

การปรับปรุงภาพสีโดยใช้ตัวกรองโฮโมมอฟิก

Color Image Enhancement Using Homomorphic Filter



นางสาววันเพ็ญ ยุกต รหัส 46370433

ห้องสมุด	วิศวกรรมศาสตร์
7	เม.ย. 2553
4943107	
	ร.ส.
	2 4357

2551

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551

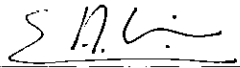


ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ การปรับปรุงภาพสีโดยใช้ตัวกรองโฮโมมอฟิก
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาววันเพ็ญ ขุบล รหัส 46370433
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. พนมขวัญ รียะมงคล
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร. พนมขวัญ รียะมงคล)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แอ้มแมน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ศิริพร เดชะศิลารักษ์)

หัวข้อโครงการ	การปรับปรุงภาพสีโดยใช้ตัวกรองโฮโมมอร์ฟิก	
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาววันเพ็ญ	ยุบล รหัส 46370433
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. พนมขวัญ	วิษะมงคล
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2551	

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการปรับปรุงภาพสีโดยใช้ตัวกรองโฮโมมอร์ฟิก (Homomorphic Filter) เป็นการศึกษาว่าในการปรับปรุงภาพนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านแสงจากแหล่งกำเนิด (illumination) และแสงที่สะท้อนจากวัตถุ (reflectance) เพื่อนำมาพิจารณาในการปรับปรุงแสงและความคมชัด

โครงการนี้ใช้เมทแลบ (MATLAB) ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมซึ่งง่ายในการพัฒนาและนิยมใช้ในโปรแกรมที่เกี่ยวกับสมการคณิตศาสตร์

จากผลการทดลองโครงการนี้ ทำให้สามารถปรับปรุงความสว่างและความคมชัดของภาพโดยใช้หลักการของตัวกรองโฮโมมอร์ฟิกได้ตามความต้องการ

Project Title	Color Image Enhancement using Homomorphic Filter
Name	Miss Wanpen Yubol ID. 46370433
Project Advisor	Panomkwan Riyamongkhon, Ph.D.
Major	Computer Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic Year	2008

ABSTRACT

The purpose of this project is to study a homomorphic filter for enhancing color images. Images have illumination and reflectance components which will be considered to attenuate illumination component and enhance reflectance component.

MATLAB has been used in this project because it is easy to help developing programs and works well with mathematics calculations.

The result from our experiment shows that we can get the clearer image by using homomorphic filter.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการวิศวกรรมครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณ ดร. พนมขวัญ ริยะมงคล
ที่ให้คำแนะนำ ผู้เป็นทั้งที่ปรึกษาทางทฤษฎีและปฏิบัติในขั้นตอนต่าง ๆ และขอขอบคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เข้มเม่น และ อาจารย์ ศิริพร เดชะศิลาภักดิ์ ที่ได้เสียสละเวลาเพื่อทำการ
ตรวจสอบ การทำงานและชี้แนวทางในการแก้ปัญหาโครงการนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณบิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย
เสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



ผู้จัดทำโครงการ
นางสาววันเพ็ญ ยุกต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.7 งบประมาณที่ใช้	2
บทที่ 2 เนื้อหาและความหมาย	
2.1 การมองภาพของคนและคอมพิวเตอร์	3
2.2 การแปลงภาพให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล	4
2.3 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ	8
2.4 การส่องสว่าง	9
2.5 การสะท้อนของแสง	9
2.6 ความหมายของตัวกรองไฮโมมอฟิค	9
2.7 ตัวกรองไฮโมมอฟิคกับตัวกรองความถี่สูง	9
2.8 ตัวกรองไฮโมมอฟิคกับตัวกรองความถี่ต่ำ	10
2.9 ตัวกรองไฮโมมอฟิคกับโดเมนเชิงพื้นที่และโดเมนเชิงความถี่	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การศึกษาและเรียนรู้	13
3.2 ขั้นตอนการวางแผนการดำเนินงาน	13
3.3 การออกแบบโปรแกรม	15
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์	16
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	17
บทที่ 5 สรุปผล	
5.1 สรุปผลการทดลอง	27
5.2 ปัญหาในการทดลอง	27
5.3 ข้อเสนอแนะ	27
เอกสารอ้างอิง	28
ภาคผนวก ก	29
ภาคผนวก ข	32

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	2
4.1 ภาพก่อนและหลังถูกปรับปรุงค่าคงที่ (c)	20
4.2 ภาพก่อนและหลังถูกปรับปรุงค่าความถี่ตัดผ่าน	21
4.3 ภาพก่อนและหลังถูกปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด	22
4.4 ภาพก่อนและหลังถูกปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ต่ำสุด	23
4.5 ตัวอย่างการปรับปรุงภาพเพิ่มเติม	24
4.6 รายละเอียดของภาพเพิ่มเติม	25
4.7 เปรียบเทียบกับวิธีปรับปรุงภาพแบบอื่น	26



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาพการมองภาพของคนและคอมพิวเตอร์	3
2.2.1	ภาพการถ่ายภาพ 3 มิติ ให้เป็นมาเป็นภาพ 2 มิติ	4
2.2.2	ภาพตำแหน่งในภาพ 2 มิติ	5
2.2.3	ภาพตัวอย่างภาพที่มีความละเอียดต่างกัน	5
2.2.4	ภาพการไล่เฉดสีในภาพ 2 มิติ	6
2.2.5	ภาพการนับบิตในเลขฐานสอง	7
2.2.6	ภาพค่าตัวเลขในแต่ละจุดภาพ	7
2.2.7	ภาพระดับความเข้มของสีในค่าที่ต่างกัน	8
3.1	ภาพแผนผังการทำงานของโปรแกรม	15
3.2	ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $D(u,v)$ คือ ระยะทางจากจุดกำเนิด	16
4.1	ภาพสีก่อนถูกปรับปรุง	17
4.2	ภาพสีหลังถูกปรับปรุง	17
4.3	ภาพค่าสีก่อนถูกปรับปรุง	17
4.4	ภาพค่าสีจากสมการลอการิทึม	18
4.5	ภาพค่าสีจากสมการฟูรีเยร์	18
4.6	ภาพค่าสีของตัวกรองไฮโมมอฟิก	18
4.7	ภาพค่าสีจากการใช้ไฮโมมอฟิกปรับปรุงภาพ	18
4.8	ภาพค่าสีจากการใช้อินเวอร์สฟูรีเยร์	19
4.9	ภาพค่าสีหลังจากการใช้เอกซ์โปเนนเชียล	19
4.10	ภาพค่าสีหลังจากถูกปรับปรุงภาพ	19

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันสื่อรูปภาพเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ทั้งในด้านการงาน และในชีวิตส่วนตัว เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพประกอบบทความ หรือภาพที่เก็บความประทับใจ เป็นต้น

แต่ในรูปภาพนั้นอาจมีสิ่งแปลกปลอมที่เราไม่ต้องการในภาพ ภาพที่ต้องการมีความไม่ชัดเจนในรายละเอียด หรือแสงอาจน้อยเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาในกรณีที่เป็นภาพสำคัญ

และต้องการความคมชัด

ทางผู้จัดทำได้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาด้านความคมชัดของภาพและมีความสนใจด้านการเขียน โปรแกรม จึงมีความคิดที่จะจัดทำซอฟต์แวร์ในการจัดการปัญหาในภาพเหล่านี้ โดยใช้โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) มีการเพิ่มแสงเพื่อให้ภาพเกิดความคมชัดในรายละเอียดให้มากที่สุดตามความเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีของตัวกรองไฮโมมอฟิก

1.2.2 เพื่อศึกษาการเขียน โปรแกรมแมทแลบ

1.2.3 สามารถปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น โดยใช้ตัวกรองไฮโมมอฟิก

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีของตัวกรองไฮโมมอฟิก

1.3.2 ศึกษาการเขียน โปรแกรมแมทแลบ

1.3.3 เขียน โปรแกรมเพื่อปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น โดยใช้ตัวกรองไฮโมมอฟิก

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาค้นหาว่าข้อมูลเกี่ยวกับตัวกรองไฮโมมอฟิก

1.4.2 ศึกษาการเขียน โปรแกรมแมทแลบ

1.4.3 เขียน โปรแกรมแมทแลบ

1.4.4 ทดสอบและทำการสรุปผล

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2551					2552				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษา										
ค้นคว้า	←————→									
ข้อมูล										
ศึกษาการเขียนโปรแกรม		←————→								
เขียนโปรแกรม					←————→					
ทดสอบและทำการสรุปผล							←————→			

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับตัวกรองโฮโมมอฟิก
- 1.6.2 ได้โปรแกรมที่สามารถปรับปรุงภาพโดยใช้ตัวกรองโฮโมมอฟิก
- 1.6.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เขียนโปรแกรมตัวกรอง (Filter) ชนิดอื่น

1.7 งบประมาณที่ใช้

1.7.1 ค่าหนังสือที่ใช้ค้นคว้า	500 บาท
1.7.2 ค่าถ่ายเอกสาร	300 บาท
1.7.3 ค่าอุปกรณ์โปรแกรม	100 บาท
1.7.4 ค่าเช่าเล่มรายงาน	100 บาท

รวม 1000 บาท

หมายเหตุ ทุกรายการสามารถถัวเฉลี่ย

บทที่ 2

เนื้อหาและความหมาย

2.1 การมองภาพของคนและคอมพิวเตอร์ [1]

รูปภาพที่เห็นกันอยู่ ไม่ว่าจะเป็นภาพที่ถ่ายโดยใช้กล้องธรรมดา หรือแบบดิจิทัล ถ้ามองกันในแบบของคอมพิวเตอร์ก็คือ จุดสีหลาย ๆ จุดที่นำมาเรียงต่อกัน กันจนสามารถบอกได้ว่าเรียงกันเป็นรูปอะไร เนื้อหาของรูปภาพเป็นอย่างไร การมองเพื่อทำความเข้าใจรูปภาพหนึ่ง ๆ ไม่ว่าจะเป็นภาพถ่าย หรือภาพที่เป็นแบบดิจิทัลในคอมพิวเตอร์ก็ตาม ในมุมมองของมนุษย์กับรูปภาพ หรือ มุมมองของคอมพิวเตอร์กับรูปภาพ เป็นคนละมุมมองกัน และแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง

มนุษย์สามารถเข้าใจถึงเนื้อหาของภาพได้ว่าภาพที่ปรากฏนั้นให้ความพึงพอใจ ความน่าสนใจมากน้อยแค่ไหน และภาพนี้บอกอะไร สามารถสื่อถึงความรู้สึกอะไรบางอย่างได้หรือไม่ และอีกหลายๆ ความรู้สึกที่ได้จากการมองภาพ



รูปที่ 2.1 ภาพการมองภาพของคนและคอมพิวเตอร์

แต่เมื่อรูปภาพ ถูกนำมาทำเป็นภาพในคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะรู้และเข้าใจภาพเป็นเพียงแค่เป็นจุดสีหลาย ๆ จุดที่เรียงต่อกันในความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพที่เหมาะสม ภาพดิจิทัล ถึงแม้จะเก็บอยู่ในรูปของไฟล์ในคิสก์ของคอมพิวเตอร์เอง หรือแม้แต่ว่าเราจะนำเอาภาพสวย ๆ มาเป็นพื้นหลังของหน้าจอในวินโดวส์ (Windows) คอมพิวเตอร์ก็ไม่อาจจะรู้และเข้าใจถึงเนื้อหาของภาพที่ปรากฏนั้นได้ ยกเว้นมนุษย์ที่เป็นผู้ใช้คอมพิวเตอร์นั้น ๆ จะเป็นผู้เห็นภาพ ๆ นั้นจึงจะบอกได้ว่านี่คือภาพที่สวยงามหรือไม่สวย

2.2 การแปลงภาพให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล [1]

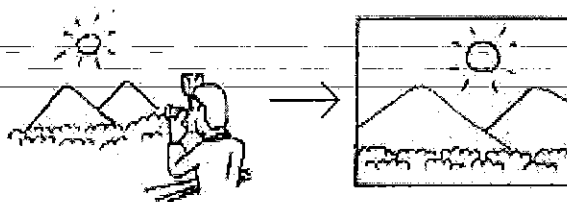
ภาพเป็นกระบวนการทางแสง (Optical Process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) หลาย ๆ ช่วงความถี่ เช่น แสงธรรมดา รังสีเอ็กซ์เรย์ (X-Ray) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น และพลังงานเสียง เช่น อัลตราซาวด์ (Ultrasound) ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาสู่ประสาทรับรู้ทางตาของมนุษย์ หรืออุปกรณ์ตรวจจับ เช่น เซนเซอร์ (Sensor) เป็นต้น

ถ้าพูดในภาษาทางเทคนิคแล้ว ภาพดิจิทัลนั้นก็คือ ฟังก์ชัน 2 มิติ หรือ $f(x,y)$ ของค่าความเข้มของแสง โดยที่ x และ y คือ ค่าที่บอกถึงตำแหน่งในระบบพิกัดฉาก และค่าของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่งใด ๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้น กระบวนการแปลงภาพให้เป็นภาพในเชิงดิจิทัลเราเรียกว่า Image Digitization มีกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ การบันทึกภาพ (Image Acquisition), การสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง (Image Sampling) และ การประมาณค่าความเข้มของแสง (Image Quantization)

- การบันทึกภาพ และการสุ่ม (Sampling)

ก่อนที่จะได้ภาพมา อันดับแรก จะต้องทำการถ่ายภาพเสียก่อน การถ่ายภาพ เป็น การแปลงภาพเชิงต่อเนื่อง (Continuous Image) แบบ 3 มิติ ให้เป็นภาพเชิงต่อเนื่อง 2 มิติ โดยใช้อุปกรณ์เชิงแสง (Optical Device) เช่น กล้องถ่ายรูป เพื่อแปลงภาพให้มาเป็นภาพบนฟิล์ม, รูปถ่ายบนกระดาษ หรือ ภาพบนจอคอมพิวเตอร์

โดยปกติแล้ว ภาพที่เรามองเห็นกันอยู่นั้น มีทั้งความกว้าง , ความสูง และความลึก ซึ่งเป็นแบบ 3 มิตินั่นเอง การถ่ายภาพด้วยกล้องจะทำให้เราได้ภาพมา แต่จะเป็นภาพที่มีแต่ความกว้าง และความสูงเท่านั้น ซึ่งเป็นภาพแบบ 2 มิติ เพราะเราไม่อาจจะถ่ายภาพความลึกของสถานที่มาได้

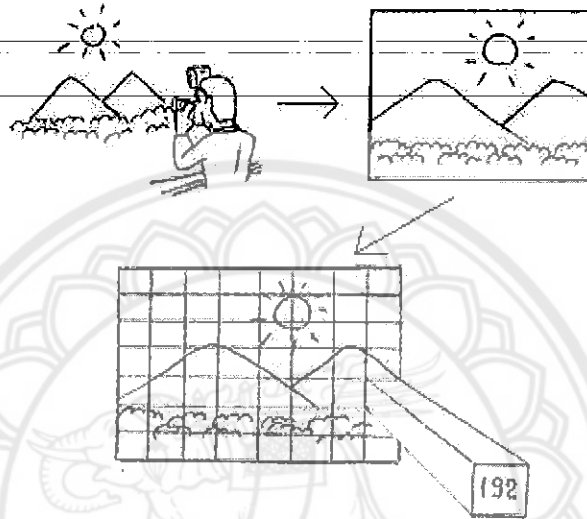


รูปที่ 2.2.1 ภาพการถ่ายภาพ 3 มิติ ให้เป็นมาเป็นภาพ 2 มิติ

ในส่วนของการบันทึกภาพนี้ เป็นหน้าที่ของกลไกทางแสงในตัวกล้อง ที่จะทำหน้าที่รับภาพเข้ามา

- การสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง (Image Sampling)

เป็นการแปลงภาพ 2 มิติที่ได้ให้เป็นภาพเชิงดิจิทัล โดยการสุ่มเลือกทางจุดตำแหน่ง หรือ Spatially Sampling โดยสุ่มเลือกเฉพาะบางตำแหน่งในภาพ ซึ่งถ้าเราสุ่มเลือกมาละเอียดภาพที่ได้ก็ จะมีความละเอียดสูง หน่วยของการสุ่มเลือกก็คือ จุด หรือ Pixel นั้นเอง



รูปที่ 2.2.2 ภาพตำแหน่งในภาพ 2 มิติ

เหตุผลของการทำสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง นั้นก็คือ ในการแสดงผลของจอภาพคอมพิวเตอร์นั้น หน่วยของความละเอียดในการแสดงผลนั้นเป็นจุด (Pixel) แต่ในโลกแห่งความเป็นจริง ภาพที่เรามองเห็นด้วยตา ไม่ใช่การเรียงกันของจุด แต่มันเป็นภาพเชิงต่อเนื่องคือ ไม่สามารถแยกลงไปเป็นที่จุดได้เลย เพราะฉะนั้น เมื่อภาพนั้นมาอยู่ในคอมพิวเตอร์ ภาพจะต้องถูกปรับให้อยู่ในหน้าจอที่ประกอบด้วยจุดสี จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง หรือการทำสุ่มเลือกจุดตำแหน่งถ้าเราสุ่มเลือกจุดตำแหน่งถี่มากเท่าใด คุณภาพของภาพที่ได้ก็จะดีขึ้น ลองดูเมื่อขยายเท่า ๆ กัน ดังรูป



รูปที่ 2.2.3 ภาพตัวอย่างภาพที่มีความละเอียดต่างกัน

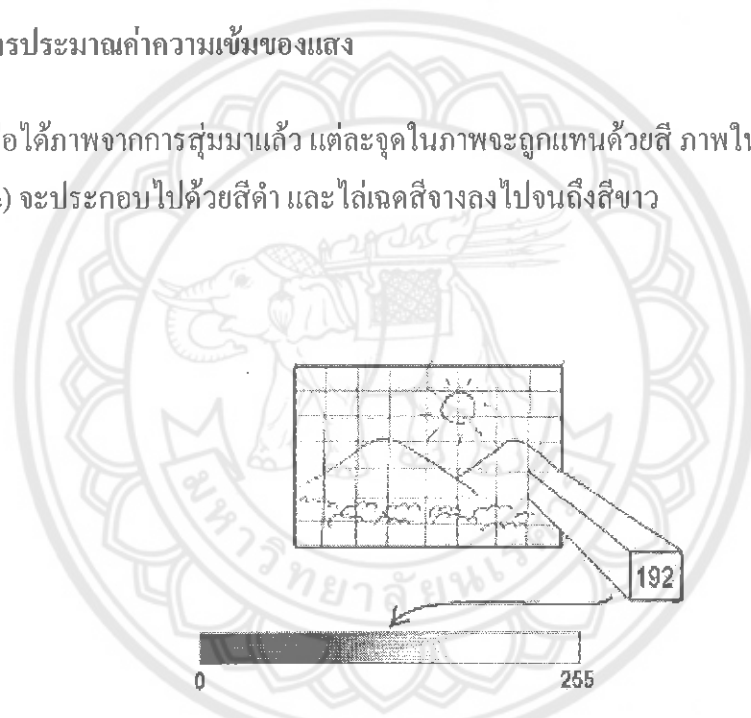
จากรูปทั้ง 4 รูป จะเห็นได้ว่า ภาพ ๆ เดียวกัน แต่เมื่อทำการซูมเลือกทางจุดมาไม่เท่ากัน ขยายออกมา คุณภาพของภาพที่ได้จึงต่างกัน

- ภาพที่ 1 ซูมเลือกมา 128x128 จุด
- ภาพที่ 2 ซูมเลือกมา 64x64 จุด
- ภาพที่ 3 ซูมเลือกมา 32x32 จุด

ในการซูมเลือกทางตำแหน่งนี้ ถ้าในระยะความกว้างและความสูงของภาพ เราซูมมาละเอียดมาก เช่น ซูมมา 128 จุด คุณภาพของภาพก็จะดีขึ้น แต่ก็ต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลภาพมากขึ้น และขนาดของภาพก็จะมากขึ้นด้วย

- การประมาณค่าความเข้มของแสง

เมื่อได้ภาพจากการซูมมาแล้ว แต่ละจุดในภาพจะถูกแทนด้วยสี ภาพในโทนสีเทา (Grayscale) จะประกอบไปด้วยสีดำ และไล่เฉดสีจางลงไปจนถึงสีขาว



รูปที่ 2.2.4 ภาพการไล่เฉดสีในภาพ 2 มิติ

สีดำ จะแทนด้วยค่าตัวเลข 255 สีขาวจะแทนด้วยค่าตัวเลขคือ 0 รวมทั้งสิ้น 256 ระดับสี (0-255) หรือ 2 ยกกำลัง 8 โดยที่ 8 ก็คือ จำนวนบิตในหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บค่านี้หนึ่งค่า เพราะฉะนั้น สีดำ จะถูกแทนด้วยรหัสในเลขฐานสองคือ 00000000 และสีขาวก็จะถูกแทนด้วยรหัส 11111111 และสีที่อยู่ตรงกลางระหว่างสีดำกับสีขาวก็จะไล่ไปตามลำดับการนับของบิตในเลขฐานสองดังรูป

0	0000 0000
1	0000 0001
2	0000 0010
3	0000 0011
4	0000 0100
	⋮
254	1111 1110
255	1111 1111

รูปที่ 2.2.5 ภาพการนับบิตในเลขฐานสอง

ถ้าภาพเป็นแบบโทนขาวดำ (Grayscale) แต่ละจุดภาพก็จะถูกแทนที่ด้วยตัวเลขที่บอกถึงค่าสีตั้งแต่ 0-255



109	92	87	93	107	111	136	178
90	95	100	111	94	97	116	136
96	95	96	100	80	88	104	124
116	111	100	94	82	94	111	129
120	111	124	116	95	102	111	124
107	114	114	112	106	102	99	105
97	88	97	92	102	95	82	100
112	112	102	94	94	90	97	109
145	133	114	104	107	94	100	121
119	114	112	114	100	100	111	121
100	94	95	100	97	109	114	112
119	102	94	94	105	109	107	124

รูปที่ 2.2.6 ภาพค่าตัวเลขในแต่ละจุดภาพ

จะเห็นได้ว่า แต่ละจุด ๆ จะถูกแทนที่ด้วยตัวเลข ซึ่งตัวเลขเหล่านี้ก็อยู่ระหว่าง 0-255 คือตั้งแต่ 0,1,2,3,4,..... 255 เป็นโทนสีเทา แต่ถ้าเป็นภาพขาวดำ จะมีอยู่ด้วยกันแค่ 2 สีคือ สีดำ แทนด้วยเลข 0 กับสีขาวแทนด้วยเลข 255 เพราะฉะนั้นถ้าเป็นภาพขาวดำหนึ่งจุดภาพจะใช้พื้นที่เก็บข้อมูลเพียง 1 บิตเท่านั้น แต่ถ้าเป็นภาพในโทนสีเทานั้น ใน 1 จุดภาพจะใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูล 8 บิต ที่เป็น 8 บิตก็เพราะว่าค่าระดับสีเมื่อเปลี่ยนเป็นเลขฐานสองแล้วจะได้ 8 บิต เช่น

- ค่าระดับสี 0 ก็คือ 00000000
- ค่าระดับสี 1 ก็คือ 00000001
- ค่าระดับสี 2 ก็คือ 00000010
- ค่าระดับสี 255 ก็คือ 11111111

เพราะฉะนั้นใน 1 จุดสี จะมีค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น จึงใช้พื้นที่ในการเก็บเพียง 8 บิต บางครั้งจะทำการเขียนในแบบยกกำลังคือ

- ภาพขาวดำ 2 ยกกำลัง 1 (1 ก็คือ 1 บิต)
- ภาพโทนสีเทา 2 ยกกำลัง 8 (8 ก็คือ 8 บิต)

ระดับความเข้มของสีที่เรากำหนดให้กับภาพ ถ้าภาพ ๆ นั้นใช้ระดับสีน้อย เช่น 256 , 128 , 64 , 32 , 16 , 8 , 4 , 2 (1 บิต) ผลที่ได้ก็คือการไล่สีของภาพนั้นจะไม่แนวล เป็นรอยที่ไม่ค่อยน่าดู ดังรูปต่อไปนี้



ภาพต้นฉบับ



$$2^8 = 256 \text{ สี}$$



$$2^4 = 16 \text{ สี}$$



$$2^1 = 2 \text{ สี}$$

รูปที่ 2.2.7 ภาพระดับความเข้มของสีในค่าที่ต่างกัน

จากที่ได้กล่าวมา จะเห็นว่า ในความเป็นจริงแล้ว ความละเอียดของภาพจะมีมากกว่านี้ และอัตราในการสุ่มภาพนั้น ถ้าเราไม่คำนึงถึงคุณภาพและรายละเอียดของภาพ แต่คำนึงถึงเนื้อหาของภาพ เราใช้อัตราที่น้อย ๆ ก็ได้ เช่น ต้องการทราบแค่ว่ารูปนี้คือรูปอะไรเท่านั้น เพราะฉะนั้น เมื่อพูดถึงเนื้อหาของภาพแบบดิจิทัล ก็จะเกี่ยวข้องกับเรื่องของการมองเห็นของมนุษย์ด้วย เพราะภาพที่มีความละเอียดต่างกัน ดวงตาของมนุษย์อาจจะแยกแยะไม่ได้ หรือสนใจเพียงแค่เนื้อหา แต่ไม่สนใจในรายละเอียด ดังนั้นถ้ารูป ๆ หนึ่งสุ่มมาแค่ 2 ยกกำลัง 1 นั้นเพียงพอที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ ข้อมูลเพียงแค่ 2 บิต คือ 0 กับ 1 ถ้าเพียงพอและครอบคลุมก็ใช้ได้ แต่ถ้าต้องการข้อมูลมากกว่านี้ เช่น ทำระบบตรวจจับหน้าคนที่ต้องใช้ข้อมูลอื่น ๆ ด้วย จึงต้องการข้อมูลจุดที่มากกว่า

2.3 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ [1]

การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในเรื่องการปรับปรุงคุณภาพ โดยแบ่งออกเป็นตามประเภทของการประมวลผลได้ 4 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

2.3.1 Pixel-based เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพ โดยการกระทำทีละจุด ๆ บนภาพ จนกระทั่งครบทุกจุด เช่น การกระทำทางพีชคณิต การกระทำเชิงตรรกะ หรือเรขาคณิต เป็นต้น

2.3.2 Histogram-based เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการกระทำบนฮิสโตแกรมของภาพที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพขึ้น

2.3.3 Spatial-filtering-based เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้วิธีการทำ

ความสัมพัทธ์เชิงระยะทาง (Spatial Convolution) ที่จุดภาพโดยตรง

2.3.4 Frequency-based เป็นการปรับปรุงคุณภาพ โดยกระทำในระดับความถี่หรือ โดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ (Fourier) เข้ามาช่วย

2.4 การส่องสว่าง (Illumination) [2]

การส่องสว่าง (Illumination : $i(u,v)$) คือ ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดที่ส่องสว่างบนพื้นที่ใด ๆ มีค่า $0 < i(u,v) < \infty$ มีลักษณะเป็นความถี่ต่ำ (low frequency) เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ

2.5 การสะท้อนของแสง (Reflection) [2]

การสะท้อนของแสง (Reflection : $r(u,v)$) คือปริมาณแสงที่ตกกระทบตัวกลางแล้วสะท้อนจากวัตถุ มีค่า $0 < r(u,v) < 1$ มีลักษณะเป็นความถี่สูง (high frequency) เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2.6 ความหมายของตัวกรองไฮโมมอฟิก [2]

ตัวกรองไฮโมมอฟิกเป็นเทคนิคในการแก้ไขคุณภาพของรูปภาพ โดยใช้การแก้ปัญหาด้านความสว่างและความคมชัดของภาพ ในภาพนั้นจะประกอบด้วย การส่องสว่าง (illumination) และการสะท้อนของแสง (reflection) จะนิยามได้ว่าในภาพ $f(x,y) = i(x,y) + r(x,y)$

2.7 ตัวกรองไฮโมมอฟิกกับตัวกรองความถี่สูง

ตัวกรองความถี่สูง (High Frequency Filtering) เป็นเทคนิคที่ใช้เน้นข้อมูลภาพบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน เช่น เส้นขอบอ่าง-เก็บน้ำ หรือชายฝั่งทะเล วิธีปฏิบัติคือจะทำการกรองภาพให้เรียบก่อนโดยทำตัวกรองความถี่ต่ำแล้วนำค่าระดับสีเทาที่ได้ในแต่ละจุดภาพของตัวกรองความถี่ต่ำไปลบออกจากค่าความเข้มของข้อมูลภาพเดิม (Original data) จะได้ภาพใหม่อีกภาพหนึ่งที่แสดงผลต่าง ซึ่งจะใช้ภาพที่แสดงผลต่างที่ได้นี้เป็นส่วนของการเน้นภาพ โดยบวกกลับเข้าไปในภาพเดิม ทำให้ได้ภาพที่มีการเน้นขอบ (Edge enhancement) ที่ชัดเจนขึ้น

การเปลี่ยนแปลงความคมชัดของภาพ มีส่วนเกี่ยวข้องกับความถี่ในสมการฟูริเยร์ ถ้าเราพยายามจะแยกการสะท้อนของแสง ที่มีความถี่สูงออกมาจากภาพ โดยใช้ตัวกรองความถี่สูง จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะจุดเชื่อมต่อของข้อมูลที่แตกต่างกัน

2.8 ตัวกรองไฮโมมอฟิกกับตัวกรองความถี่ต่ำ

ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filtering) เป็นการเน้นภาพเชิงพื้นที่ ด้วยการลดระดับความถี่เชิงพื้นที่ของข้อมูลภาพ (Spatial frequency) ทำให้ภาพที่ได้ใหม่มีลักษณะเรียบ (Smooth) หรือพร่ามัว (Blur) มากขึ้น หลักการของเทคนิคการเน้นภาพแบบนี้ จะทำการคำนวณระดับค่าสีเทาของแต่ละจุดภาพด้วยการหาค่าเฉลี่ย (Average) ของระดับค่าสีเทาเดิมรอบจุดภาพนั้น ด้วย จำนวน $n \times m$ จุดภาพ ค่า n และ m จะต้องเป็นเลขคี่เสมอ เช่น 3×3 , 5×5 , หรือ 7×7 เป็นต้น ขนาด $n \times m$ เรียกว่า Kernel หรือ BOXCAR ในกรณีที่หน้าต่างกรองมีขนาดเล็กไม่สามารถทำให้ภาพเรียบ อาจเลือกใช้หน้าต่างกรองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมา แต่จะเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการสูญเสียรายละเอียดของข้อมูลจริงในภาพขึ้นด้วย

การประยุกต์ที่ช่องว่างความถี่และนำข้อมูลความถี่ต่ำมาใช้จะทำให้ภาพดูนุ่มนวลขึ้น ตัวกรองความถี่ต่ำนั้นจะสัมพันธ์กับการส่องสว่าง จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ถ้ามีแสงมาก การส่องสว่างจะมีค่ามาก

2.9 ตัวกรองไฮโมมอฟิกกับโดเมนเชิงพื้นที่ และโดเมนเชิงความถี่

รูปภาพในโดเมนเชิงพื้นที่ คือรูปภาพที่อยู่ในระนาบ xy ที่เราเห็นกันตามปกติ ในโดเมนนี้ เราจะใช้ระยะทางในการกำหนดตำแหน่ง เมื่อแปลงภาพโดยใช้สมการฟูริเยร์ความหมายของระยะทางจะหายไป แต่จะเกิดความหมายในเชิงความถี่ขึ้นมาแทน ซึ่งข้อมูลนี้จะอยู่ในโดเมนความถี่

ภาพที่สว่างไม่เท่ากันเกิดจากการที่ส่วนประกอบด้านการส่องสว่างของแสง (illumination component) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็น โดเมนความถี่ต่ำ ดังนั้นถ้าเราลดผลกระทบจากส่วนนี้ได้ ภาพจะมีการส่องสว่างดีขึ้น แต่สมการนั้นอยู่ในรูปของการคูณระหว่างส่วนประกอบด้านการส่องสว่างของแสง และ ส่วนประกอบด้านการสะท้อนของแสง (reflectance component) จึงต้องทำให้การคูณมาอยู่ในรูปของการบวกได้โดยประยุกต์ใช้มาจากตัวกรองฟูริเยร์ (Fourier filtering)

$$f(u,v) = i(u,v) \cdot r(u,v) \quad \text{----- (1)}$$

โดยที่ $f(u,v)$ สมการความสัมพันธ์ระหว่าง การส่องสว่าง $i(u,v)$ กับ การสะท้อนของแสง $r(u,v)$ ซึ่งถ้านำสมการฟูริเยร์กระทำเช่นนั้นทำให้

$$\mathcal{F}\{f(u,v)\} \neq \mathcal{F}\{i(u,v)\} \cdot \mathcal{F}\{r(u,v)\}$$

2.9.1 จากสมการที่ (1) ใช้คณิตศาสตร์ลอการิทึม(logarithm) เข้ามาช่วยทำให้สมการในรูปการคูณ กลายเป็นสมการในรูปการบวก ทำการใส่ค่า \log เข้าไปทั้งสองข้าง

จะได้สมการ

$$z(u,v) = \ln [f(u,v)]$$

$$= \ln [i(u,v) \cdot r(u,v)]$$

$$z(u,v) = \ln[i(u,v)] + \ln[r(u,v)] \text{ ----- (2)}$$

$z(u,v)$ คือ สมการความสัมพันธ์ในรูปคณิตศาสตร์ลอการิทึม ของ การส่องสว่าง และการสะท้อน ของแสง

2.9.2 จากสมการที่ (2) ทำให้อยู่ในรูปของ สมการฟูรีเย เพื่อที่จะทำให้ความหมายในเชิงพื้นที่ หายไป และเกิดความหมายเชิงความถี่ขึ้นมาแทน

$$\mathfrak{F}[z(u,v)] = \mathfrak{F}[i(u,v)] + \mathfrak{F}[r(u,v)]$$

$$Z(u,v) = F_i(u,v) + F_r(u,v) \text{ ----- (3)}$$

โดยที่ $\mathfrak{F}[i(u,v)] = F_i(u,v)$, $\mathfrak{F}[r(u,v)] = F_r(u,v)$

$Z(u,v)$ แสดงความสัมพันธ์ของการส่องสว่างและการสะท้อนของแสงในรูปของสมการฟูรีเยร์

2.9.3 จากสมการที่ (3) ใช้ ตัวกรอง เน้นความถี่สูง ลดทอนความถี่ต่ำ

$$S(u,v) = H(u,v) \cdot Z(u,v)$$

$$= H(u,v) \cdot [F_i(u,v) + F_r(u,v)]$$

$$S(u,v) = H(u,v) \cdot F_i(u,v) + H(u,v) \cdot F_r(u,v) \text{ ----- (4)}$$

$S(u,v)$ คือสมการความสัมพันธ์ โดยมี $H(u,v)$ แทนตัวกรอง Homomorphic ที่มีการกระทำกับการ ส่องสว่าง $F_i(u,v)$ และการสะท้อนของแสง $F_r(u,v)$

2.9.4 จากสมการที่ (4) ทำการทำส่วนกลับของสมการฟูรีเยร์

จะได้สมการ

$$\mathfrak{F}^{-1}[S(u,v)] = \mathfrak{F}^{-1}[H(u,v) \cdot F_i(u,v) + H(u,v) \cdot F_r(u,v)]$$

$$= \mathfrak{F}^{-1}[H(u,v) \cdot F_i(u,v)] + \mathfrak{F}^{-1}[H(u,v) \cdot F_r(u,v)]$$

$$= s(u,v)$$

$$s(u,v) = i'(u,v) + r'(u,v) \text{ ----- (5)}$$

$\mathfrak{F}^{-1}[S(u,v)]$ คือสมการความสัมพันธ์ส่วนกลับของสมการฟูรีเยร์ที่ถูกปรับปรุงแล้ว

2.9.5 จากสมการที่ (5) ทำการใส่ค่าเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ทั้งสองข้าง ทำสมการผลบวก
ให้กลับไปอยู่ในรูปผลคูณ

$$g(u,v) = \exp [s(u,v)]$$

$$= \exp [i'(u,v)] \cdot \exp [r'(u,v)]$$

$$g(u,v) = i''(u,v) \cdot r''(u,v) \text{ ----- (6)}$$

$g(u,v)$ คือสมการความสัมพันธ์ระหว่าง การส่องสว่าง และ การสะท้อนของแสงที่ถูกทำให้อยู่ในรูป
ของสมการผลคูณแล้ว



บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี้จะนำเสนอขั้นตอนการดำเนินงานและภาพรวมของอัลกอริทึมเพิ่มแสงและความเข้มในภาพสีสองมิติ โดยจะนำความรู้ด้านแสงและความเข้มมาใช้กับภาพที่ไม่มีความคมชัดที่จะนำมาทดลอง-โดยมีรายละเอียดและวิธีการดำเนินการดังนี้

3.1 การศึกษาและเรียนรู้

- 3.1.1 ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีเกี่ยวกับตัวกรองโฮโมมอร์ฟิก (Homomorphic Filter) ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติของการส่องสว่าง (Illumination) และ การสะท้อนของแสง (Reflection)
- 3.1.2 ศึกษาโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) และคำสั่งการใช้งาน
- 3.1.3 ศึกษาคุณสมบัติของโดเมนความถี่ต่ำ (low frequency domain) และ โดเมนความถี่สูง (high frequency domain)

3.2 ขั้นตอนการวางแผนการดำเนินงาน

การทดลองเพื่อปรับปรุงภาพโดยใช้ตัวกรองโฮโมมอร์ฟิกนั้น ผู้ทำการทดลองได้วางแผนการดำเนินงานเป็นขั้นตอนเพื่อความเป็นระเบียบและเพื่อง่ายต่อการแก้ไขปรับปรุง โดยจะแยกการทำงานแต่ละขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

- นำภาพต้นแบบมารบกวน โดยให้แสงและความคมชัดมีค่าน้อย จากนั้นใช้ โปรแกรมแมทแล็บ คำสั่งฟังก์ชันลอการิทึม เพื่อแยกสมการที่อยู่ในรูปผลคูณ ให้มาอยู่ในรูปสมการผลบวก ดังสมการที่ (1)

ขั้นตอนที่ 2

- ใช้สมการฟูริเยร์แปลงจาก โดเมนเชิงพื้นที่ให้เป็น โดเมนเชิงความถี่ ดังสมการที่ (2)

ขั้นตอนที่ 3

- ใช้สมการตัวกรองโฮโมมอร์ฟิก (Homomorphic Filter) โดยมีการแทนค่าของความถี่สูง (high frequency) ความถี่ต่ำ (low frequency) ค่าคงที่ (constant) และค่า (cut off frequency) ปรับตามความเหมาะสมของภาพ เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดในภาพนั้น ๆ จะได้ดังสมการที่ (3)

สูตรในการคำนวณค่าตัวกรองโฮโมมอฟิก เพื่อนำมาปรับปรุงค่าในสมการที่ (4)

$$H(u, v) = (\gamma_H - \gamma_L) [1 - e^{-c(D(u, v)/D_0^2)}] + \gamma_L \quad (3.1)$$

โดยที่

γ_H = ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองที่มากที่สุด

γ_L = ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองที่น้อยที่สุด

C = ค่าคงที่ ที่ควบคุมความชันของความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์

D_0 = ค่าความถี่ตัดผ่าน (cut-off frequency)

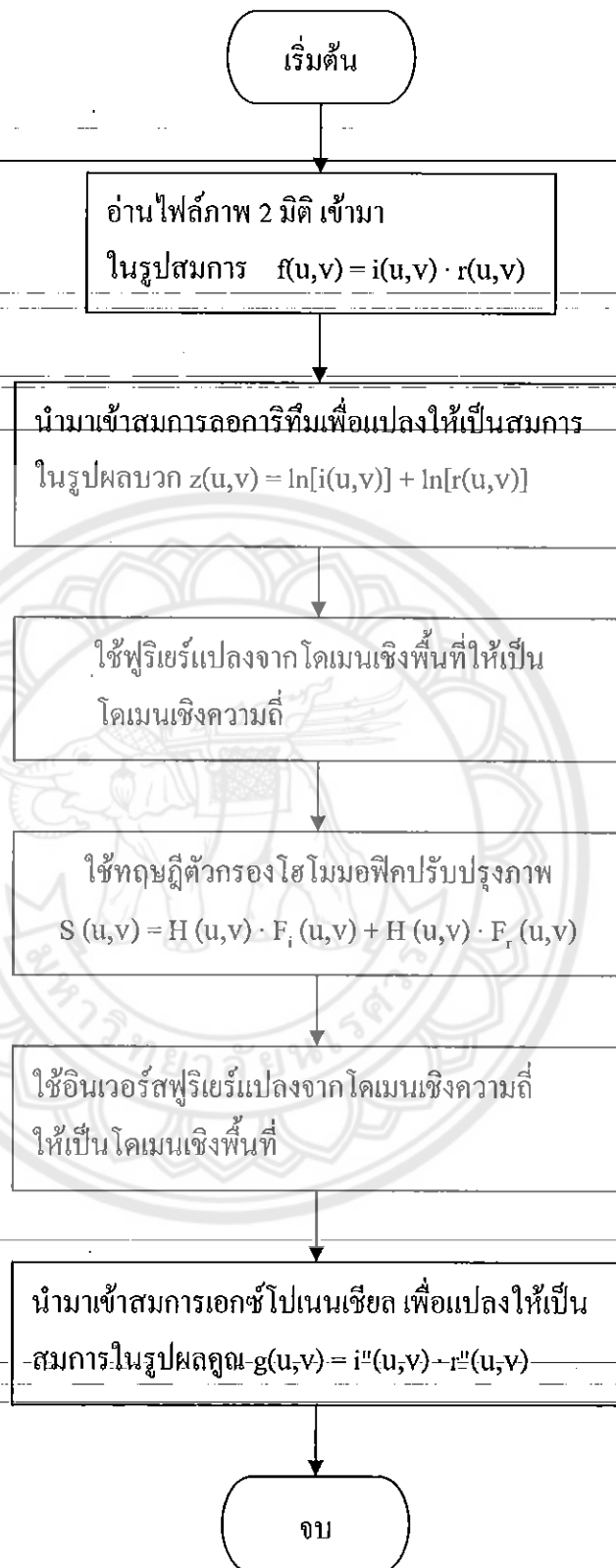
ขั้นตอนที่ 4

- นำภาพที่ปรับค่าเรียบร้อยแล้วผ่านสมการส่วนกลับฟูริเยร์ (Inverse Fourier Transform) เพื่อแปลงให้ค่าโดเมนเชิงความถี่ให้กลับไปเป็นโดเมนเชิงพื้นที่ จะได้เป็นดังในสมการที่ (5)

ขั้นตอนที่ 5

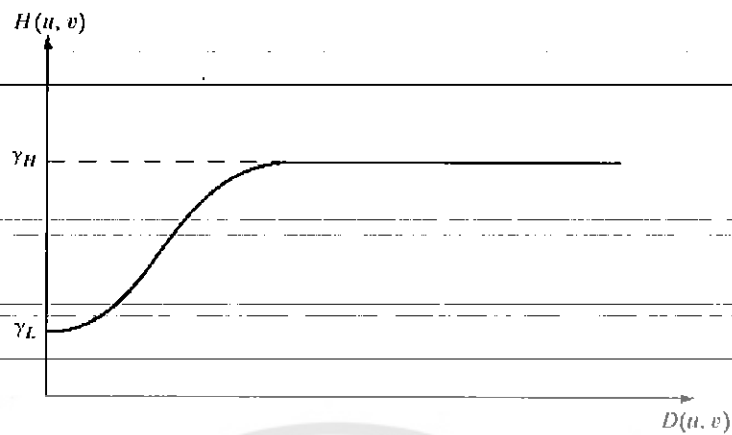
- นำภาพที่อยู่ในรูปโดเมนเชิงพื้นที่มากผ่านสมการเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) เพื่อให้กลับมาอยู่ในรูปของสมการผลคูณ ดังสมการที่ (6)

3.3 การออกแบบโปรแกรม



รูปที่ 3.1 ภาพแผนผังการทำงานของโปรแกรม
แผนผังโปรแกรมปรับปรุงภาพสีนี้อธิบายการออกแบบ โปรแกรมตามสมการที่ (1) ถึง (6)

3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ [4]



รูปที่ 3.2 ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง โดยที่ $D(u, v)$ คือ ระยะทางจากจุดกำเนิด

จากกราฟแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวกรองความถี่สูง ตัวกรองความถี่ต่ำ และระยะทาง ในสมการของตัวกรองโฮโมมอฟิก

จากทฤษฎีภาพจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การส่องสว่างและการสะท้อนของแสง ส่วนของการส่องสว่างนั้นเป็นไปแบบความถี่ต่ำในกราฟลอการิทึม และในกราฟแบบลอการิทึมเดียวกันนั้น ค่าของการสะท้อนของแสงเป็นแบบความถี่สูง ซึ่งมีการเลือกตัวแปรสองตัวคือ γ_H และ γ_L โดยมีการทำให้ค่าความถี่ต่ำนั้นลดลงและขยายค่าความถี่สูงให้มากขึ้น ซึ่งผลในการปรับปรุงค่าของการสะท้อนของแสงนั้นแทนด้วยตัวแปรข้างต้นและค่าของการส่องสว่างจะลดลง มีการกระจายของแสงให้มีความสว่าง ผลของภาพที่ปรับปรุงนั้นก็ดีขึ้น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

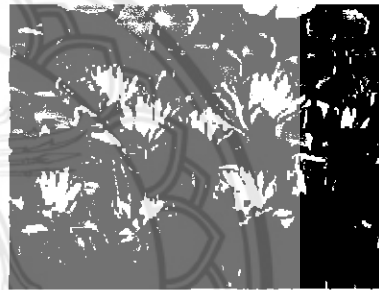
4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทำการทดลองเกี่ยวกับการปรับปรุงภาพสีโดยใช้ตัวกรองโฮโมมอร์ฟิก (Homomorphic Filter) ซึ่งเราได้ศึกษาและพัฒนาจากบทที่ผ่านมาแล้ว การทดลองในบทนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาจากโปรแกรมเมทแลบ (MATLAB)

เมื่อนำภาพ 2 มิติ ที่มีความคมชัดมาลดแสงและลดความคมชัดในโปรแกรมตกแต่งภาพ (Photoshop) จนได้ภาพที่มีแสงไม่เพียงพอเพื่อนำมาใช้ในโปรแกรมในโครงการนี้



รูปที่ 4.1 ภาพสีก่อนถูกปรับปรุง



รูปที่ 4.2 ภาพสีหลังถูกปรับปรุง

13	10	7	2	2
12	8	6	3	3
10	6	4	3	3
5	4	4	1	1
4	3	3	1	1

รูปที่ 4.3 ภาพค่าสีก่อนถูกปรับปรุง

รูปที่ 4.3 เป็นค่าสีของภาพจากแถวที่ 6-10 หลักที่ 6-10 ที่อ่านไฟล์ภาพ 2 มิติ เข้ามา ในรูป

สมการ $f(u,v) = i(u,v) \cdot r(u,v)$ (สมการที่ (1))

2.5657	2.3036	1.9473	0.69813	0.69813
2.4857	2.0807	1.7934	1.1019	1.1019
2.3036	1.7934	1.3888	1.1019	1.1019
1.6114	1.3888	1.3888	0.0099503	0.0099503
1.3888	1.1019	1.1019	0.0099503	0.0099503

รูปที่ 4.4 ภาพค่าสีจากสมการลอการิทึม

รูปที่ 4.4 เป็นค่าสีของภาพจากแถวที่ 6-10 หลักที่ 6-10 ที่นำมาเข้าสมการลอการิทึมเพื่อแปลงให้เป็นสมการในรูปผลบวก $z(u,v) = \ln[i(u,v)] + \ln[r(u,v)]$ (สมการที่ (2))

10080 +	6558.7i	741.56 -	289.34i	568.21 +	7091.2i	-3775 -	9397i	15700 -	1147.3i
1728.2 -	417.57i	2875.4 -	6721.8i	-539.55 +	6384.4i	-3001.8 -	16466i	12122 +	7787.7i
-6759.5 +	3674.4i	11445 -	24190i	-23272 +	18565i	11687 -	24679i	2445.3 +	6901.9i
17152 +	15594i	4772.3 -	9813.7i	-105.67 +	12162i	-4817.1 -	599i	-8704.1 +	5375.3i
7583 -	16249i	-6860.7 +	2610.8i	-1881.4 -	14783i	-11431 -	7730.5i	-5424.3 -	318.79i

รูปที่ 4.5 ภาพค่าสีจากสมการฟูรีเยร์

รูปที่ 4.5 เป็นค่าสีของภาพจากแถวที่ 6-10 หลักที่ 6-10 ที่ใช้ฟูรีเยร์แปลงจากโดเมนเชิงพื้นที่ให้เป็นโดเมนเชิงความถี่ (สมการที่ (3))

0.50094	0.50149	0.50211	0.50275	0.5034
0.50149	0.50188	0.5024	0.50298	0.50359
0.50211	0.5024	0.50283	0.50333	0.50388
0.50275	0.50298	0.50333	0.50377	0.50426
0.5034	0.50359	0.50388	0.50426	0.50471

รูปที่ 4.6 ภาพค่าสีของตัวกรองไฮโมมอฟิก

17063 +	11103i	1255.3 -	489.8i	961.88 +	12004i	-6390.4 -	15908i	26578 -	1942.1i
2925.6 -	706.87i	4867.6 -	11379i	-913.36 +	10808i	-5081.5 -	27875i	20521 +	13183i
-11443 +	6220.1i	-19374 -	40949i	-39396 +	31428i	19784 -	41777i	4139.4 +	11684i
29035 +	-26398i	8078.6 -	16613i	-178.88 +	20589i	-8154.4 -	1014i	-14734 +	-9099.5i
12837 -	27506i	-11614 +	4419.6i	-3184.9 -	25025i	-19351 -	13086i	-9182.3 -	539.66i

รูปที่ 4.7 ภาพค่าสีจากการใช้ไฮโมมอฟิกปรับปรุงภาพ

รูปที่ 4.7 เป็นค่าสีของภาพจากแถวที่ 6-10 หลักที่ 6-10 ที่ใช้ทฤษฎีตัวกรองไฮโมมอฟิกปรับปรุงภาพ $S(u,v) = H(u,v) \cdot F_r(u,v) + H(u,v) \cdot F_i(u,v)$ (สมการที่ (4))

4.3433 + 5.523e-017i	3.8996 - 5.2651e-016i	3.2965 + 1.2789e-016i	1.1818 - 2.0253e-016i	1.1818 + 8.5526e-016i
4.2079 + 6.919e-016i	3.5222 - 3.9208e-016i	3.036 + 1.4357e-016i	1.8654 - 1.4453e-016i	1.8654 + 7.9266e-016i
3.8996 + 1.2115e-015i	3.036 - 1.4953e-016i	2.351 + 6.9874e-018i	1.8654 + 7.1257e-016i	1.8654 + 1.2819e-015i
2.7279 + 3.1306e-016i	2.351 - 5.0169e-016i	2.351 - 3.0254e-016i	0.016844 - 2.1128e-016i	0.016844 + 1.2075e-015i
2.351 - 2.2846e-017i	1.8654 - 8.4869e-016i	1.8654 + 7.9618e-016i	0.016844 - 1.729e-016i	0.016844 + 1.1208e-016i

รูปที่ 4.8 ภาพค่าสีจากการใช้อินเวอร์สฟูรีเยร์

รูปที่ 4.8 เป็นค่าสีของภาพจากแถวที่ 6-10 หลักที่ 6-10 ที่ใช้อินเวอร์สฟูรีเยร์แปลงจากโดเมนเชิงความถี่ให้เป็นโดเมนเชิงพื้นที่ (สมการที่ (5))

76.962 + 4.2506e-015i	49.381 - 2.6e-014i	27.018 + 3.4552e-015i	3.2603 - 6.6032e-016i	3.2603 + 2.7884e-015i
67.216 + 4.6507e-014i	33.86 - 1.3276e-014i	20.821 + 2.9892e-015i	6.4585 - 9.3342e-016i	6.4585 + 5.1194e-015i
49.381 + 5.9826e-014i	20.821 - 3.1134e-015i	10.496 + 7.3338e-017i	6.4585 + 4.6021e-015i	6.4585 + 8.2789e-015i
15.3 + 4.7899e-015i	10.496 - 5.2657e-015i	10.496 - 3.1754e-015i	1.017 - 2.1487e-016i	1.017 + 1.228e-015i
10.496 - 2.3979e-016i	6.4585 - 5.4812e-015i	6.4585 + 5.1421e-015i	1.017 - 1.7583e-016i	1.017 + 1.1398e-016i

รูปที่ 4.9 ภาพค่าสีหลังจากการใช้อ็อกซ์โปเนนเชียล




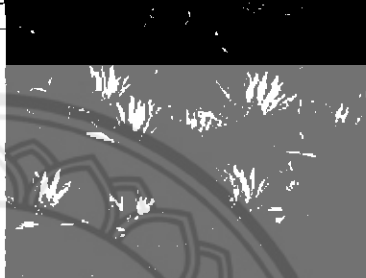

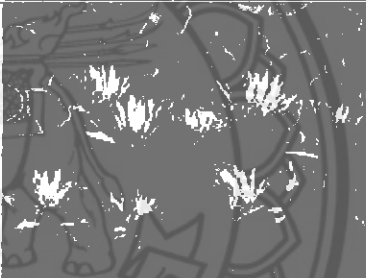

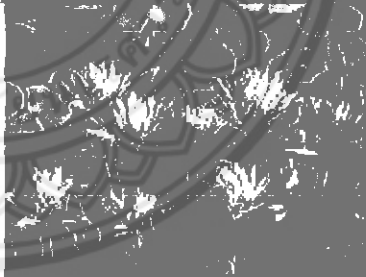


รูปที่ 4.9 เป็นค่าสีของภาพจากแถวที่ 6-10 หลักที่ 6-10 ที่นำมาเข้าสมการเอกซ์โปเนนเชียลเพื่อแปลงให้เป็นสมการในรูปผลคูณ $g(u,v) = i''(u,v) \cdot r''(u,v)$ (สมการที่ (6))

77	49	27	3	3
67	34	21	6	6
49	21	10	6	6
15	10	10	1	1
10	6	6	1	1

รูปที่ 4.10 ภาพค่าสีหลังจากถูกปรับปรุงภาพ

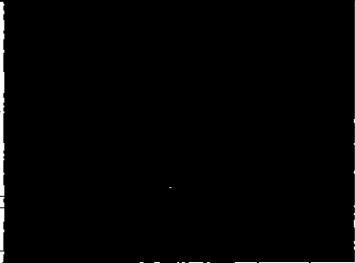


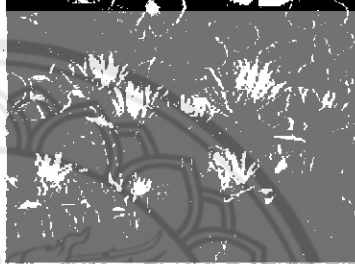
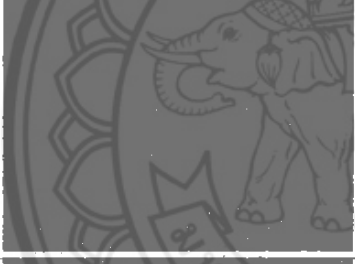
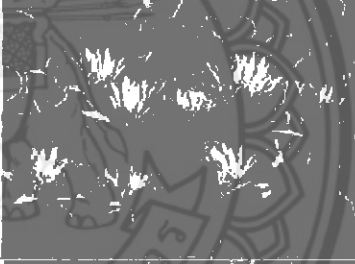

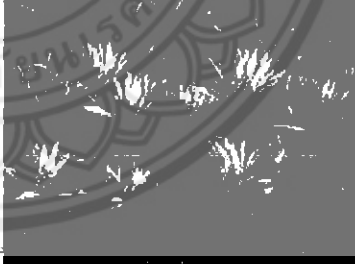
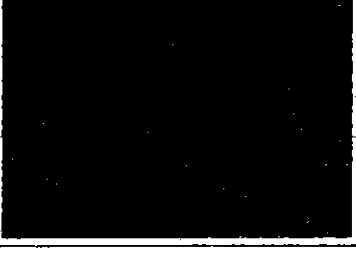

รูปที่ 4.10 เป็นค่าสีของภาพจากแถวที่ 6-10 หลักที่ 6-10 ที่ถูกปรับปรุงภาพเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4.1 ภาพก่อนและหลังถูกปรับค่าคงที่ (c)

ภาพที่	ภาพก่อนถูกปรับปรุง	ภาพหลังการปรับปรุง	ค่าคงที่ (c)
1			0.6
2			0.8
3			1.0
4			1.2
5			1.4




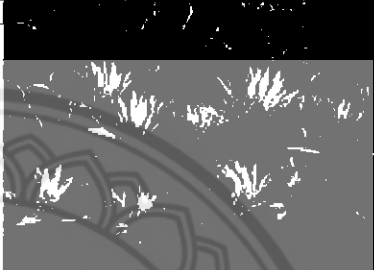
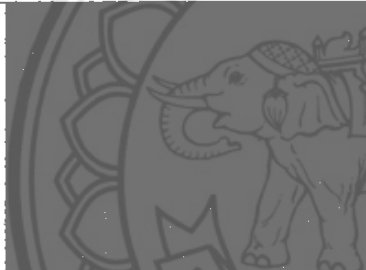
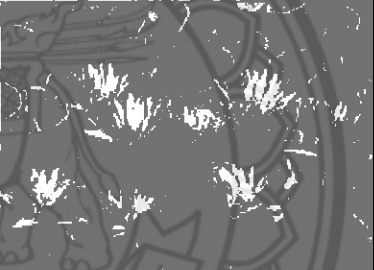
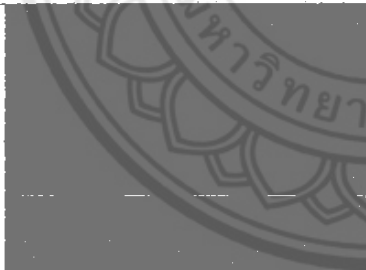
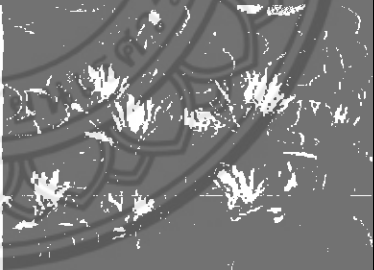
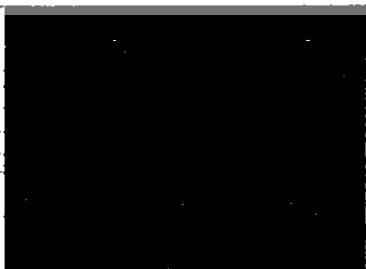

เมื่อมีการกำหนดค่าให้ ความถี่ตัดผ่าน (d) = 60 , $\gamma_H = 2.9$ $\gamma_L = 0.5$ จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อค่าคงที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสว่างและความคมชัดของภาพจะยิ่งมากขึ้น เนื่องจาก ในสมการที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ความชันมีผลต่อความสว่างและความคมชัดของภาพ

ตารางที่ 4.2 ภาพก่อนและหลังถูกปรับปรุงค่าความถี่ตัดผ่าน

ภาพที่	ภาพก่อนถูกปรับปรุง	ภาพหลังการปรับปรุง	ค่าความถี่ตัดผ่าน
1			50
2			55
3			60
4			65
5			70




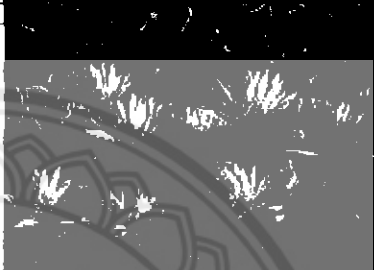
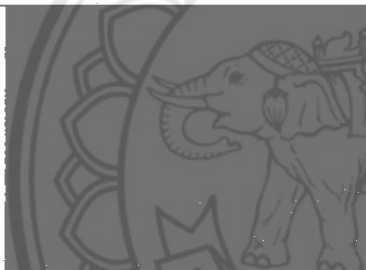
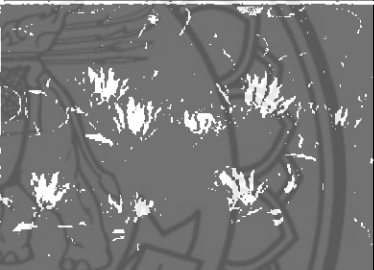
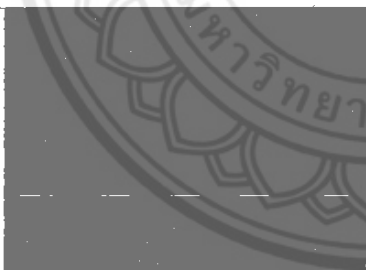
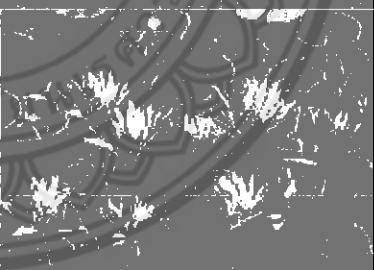
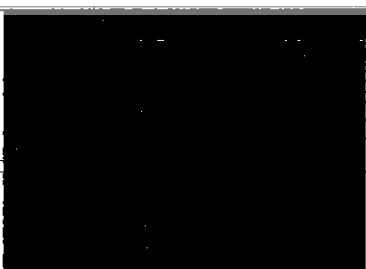

เมื่อมีการกำหนดค่าให้ ค่าคงที่ $(c) = 1$, $\gamma_H = 2.9$ $\gamma_L = 0.5$ จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อค่าความถี่ตัดผ่านมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในตัวกรองตัวกรองไฮโมมอฟิก ทำให้ค่าความถี่ต่ำ ๆ ผ่านน้อยลง ทำให้เห็นค่าสีในภาพที่มีความใกล้เคียงกันที่ติดกันลดลง

ตารางที่ 4.3 ภาพก่อนและหลังถูกปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด

ภาพที่	ภาพก่อนถูกปรับปรุง	ภาพหลังการปรับปรุง	γ_H
1			2.5
2			2.7
3			2.9
4			3.1
5			3.3




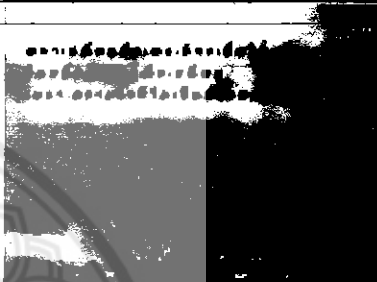

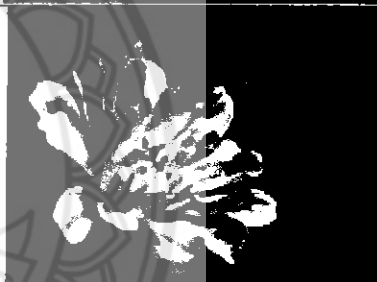

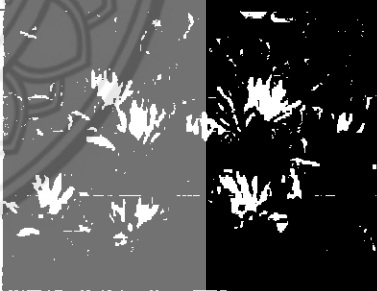
เมื่อมีการกำหนดค่าให้ ความถี่ตัดผ่าน(d) = 60 , ค่าคงที่ = 1 , $\gamma_L = 0.5$ จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าเนื่องจากค่า γ_H เพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก ในสมการที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดและความสว่างเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.4 ภาพก่อนและหลังถูกปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ค่าสุดท้าย

ภาพที่	ภาพก่อนถูกปรับปรุง	ภาพหลังการปรับปรุง	γ_L
1			0.1
2			0.3
3			0.5
4			0.7
5			0.9

เมื่อมีการกำหนดค่าให้ ความถี่ตัดผ่าน (d) = 60 , ค่าคงที่ = 1 , $\gamma_H = 2.9$ จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าเนื่องจากค่า γ_L เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความสัมพันธ์ ในสมการที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 จึงทำให้ค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการปรับปรุงภาพเพิ่มเติม

ภาพที่	ภาพก่อนถูกปรับปรุง	ภาพหลังการปรับปรุง
1		
2		
3		
4		

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดของภาพเพิ่มเติม

ภาพ	ขนาดของภาพ	ค่าคงที่ (c)	ค่าความถี่ตัดผ่าน (cut-off frequency)	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองที่มากที่สุด (γ_H)	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองที่น้อยที่สุด (γ_L)
ภาพที่ 1 ภาพ ดอกบัวในสระ	800x600	1	60	2.9	0.5
ภาพที่ 2 ภาพ ข้อความบนหน้าต่างกระจก	500x370	1	60	3.0	0.7
ภาพที่ 3 ภาพ ดอกไม้	400x300	1	60	3.1	0.7
ภาพที่ 4 ภาพ ดอกบัวในสระที่มีขนาดเล็ก	200x150	1	60	5.9	0.9

ภาพดอกบัวในสระเมื่อนำมาปรับปรุงภาพสีโดยใช้ตัวกรองไฮโมมอฟิก ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่าในส่วนของดอกและใบนั้นมีความชัดเจนขึ้น และเมื่อเทียบค่ากับ ภาพดอกบัวในสระที่มีขนาดเล็กแล้ว ภาพที่มีขนาดเล็กกว่าต้องใช้ค่า สัมประสิทธิ์ที่มากขึ้นด้วยเพื่อให้ผลลัพธ์ของภาพที่มีความสว่างเท่ากัน ดังนั้นขนาดของภาพจึงมีส่วนสำคัญในการกำหนดทิศทางของค่าสัมประสิทธิ์ของภาพ

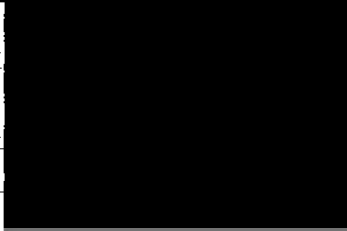
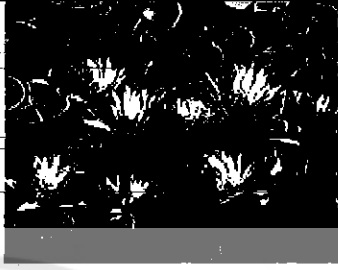

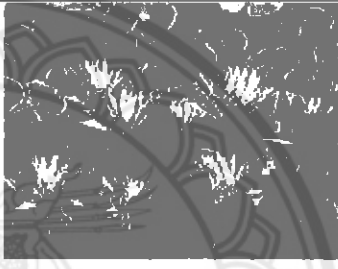
จากการทดลองหลาย ๆ ครั้ง จึงเลือก ความถี่ตัดผ่าน (d) = 60 , ค่าคงที่ = 1, $\gamma_H = 2.9$, $\gamma_L = 0.5$ ที่ทำให้ได้รูปภาพที่ผู้จัดทำโครงการเห็นว่าเหมาะสมที่สุด

ร/ร.

0435ก

๒๕๕๑

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบกับวิธีปรับปรุงภาพแบบอื่น

วิธีที่ใช้	ภาพต้นแบบ	ภาพที่ได้	ค่าความถี่ตัดผ่าน (d)	ค่าคงที่ (n)
แบบบัทเทอเวิร์ท			50	0.05
แบบเกาส์เซียน			30	-

การปรับปรุงภาพ แบบบัทเทอเวิร์ทความถี่สูง (Butterworth High Pass Filter) ใช้สูตรในการคำนวณคือ

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0 / D(u, v)]^{2n}}$$

การปรับปรุงภาพแบบเกาส์เซียน ความถี่สูง (Gaussian high Pass Filter) ใช้สูตรในการคำนวณคือ

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u, v) / 2D_0^2}$$

หากเปรียบเทียบกันแล้ว การปรับปรุงภาพแบบเกาส์เซียน ความถี่สูงนั้นจะดีกว่าการปรับปรุงภาพแบบบัทเทอเวิร์ทความถี่สูง ซึ่งการปรับปรุงภาพแบบบัทเทอเวิร์ทความถี่สูง จะมีคลื่นสะท้อนกลับ (Ringing effect) เกิดขึ้น แต่ว่าการปรับปรุงภาพแบบเกาส์เซียนนั้นไม่มี การปรับปรุงภาพสีแบบไฮโมมอฟิกนั้นจะแตกต่างกับสองวิธีข้างต้นตรงที่ การปรับปรุงภาพสีไฮโมมอฟิกจะแสดงแสงสว่างของภาพให้ชัดเจนกว่า

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทำงานของโปรแกรมการปรับปรุงภาพที่ใช้ตัวกรองไฮโมมอฟิกโดยที่ในการพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชัน (Application) ใช้โปรแกรมเมทแลบในการพัฒนาเพียงเลือกภาพที่ต้องการและใส่ค่าตัวแปรตามที่กำหนด

จากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่าเมื่อใส่ภาพอินพุตที่มีลักษณะของแสงไม่เพียงพอเข้าไปในโปรแกรม จะสามารถปรับแสงและความคมชัดเพิ่มเข้ามาในภาพได้ในลักษณะทั่วกันทั้งภาพทำให้เห็นในรายละเอียดของภาพที่มีแสงไม่เพียงพอ

หากภาพที่มีขนาดใหญ่ ค่าตัวแปรในการเพิ่มแสงจะมากขึ้นตามไปด้วย ค่าของค่าคงที่ (c) ค่าของตัวกรองที่มากที่สุด (γ_H) และ ค่าของตัวกรองที่น้อยที่สุด (γ_L) หากยังเพิ่มความสว่างยิ่งมากทำให้เห็นรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนขึ้น ส่วนค่าความถี่ตัดผ่าน (cut-off frequency) หากยิ่งมากแสงในภาพยิ่งน้อยลงเนื่องจากความถี่ที่ถูกตัดออกจะมีมากขึ้น

5.2 ปัญหาในการทดลอง

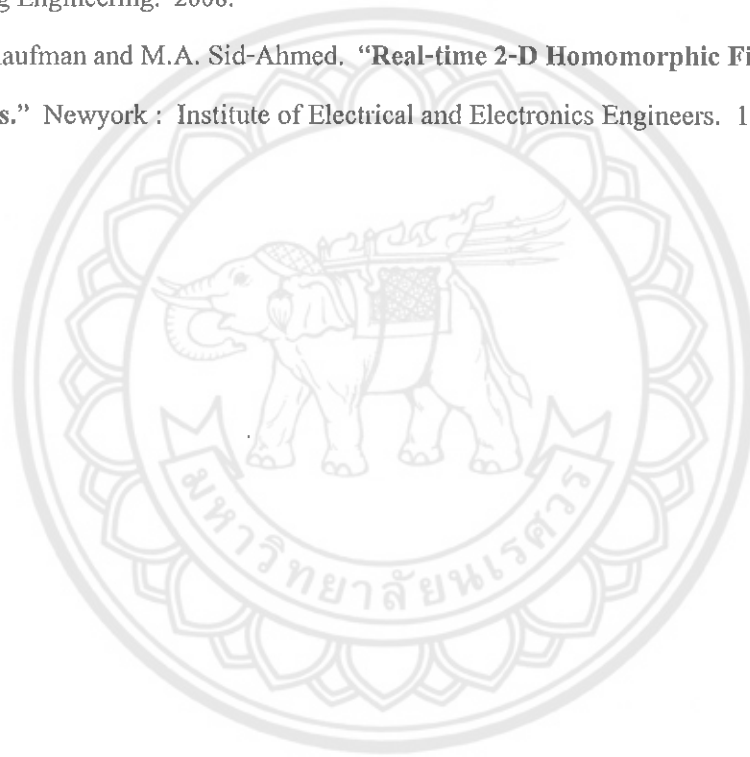
1. ถ้าภาพที่นำมาปรับปรุงมีขนาดใหญ่ เวลาที่ใช้ในการปรับปรุงยิ่งมาก
2. ในการปรับปรุงภาพแต่ละภาพนั้นค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณนั้นไม่เท่ากัน เพื่อที่จะได้ภาพที่เหมาะสม ต้องมีการสุ่มทดลองหลายครั้ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรมในโครงการที่ทางผู้พัฒนาขึ้น ใช้เมทแลบ (MATLAB) เนื่องจากง่ายต่อการออกแบบและพัฒนา หากมีการนำไปศึกษาพัฒนาต่อไป อาจเลือกใช้โปรแกรมภาษาอื่นในการพัฒนาเพื่อที่จะให้สามารถทำงานได้ซับซ้อนมากขึ้น และเวลาในการประมวลผลเร็วขึ้น
2. หากมีการนำไปพัฒนาต่อและลดข้อจำกัดในกรณีภาพที่มีแสงมากเกินไปให้มีข้อจำกัดน้อยลงก็จะสามารถใช้งานได้หลากหลายขึ้น
3. ในโปรแกรมต้องมีการกรอกค่าตัวแปรหลายตัว ให้ดูขนาดของภาพ ความสว่างของภาพที่จะปรับปรุง เพื่อหาความน่าจะเป็นของค่าตัวแปรที่จะใช้ตามความลักษณะของภาพ อาจต้องมีการเปลี่ยนหลาย ๆ ค่าแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิรุทธ์ อำนวยศิลป์. "Image Processing." [Online]. Available :
<http://www.thaidev.com/index.php?cmd=listtitle&catid=41>. 2552
- [2] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. **Digital Image Processing**. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1992.
- [3] Majeed Hayat. "Solutions to Assignment 6 Motion Estimation, Image Stabilization, and Homomorphic Filtering" [slide]. University of New Mexico : Department of Electrical and Computing Engineering. 2008.
- [4] H.J. Kaufman and M.A. Sid-Ahmed. "Real-time 2-D Homomorphic Filter for broadcast TV signals." Newyork : Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1992.





```
clear all
close all
a=imread('Water lilies1.jpg');
a1=log(double(a)+0.01);

a2=fft2(a1);
d=60;
c=1;
gH=2.9;
gL=0.5;

[x y]=size(a2);
for u=1:x
    for v=1:y
        D(u,v)=sqrt(u^2+v^2);
        H(u,v)=(gH-gL)*[1-exp(-c.*(D(u,v)/d^2))]+gL;
    end
end
a3=H(u,v).*a2;
a4=ifft2(a3);
a5=exp(a4);
figure(1),
subplot(1,2,1);imshow(a),title('Original Image');
subplot(1,2,2);imshow(uint8(a5)),title('Output Image');
```



REAL-TIME 2-D HOMOMORPHIC FILTER FOR BROADCAST TV SIGNALS

H. J. Kaufman and M. A. Sid-Ahmed
 University of Windsor
 Dept. of Electrical Engineering
 Windsor, Ontario, Canada, N9B 3P4

ABSTRACT

Hardware design and implementation of a 2-D sample-and-hold semi-systolic filter structure are presented. Log and anti-log circuits are utilized with a high-frequency emphasis IIR filter to provide homomorphic filtering. Hardware design is discussed with reference to specific device types and characteristics. A prototype circuit using MSI and MSI circuits on a custom made PCB is shown along with applications to real-time filtering of broadcasted TV images.

1. INTRODUCTION

Two-dimensional digital filters are utilized in a number of applications in the area of digital image processing [2], [3]. Various techniques for the enhancement of digital images, for example, median filtering, high-pass filtering and edge enhancement have been developed and are well-known in the literature on digital image processing. These techniques are usually implemented by programming a general purpose computer to operate on stored images. Recently there has been increasing interest in applying these techniques in the area of TV imaging applications which can be found in medical, geophysical and industrial environments as well as broadcast TV itself. Implementing these applications in real-time, however, requires the development of dedicated hardware.

Real-time rates in excess of 80 million pixels per second (eg. 1000 lines/field x 50 fields/sec, 5:3 aspect ratio) are encountered in the processing of high definition television (HDTV) images. Proposed techniques which involve spatio-temporal filtering and motion estimation are highly computing intensive and require large frame memories. These techniques often rely on dedicated high-speed 2-D transversal filters as component subsystems or as pre-filters (eg. implementation of the HD-MAC bandwidth reduction algorithm). Alternatively a dedicated 2-D filter operating at real-time sample rates can be applied directly to the image signal in image enhancement applications [1], [5], [6]. Thus the development of efficient

hardware realizations of 2-D filters is of tantamount importance in all of these techniques.

Due to hardware constraints, conventional designs have favored FIR (transversal) filters even though IIR filters are known to be much more efficient allowing lower order realizations than their FIR counterparts. A semi-systolic structure realization of 2-D recursive digital filters capable operating at real-time HDTV sample rate has been proposed by Sid-Ahmed in [1]. A hardware realization is proposed here which is based directly on the 2-D digital transfer function $H(z_1, z_2)$ and utilizes off-the-shelf analog components in a discrete time sampled data system. Real-time operation is attained with the use of analog components that have inherently small delay times.

In the present paper we present the development of a hardware prototype of this structure in a representative real-time application: that of image enhancement based on the non-linear homomorphic filtering approach of Oppenheim et. al. [4].

2. HOMOMORPHIC FILTERING

An image $f(x,y)$ is defined as a two-dimensional light intensity function of spatial coordinates (x,y) . In the illumination-reflectance model of an image, the illumination component $i(x,y)$ due to the amount of source light incident on the scene being viewed and the reflectance component $r(x,y)$ due to light reflected by objects in the scene are considered to vary independently, so that the image is formed multiplicatively, $f(x,y)$ being expressed by

$$f(x,y) = i(x,y) r(x,y) \quad (1)$$

Illumination is directly responsible for the dynamic range achieved by the pixels of an image while contrast is a function of the reflectance.

By means of homomorphic filtering, [4], as depicted in the block diagram of Fig. 1, it is possible to process the illumination and reflectance components of an image separately. In this scheme, input data is logarithmically converted prior to performing a linear filtering operation (usually high pass filtering) and the result is converted back to the linear scale. In the present work the linear operation selected is a 2-D high emphasis Butterworth (linear phase) recursive filter of order 2×2 . A cross-sectional plot of the two-dimensional magnitude

This work was supported by an NSERC Operating Grant.

Contributed Paper

Manuscript received February 3, 1992

0098 3063/92 \$03.00 © 1992 IEEE

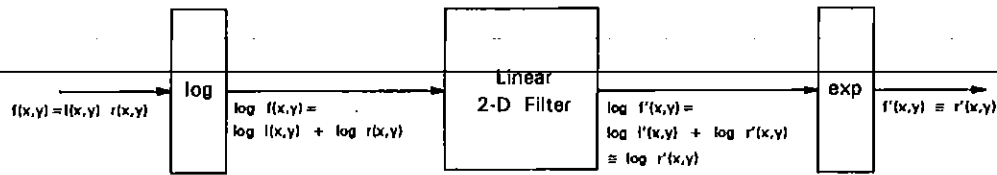


Fig. 1. Homomorphic Filter

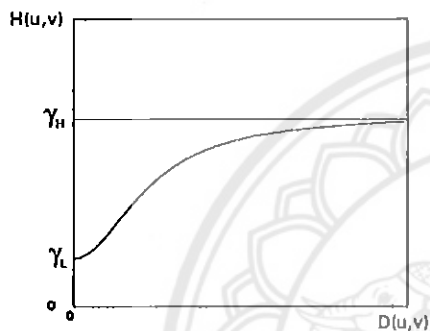


Fig. 2. Cross-section of circularly symmetric 2D Butterworth filter function used in homomorphic filtering. $D(u,v)$ is the distance from the origin.

response of this linear filter function is shown in Fig. 2. To a first approximation we can assume as in [4] that the illumination component contains mostly low frequencies in its logarithm and that the logarithm of the reflectance component contains mostly high frequencies. Choosing the parameters γ_L and γ_H so that $\gamma_L=0.5$ and $\gamma_H=2$, for the Butterworth filter function (shown in Fig. 2) will tend to attenuate the low frequencies and amplify the high frequencies. This results in an enhancement of the reflectance components, which represent the objects in the scene, and an attenuation of the illumination component, which represents the light distribution. The net result is a clearer image.

3. REVIEW OF THE 2-D SEMI-SYSTOLIC REALIZATION

Let us review the 2-D semi-systolic realization proposed in [1]. In general, a 2-D recursive digital filter transfer function of order $N \times N$ is given by

$$H(z_1, z_2) = \frac{Y(z_1, z_2)}{X(z_1, z_2)} = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N a_{ij} z_1^{-i} z_2^{-j}}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N b_{ij} z_1^{-i} z_2^{-j}} \quad (2)$$

where $\{a_{ij}\}$ and $\{b_{ij}\}$ are filter coefficients obtained from a design procedure that determines the coefficients according to some given criteria to approximate the desired frequency response of $H(z_1, z_2)$ (ie. high-pass, low-pass, etc.).

Corresponding to equation (2) in the time domain is the so called recursive equation which relates the output sample of the filter $y(m,n)$ to the input sample $x(m,n)$ occurring at the same point in time.

$$y(m,n) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N a_{ij} x(m-i, n-j) - \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N b_{ij} y(m-i, n-j) \quad (3)$$

where again $N \times N$ is the order of the filter and $\{ \{a_{ij}\}, \{b_{ij}\} \}$ is the set of design coefficients. We have made the assumption of a causal system in equations (2) and (3) so that the output signal $y(m,n)$ is written as a function of the input signal $x(m,n)$ and past values of the input signal and output signal, $x(m,n)$, $y(m,n)$ respectively.

Assuming $N=2$, we can write equation (2) in the z-domain as

$$Y(z_1, z_2) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} X(z_1, z_2) z_1^{-i} z_2^{-j} - \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 b_{ij} Y(z_1, z_2) z_1^{-i} z_2^{-j} \quad (4)$$

Multiplying by z_1^{-1} (thus introducing one pixel of latency in the output) and re-arranging yields

$$z_2^{-1}Y(z_1, z_2) = z_2^{-1}Y_0(z_1, z_2) + z_2^{-1}Y_1(z_1, z_2) + z_2^{-1}Y_2(z_1, z_2) \quad (5)$$

where

$$z_2^{-1}Y_0(z_1, z_2) = z_2^{-1}\{(a_{00}X(z_1, z_2)z_1^{-1} + z_2^{-1}\{(a_{01}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{01}Y(z_1, z_2) + z_2^{-1}\{a_{02}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{02}Y(z_1, z_2)\})\})\} \quad (6)$$

$$z_2^{-1}Y_1(z_1, z_2) = z_2^{-1}\{(a_{10}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{10}Y(z_1, z_2) + z_2^{-1}\{(a_{11}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{11}Y(z_1, z_2) + z_2^{-1}\{a_{12}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{12}Y(z_1, z_2)\})\})\} \quad (7)$$

and

$$z_2^{-1}Y_2(z_1, z_2) = z_2^{-1}\{(a_{20}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{20}Y(z_1, z_2) + z_2^{-1}\{(a_{21}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{21}Y(z_1, z_2) + z_2^{-1}\{a_{22}X(z_1, z_2)z_1^{-1} - b_{22}Y(z_1, z_2)\})\})\} \quad (8)$$

The realization of $Y_2(z_1, z_2)$ based on equation (7) is shown in Fig. 3. (Fig. 3(b) shows the structure of the general processing element (PE). Equations (6) and (8) are realized similarly and the overall 2-D semi-systolic filter structure is realized as shown in Fig. 4.

In Fig. 4 the following should be noted. Firstly, the output signal of the structure $Y^*(z_1, z_2)$ has been denoted with an asterisk because the output signal is produced with one data sample of latency and is actually $z_2^{-1}Y(z_1, z_2)$, which corresponds to $y(m, n-1)$ in the time domain rather than $y(m, n)$. To remove the effects of this latency on the feedback, the first line delay in the feedback path must, in practice, be shortened by one pixel (sample) time and is thus denoted z_1^{-1} . Also, because a latent (by one sample time) signal is fed back to the lowermost bank of PE's, the "b" coefficients occur in the order 0,

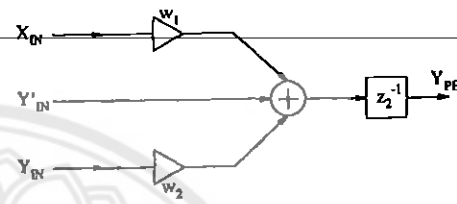
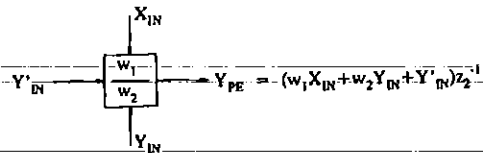
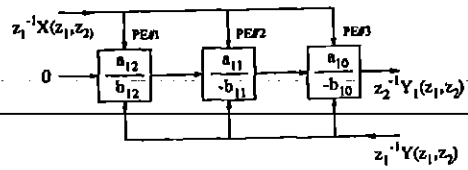


Fig. 3. Partial realization of $z_2^{-1} Y(z_1, z_2)$.
(a) Realization of $z_2^{-1} Y_1(z_1, z_2)$
(b) Processing element (PE)

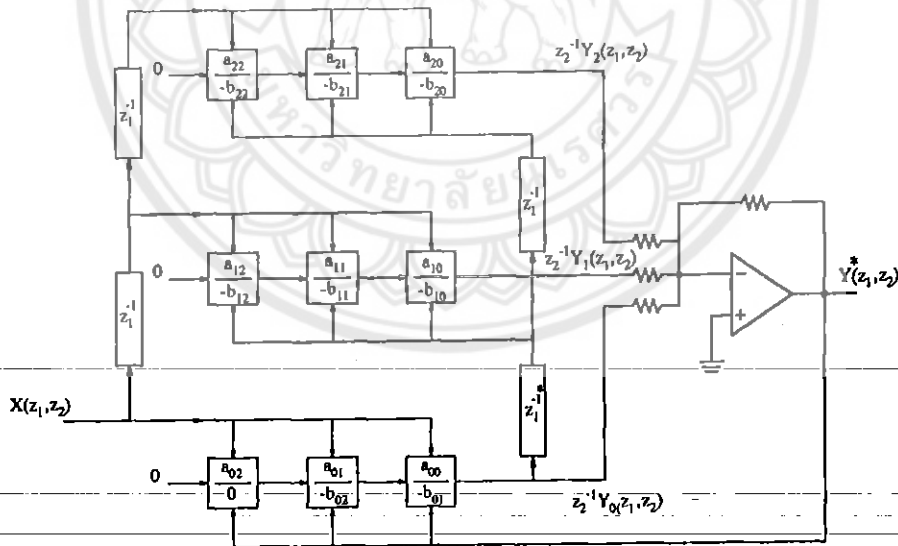


Fig. 4. Realization of a 2 X 2 IIR semi-systolic filter.

$b_{02}, -b_{01}$, from left to right, in that bank of PE's (as shown in Fig. (4)).

4. HARDWARE PROTOTYPE FOR REAL-TIME VIDEO

A prototype of a 2-D real-time homomorphic filter based on the proposed method of realization given in [1] was constructed using off-the-shelf components. As we have already seen, the basic block diagram structure of a homomorphic filter is given in Fig. 1.

A. Logarithmic Converter

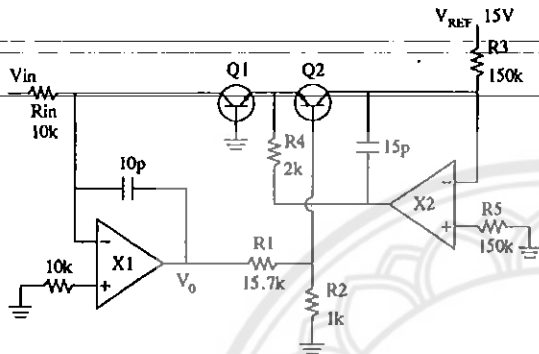


Fig. 5. Logarithmic converter

The prototype circuitry for the logarithmic converter section is shown in Fig. 5. The input signal is assumed to be an analog baseband video signal containing only the luminance component. In the NTSC system such a signal would be obtained by removing sync and chrominance components from the baseband video signal.

The logarithmic converter design is based on the transdiode configuration. The expression for the output voltage can be derived as in [10] and is given by

$$v_o = -1 \text{ volt } \log_{10} (v_{in}) \quad (9)$$

for the values shown in Fig. 5. With the values of R1 and R2 as indicated, the scale factor is 1V/decade. Op-amps X1 and X2 are LM318 and Q1 and Q2 are 2N2920.

The logarithmic converter circuitry should be followed by an inverting stage to remove the inversion in equation (9). Also provision should be made for scaling the logarithmically converted signal to an appropriate peak-to-peak level and to set the DC level to a desired value.

B. Antilog Circuit

The antilog circuit shown in Fig. 6 operates on a logarithmically compressed input signal that has been filtered by the linear operator of the homomorphic filter.

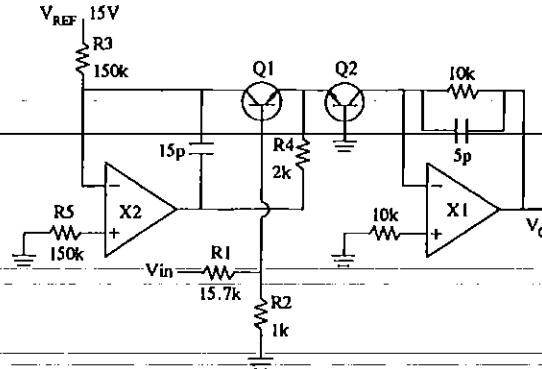


Fig. 6. Antilog circuit

By a similar derivation to that given for the logarithmic converter it can be shown [10] that the output of operational amplifier X1 is given by

$$v_o = 10^{-(v_{in}/1 \text{ volt})} \quad (10)$$

for the values shown in Fig. 6. Because of the values selected for R1 and R2 the scale factor is 1V/decade. The input antilog circuit must be inverted to remove the effect of the inversion in the exponent of equation (10).

All op-amps in Fig. 6 are LM318 and Q1 and Q2 are 2N2920.

C. 2-D Semi-systolic Filter

In the hardware prototype of the homomorphic filter, the linear filter, i.e. the middle block of Fig. 1, was realized as a 2-D semi-systolic filter. For greater ease of construction with off-the-shelf components, the structure described in Fig. 4 was modified to use two types of PE instead of only one type throughout. Fig. 7 shows the block diagram of this slightly revised structure of the prototype. The prototype filter is of order 2 x 2 (i.e. N=2 in equation (2)). Although a higher order structure could be used, the 2 x 2 structure provides an adequate approximation to the filter specifications as shown in the curve of Fig. 2. A 2 x 2 structure is economical in hardware and, as is apparent from Fig. 7, only three banks of PE's, are required, each bank containing 3 PE's and only four line delays. Type I PE's are used everywhere except at the end of each bank of PE's, where a type II PE is used. Both PE types are shown in Fig. 8. Note that the type II PE is a modified version of the type I PE in which the pixel delay element denoted z_2^{-1} is excluded. Having two types of PE in the structure allows the use of standard length line delays. Since the end of stage PE's do not contain storage elements, there is no longer a latency of one pixel time in processing, so that the feedback connections to the lowermost bank of PE's (i.e. the bank whose PE's contain the local variables b_{01}, b_{02}) are different.

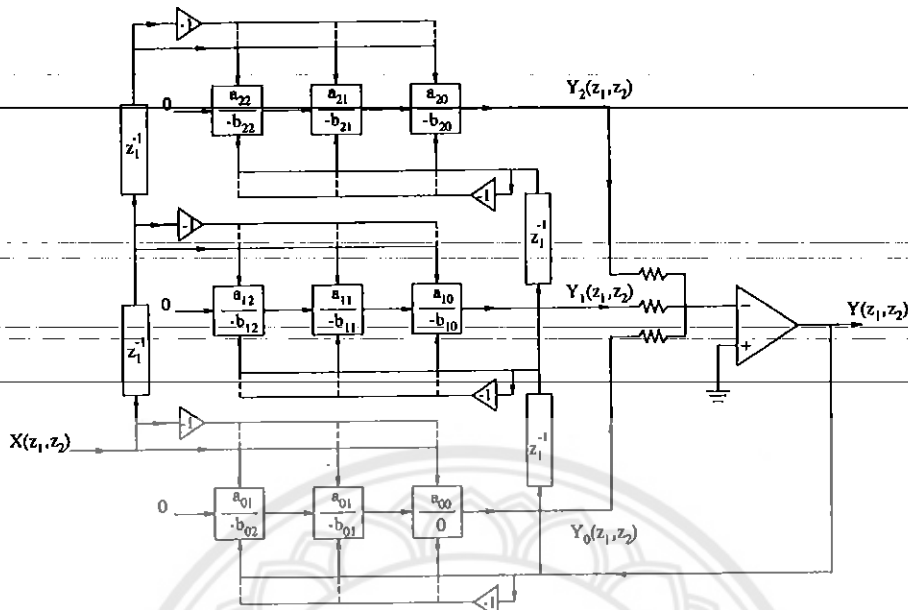


Fig. 7. 2x2 semi-systolic filter structure for prototype

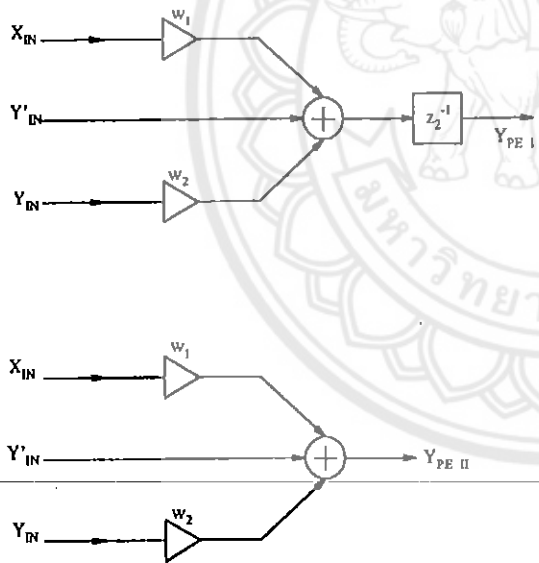


Fig. 8. The two types of PE used in the hardware prototype.
 (a) Type I PE
 (b) Type two PE

Another change which was made for greater ease of construction with off-the-shelf components is the introduction of dual broadcast data lines, allowing either non-inverted or inverted data to be sent to each PE. (Note that in the literature on systolic structures, lines through which PE's receive the same data in parallel are called broadcast lines.) In this systolic structure the local variables of the PE's are the filter coefficients, that is, the set of numbers $\{\{a_{ij}\} \{b_{ij}\}\}$ in equation (2) that approximate the desired filter response as determined by a design procedure. As will be seen when the actual hardware for each PE is described the dual broadcast lines provide a convenient method for assigning the correct sign to the data reaching each PE assuming that local variables are set within each PE without regard to sign. Given the high degree of regularity in systolic structures, a practical hardware realization of the structure will result if hardware is designed for each of the PE's and line delays.

Design of 1H Delay Line

As is seen in Fig. 7, a 2 x 2 IIR filter structure requires four line delay elements, which are denoted z^{-1} in the z-domain. When processing a raster scanned signal, these line delays correspond to one horizontal line scanning period (1H) which is 63.5 μ s in the NTSC system. The filter prototype utilizes line delays based on charge-coupled device (CCD) type analog shift registers as shown in

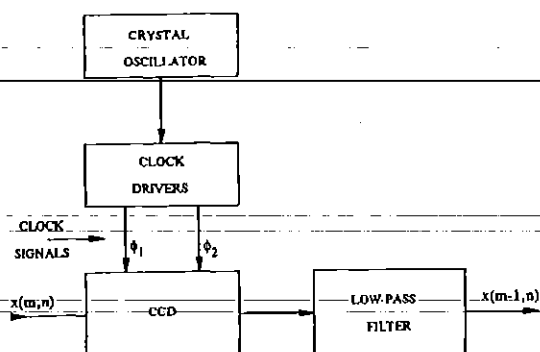


Fig. 9. Block diagram of CCD type 1H line delay

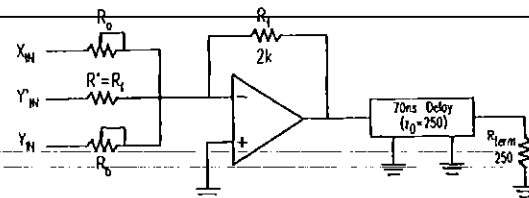


Fig. 10. Op-amp circuit for PE (type I shown)

Fig. 9. The device used was the Fairchild-Weston CCD321. Each CCD operates to delay signals in the baseband or video frequency range (eg. 0 to the vicinity of 5 MHz).

The delay time of analog signals through the CCD is precisely controlled by clock signals ϕ_1 and ϕ_2 (Fig. 9), which are two-phase symmetrical square wave signals derived from a crystal oscillator signal by means of clock driver circuits.

The type of clock driver circuits used will be a function of the type of CCD chosen and are typically based on TTL or CMOS family integrated circuit devices. For the Fairchild-Weston CCD321, which has a charge injection port at its input and a sample-and-hold circuit in its output amplifier section, the two-phase system of clocks ϕ_1 and ϕ_2 is applied to the device to effect charge injection at the input as well as interstage charge transport and clocking of the internal sample-and-hold circuit.

A sample-and-hold device in the output stage of a CCD offers the advantage of reducing clock frequency feedthrough components in the output signal. Any of these undesirable frequency components that remain in the output may be further suppressed by a 5 MHz low-pass filter circuit.

Design of PE

Type I and type II PE's as defined in Fig. 8 were constructed using high-speed op-amp circuits. This was done for the type I PE as shown in Fig. 10. The op-amp is configured as an inverting weighted summer and drives a passive delay line with resistive termination. The circuitry for a type II PE is the same as for a type I PE except that it consists solely of the inverted summer op-amp

circuit, the delay line (with resistive termination) not being included.

With reference to Fig. 10 the summing amplifier configuration produces the weighted sum $(-R_f/R_a)X_{IN} + (-R_f/R_b)Y_{IN} + Y'_{IN}$. Comparing with Fig. 8, $w_1 = (-R_f/R_a)$ and $w_2 = (-R_f/R_b)$. For greater ease in setting coefficient values in the experimental prototype, R_a and R_b are variable resistors. Given that an inverting rather than non-inverting sum is obtained with the PE hardware and that the actual filter coefficients, which the weights represent, are signed numbers, the correct signs of weights in the PE can be established by appropriate connections to either the inverting or non-inverting broadcast data lines (Fig. 7).

The op-amp used in the PE's of the prototype is an EL2020C (Elantec). This is a high-speed monolithic (50MHz) current feedback type op-amp, specifically designed for video and other applications that require high slew rates, fast settling times and low power consumption. In contrast with conventional op-amps, those such as the EL2020C that use the current feedback topology provide nearly constant bandwidth and settling time over a wide range of closed-loop voltage gains. Higher performance (200 MHz) current feedback op-amps specifically designed for HDTV and other comparable high-speed applications such as the EL400 (Elantec) are available in an 8 pin mini-DIP package that is pinout compatible with the EL2020C. These higher performance op-amps could be used instead of the EL2020C in Fig. 10 for HDTV application.

A passive delay line is used to implement a pixel delay (denoted z_2^{-1} in the z-domain). In the time domain, a signal $x(m,n)$ is delayed by one pixel time resulting in a delayed version of the signal $x(m,n-1)$. The passive delay line used in the PE's of the prototype is a type

1514-70D (Data Delay Devices). Lumped constant delay lines of this type are widely used in a number of electronic applications. For instance, in color TV receivers the luminance signal is delayed to synchronize it with the chrominance signal. They are generally designed using low-pass LC filters as basic units cascaded in stages having linear phase characteristics overall. The type 1514-70D delay line has a delay time $T_d = 70\text{ns}$ and a characteristic impedance $z_0 = 250\Omega$. Accordingly the delay is terminated in a 250Ω resistor (Fig. 10). This delay line is available in a four pin SIP package that does not take up much circuit board space. Lumped constant delay lines with a clock input and sample-and-hold output are available in 8 pin DIP packages (eg. Reticon 5100 series) and can be used instead if desired.

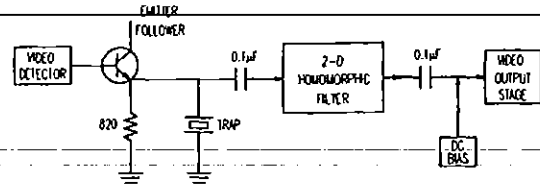


Fig. 11. Insertion of filter into TV receiver circuitry

5. FILTERING OF IMAGES

In order to demonstrate real-time operation of the filter on TV images, the 2×2 homomorphic filter prototype was inserted into the television receiver circuitry as shown in Fig. 11. The detected video signal is available at the emitter follower at approximately a one volt peak-to-peak level. This signal is 2-D filtered by the prototype and sent to the final video stage, resulting in a homomorphically filtered image on the TV screen. For an IDTV receiver, which is designed for separate luminance-chrominance (Y-C) processing [8], the filter would be inserted into the luminance channel. Before and after pictures showing the results of homomorphic filtering are shown in Figs. 12(a), (b) respectively.

A photograph of the filter prototype is shown in Fig 13. The filter with log and antilog circuits but without the line delays is shown in Fig. 13(b). Fig. 13(a) shows two circuit boards, each board containing two line delays of the filter.

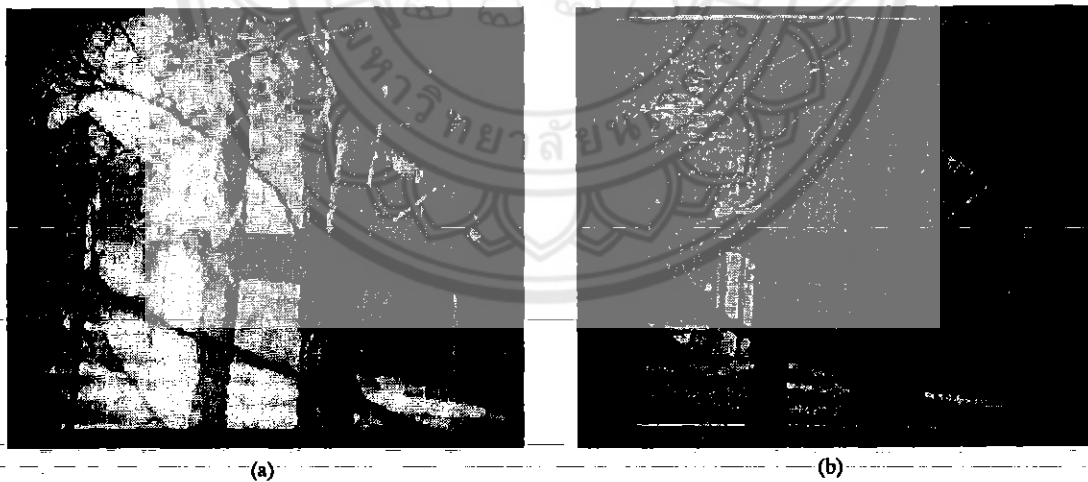
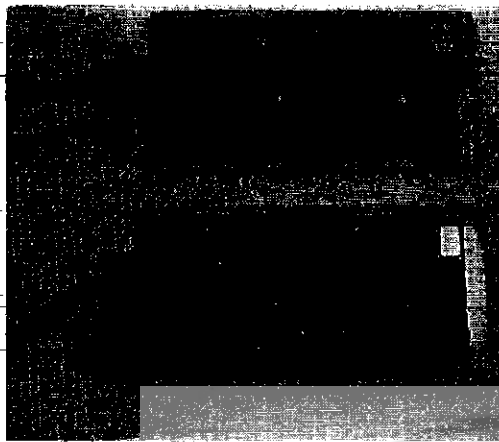
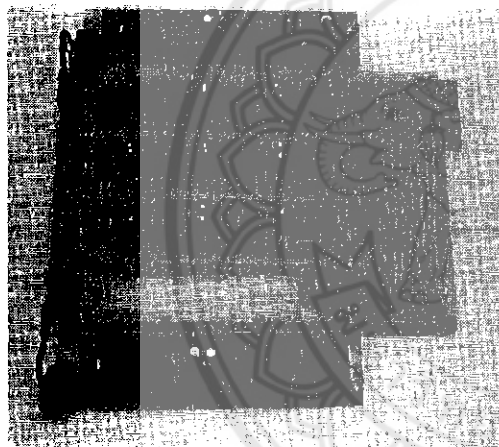


Fig. 12. (a) Original broadcast TV image
(b) Image homomorphically filtered by prototype



(a)



(b)

Fig. 13. (a) Line delays on dual delay CCD boards
(b) Homomorphic filter prototype

6. CONCLUSION

The present paper has presented the development of a practical hardware design for the 2-D semi-systolic filter structure given in [1]. A hardware prototype of a 2-D recursive filter of order 2×2 was developed using commercially available high-speed analog IC's: operational amplifiers for PE realization and CCD IC's for line delays. The prototype was further developed as a 2-D homomorphic filtering application by the addition of

suitably designed high-speed pre-processing and post-processing circuitry and by the setting of the designed filter coefficients within the PE's. Real-time operation of the prototype was demonstrated by the insertion of the filter into the video circuitry of a television receiver. Filtered images of off-the-air broadcast signals showed the results of homomorphic image enhancement based on the selected design parameters of the filter, providing simultaneous contrast enhancement and dynamic range compression.

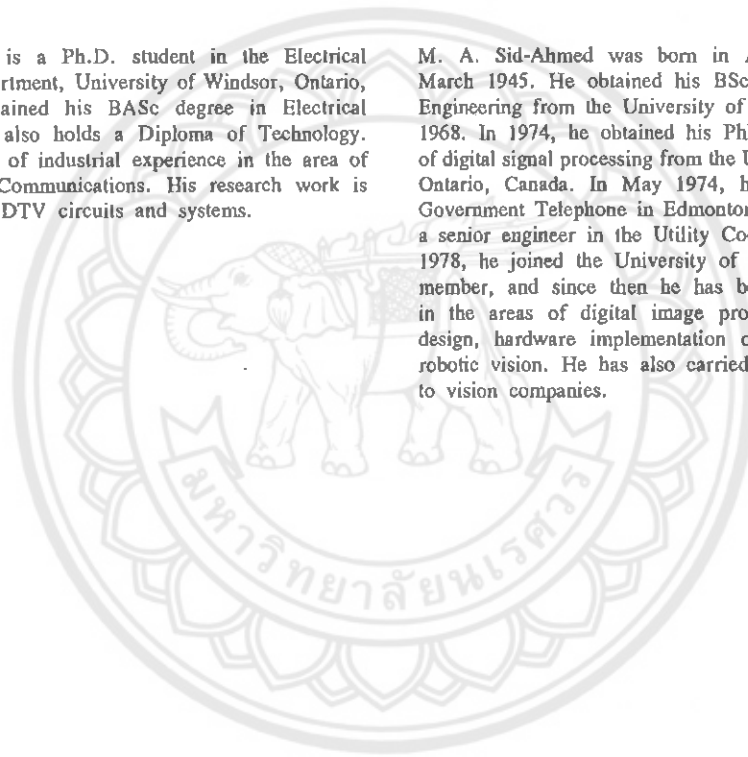
REFERENCES

- [1] M.A. Sid-Ahmed, "Realization of 2-D IIR filters using sample-and-hold circuitry", 1991 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Vol. 5, June 1991, pp. 2467-2470.
- [2] W.K. Pratt, "Digital Image Processing", Wiley Interscience, New York, 1978.
- [3] R.C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital Image Processing", Addison-Wesley, Reading, Mass., 2nd Edition, 1987.
- [4] A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer and T.G. Stockham Jr., "Non-linear filtering of multiplied and convolved signals", Proc. IEEE, Vol. 56, No. 8, August 1968, pp. 1264-1291.
- [5] H.J. Kaufman and M.A. Sid-Ahmed, "2-D analog filters for real-time video signal processing", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 36, No. 2, May 1990, pp. 137-141.
- [6] A.N. Venetsanopoulos, M.T. Kich and A.C.P. Loui, "High speed architectures for image processing", IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. CAS-34, No.8, August 1987, pp. 887-895.
- [7] J.A. Dutra, "Current feedback op amps raise gain-bandwidth product", Electronic Design July 14, 1988.
- [8] K. Endoh and M. Lembke, "Apply delay lines in digital circuits", Electronic Design, June 22, 1989, pp. 85-88.
- [9] A. Ishizu, K. Sokawa, R. Matsuura, K. Imai, M. Fujita, "Digital signal processing for improved NTSC television receiver", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 35, No. 3, August 1989, pp. 259-264.
- [10] J.K. Roberge, "Operational Amplifiers: Theory and Practice", Wiley, 1975.
- [11] Comlinear Corp., 1989 Databook Amplifiers & Data Conversion, Fort Collins, Colorado, 1989.



H. J. Kaufman is a Ph.D. student in the Electrical Engineering Department, University of Windsor, Ontario, Canada. He obtained his BSc degree in Electrical Engineering and also holds a Diploma of Technology. He has 11 years of industrial experience in the area of Electronics and Communications. His research work is in the area of HDTV circuits and systems.

M. A. Sid-Ahmed was born in Alexandria, Egypt in March 1945. He obtained his BSc degree in Electrical Engineering from the University of Alexandria, Egypt in 1968. In 1974, he obtained his PhD degree in the area of digital signal processing from the University of Windsor, Ontario, Canada. In May 1974, he joined the Alberta Government Telephone in Edmonton, Alberta, Canada as a senior engineer in the Utility Coordination Section. In 1978, he joined the University of Windsor as a faculty member, and since then he has been actively involved in the areas of digital image processing, digital filter design, hardware implementation of digital filters, and robotic vision. He has also carried out consulting work to vision companies.



ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นางสาววันเพ็ญ ยุบล
ภูมิลำเนา 70 หมู่ 10 ต.สามเวียง อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสำโรงชนูปถัมภ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 6
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email : wanpen_yubol@hotmail.com

