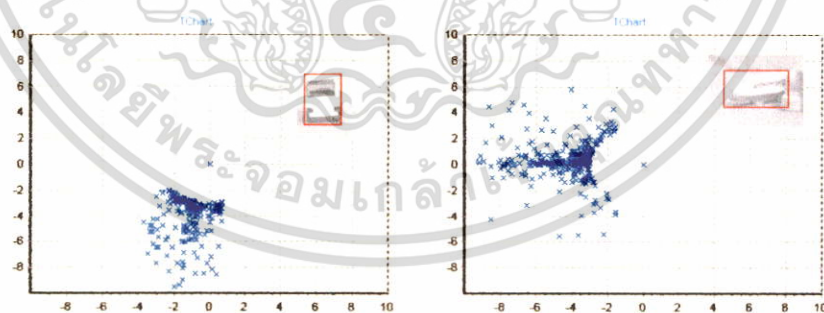
ภาพที่ 5.13 ภาพอินพุตที่จากภาพมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.14 ภาพผลการตรวจหาขอบเขตของวัตถุจากกราฟ Histogram

ในภาพการตรวจหาวัตถุจากการสแกนกราฟ Histogram ครั้งแรกพบกลุ่มวัตถุ 2 กลุ่ม นำขอบเขตของวัตถุมาทำกราฟ Histogram อีกครั้ง เพื่อลดขนาดของขอบเขตวัตถุ ผลที่ได้แสดงในภาพด้านขวามือ ขั้นตอนต่อไปเป็นการพิจารณาหาทิศทางการเคลื่อนที่จากการทำ Curve fitting กลุ่มเวกเตอร์ของวัตถุและยังเป็นการลดขนาดของขอบเขตวัตถุอีกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 5.15



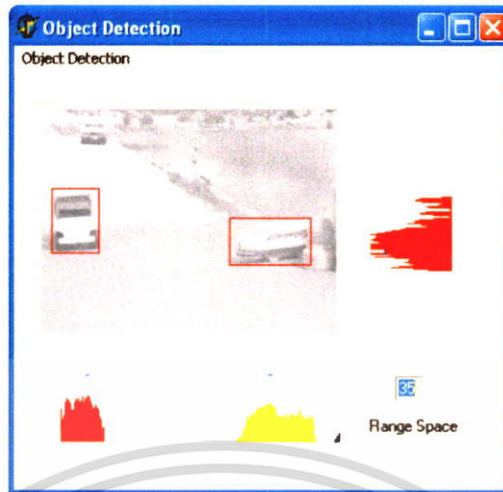
a.

b.

ภาพที่ 5.15 ภาพแสดงการทำ Curve fitting กลุ่มเวกเตอร์ของวัตถุ

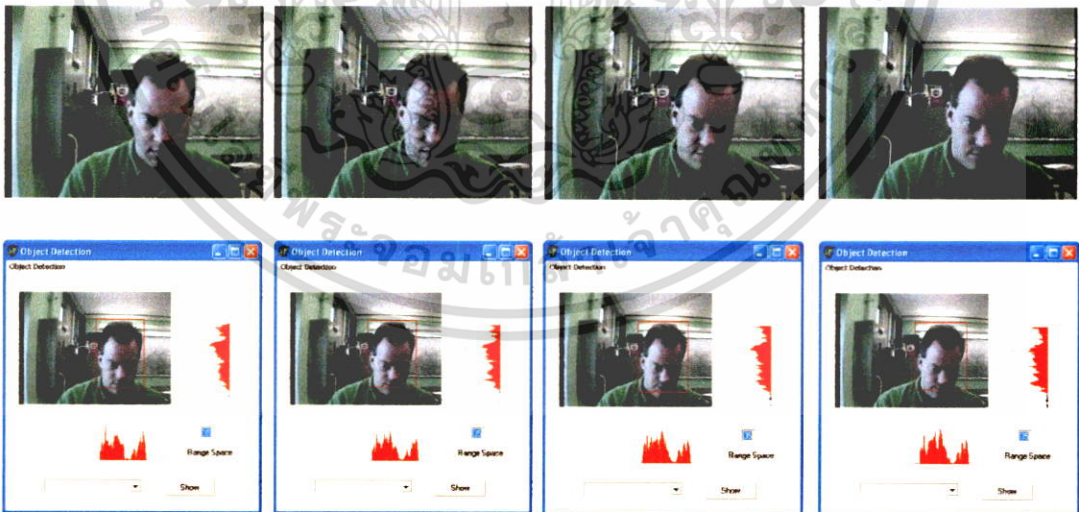
กลุ่มเวกเตอร์ภายในขอบเขตของวัตถุถูกนำมาพลอตกราฟเพื่อทำ Curve fitting หาทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังในภาพที่ 5.15 a. ได้ทิศทางการเคลื่อนที่  $\theta_1 = 263.58$  และในภาพที่ 5.15 b. ได้ทิศทางการเคลื่อนที่  $\theta_2 = 172.31$  ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการกำหนดขอบเขตของวัตถุลงไป ในภาพ ดังแสดงในภาพที่ 5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.16 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพมาตรฐาน







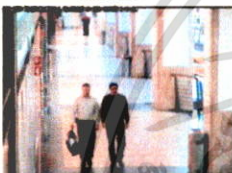




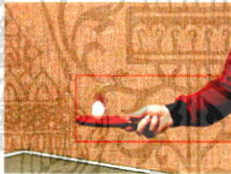
การทดลองกับภาพมาตรฐานอีกภาพ ที่เป็นภาพสี โดยในภาพเป็นการเคลื่อนไหวศีรษะของมนุษย์ ในสถานะแสงปกติ โปรแกรมสามารถตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่ในภาพได้อย่างถูกต้อง จากการทดลองพบว่าผลที่ได้จากภาพมาตรฐานจะไม่มีสัญญาณรบกวนปะปนมา สังเกตได้จากกราฟ Histogram พบว่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่将有เฉพาะส่วนที่มีการเคลื่อนที่จริงเท่านั้น ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อ การเลือกค่าระยะการหาค่าสูงสุด (Range Space)



ภาพที่ 5.17 ภาพอินพุตและผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

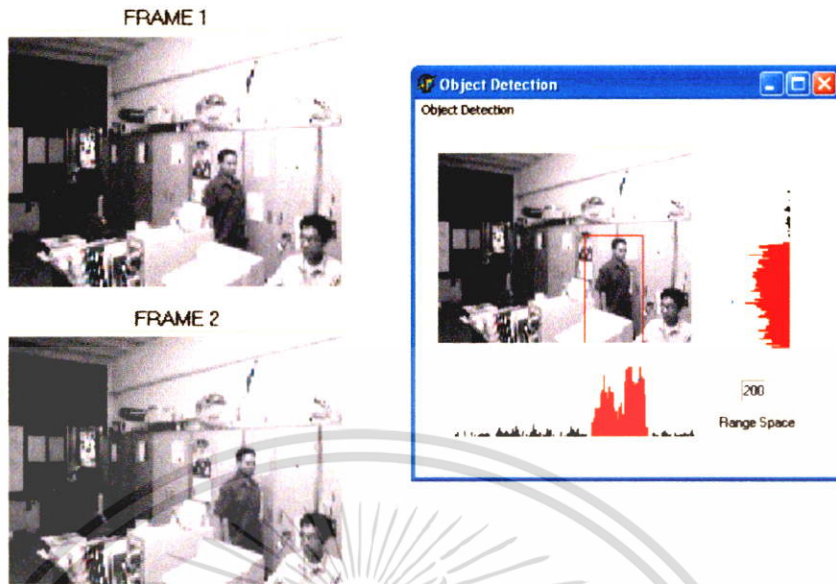
ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างผลการตรวจหาวัตถุจากภาพมาตรฐาน

ภาพอินพุต 1	ภาพอินพุต 2	ผลการตรวจหาวัตถุ	
<p>FRAME 1</p> 	<p>FRAME 2</p> 		$\theta_1 = 86.23$
<p>FRAME 1</p> 	<p>FRAME 2</p> 		$\theta_1 = 52.46$ $\theta_2 = 41.08$
<p>FRAME 1</p> 	<p>FRAME 2</p> 		$\theta_1 = 276.31$
<p>FRAME 1</p> 	<p>FRAME 2</p> 		$\theta_1 = 96.29$

ตารางที่ 5.2 เป็นตัวอย่างผลการตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น ในภาพแรกเป็นภาพผู้หญิงเอามือลูบหัวเด็กและในภาพที่สองเป็นภาพการนั่งคุยของชายสองคนที่มีการเคลื่อนไหวตัวขณะพูดคุย ส่วนภาพที่สามเป็นภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดในห้างสรรพสินค้า ในภาพเป็นภาพชายสองคนที่เดินเข้าห้างกล้อง ส่วนภาพสุดท้ายเป็นภาพการเล่นเทเบิลเทนนิส ในภาพเป็นการตีลูกขึ้นลงซึ่งแขนมีการขยับขึ้นลงตามจังหวะของลูก

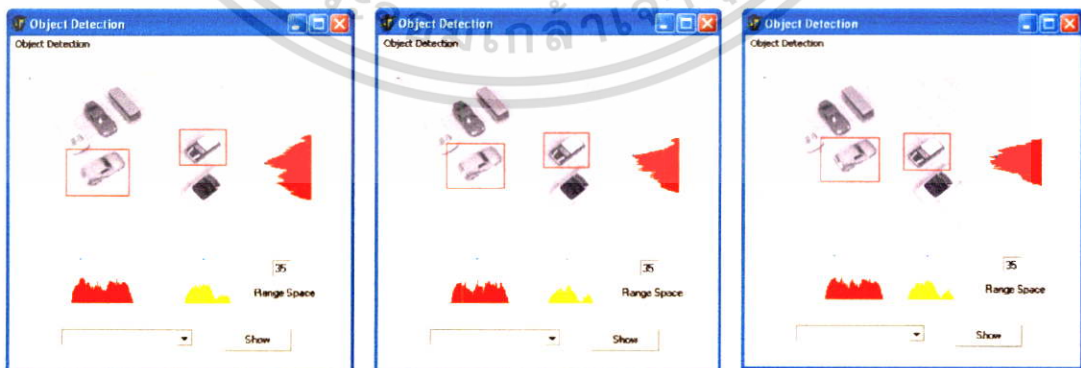
ในการทดลองขั้นสุดท้ายเป็นการทดลองกับภาพที่ถ่ายจริงจากกล้อง CCD โดยจำลองสถานการณ์ต่างๆดังรูปที่ 5.18 จากการทดลองพบส่วนของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ปรากฏอยู่ทั่วไปในภาพ อันเป็นผลเนื่องจากสัญญาณรบกวนจากสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ อาทิเช่น จากตัวกล้อง CCD เอง หรือจากสภาวะของแสงสว่างที่ไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมสามารถที่จะหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ได้โดยการกำหนดค่าระยะในการหาค่าสูงสุด ไว้ที่ค่าสูงๆ จึงสามารถตัดสัญญาณรบกวนนั้นออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.18 ภาพอินพุตและผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพที่ได้จากกล้อง CCD







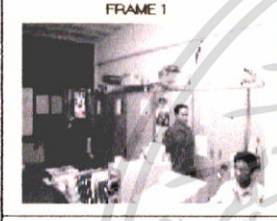
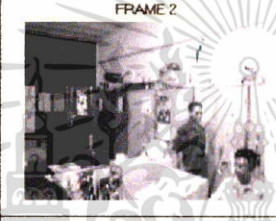

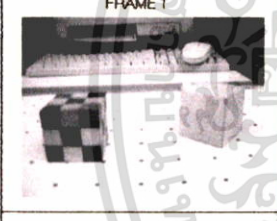
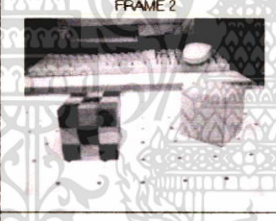
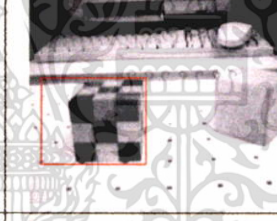
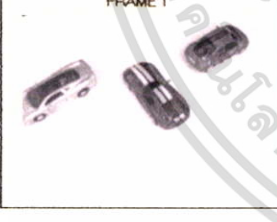


ส่วนภาพที่ 5.19 เป็นการทดลองกับภาพที่ได้จากกล้อง CCD เช่นกัน โดยในภาพเป็นการจำลองให้วัตถุเคลื่อนที่สวนทางกัน ผลการตรวจหาโปรแกรมสามารถที่จะตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ถูกต้อง โดยในการตรวจหาวัตถุ ตรวจพบวัตถุจำนวน 2 วัตถุ ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทาง  $\theta_1 = 54.82$  และวัตถุอีกชิ้นมีทิศทางการเคลื่อนที่  $\theta_2 = 239.46$  ในภาพแสดงผลการตรวจหาวัตถุจากภาพอินพุตที่เป็นลำดับภาพต่อเนื่อง จำนวน 3 คู่ลำดับ และในการทดลองกับกลุ่มภาพอินพุตที่ได้จากกล้อง CCD ถูกนำเสนอในตารางที่ 5.3 เป็นตัวอย่างการทดลองกับภาพที่จำลองสถานการณ์เป็นเหตุการณ์ต่างๆ



ภาพที่ 5.19 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่จากภาพที่ได้จากกล้อง CCD

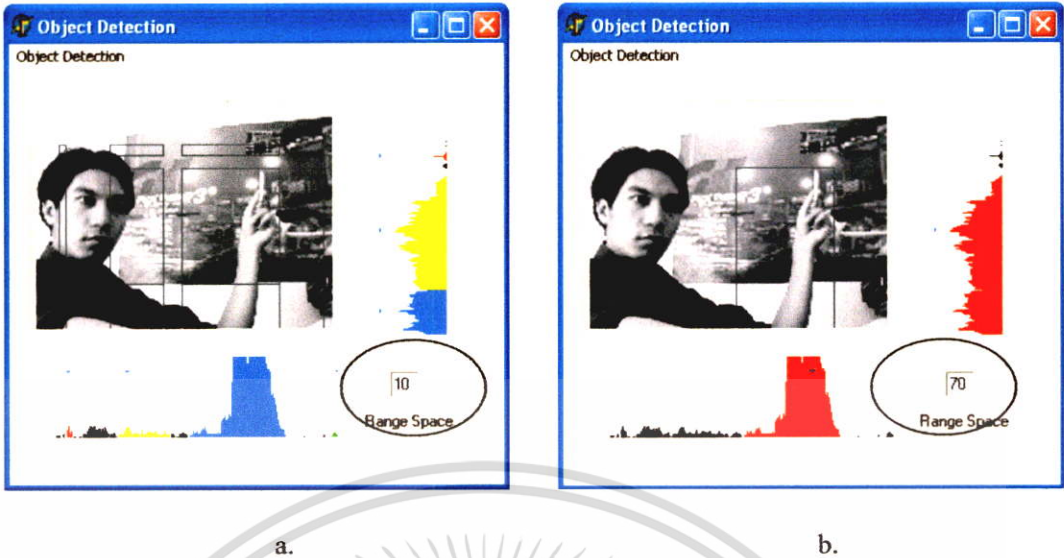
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างผลการตรวจหาวัตถุจากภาพที่ได้จากกล้อง CCD

ภาพอินพุต 1	ภาพอินพุต 2	ผลการตรวจหาวัตถุ	
			$\theta_1 = 53.37$
			$\theta_1 = 132.02$
			$\theta_1 = 326.75$
			$\theta_1 = 12.69$
			$\theta_1 = 128.63$

จากการทดลองกับภาพทั้ง 3 กลุ่มซึ่งรวมทั้งหมดจำนวน 32 คู่ลำดับ ปรากฏว่ากลุ่มภาพที่พบปัญหาในขั้นตอนการแยกแยะวัตถุ (Segmentation) คือ กลุ่มภาพที่ได้จากกล้อง CCD อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่มีปะปนในภาพถูกกำจัดออกไปไม่หมด ดังรูปที่ 5.20 ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการตรวจหาวัตถุ เมื่อทำการสแกนในแกน X และแกน Y โปรแกรมจะตรวจพบกลุ่มขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่เกิดจากสัญญาณรบกวนเป็นกลุ่มเล็กๆ ทำให้โปรแกรมพิจารณาเป็นวัตถุ ซึ่งทำให้กระบวนการตรวจหาวัตถุเกิดความผิดพลาดขึ้น

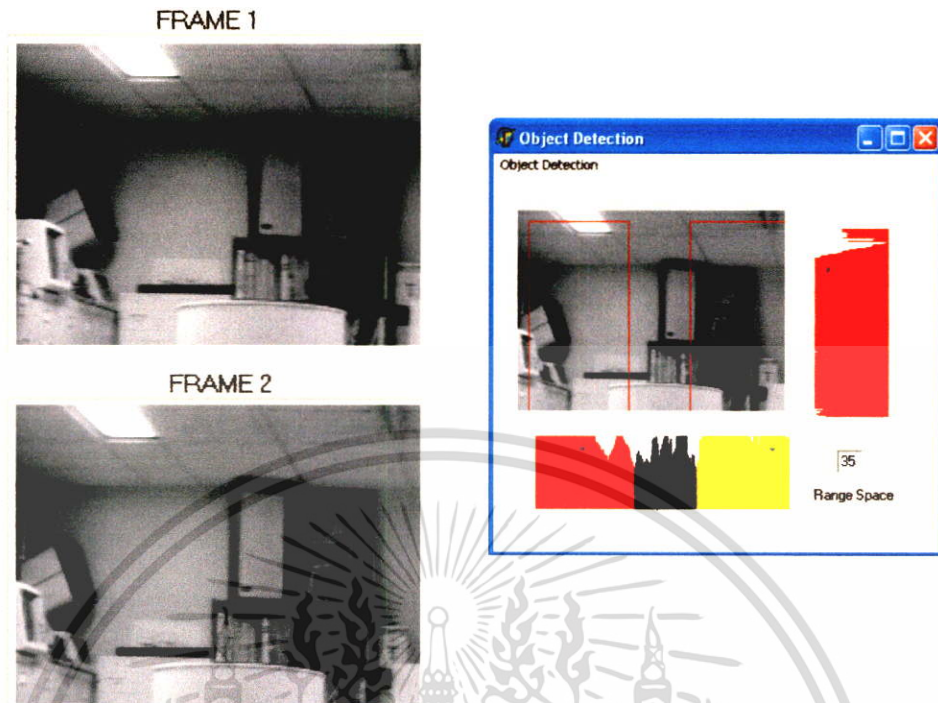
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.20 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่ที่มีความผิดพลาด

จากภาพที่ 5.20 a. สังเกตได้ว่าการตรวจหาวัตถุจาก Histogram ของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวแกน X จะพบกลุ่มเวกเตอร์ที่กระจุกกระจาย ดังนั้นในการพิจารณาแบ่งช่วงของ Histogram ถ้าหากมีการกำหนดค่าระยะในการหาค่าสูงสุดน้อย ดังแสดงในภาพ a. จะทำให้ได้กลุ่มของสัญญาณรบกวนเข้ามาด้วย แต่ในภาพ b. ถูกกำหนดค่าระยะในการหาค่าสูงสุดไว้ที่ 70 ผลที่ได้คือกลุ่มของสัญญาณรบกวนจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ดังนั้นในการทดลองกับกลุ่มภาพที่ได้จากกล้อง CCD การกำหนดค่าระยะในการหาค่าสูงสุดนั้น จะกำหนดให้มีค่ามากๆ เสมอ

ในการทดลองอีกประเภทที่ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องคือ การทดลองกับภาพที่ตัวกล้องมีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า หรือถอยหลัง ดังในภาพที่ 5.21 กล้องเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ จึงเสมือนว่าวัตถุทั้งหมดในภาพรวมทั้งฉากหลัง มีการเคลื่อนที่เข้าหากกล้อง ดังนั้นผลที่ได้คือภาพทั้งภาพจะเกิดเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ทุกจุดภาพ จะทำให้ขั้นตอนการตรวจหาวัตถุก็จะเกิดความผิดพลาดขึ้น อันเนื่องจากในส่วนของ โปรแกรมที่แยกวัตถุออกจากพื้นหลัง จะทำการตรวจหาวัตถุจาก Histogram ของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ เช่นในภาพที่ 5.21 ผลการตรวจหาที่ค่าระยะในการหาค่าสูงสุดเท่ากับ 35 ในแกน X ผลของการแบ่ง Histogram จะได้เป็น 3 กลุ่ม และในแกน Y ผลของการแบ่ง Histogram จะได้เป็น 1 กลุ่ม แต่ถ้ากำหนดค่าระยะในการหาค่าสูงสุดเท่ากับ 200 ผลที่ได้คือโปรแกรมจะเห็นเป็น 1 กลุ่ม ทั้งแกน X และแกน Y ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของกล้องได้



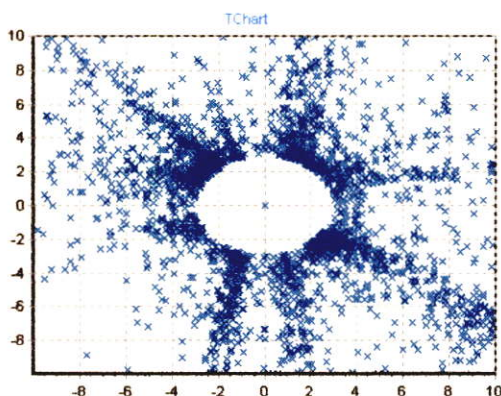
ภาพที่ 5.21 ภาพผลการตรวจหาวัตถุที่เคลื่อนที่มีความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของกล้อง

ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากภาพอินพุต 3 กลุ่ม พบว่ากลุ่มภาพที่สังเคราะห์กับกลุ่มภาพจากภาพมาตรฐาน จะไม่พบปัญหาเรื่องของการแบ่งกลุ่มวัตถุของ Histogram แต่ในส่วนของภาพที่ได้จากกล้อง CCD นั้นจะปรากฏสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ ทำให้การแบ่งกลุ่มวัตถุมีความผิดพลาดอีกรูปแบบของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นคือ การที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ส่วนทางกัน หรือมีการซ้อนทับกัน ซึ่งทำให้ผลการคำนวณเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่มีการกระจายมาก ทำให้บางครั้งการทำ Curve fitting ของภาพดังกล่าวได้มุมที่ผิดจากความเป็นจริง ดังภาพที่ 5.22



ภาพที่ 5.22 ภาพอินพุตที่มีการซ้อนทับกันของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.23 กราฟแสดงการกระจายของมุมการเคลื่อนที่

พิจารณาภาพที่ 5.23 พบว่าข้อมูลของมุมการเคลื่อนที่มีการกระจายของข้อมูล กล่าวคือมุมที่คำนวณได้จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 360 องศา ดังนั้นการนำกลุ่มข้อมูลนี้ไปทำการ Curve fitting จะทำให้ผลของคำตอบที่ได้มีความผิดพลาด โดยในการแก้ปัญหาดังกล่าว โปรแกรมจะพิจารณาให้เป็นวัตถุเดียวกันไป จนกว่าจะมีการแยกออกจากกันอีกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 5.24



ภาพที่ 5.24 ผลการตรวจหาวัตถุที่มีการซ้อนทับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการวิจัย

การคำนวณหาสนามเวกเตอร์การเคลื่อนที่ได้ถูกจำแนกออกเป็น 2 จำพวกใหญ่ๆ ซึ่งแบ่งเป็นการคำนวณแบบวนซ้ำ (Iterative Method) และการคำนวณแบบไม่วนซ้ำ (Non-Iterative Method) โดยการคำนวณแบบวนซ้ำข้อดีคือคำตอบที่ได้จะความผิดพลาดน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การคำนวณแบบไม่วนซ้ำ แต่ในเรื่องของเวลาในการคำนวณนั้นวิธีการคำนวณแบบวนซ้ำจะไม่สามารถกำหนดเวลาในการคำนวณที่แน่นอนได้ ส่วนการคำนวณแบบไม่วนซ้ำเวลาในการคำนวณ จะมีค่าคงที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ความซับซ้อนของตัวโปรแกรม

จากการทดลองการตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุหลายชิ้น ด้วยการคำนวณ Optical Flow แบบไม่วนซ้ำ ที่ใช้หน้าต่างตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางของตัวกรองได้ เป็นตัวช่วย ในการสร้างสมการการเคลื่อนที่ โดยอาศัยหลักการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ในการหาสนามเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ในการทดลองวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองกับภาพ 3 กลุ่ม กล่าวคือภาพกลุ่มแรกเป็นภาพที่สังเคราะห์ (Synthesis) ขึ้นมาเพื่อทดสอบสมมุติฐานว่า โปรแกรมสามารถคำนวณมุมและระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ถูกต้อง หรือมีความผิดพลาด น้อยอย่างไร ส่วนกลุ่มภาพกลุ่มที่สองนี้เป็นภาพมาตรฐาน (Standard Image) เป็นกลุ่มภาพที่ใช้ ทดสอบความถูกต้องในการตรวจหาวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ กลุ่มภาพกลุ่มสุดท้ายเป็นภาพที่ได้จาก กล้อง CCD ที่บันทึกภาพในสภาวะสิ่งแวดล้อมจริง เพื่อทำการทดสอบ โปรแกรมกับภาพที่ได้จาก สภาวะสิ่งแวดล้อมจริงว่าโปรแกรมจะมีความผิดพลาด สามารถตรวจหาวัตถุได้ถูกต้องเพียงใด โดย ในการเขียน โปรแกรมได้กำหนดขอบเขตของการตรวจหาวัตถุ อยู่ที่จำนวน 3 วัตถุ อันเนื่องมาจาก เพื่อลดปัญหาในเรื่องของหน่วยความจำ ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองกับภาพกลุ่มแรกที่เป็นภาพสังเคราะห์ โดยจำลองสถานการณ์สร้างภาพขึ้นมา เองและไม่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลการทดลองกับภาพกลุ่มนี้โปรแกรมสามารถหาวัตถุ ที่มีการเคลื่อนที่ได้ถูกต้องทั้งหมด ในส่วนการทดลองกับกลุ่มภาพที่เป็นภาพมาตรฐาน ผลที่ได้คือ พบสัญญาณรบกวนที่แทรกเข้ามาโดยสังเกตได้จาก Histogram ของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ แต่ สามารถแก้ไขได้ด้วยการปรับค่าระยะการหาค่าสูงสุดให้มีค่ามากขึ้น จะทำให้โปรแกรมไม่พิจารณา สัญญาณรบกวนที่มีค่าน้อยๆ ไปได้ แต่ในส่วนการทดลองสุดท้ายที่ทดลองกับกลุ่มภาพที่ได้จาก กล้อง CCD นั้นภาพในสภาวะสิ่งแวดล้อมจริงที่แสดงจะมีสัญญาณรบกวนมาก โดยที่ตัวกรองไม่ สามารถกำจัดได้หมด ส่งผลให้หากว่ายังใช้ค่าระยะการหาค่าสูงสุดที่ค่าต่ำๆ จะทำให้การตรวจหา วัตถุที่เคลื่อนที่มีความผิดพลาดไป วิธีการแก้ไขในกรณีนี้สามารถทำได้ด้วยการปรับค่าระยะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าสูงสุดไว้ที่ค่ามากๆ เพื่อที่จะข้ามผ่านสัญญาฉบับนั้นไป ส่วนปัญหาเรื่องการซ้อนทับกันของวัตถุ จะพิจารณาให้เป็นวัตถุกลุ่มเดียวกัน จนกว่าจะมีการแยกออกจากกันอีกครั้ง

## 6.1 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัย

ในผลงานวิจัยฉบับนี้มีข้อคิดที่จะนำเสนอแนะเพื่อการพัฒนาในครั้งต่อไปดังนี้

1. เรื่องของสัญญาฉบับที่มีมากับกล้อง หรือกับภาพอินพุท
2. เรื่องของแนวคิดอัลกอริทึมในการเขียน โปรแกรม ที่มีขั้นตอนการคำนวณที่ซับซ้อน

ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมาก

3. ปัญหาในเรื่องของการซ้อนทับกันของวัตถุ ที่ถูกพิจารณาให้เป็นวัตถุเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] B.K.P. Horn and B.G. Schunck. 1981. "Determining Optical Flow." **Artificial Intelligence**. vol.17 : 185-204.
- [2] S. Sun, D. Haynor and Y. Kim. 2000. "Motion Estimation Base on Optical Flow with Adaptive Gradient." **IEEE Image Processing 2000. International Conference**. vol.1 : 852- 855.
- [3] H. Li. 1988. "Fast Iterative Algorithm for Optical Flow." **Maple Press**. : 560-564.
- [4] A. D. Bimbo. 1993. "Real – Time Optical Flow Estimation." **System, Man and Cybermatics, Conference Proceeding, International Conference**. vol.3 : 13-19.
- [5] A. D. Bimbo, P. Nesi and J. L. C. Sanz. 1995. "Analysis of Optical Flow Constraints." **IEEE Transections on Image Processing**. vol. 4 : 460-469.
- [6] บั้วรอง ลิวเฉลิมวงศ์. "สรีรวิทยา." ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- [7] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ เชา พัฒนประสิทธิ์ชัย และธีรวัฒน์ เทพมณี. 2545. "การคำนวณ Optical flow ด้วยการประยุกต์ใช้ Adaptive Gradient ร่วมกับ Successive Over-Relaxation" **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. ครั้งที่ 40.
- [8] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ พิทยา ปานนิล เชา พัฒนประสิทธิ์ชัย และ ธีรวัฒน์ เทพมณี. 2546. "การคำนวณ Optical Flow บนพื้นฐานของ Non-Iterative และตัวกรองเกาส์เซียน" **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. ครั้งที่ 41.
- [9] Scott E. Umbaugh. 1998. **Computer Vision and Image Processing**. Prentice-Hall International, Inc. : 177.
- [10] H. J. Chen, Y. Shirai and M. Asada. 1993. "Obtaining Optical Flow with Multi-Orientation Filters." **Proc. Computer Vision and Pattern Recognition**. : 736-737.

## ภาคผนวก

## ผลงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์

- [1] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ เดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย และ ชีรวัฒน์ เทพมณี “การคำนวณ Optical flow ด้วยการประยุกต์ใช้ Adaptive Gradient ร่วมกับ Successive Over-Relaxation” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ครั้งที่ 40, 4-7 กุมภาพันธ์ 2545
- [2] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ พิทยา ปานนิล เดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย และ ชีรวัฒน์ เทพมณี “การคำนวณ Optical Flow บนพื้นฐานของ Non-Iterative และตัวกรองเกาส์เซียน” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ครั้งที่ 41, 3-7 กุมภาพันธ์ 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขอรับรองว่าผลงานวิจัย

เรื่อง

การคำนวณ Optical flow ด้วยการประยุกต์ใช้ Adaptive Gradient ร่วมกับ  
Successive Over-Relaxation

โดย

เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์ เตชา พัฒนประสิทธิ์ชัย และ อีรวัดน์ เทพมณี

ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์  
และได้นำเสนอในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40  
ระหว่างวันที่ 4-7 กุมภาพันธ์ 2545

๓๖ ๓ ๓

(ศาสตราจารย์ ต่อกุล กาญจนาลัย)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ประธานคณะกรรมการดำเนินการจัดการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณ Optical flow ด้วยการใช้ Adaptive Gradients ร่วมกับ Successive Over-Relaxation

### Calculation of Optical flow with Adaptive Gradients and Successive Over-Relaxation

เกษตร์ สิริสันติสัมฤทธิ์<sup>1</sup> เดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย<sup>1</sup> ธีรวัฒน์ เทพมณี<sup>1</sup>

Kaset Sirisantisamrid<sup>1</sup> Decha Phattanaprasitchai<sup>1</sup> Teerawat Thepmanee<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

บทความนี้จะนำเสนอวิธีการคำนวณ Optical flow ด้วย Adaptive Gradients ร่วมกับ Successive over-relaxation เนื่องจากการหา Optical flow โดยวิธีการของ Horn และ Schunck จะให้ข้อมูลส่วนเกินซึ่งเกิดจากปัญหาการปิดบังของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่และต้องการเวลาในการคำนวณมาก เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นเราจะใช้ Adaptive Gradients เพื่อกำจัดข้อมูลส่วนเกินและ Successive over-relaxation เพื่อเร่งการคำนวณให้เข้าสู่ค่าจริงได้เร็วขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีของ Horn และ Schunck ได้แสดงไว้ในผลการทดลอง

#### Abstract

This paper presents the calculation of optical flow with adaptive gradients and successive over relaxation. Because of the determining optical flow by using Horn and Schunck method, gives the numerical artifacts, which obtained from occlusion problem of moving objects, and need expensive cost to solve the optical flow equation. To solving the above-mentioned problem, we use adaptive gradients to eliminate the numerical artifacts, and successive over relaxation to accelerate calculation rapidly approaches the true unknowns. The performance of the proposed method compared with Horn and Schunck method shown at experimental result.

1 ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

มนุษย์มีระบบการมองเห็นในรูปแบบของสามมิติและสามารถจดจำลักษณะโครงสร้างของสิ่งต่างๆ ได้ แม้ว่ามันจะมีการเคลื่อนที่หรือการหมุน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาระบบการมองเห็นของมนุษย์ เพื่อจำลองแบบ และนำไปใช้ในหุ่นยนต์หรือยานยนต์อัตโนมัติ การตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Optical flow) จากข้อมูลภาพที่ต่อเนื่องเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระบบการมองเห็นของมนุษย์ การหา optical flow ที่นำเสนอโดย (Horn และ Schunck, 1980) ด้วยวิธีที่อยู่บนพื้นฐานของเกรเดียนท์ (Gradient based method) เป็นวิธีที่รู้จักกันดี ซึ่งมีข้อดีเหนือกว่าวิธีอื่นๆ คือไม่มีความซับซ้อนในการคำนวณ อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Movement vector) ในแต่ละแนวแกนกับอนุพันธ์ของความเข้มของแสงในภาพ (Derivative of image intensity) ที่สัมพันธ์ต่อเวลา และข้อบังคับความเร็วของจุดข้างเคียงเหมือนกันและเปลี่ยนแปลงอย่างราบเรียบ (Smoothness constraint) อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวจะมีผลทำให้เกิดข้อมูลส่วนเกินออกมาด้วย เนื่องจากระหว่างที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ระหว่างเฟรมต่อเฟรม จะเกิดปัญหาการปิดบังกัน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวเราจึงใช้วิธี Adaptive gradients ที่เสนอโดย (Sun และคณะ, 2000) และเพื่อให้การคำนวณในลักษณะวนซ้ำเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วขึ้น เราจะใช้วิธีการวนซ้ำด้วย Successive over relaxation โดยรายละเอียดการคำนวณ Optical flow จะอธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป

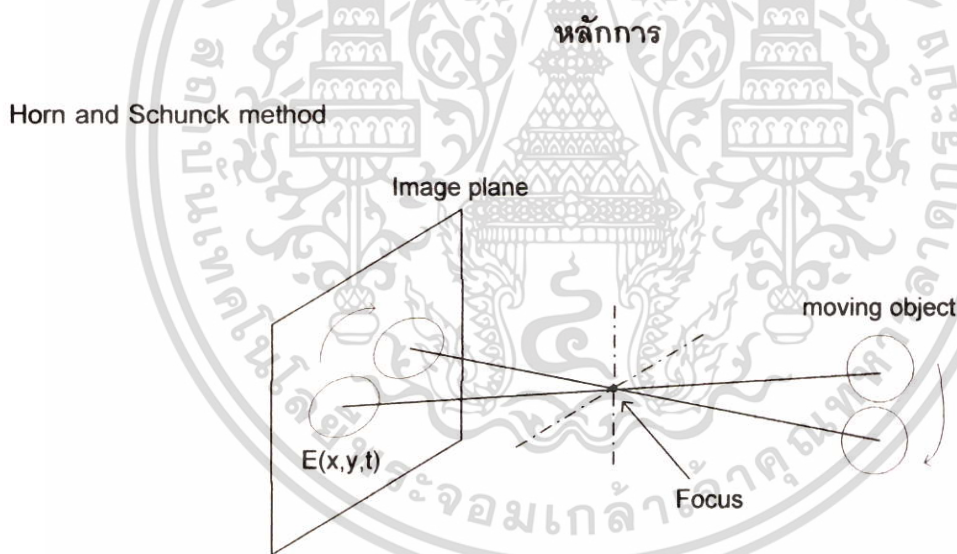


Figure 1. An optical flow on the image plane related with moving object

ความสัมพันธ์ระหว่าง Optical flow ในระนาบภาพกับความเร็วของวัตถุในโลกสามมิติ สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 1. ในการวัดการเคลื่อนที่โดยทั่วไปจะสมมุติว่าการเคลื่อนที่ของ pattern ความสว่างบนระนาบภาพ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีค่าความเข้มของแสงหรือความสว่างค่อนข้างคงที่อย่างน้อยๆ ก็ในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้า กำหนดให้  $E(x, y, t)$  เป็นความเข้มของแสงที่พิกัด  $(x, y)$  ในช่วงเวลา  $t$  สมการ Optical flow สามารถหาได้บนพื้นฐานสมมุติฐานที่ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

และเมื่อเขียนในรูปของสมการเชิงเส้นที่ประกอบด้วยตัวแปร  $u$  และ  $v$  จะได้

$$E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (2)$$

$E_x$  และ  $E_y$  คือเกรเดียนท์ทางระยะทางของความเข้มของแสงในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ตามลำดับ  $u$  และ  $v$  เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแกน  $x$  และแกน  $y$  และ  $E_t$  คือเกรเดียนท์ทางเวลาของความเข้มของแสง อย่างไรก็ตาม สมการที่ (2) ไม่สามารถคำนวณหาตัวแปร  $u$  และ  $v$  ได้ Horn และ Schunck ได้นำเสนอ Smoothness constraint เพื่อแก้สมการ Optical flow โดยพิจารณาว่าความเร็วของจุดภาพใกล้เคียงจะมีค่าเหมือนกัน จากการเพิ่มสมการ Smoothness constraint ทำให้ง่ายต่อการแก้สมการที่ (2) ทำได้โดยการคำนวณสมการที่ (3) ให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

$$\min_{u,v} \int_D \{ (E_x u + E_y v + E_t)^2 + \alpha^2 [(\bar{u} - u)^2 + (\bar{v} - v)^2] \} dx dy \quad (3)$$

โดยที่  $\bar{u}$  และ  $\bar{v}$  เป็นค่าเฉลี่ยความเร็วของจุดภาพข้างเคียงในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ส่วน  $\alpha$  คือค่า Weighting factor ซึ่งตามปกติจะถูกเลือกให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

สมการที่ (3) จะหาคำตอบได้ด้วยวิธีการวนซ้ำ Gauss-Seidal (Gauss-Seidal iterative method) โดยใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องสองเฟรม ด้วยสมการ

$$\begin{aligned} u^{n+1} &= \bar{u} - E_x [E_x \bar{u}^n + E_y \bar{v}^n + E_t] / (\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2) \\ v^{n+1} &= \bar{v} - E_y [E_x \bar{u}^n + E_y \bar{v}^n + E_t] / (\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2) \end{aligned} \quad (4)$$

#### Adaptive Gradients method

เนื่องจากการหา Optical flow ด้วยวิธีการของ Horn และ Schunck จะเกิดปัญหาข้อมูลส่วนเกิน (Numerical artifacts) ที่เกิดจากการบิดเบ่งของวัตถุระหว่างเฟรมต่อเฟรม อย่างไรก็ตามข้อมูลส่วนเกินนี้สามารถลดและกำจัดได้ด้วยการใช้ Adaptive Gradients ถ้ากำหนดให้ตัวแปร  $R$  เป็นค่าคงเหลือโดยสมบูรณ์ (Absolutely residual numbers) ของสมการที่ (2)

$$R = |E_x u + E_y v + E_t| \quad (5)$$

ซึ่งในทางปฏิบัติสมการที่ (1) และ (2) จะไม่เป็นจริง อย่างไรก็ตามคำตอบของสมการที่ (5) จะถูกต้องมากที่สุดเมื่อค่า  $R$  มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นการคำนวณหา Optical flow ด้วย Adaptive Gradients จะใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องสามภาพ ถ้ากำหนดให้เกรเดียนท์ความเข้มของแสงในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  หาได้จาก

$$\begin{aligned} E_{x(i,j,t)} &= \frac{1}{4} [E_{(i-1,j+1,t)} - E_{(i+1,j+1,t)} + E_{(i-1,j-1,t)} - E_{(i+1,j-1,t)} + 2E_{(i,j,t)} - 2E_{(i+1,j,t)}] \\ E_{y(i,j,t)} &= \frac{1}{4} [E_{(i-1,j-1,t)} - E_{(i-1,j+1,t)} + E_{(i+1,j-1,t)} - E_{(i+1,j+1,t)} + 2E_{(i,j,t)} - 2E_{(i,j+1,t)}] \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ  $E(i, j, t)$  คือความเข้มของแสงในภาพที่พิกัด  $(i, j)$  ในเฟรม  $t$

จากการที่เราต้องการให้ได้คำตอบของ Optical flow ถูกต้องมากที่สุด เราจะทำการหาค่าเกรเดียนท์ของแต่ละจุดภาพทั้งไปข้างหน้าและไปข้างหลังจากข้อมูลภาพในเฟรมที่  $t$  โดยให้ตัวคูณ  $f$  แทนไปข้างหน้าและ  $b$  แทนไปข้างหลัง จุดภาพใดที่ให้ค่าคงเหลือโดยสมบูรณ์น้อยที่สุดไม่ว่าจะไปข้างหน้าและข้างหลังจะถูกเลือก นั่นคือ

$$\text{if} \quad R^b_{(i,j,t)} \leq R^f_{(i,j,t)} \quad (7)$$

$$\text{then} \quad E_{t(i,j,t)} = E^b_{t(i,j,t)} \quad (8)$$

$$\text{else then} \quad E_{t(i,j,t)} = E^f_{t(i,j,t)} \quad (9)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} E^f_{t(i,j,t)} &= \frac{1}{16} [4E_{(i,j,t+1)} - 4E_{(i,j,t)} + E_{(i+1,j+1,t+1)} - E_{(i+1,j+1,t)} + 2E_{(i,j+1,t+1)} \\ &\quad - 2E_{(i,j+1,t)} + 2E_{(i+1,j,t+1)} - 2E_{(i+1,j,t)} + 2E_{(i,j-1,t+1)} - 2E_{(i,j-1,t)} \\ &\quad + 2E_{(i-1,j,t+1)} - 2E_{(i-1,j,t)} + E_{(i-1,j-1,t+1)} - E_{(i-1,j-1,t)} + E_{(i-1,j+1,t+1)} \\ &\quad - E_{(i-1,j+1,t)} + E_{(i+1,j-1,t+1)} - E_{(i+1,j-1,t)}] \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} E^b_{t(i,j,t)} &= \frac{1}{16} [4E_{(i,j,t)} - 4E_{(i,j,t-1)} + E_{(i+1,j+1,t)} - E_{(i+1,j+1,t-1)} + 2E_{(i,j+1,t)} \\ &\quad - 2E_{(i,j+1,t-1)} + 2E_{(i+1,j,t)} - 2E_{(i+1,j,t-1)} + 2E_{(i,j-1,t)} - 2E_{(i,j-1,t-1)} \\ &\quad + 2E_{(i-1,j,t)} - 2E_{(i-1,j,t-1)} + E_{(i-1,j-1,t)} - E_{(i-1,j-1,t-1)} + E_{(i-1,j+1,t)} \\ &\quad - E_{(i-1,j+1,t-1)} + E_{(i+1,j-1,t)} - E_{(i+1,j-1,t-1)}] \end{aligned}$$

ค่าของ  $E_{t(i,j,t)}$  จะถูกเลือกตามเงื่อนไขในสมการที่ (7) และจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณรอบถัดไป

### Successive Over-Relaxation Method

ปัญหาอีกประการหนึ่งของการคำนวณหา Optical flow ตามวิธีของ Horn และ Schunck ก็คือใช้เวลาในการคำนวณมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวเราจะใช้วิธีการวนซ้ำแบบ Successive over-relaxation ทั้งนี้ก็เพื่อให้งานวนซ้ำเข้าสู่ค่าจริงหรือสภาวะคงตัวได้เร็วขึ้น สมการการวนซ้ำด้วยวิธีการนี้สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\bar{X}^{n+1} = \bar{X}^n + \omega \bar{r}^n \quad (11)$$

และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสมการที่ (4) สามารถเขียนเป็นสมการใหม่ขึ้นมาเป็น

$$\begin{aligned}
 u^{n+1}(i,j,t) &= (1 - \varpi)u^n(i,j,t) + \frac{\varpi}{4 + \alpha Ex_{(i,j,t)}} (u^{n+1}(i-1,j,t) + u^{n+1}(i+1,j,t) + u^{n+1}(i,j-1,t) + u^{n+1}(i,j+1,t) \\
 &\quad - \alpha Ex_{(i,j,t)} Ey_{(i,j,t)} v^n(i,j,t) - \alpha Ex_{(i,j,t)} Et_{(i,j,t)}) \\
 v^{n+1}(i,j,t) &= (1 - \varpi)v^n(i,j,t) + \frac{\varpi}{4 + \alpha Ey_{(i,j,t)}} (v^{n+1}(i-1,j,t) + v^{n+1}(i+1,j,t) + v^{n+1}(i,j-1,t) + v^{n+1}(i,j+1,t) \\
 &\quad - \alpha Ex_{(i,j,t)} Ey_{(i,j,t)} u^{n+1}(i,j,t) - \alpha Ey_{(i,j,t)} Et_{(i,j,t)})
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

**ผลการทดลอง**

เราได้ทำการทดสอบการคำนวณหา Optical flow ด้วยวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการของ Horn และ Schunck โดยใช้ภาพระดับสีเทาขนาด 80\*60 จุดภาพ จำนวนสามภาพ และกำหนดให้วัตถุรูปสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่ครั้งละสามจุดภาพเป็นมุม -45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.

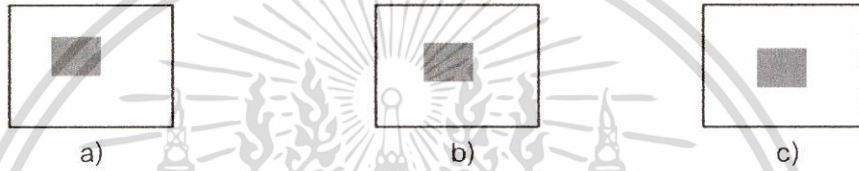
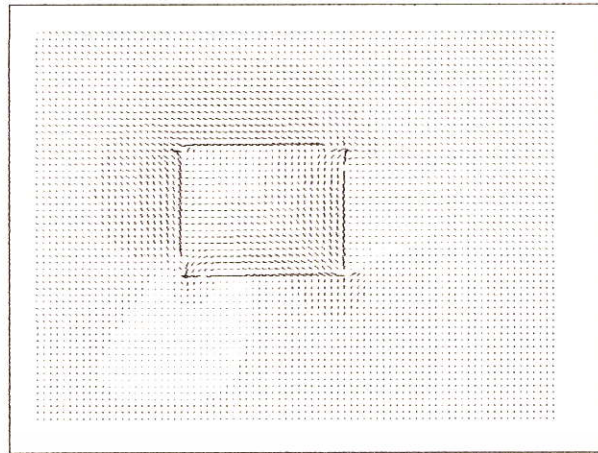


Figure 2. Input image a) frame1 b) frame 2 c) frame 3

การคำนวณ Optical flow จากรูปที่ 2. ด้วยวิธีการของ Horn และ Schunck และวิธีของ Adaptive Gradients และ Relaxation ซึ่งผลลัพธ์แสดงในรูปของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ เมื่อกำหนด Weighting factor ( $\alpha$ ) มีค่าเท่ากับ 3 เท่ากัน ดังแสดงรูปที่ 3a และ 3b ตามลำดับ จากรูปที่ 3a จะพบว่ามีข้อมูลส่วนเกินที่เกิดจากการปิดบังกันเป็นจำนวนมาก แต่รูป 3b ข้อมูลส่วนเกินได้ถูกกำจัดทำให้ได้ขอบเขตการเคลื่อนที่ของวัตถุถูกต้องชัดเจนมากกว่า



a) Horn and Schunck method with  $\alpha=3$  , N=284 iterative



b) Adaptive gradients and Successive over – relaxation with  $\alpha=3$  , $\omega=1.5$  N=150 iterative

Figure 3. Comparision of the original Horn and Schunck method and our proposed method

การทดลองในเรื่องความเร็วของการประมวลผล เราได้ทดลองเปรียบเทียบกัน 4 วิธีคือ วิธีของ Horn และ Schunck วิธีของ Horn และ relaxation วิธีของ Adaptive Gradients และวิธีของ Adaptive Gradients ที่มี Relaxation รวมอยู่ด้วย โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลรวมความผิดพลาดของทุกๆ จุดภาพ ในจำนวนรอบของการวนซ้ำรอบที่ 16, 32, 64 และ 128 ดังแสดงในตารางที่ 1. ซึ่งจะพบว่าวิธีของ Adaptive Gradients ที่มี Relaxation จะมีค่าเฉลี่ยผลรวมความผิดพลาดน้อยที่สุดในรอบที่ 128 นั้นหมายความว่ามันจะประมวลผลด้วยการวนซ้ำเข้าสู่ค่าจริงได้เร็วกว่าวิธีอื่นๆ

No. of Iteration	16	32	64	128
Horn and Schunck method	0.09229	0.04453	0.02233	0.01131
Horn and Relaxation method	0.09173	0.04549	0.02175	0.00983
Adaptive Gradients method	0.094	0.04646	0.02327	0.01149
Adaptive & Relaxation method	0.0986	0.04765	0.0216	0.00955

Table 1. No. of iteration and error relation

## สรุป

เราได้นำเสนอการคำนวณ Optical flow ที่ได้ค่าผลลัพธ์ถูกต้องและรวดเร็วกว่าวิธีของ Horn และ Schunck ด้วยการใช้ Adaptive Gradients ร่วมกับ Successive over-relaxation ดังแสดงไว้ในผลการทดลอง อย่างไรก็ตามค่า weighting factor ( $\alpha$ ) และค่าพารามิเตอร์ ( $\omega$ ) เป็นตัวแปรที่ต้องเลือกให้เหมาะสมกับภาพ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- B.K.P. Horn and B.G. Schunck. 1981. Determining Optical Flow. Artificial Intelligence, Vol.17:185-204
- S. Sun, D. Haynor and Y. Kim. 2000. Motion Estimation Base on Optical Flow with Adaptive Gradient, IEEE Image Processing, 2000. Proceedings. 2000 International Conference on , Volume: 1 , 2000. vol.1: 852- 855
- H. Li. 1988. Fast Iterative Algorithm for Optical Flow. Maple Press. :560-564
- A. D. Bimbo. 1993. Real – Time Optical Flow Estimation, System, Man and Cybermatics, Conference Proceeding, International Conference, Vol. 3:13-19
- A. D. Bimbo, P. Nesi and J. L. C. Sanz. 1995. Analysis of Optical Flow Constraints, IEEE Transections on Image Processing, Vol. 4: 460-469



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขอรับรองว่าผลงานวิจัย

เรื่อง

การคำนวณ Optical flow บนพื้นฐานของ Non-iterative และตัวกรองเกาซ์เซียน

โดย

เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์ พิทยา ปานนิล เดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย  
และธีรวัฒน์ เทพมณี

ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์  
และได้นำเสนอในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41  
ระหว่างวันที่ 3-7 กุมภาพันธ์ 2546

(ศาสตราจารย์ ดร.ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ประธานคณะกรรมการดำเนินการจัดการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณ Optical flow บนพื้นฐานของ Non-iterative และตัวกรองเกาส์เซียน

### Non-iterative and Gaussian filter based Optical Flow Calculation

เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์<sup>1</sup> พิตยา ปานนิล<sup>1</sup> เดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย<sup>1</sup> วีรวัดน์ เทพมณี<sup>1</sup>

Kaset Sirrisantisamrid<sup>1</sup> Pittaya Pannil<sup>1</sup> Decha Phattanaprasitichai<sup>1</sup> Teerawat Thepmanee<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

การคำนวณ optical flow ด้วยวิธีวนซ้ำ มักจะประสบปัญหาการกำหนดค่า weighting factor ที่เหมาะสม และเวลาในการประมวลผลไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของภาพ ในบทความนี้นำเสนอการคำนวณ optical flow บนพื้นฐานของวิธีการไม่วนซ้ำและตัวกรองเกาส์เซียน ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้จะ convolution กับภาพต้นแบบที่ต่อเนื่อง ทำให้สมการ optical flow constraint (OFC) สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และตัวกรองเกาส์เซียนยังช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการกระทำ gradient ระหว่างเฟรมต่อเฟรมอีกด้วย การคำนวณ optical flow กับภาพสังเคราะห์และภาพจริงโดยเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการแบบวนซ้ำแสดงไว้ในผลการทดลอง

#### Abstract

Calculate optical flow using iterative method have some problem into selecting of suitable weighting factor and the computational time are uncertain depend on the complexity of image. In this paper presents the calculation of optical flow base on non-iterative and Gaussian filter. The orientation-selective Gaussian filter is convolute with original image sequence. Consequent, the optical flow constraint (OFC) can solve by least square method and Gaussian filter also help for reduce noise that occurred after performing gradient between frame. The calculation of optical flow with syntheses image and real image by comparing the purpose method and iterative method had show on the experimental result.

1 ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut 's Institute of  
Technology Ladkrabang

## คำนำ

การตรวจหาการเคลื่อนที่ของวัตถุ ด้วยการประมวลผลภาพบนพื้นฐานของ Gradient (Gradient based) เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน มีผู้ที่ทำการวิจัยจำนวนมากไม่น้อยที่นำเสนอ การคำนวณ optical flow บนพื้นฐานดังกล่าว Horn และ Schunck (1981) ได้นำเสนอวิธีการหา optical flow จากสมการ optical flow constraint (OFC) ร่วมกับ smoothness constraint ซึ่งเป็นการหาเวกเตอร์ความเร็วในแต่ละแนวแกนแบบวนซ้ำ (Iterative method) Sun และคณะ (2000) ได้นำเสนอวิธีการลดข้อมูลส่วนเกินที่เกิดขึ้นระหว่างเฟรมต่อเฟรม แต่ก็ใช้วิธีการแก้สมการแบบวนซ้ำด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามการคำนวณ optical flow ด้วยวิธีการวนซ้ำ จะมีปัญหาในเรื่องการกำหนดค่า weighting factor ที่เหมาะสมและใช้เวลาในการประมวลผลไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของภาพ

ในบทความนี้เป็นการนำเสนอการคำนวณ optical flow ด้วยวิธีการ ไม่มีการวนซ้ำ (Non-iterative) และบนพื้นฐานของตัวกรองเกาส์เซียน ทั้งนี้เพื่อให้เวลาในการประมวลผลเร็วขึ้น และลดความยุ่งยากในการกำหนดค่า weighting factor โดยรายละเอียดของหลักการและวิธีการทดลอง ผลการทดลอง ได้อธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป

### หลักการและวิธีการทดลอง

เป็นที่ทราบกันดีว่าสมการ OFC ที่นำเสนอโดย Horn และ Schunck เป็นสมการที่ไม่สามารถหาคำตอบของเวกเตอร์ความเร็ว  $[V]$  ได้ เนื่องจากมีเพียงหนึ่งสมการสองตัวแปร ดังสมการที่ 1.

$$E_x \cdot u + E_y \cdot v + E_t = 0 \quad (1)$$

โดยที่  $E_x, E_y$  และ  $E_t$  คือ Gradient ของความเข้มของแสง  $E$  ในแนวแกน  $x, y$  และ  $t$  เวกเตอร์ความเร็ว  $[V]$  มีความเร็วในแนวแกน  $x$  และ  $y$  เป็น  $u$  และ  $v$  ตามลำดับ และอาจเขียนได้ในรูปของ

$$E_x = \frac{\partial E}{\partial x}, \quad E_y = \frac{\partial E}{\partial y}, \quad E_t = \frac{\partial E}{\partial t}$$

$$u = \frac{dx}{dt}, \quad v = \frac{dy}{dt}$$

ซึ่งวิธีการหาเวกเตอร์ความเร็วโดย Horn และ Schunck ทำได้โดยการแก้สมการ minimize error function สมการที่ 2.

$$\min_{u,v} \int_D (E_x \cdot u + E_y \cdot v + E_t)^2 + \alpha^2 (u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) dx dy \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $D$  เป็นการอินทิเกรตบนโดเมนของระนาบภาพ  $u_x, u_y, v_x$  และ  $v_y$  เป็น spatial gradient ของส่วนประกอบ  $u$  และ  $v$  ในทิศทาง  $x$  และ  $y$  สำหรับ  $\alpha$  เป็น weighting factor ที่ต้องกำหนดให้เหมาะสม ดังนั้นการคำนวณหาความเร็ว  $u$  และ  $v$  ในลักษณะวนซ้ำ (iterative method) แสดงดังสมการที่ (3)

$$\begin{aligned} u^{n+1} &= \bar{u}^n - E_x(E_x \bar{u}^n + E_y \bar{v}^n + E_t) / (\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2) \\ v^{n+1} &= \bar{v}^n - E_y(E_x \bar{u}^n + E_y \bar{v}^n + E_t) / (\alpha^2 + E_x^2 + E_y^2) \end{aligned} \quad (3)$$

สำหรับในบทความนี้ เราจะพิจารณาให้ OFC ในสมการที่ (1) เป็นสมการในระบบเชิงเส้น (Linear system) ที่สามารถแก้สมการได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) แต่เนื่องจากสมการที่ 1. นั้นไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีการธรรมดา ดังนั้นเราจึงใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ที่สามารถกำหนดทิศทางได้มาทำการ convolution กับภาพที่เรียงต่อเนื่องกัน (image sequence) ทำให้เราได้ภาพที่เรียงต่อเนื่องกันอันใหม่ ที่มีสมการ OFC เท่ากับจำนวนทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียน นั่นคือ

$$E_{ix} u + E_{iy} v + E_{it} = 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

เมื่อ  $m$  = จำนวนทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียน

ตัวกรองเกาส์เซียนที่สามารถกำหนดทิศทางได้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} G_i(r, \phi) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \beta_i(r, \phi) \\ \beta_i(r, \phi) &= e^{\frac{-r^2 \sin^2(\phi - \phi_i)}{2(\sigma/\rho)^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

โดยที่  $r$  คือ polar coordinate ( $\sqrt{x^2 + y^2}$ )

$\sigma$  คือ scale space

$\phi$  เป็นทิศทางของหน้าต่างตัวกรอง

$\phi_i$  เป็นค่า coordinate angle

$\rho$  เป็นค่า Gaussian scaling

เมื่อ  $\beta_i(r, \phi)$  คือฟังก์ชันที่เป็นตัวกำหนดทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียน โดยกำหนดได้จาก  $\phi_i$  ภาพตัวกรองเกาส์เซียนในทิศทางต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

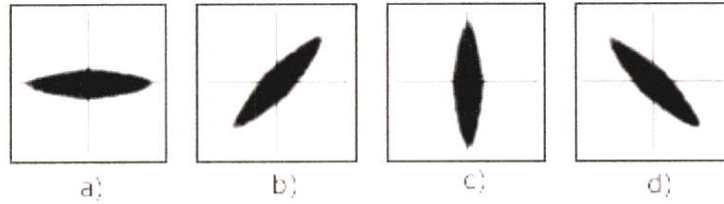


Figure 1. Gaussian mask a) 0 องศา b) 45 องศา c) 90 องศา d) 135 องศา

ถ้าเรากำหนดให้ทิศทางของตัวกรองเกาส์เซียนมี 4 ทิศทาง ซึ่งเมื่อนำหน้าต่างของตัวกรองเกาส์เซียนในรูปที่ 1. มาทำการ convolution กับภาพที่เรียงต่อเนื่องกัน เราจะได้สมการ OFC จำนวน 4 สมการ โดยมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัวแปร การแก้สมการหาค่าตอบ  $u$  และ  $v$  นั้นทำได้โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดดังสมการ

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n (E_{ix}u + E_{iy}v + E_{it})^2 \quad (6)$$

กำหนดให้  $\frac{\partial \varepsilon}{\partial u} = 0$  และ  $\frac{\partial \varepsilon}{\partial v} = 0$  ดังนั้น

$$\begin{bmatrix} \sum E_{ix}^2 & \sum E_{ix}E_{iy} \\ \sum E_{ix}E_{iy} & \sum E_{iy}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum E_{ix}E_{it} \\ \sum E_{iy}E_{it} \end{bmatrix} \quad (7)$$

การใช้ตัวกรองเกาส์เซียนที่กำหนดทิศทางได้ ทำให้เราสามารถคำนวณหาความเร็วในแนวแกน  $x$  และ  $y$  ได้และตัวกรองเกาส์เซียนยังช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำ gradient ระหว่างเฟรมต่อเฟรมอีกด้วย อย่างไรก็ตามค่า scale space ( $\sigma$ ) ของตัวกรองเกาส์เซียนมีผลต่อระดับความเชื่อถือ ดังนั้นในการทดลองเราจะใช้ scale space สองค่า โดยหลักการพิจารณาใช้ scale space ที่ค่าใดค่าหนึ่งนั้น พิจารณาได้จากสมการที่ 6. ว่าที่ค่า scale space ใดที่ให้ค่า error น้อยกว่าจะเลือกค่า  $u$  และ  $v$  จาก scale space ค่านั้น

ในการหาค่าเวกเตอร์ความเร็วจาก  $[v] = -A^{-1}b$  พิจารณาที่ทุกจุดของภาพต้นแบบ หากพบว่า  $|A|$  มีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 0 จะทำให้กลายเป็น singular matrix ซึ่งทำให้ไม่สามารถที่จะหาค่า  $[v]$  ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบว่าที่จุดภาพใดบ้างที่ให้ผลเป็น singular matrix ด้วยค่า Det\_threshold กล่าวคือ ถ้าที่ตำแหน่งนั้น  $|A| < \text{Det\_threshold}$  ระบบจะทำการหาค่าความเร็ว  $u$  และ  $v$  ด้วยค่า normal vector ซึ่ง normal vector ที่จุดภาพนั้นจะพิจารณาจากผลที่ได้จากการ convolution ด้วยตัวกรองเกาส์เซียนในทิศทางต่างๆ ถ้าผลของการ convolution ด้วยตัวกรองเกาส์เซียนใดให้ค่ามากที่สุด จะนำผลของการ convolution ของตัวกรองนั้น มาทำการหา normal vector ของจุดภาพนั้นด้วยสมการ

$$\text{normal vector} = \frac{-E_t}{\sqrt{E_x^2 + E_y^2}} \quad (8)$$

$$\theta = \tan^{-1}(E_y, E_x)$$

ลำดับขั้นตอนหลักในการคำนวณ Optical flow สามารถเขียนเป็น flow chart แสดงการคำนวณได้ ดังรูปที่ 2

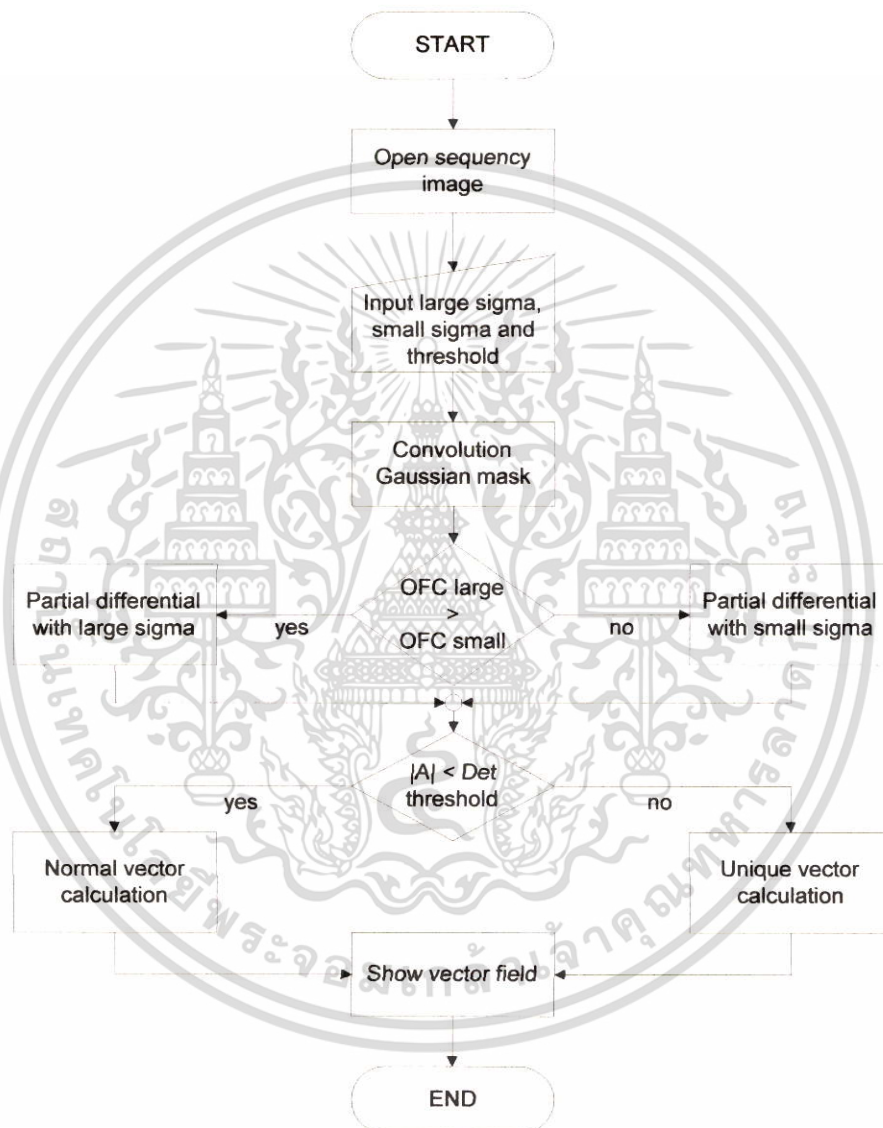


Figure 2. แสดง flow chart การคำนวณ Optical flow ด้วยวิธีการที่นำเสนอ

#### ผลการทดลอง

การทดลองได้ทำการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีของ Horn และ Schunck โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกเป็นการทดลองกับภาพ synthetic ขนาด 240\*180 พิกเซล ที่ทำการจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ และอีกส่วนเป็นการทดลองกับภาพจริงที่ได้จากกล้อง CCD โดยที่ในภาพ syntheses เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานเห็นเป็นประโยชน์ในเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแรกวัตถุส่วนตรงกลางภาพ(ภายในกรอบสี่เหลี่ยม) ถูกจำลองให้เคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นด้านบนขวามือ ด้วยมุม 45 องศา เป็นระยะทางเท่ากับ 5 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 3. รูปที่ 4. แสดงเวกเตอร์ความเร็วในแนวแกน x และ y ของวิธี Horn และ Schunck กับวิธีที่นำเสนอ โดยกำหนดให้  $\theta_{ave}$  เป็นมุมการเคลื่อนที่เฉลี่ยของเวกเตอร์ความเร็วทั้งหมด

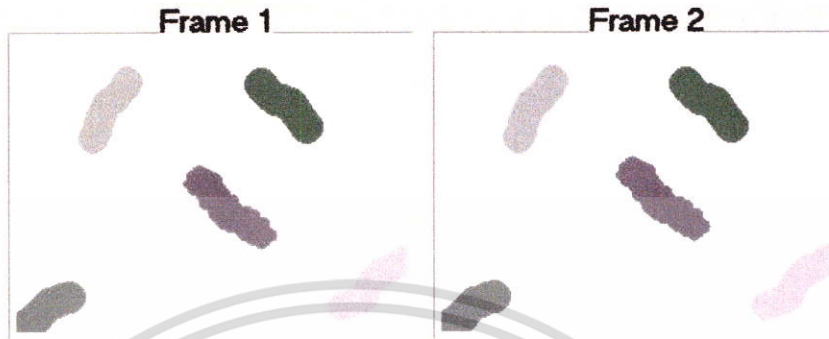
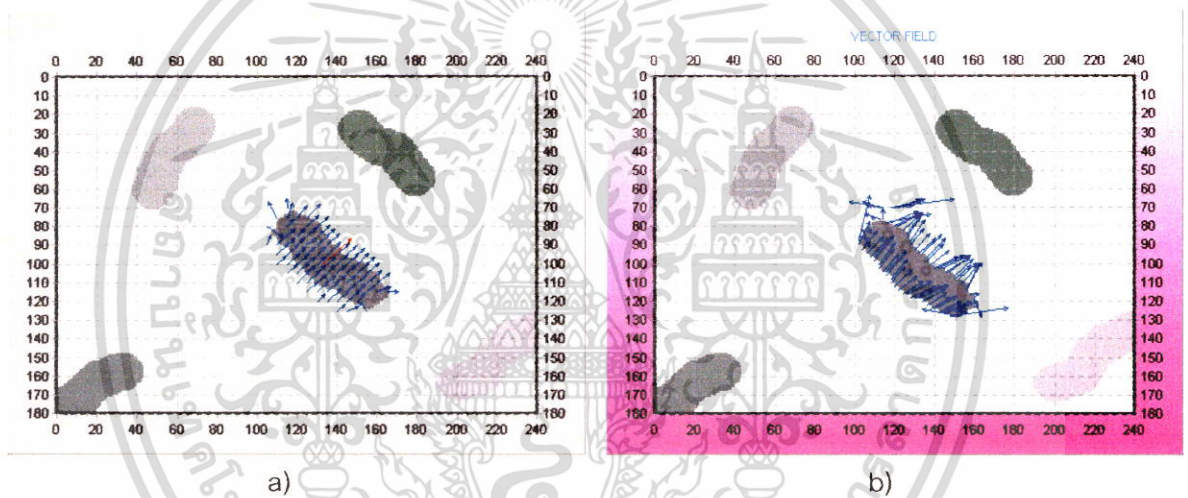


Figure 3. Synthesized images frame 1<sup>st</sup> and frame 2<sup>nd</sup>



- 4a) Horn and Schunck 's algorithm with  $\alpha = 30$ , 5% error,  $\theta_{ave} = 45.38$ , 539 iterative ,Time = 34 sec  
 4b) Purposed method with  $\sigma_1 = 4.5$ ,  $\sigma_2 = 3.12$ ,  $\rho = 1$ ,  $\theta_{ave} = 45.69$  and Time = 8 sec

Figure 4. Vector field result.

ในภาพ synthesized ภาพที่ 2 ได้ทำการสร้างภาพจำลองรูปใบไม้ ดังรูปที่ 5. โดยส่วนที่อยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยม จะถูกทำให้เคลื่อนที่ในทิศทางลงด้านล่างซ้ายมือไปในทิศทางแกน x เท่ากับ 10 พิกเซล และแกน y เท่ากับ 5 พิกเซล หรือเท่ากับมุม  $-26.56$  องศา โดยผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 6.

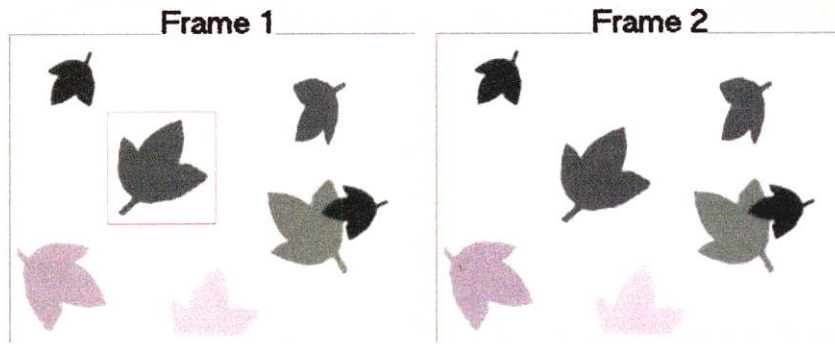
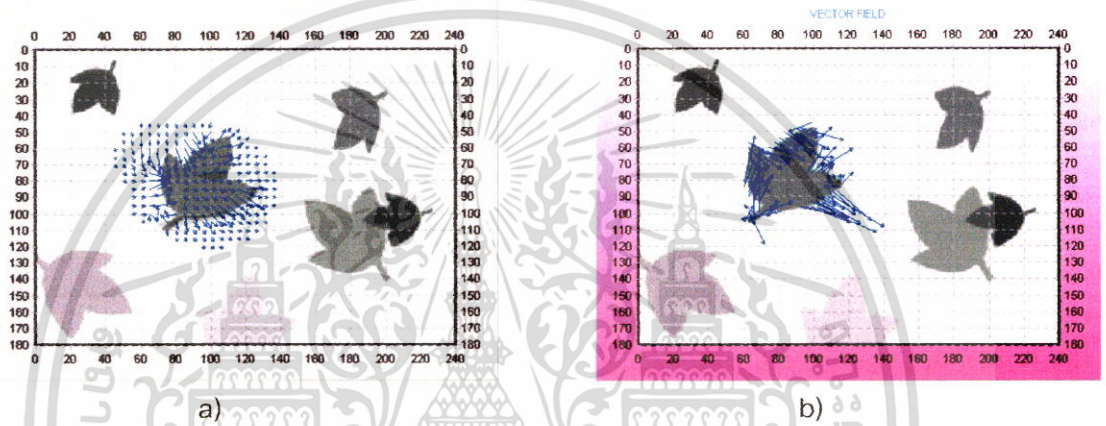


Figure 5. Synthesized images frame 1<sup>st</sup> and frame 2<sup>nd</sup>



- 6a) Horn and Schunck 's algorithm with  $\alpha=30$ , 1% error,  $\theta$  ave= -28.59, 2607 iterative, Time=161 sec
- 6b) Purposed method with  $\sigma_1 = 4.5$ ,  $\sigma_2 = 3.12$ ,  $\rho = 1$ ,  $\theta$  ave= -22.354 and Time = 9 sec

Figure 6. Vector field result.

การทดลองในส่วนที่สองนี้ เป็นการทดลองกับภาพที่ได้จากกล้อง CCD ดังแสดงในรูปที่ 7. จากภาพสังเกตส่วนที่เคลื่อนที่ พบว่าเป็นส่วนของแขนที่มีการยกขึ้น ในการทดลองได้ทำการทดลองหามุมเฉลี่ยอ้างอิง ซึ่งในที่นี้ใช้วิธีการของ Horn และ Schunck ที่สามารถกำหนดรอบในการวนซ้ำได้เป็นตัวอ้างอิง โดยทำการทดลองที่ค่า  $\alpha = 30$  และรอบในการวนซ้ำที่ 1500 รอบ ผลที่ได้คือค่ามุมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 110.68 องศา และเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 8.

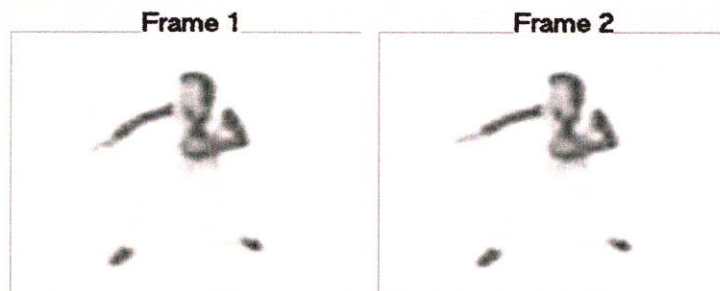
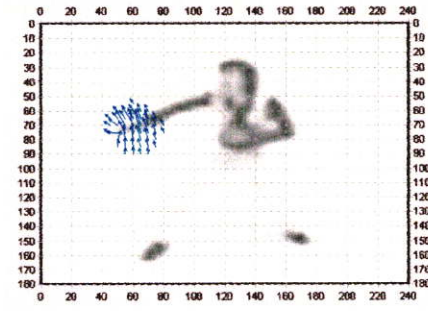
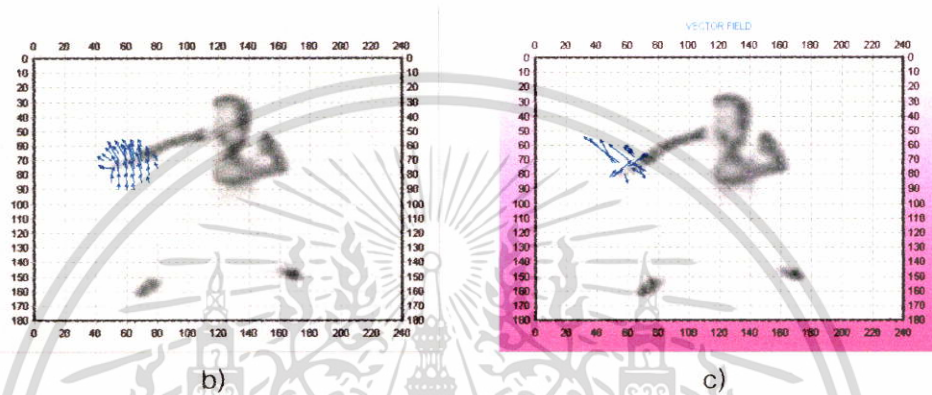


Figure 7. Image input from CCD camera

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8a) Horn and Schunck 's algorithm with  $\alpha = 30$ , 1500 interaive,  $\theta_{ave} = 110.68$ , Time = 98 sec



8b) Horn and Schunck 's algorithm with  $\alpha = 30$ , 5% error,  $\theta_{ave} = 107.86$ , 852 iterative, Time = 56 sec

8c) Purposed method with  $\sigma_1 = 6$ ,  $\sigma_2 = 3.5$ ,  $\rho = 4$ ,  $\theta_{ave} = 115.68$  and Time = 9 sec

Figure 7. Vector field result

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งสองส่วน พบว่าความผิดพลาดของค่ามุมเฉลี่ยนั้น ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือ เรื่องของเวลาในการประมวลผล โดยวิธีการที่นำเสนอมีความเร็วในการประมวลผลที่ดีกว่า เนื่องจาก การที่มีลำดับขั้นในการประมวลผลที่แน่นอน ซึ่งต่างจากวิธีของ Horn และ Schunck ที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นั้นมีผลกับจำนวนรอบของการคำนวณ แต่ปัญหาที่พบทั้งสองวิธีข้างต้นนั้นคือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ค่าใดค่าหนึ่งนั้น ไม่อาจนำมาใช้กับภาพอื่นๆ ที่มีสถานะที่แตกต่างกันได้ ยกตัวอย่างเช่น สภาพของแสง เป็นต้น

### เอกสารอ้างอิง

- B.K.P. Horn and B.G. Schunck. 1981. Determining Optical Flow. Artificial Intelligence, Vol.17.185-204  
 S. Sun, D. Haynor and Y.Kim. 2000. Motion Estimation Base on Optical Flow with Adaptive Gradient, IEEE Image Processing, 2000. Proceeding.2000 International Conference on, Vol:1, 2000.852-855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกษตร์ สิริสันติสัมฤทธิ์ เคาชา พัฒนประสิทธิรัชย์ และ ชีรวัดน์ เทพมณี. การคำนวณ Optical flow ด้วยการประยุกต์ใช้ Adaptive Gradient ร่วมกับ Successive Over-Relaxation, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ครั้งที่ 40, 4-7 กุมภาพันธ์ 2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายเดชา พัฒนประสิทธิ์ชัย  
 เกิดวันที่ 6 สิงหาคม 2516 ที่จังหวัดมหาสารคาม  
 การศึกษา ปีการศึกษา 2531-2534 ระดับ ปวช. สาขาไฟฟ้า  
 วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม  
 ปีการศึกษา 2534-2536 ระดับ ปวส. สาขาไฟฟ้ากำลัง  
 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น  
 ปีการศึกษา 2536 - 2538 ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม  
 ภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
 พระนครเหนือ

## ประวัติการทำงาน

2 ธ.ค. 39-ปัจจุบัน : อาจารย์ประจำแผนกช่างไฟฟ้ากำลัง  
 วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้