สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ระบบป้องกันข้อมูลภาพดิจิตอล

# DIGITAL IMAGE WATERMARKING

โดย

นาย ขจรศักดิ์ วรพจน์พนมกร รหัส 43015715

นาย พิเชษฐ์ แสนสุดสวาสดิ์ รหัส 43015738

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46536
วัน, เดือน, ปี 4 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

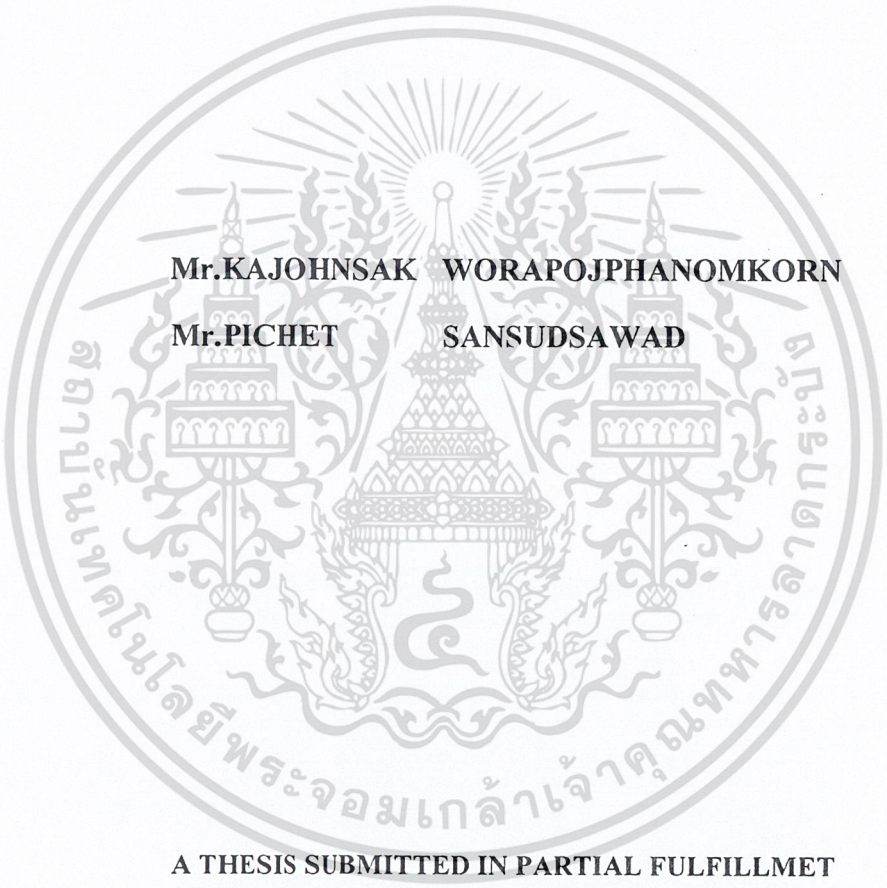
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DIGITAL IMAGE WATERMARKING

Mr.KAJOHNSAK WORAPOJPHANOMKORN

Mr.PICHET SANSUDSAWAD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMET

OF THE REQUIREMENT FOR FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF THE TECHNOLOGY ELECTRONIC

DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | ระบบป้องกันข้อมูลภาพดิจิตอล |
| | DIGITAL IMAGE WATERMARKING |
| **นักศึกษา** | นาย ขจรศักดิ์ วรพจน์พนมกร รหัสประจำตัว 43015715 |
| | นาย พิเชษฐ์ แสนสุดสวาสดิ์ รหัสประจำตัว 43015738 |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์** | ผศ. ดร อรรถสิทธิ์ หล่าสกุล |
| **ระดับการศึกษา** | ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต |
| | สาขาวิชาเทคโนโลยีอีเล็คทรอนิกส์ |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมสารสนเทศ |
| **ปีการศึกษา** | 2544 |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณลาดกระบังอนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

.....

(ผศ. ดร อรรถสิทธิ์ หล่าสกุล)

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์**

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | ระบบป้องกันข้อมูลภาพดิจิตอล<br>**Digital Image Watermarking** |
| **นักศึกษา** | นายขจรศักดิ์ วรพจน์พนมกร รหัสประจำตัว 43015715<br>นายพิเชษฐ์ แสนสุดสวาสดิ์ รหัสประจำตัว 43015738 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.ดร. อรรถสิทธ์ หล่าสกุล |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมสารสนเทศ |
| **ปีการศึกษา** | 2544 |

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบป้องกันข้อมูลระบบดิจิตอล เช่น ภาพ เสียง และเอกสารอื่น ๆ นับได้ว่ามีการพัฒนาไปเป็นอย่างมาก ระบบนี้นอกจากการป้องกันข้อมูลแล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามข้อมูลในเครือข่ายได้อีกด้วย และนับวันจะมีการหาเทคนิคที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ และมีการพัฒนาถึงวิธีการทำลายระบบด้วยเช่นกันจากกลุ่มตรงข้าม ในงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะได้เริ่มศึกษาถึงเทคนิคและคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ควรจะรู้เบื้องต้นของระบบดังกล่าวก่อน เช่น การใส่สัญญาณลงในข้อมูลภาพดิจิตอลและการถอดสัญญาณออกจากข้อมูลภาพดิจิตอล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title.** Digital Image Watermarking.

**Student.** Mr.Kajohnsak Worapojphanomkorn ID 43015715
Mr.Pichet Sansudsawad ID 43015738

**Advisor.** Assit.Prof.Dr.Attasit Lasakul

**Department** Information Engineering

**Academic Year.** 2001

**Abstract**

Multimedia watermarking technology has evoled very quickly during the last few year. Applications include copyright protcction, data monitoring, and data tracking. At the first semester, the chareacteristics and many methods of pervious research are investigated then in the second semester the new method of digital watermarking will be proposed. Following the robustness of the proposed methods also will be presented to show the performance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ก็เนื่องจากความช่วยเหลือและคำแนะนำจากท่าน ผศ.ดร.อรรถสิทธ์ หล่าสกุล ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่พบในการทำโครงการตลอดจนเป็นที่ปรึกษาและชี้แนะแนวทางที่มีประโยชน์เป็นอย่างสูงในการทำปริญญานิพนธ์และโครงงานนี้

หากไม่มีท่าน ผศ.ดร.อรรถสิทธ์ หล่าสกุล แล้วปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อาจจะไม่สามารถจัดทำขึ้นมาได้ หรืออาจไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร

คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


| | |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญรูปภาพ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ฌ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาของโครงงาน | 1 |
| 1.2 จุดประสงค์ | 1 |
| บทที่ 2 พื้นฐานการประมวลผลภาพดิจิตอล | 3 |
| 2.1 ลักษณะของแฟ้มข้อมูลภาพดิจิตอล | 3 |
| 2.2 วิธีการในสปาเชียลโดเมน | 4 |
| บทที่ 3 พื้นฐานของภาพ | 9 |
| 3.1 โมเดลภาพ | 9 |
| 3.2 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) และการ ควอนไทซ์ | 10 |
| บทที่ 4 การแปลงฟูริเยอร์และการแปลงฟูริเยอร์ผกผันของภาพ | 13 |
| 4.1 การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย | 13 |
| 4.2 การแปลงฟาสฟูริเยอร์ | 15 |
| 4.3 การแปลงฟูริเยอร์ผกผัน | 18 |
| 4.4 การย้ายตำแหน่งจุดศูนย์กลางของผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย | 18 |
| บทที่ 5 การประมวลผลสัญญาณ | 21 |
| 5.1 กระบวนการในโดเมนความถี่ | 21 |
| 5.2 ตัวกรอง 2 มิติ (Filter) | 23 |
| 5.2.1 ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) | 23 |
| 5.2.2 ตัวกรองผ่านความถี่สูง (Highpass Filter) | 26 |
| 5.2.3 ตัวกรองผ่านช่วงความถี่อุดมคติ | 29 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | หน้า |
|---|---|
| 5.2.4 ตัวกรองหยุดช่วงความถี่อุดมคติ | 29 |
| 5.3 การกรองภาพระดับสีเทา | 30 |
| บทที่ 6 การเลือกช่วงที่เหมาะสมใน 2-D DFT DOMAIN | 32 |
| บทที่ 7 การทดลองใส่และถอดลายน้ำในรูปแบบของ FREQUENCY DOMAIN | 38 |
| ผลการทดลองครั้งแรก | 42 |
| ผลการทดลองครั้งสอง | 46 |
| บทที่ 8 สรุปและแนวทางพัฒนา | 51 |
| บรรณานุกรม | 53 |
| ภาคผนวก | |
| โปรแกรมการใส่และถอดลายน้ำ | 54 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1a | แสดงกระดาษที่จะทำการใส่ลายน้ำ | 1 |
| 1.1b | แสดงเครื่องพิมพ์ลายน้ำ | 1 |
| 1.2 | แสดงบัตรเครดิตซึ่งสามารถที่จะใส่บาร์โค๊ดหรือตัวเลขลงไป | 2 |
| 1.3 | แสดงป้ายทะเบียนรถซึ่งสามารถที่จะใส่สัญลักษณ์หรือบาร์โค๊ดลงไป | 2 |
| 1.4 | แสดงการใส่ลายเส้นลงไปในแผ่น CD-ROM | 2 |
| 2.1.1 | เมตริกซ์ของรูปขนาด 256×256 | 3 |
| 2.1.2 | lena.tiff | 4 |
| 2.2.2 | แสดงลักษณะของฟังก์ชั่นการแปลงค่าระดับสีเทาโดยกระทำกับจุด ๆ เดียวใน 1 ครั้ง | 5 |
| 2.2.3 | แสดงหน้ากากคอนโวลูชั่นขนาด 3×3 | 6 |
| 2.2.4 | แสดงจุดข้างเคียงต่าง ๆ ในบริเวณเมตริกซ์ขนาด 3×3 ของภาพต้นแบบ | 6 |
| 2.6 | การขาดจุดข้างเคียงในบริเวณของการทำคอนโวลูชั่นในบริเวณกรอบภาพ | 8 |
| 3.1 | แสดงผลของ N ที่มีผลต่อคุณภาพของภาพ | 12 |
| 4.1 | การซ้ำคาบของผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย | 19 |
| 4.2 | แสดงการย้ายจุดกำเนิดเพื่อความสะดวกในการมอง | 19 |
| 5.1ก | แสดงการจัดการของระบบเชิงเส้น เอาท์พุทของระบบเป็นการประสาน h(x,y) กับอินพุท | 22 |
| 5.1ข | เอาท์พุทเป็นผลคูณของ H(u,v) กับอินพุท | 22 |
| 5.2a | แสดงตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติแสดงรูป 3 มิติ | 25 |
| 5.2b | แสดงภาพตัดขวาง | 25 |
| 5.3ก | แสดงบัตเตอร์เวิร์ด Lowpass Filter แสดงรูป 3 มิติ | 26 |
| 5.3ข | แสดงภาพตัดขวาง | 26 |
| 5.4ก | แสดงตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติแสดงรูป 3 มิติ | 27 |
| 5.4ข | แสดงภาพตัดขวาง | 27 |
| 5.5ก | แสดงตัวกรองผ่านความถี่สูงแบบบัตเตอร์เวิร์ดแสดงรูป 3 มิติ | 28 |
| 5.5ข | แสดงภาพตัดขวาง | 28 |
| 5.6 | แสดงตัวกรองผ่านช่วงความถี่ | 29 |
| 5.7 | แสดงตัวกรองหยุดช่วงความถี่ | 30 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.8 | แสดงการทำการกรอง | 31 |
| 6.1 | แสดงรูป ORIGINAL | 33 |
| 6.2 | แสดงรูปเมื่อผ่านการ Fourier | 33 |
| รูปผลการทดลองการเลือกช่วงความถี่ | | 37 |
| 7.1 | แสดงภาพ ORIGINAL | 38 |
| 7.2 | WATERMARK ORIGINAL | 38 |
| 7.3 | แสดงการฝัง WATERMARK | 40 |
| 7.4 | แสดงการถอด WATERMARK | 41 |
| 7.5 | แสดงรูป ORIGINAL และรูปลายน้ำ | 42 |
| 7.6 | แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG 25% | 42 |
| 7.7 | แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN | 43 |
| 7.8 | แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการทำภาพให้ BLUR | 43 |
| 7.9 | แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการ BLUR ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN | 44 |
| 7.10 | แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพORIGINALกับภาพที่ผ่านการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED | 45 |
| 7.11 | แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการCROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN | 45 |
| 7.12 | แสดงรูป ORIGINAL และรูปลายน้ำ | 46 |
| 7.13 | แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG 25% | 46 |
| 7.14 | แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN | 47 |
| 7.15 | แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการทำภาพให้ BLUR | 47 |
| 7.16 | แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN | 48 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ หน้า

7.17 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพORIGINALกับภาพที่ผ่านการ CROPPED, SCALE DOWN และ ROTATED 48

7.18 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการ CROPPED, SCALE DOWN และ ROTATED ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 3.1 แสดงจำนวนบิตที่ใช้การจัดเก็บที่แปลตามค่า N,m | 12 |
| 3.2 แสดงจำนวนบิตที่ใช้การจัดเก็บที่แปลตามค่า N,m | 12 |
| ตารางค่าผลการทดลองใน Frequency Domain | 50 |
| ตารางค่าผลการทดลองใน Spatial Domain | 50 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

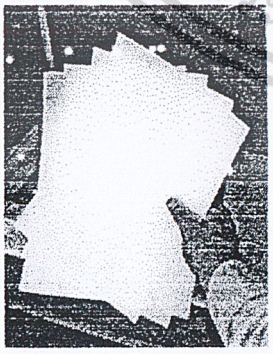
# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาของโครงงาน

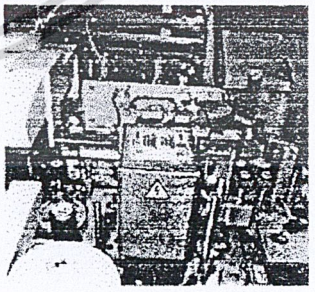
ในปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์เป็นที่นิยมแพร่หลายมากกว่าในอดีต ระบบเครือข่าย Network ก็กว้างขวางมากกว่าแต่ก่อน ท่ามกลางเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าไปมากนั้นก็มีผู้ที่ใช้ประโยชน์จากข้อมูลดิจิตอลมากมาย เช่นสั่งซื้อสินค้าทางอินเตอร์เนตส่งแผนที่หรือข้อมูลสำคัญที่เป็นภาพ ซึ่งโดยปกติแล้วการที่เราจะ copy ข้อมูลเหล่านี้สามารถทำได้โดยง่าย เพียง copy แบบธรรมดา และยากที่จะทำการป้องกัน ในส่วนนี้จึงได้มีความคิดที่จะทำการป้องกันข้อมูลภาพ ในการทำการซ่อนลายน้ำลงไปในข้อมูลสามารถทำได้หลายวิธี เราได้ศึกษาถึงการทำ การซ่อนลายน้ำ ลงไปในข้อมูลภาพดิจิตอลด้วย รูปแบบ DFT Domain

## 1.2 จุดประสงค์

จุดประสงค์ของโครงงานนี้คือ สร้างโปรแกรมป้องกันข้อมูลดิจิตอล นอกจากโปรแกรมที่สร้างขึ้นจะช่วยในการป้องกันข้อมูลแล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามข้อมูลในเครือข่ายได้อีกด้วย ตัวอย่างของการป้องกันข้อมูลดิจิตอลที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันก็ได้แก่ บัตรเครดิต ป้ายทะเบียนรถยนต์ หรือ CD-ROM



รูปที่ 1.1aแสดงกระดาษที่จะทำการใส่ลายน้ำ



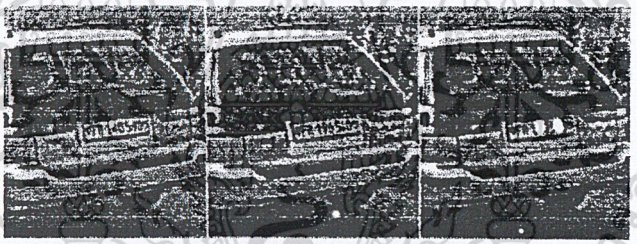
รูปที่ 1.1b แสดงเครื่องพิมพ์ลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่เป็นรูปภาพเจ้าของของบัตรเครดิตนั้น ก็สามารถใส่ส่วนที่เป็นบาร์โค๊ดหรือไม่ก็ตัวเลขลงไป โดยที่จะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ผู้ที่ปลอมบัตรเครดิตนั้นก็จะได้ไปเพียงรูปแต่จะไม่สามารถปลอมข้อมูลที่อยู่ภายในรูปได้

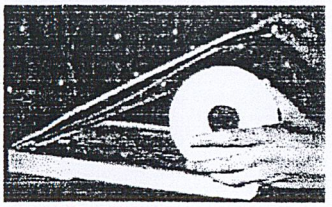
รูปที่ 1.2 แสดงบัตรเครดิตซึ่งสามารถที่จะใส่บาร์โค๊ดหรือตัวเลขลงไป

ในส่วนของป้ายทะเบียนรถยนต์ก็มีการใส่สัญลักษณ์หรือบาร์โค๊ดลงไป เพื่อให้ยากในการปลอมป้ายทะเบียน



รูปที่ 1.3 แสดงป้ายทะเบียนรถซึ่งสามารถที่จะใส่สัญลักษณ์หรือบาร์ดโค๊ดลงไป

ในส่วนของ CD-ROM ก็มีการใส่ลายเส้นลงไป เพื่อป้องกันการ copy ข้อมูล เมื่อมีการ Copy ข้อมูลก็จะไม่สามารถใช้ข้อมูลนั้นๆได้



รูปที่ 1.4 แสดงการใส่ลายเส้นลงไปในแผ่น CD-ROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# พื้นฐานการประมวลผลภาพดิจิตอล

ก่อนที่เราจะได้ทำการศึกษาถึงการประมวลผลทางภาพดิจิตอลนั้นเราต้องมาศึกษากันก่อนว่าลักษณะการเก็บภาพให้อยู่ในระบบข้อมูลแบบดิจิตอลนั้นเป็นอย่างไรและการประมวลผลนั้นสามารถทำโดยวิธีใดบ้าง

## 2.1 ลักษณะของแฟ้มข้อมูลภาพดิจิตอล

ลักษณะของแฟ้มข้อมูลภาพจะมีการกำหนดตำแหน่งเหมือนกับเมตริกโดยที่จำนวนคอลัมน์(column) และโรว์(Row) จะแทนจำนวนจุดภาพ(Pixel) ของภาพเช่น ภาพขนาด 256 × 256 จะหมายถึง แฟ้มข้อมูลของภาพดังกล่าวมีขนาด 256 คอลัมน์ และ 256 โรว์ จะสามารถแสดงได้ดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & f(1,3) & \cdots\cdots & f(1,256) \\ f(2,1) & f(2,2) & f(2,3) & \cdots\cdots & f(2,256) \\ f(3,1) & f(3,2) & f(3,3) & \cdots\cdots & f(3,256) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(256,1) & f(256,2) & f(256,3) & \cdots\cdots & f(256,256) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.1.1 เมตริกซ์ของรูปขนาด 256 × 256

จากรูปที่ 2.1.1 จะเห็นว่าแฟ้มข้อมูลภาพจะประกอบไปด้วยสมาชิกของเมตริกซ์ทั้งหมด $i \times j$ ตัวและที่ตำแหน่งในเมตริกซ์ต่างๆก็จะมี f(i,j) ซึ่งเป็นค่าระดับสีเทา(Gray Level) ของภาพที่จุดนั้นโดยที่ค่าระดับสีเทาอาจมีได้ตั้งแต่ 2 ระดับ จนถึง 256 ระดับโดยจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่เป็นตัวเลข $2^n$ โดยที่ n = 1,2,3.... ขึ้นอยู่กับลักษณะของคุณภาพของภาพที่เราต้องการประมวลผล โดยในโครงงานนี้เราจะใช้ค่าระดับสีเทาที่ 256 ระดับสี ซึ่งตัวอย่างของภาพสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.1.2 ซึ่งจะเห็นว่าภาพหนึ่งภาพนั้นเกิดจากการเรียงตัวกันของจุดภาพที่มีระดับค่าสีเทาต่างๆกัน ซึ่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มองภาพใดๆให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์เราจะเรียกการกระทำโดยตรงกับจุดภาพนี้ว่าวิธีการสปาเชี่ยลโดเมน

รูปที่ 2.1.2 lena.tiff

## 2.2 วิธีการสปาเชียลโดเมน

จุดหลักของวิธีการนี้อยู่ที่เราจะปรับปรุงภาพหรือกระทำโดยตรงกับจุดภาพ โดยที่ฟังก์ชั่นในการปรับปรุงภาพในวิธีนี้สามารถเขียนเป็นสมการดังต่อไปนี้

$$g(i,j) = T[f(i,j)]$$

ซึ่ง f(i,j) ที่นำมาใช้ประมวลผลแล้วและ T คือ ตัวปฏิบัติการ( Operator ) บน f ที่กำหนดในบริเวณตำแหน่ง ( i,j ) จะเห็นได้ว่าวิธีการสปาเชียลโดเมนนี้จะทำให้ง่ายในการออกแบบเขียนโปรแกรมหรือศึกษาอัลกอริทึมเนื่องจากหากเราทราบนาดความกว้างและความยาวของภาพโดยกำหนดเป็นจำนวนจุดภาพออกมาแล้งทำการมองภาพนั้นเป็นเมตริกซ์ตัวหนึ่งเราก็สามารถจะใช้ตังปกิบัติการไปกระทำกับจุดภาพได้ตามหลักการทางคณิตศาสตร์ สำหรับวิธีการสปาเชียลโดเมนนี้แบ่งได้เป็นสองกรณีดังนี้

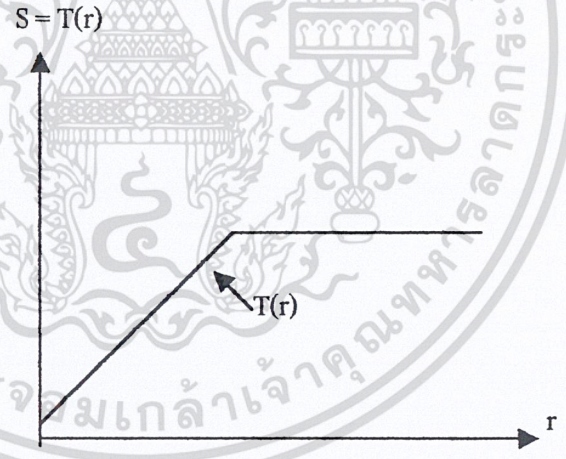
เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ตัวปฏิบัติการกระทำต่อจุดภาพเพียงจุดเดียวต่อหนึ่งครั้ง หมายถึงว่าเมื่อตัวปฏิบัติการกระทำกับเมตริกซ์ของภาพแล้ว g( i,j )ที่ได้ออกมาจะขึ้นอยู่กับค่าของ f(i,j) ตัวเดียวเท่านั้นและตัวปฏิบัติการจะกลายเป็นฟังก์ชั่นการแปลง(Transfer Function)หรือฟังก์ชั่นการแปลงแม(Mapping Function) ซึ่งอยู่ในรูป

$$s = T(r)$$

เมื่อ r และ s คือตัวแปรที่แทนค่าระดับสีเทาของ f(i,j) และ g(i,j) ที่จุด i,j เช่นตัวอย่างในรูป

2..2.2 เมื่อเราใช้ฟังก์ชันการแมปเป็นดังรูปจะทำให้ค่าระดับสีเทาที่อยู่ช่วงต่ำกว่าที่ระดับ B และสูงกว่าถูกบีบให้อยู่ในช่วงแคบๆของ s และจะมีการกระจายค่าระดับสีเทาสูงเกินกว่าระดับ B วิธีการนี้เป็นการปรับปรุงระดับค่าสีเทาโดยรวมของภาพเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพได้ดีขึ้น




รูปที่ 2.2.2 แสดงลักษณะการของฟังก์ชั่นการแปลงค่าระดับสีเทาโดยกระทำกับจุดๆเดียวในหนึ่งครั้ง

2.2.3 ตัวปฏิบัติการกระทำกับจุดภาพที่อยู่บริเวณรอบๆกับจุดที่กำลังกระทำอยู่ หมายถึงเมื่อเราต้องจะให้ตัวปฏิบัติการกระทำกับจุดใดๆแล้วนั้นตังปฏิบัติการจะต้องนำเอาค่าข้างเคียงของจุดนั้นมาคำนวณด้วยเสมอเราเรียกการทำงานแบบนี้ว่าการทำงานที่ต้องใช้จุดข้างเคียง( Neighborhood operation )ซึ่งการปฏิบัติการอย่างนี้เรามักจะใช้วิธีการคอนโวลูชั่น( Convolution ) โดยที่การทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนโวลูชั่นนี้จะเป็นการคำนวณผลบวกของผลคูณ(Sum of product) รูปที่ 2.4 แสดงหน้ากากของคอนโวลูชั่น

$$M = \begin{bmatrix} m(-1,-1) & m(0,-1) & m(1,-1) \\ m(-1,0) & m(0,0) & m(1,0) \\ m(-1,1) & m(0,1) & m(1,1) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.2.3 แสดงหน้ากากคอนโวลูชั่นขนาด 3×3

$$F = \begin{bmatrix} F(i-1,j-1) & F(i,j) & F(i,+1,j-1) \\ F(i-1,j) & F(i,j) & F(i+1,j) \\ F(i-1,j+1) & F(i,j+1) & F(i+1,j+1) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.2.4 แสดงจุดข้างเคียงต่างๆในบริเวณเมตริกซ์ขนาด 3×3 ของภาพต้นแบบ

ตัวชี้ในหน้ากากจะมีหน้าจุดเริ่มต้นที่ต้นจุดศูนย์กลางโดยเริ่มที่มุมบนด้านซ้ายของภาพ สามารถเขียนสมการคอนโวลูชั่นได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C(i,j)=\sum_{k=1}^{i+1}\sum_{l=1}^{j+1} F(k,l)M(i-k,k-1)$$

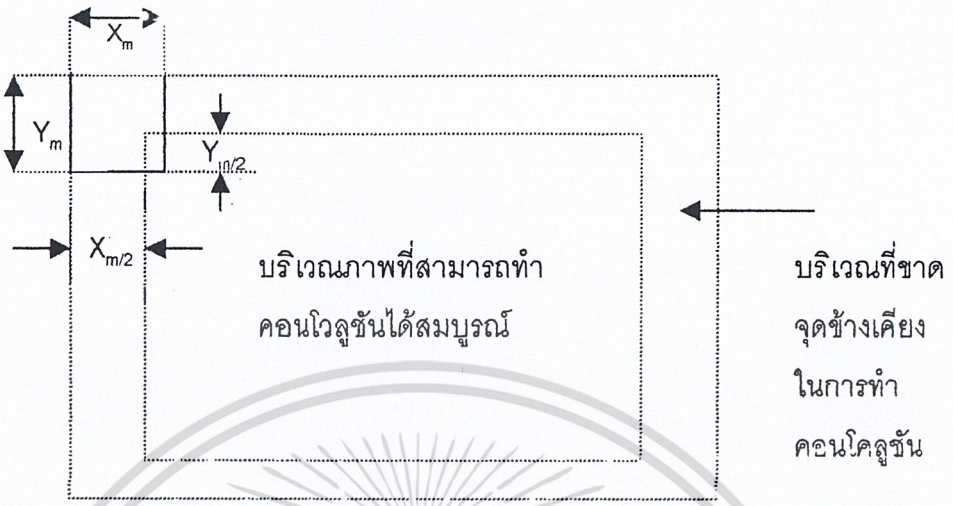
แต่ละจุดภาพจะเป็นการวนเอามาจากจุดรอบข้างและคูณด้วยค่าที่เป็นตำแหน่งเดียวกันกับหน้ากากนำผลคูณของแต่ละตัวนั้นรวมกันก็จะได้ค่าจุดภาพผลลัพธ์ซึ่งการคำนวณที่ทำนั้นสามารถกระจายแสดงออกมาได้ดังนี้

$$C(i,j) = F(i-1,j-1)M(1,1)+F(i,j-1)M(0,1)+F(i+1,j+1)M(-1,1)+F(i-1,j)$$
$$M(1,0)+F(i,j)M(0,0)+F(i+1,j)M(-1,0)+F(i-1,j+1)M(1,-1)+$$
$$F(i,j+1)M(0,-1)F(i+1,j+1)M(-1,-1)$$

จากสมการเราพบว่ามีการจัดเรียงเทอมต่างๆ โดยลำดับในหน้ากากมีการจัดเรียงจากบนซ้ายลงไปยังล่างขวาและตำแหน่งที่ตรงกันในหน้ากากจะมีลำดับตรงข้ามกันโดยเริ่มจากล่างขวาขึ้นไปถึงมุมบนซ้ายสำหรับขนาดของหน้ากากนั้นจะเป็นเท่าไรก็ได้และไม่จำเป็นต้องมีสมาชิกแนวตั้งเท่ากับแนวนอนเสมอไป แต่โดยทั่วไปแล้วการประยุกต์ที่ใช้กันอยู่จะใช้หน้ากากที่มีจำนวนสมาชิกแนวตั้งเท่ากับแนวนอน มีจำนวนคงที่และมักเป็นจำนวนเลขคี่เพื่อที่จะทำให้สามารถได้จุดศูนย์กลางของหน้ากากเป็นจุดศูนย์กลางได้

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่เราพบในการทำคอนโวลูชั่นภาพคอการขาดจุดข้างเคียงในบริเวณของการทำคอนโวลูชั่นในบริเวณขอบรอบนอกภาพหมายถึงการที่เราจะใช้หน้ากากคอนโวลูชั่นมาทำการคอนโวลูชั่นบริเวณขอบภาพซึ่งไม่สามารถทำได้เนื่องจากการคำนวณจะขาดจุดภาพบริเวณภานอกอณาบริเวณของภาพดังแสดงในรูปที่2.6 โดยทั่วไปแล้ววิธีการแก้ปัญหานี้ก็มักจะใช้วิธีการกำหนดจุดในบริเวณกรอบภาพทั้งสี่ด้านให้เป็นค่าเดิมหรือเป็นศูนย์หรือแล้วแต่กรณี ความกว้างของแถบด้านบนและด้านล่างของภาพมีค่าเท่ากับ (Ym-1)/2 และข้างซ้ายและขวาเท่ากับ (Xm-1)/2 เมื่อ Xm คือความกว้างของหน้ากากและ Ym คือความสูงของหน้ากาก ตัวอย่างเช่น หน้ากากขนาด 3×3 จะมีแถบกว้าง 1 จุดภาพซึ่งไม่สามารถคำนวณได้รอบๆ ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่2.6 การขาดจุดข้างเคียงในบริเวณของการทำคอนโวลูชั่นในบริเวณกรอบภาพ

ในการใช้งานจะต้องรู้ว่าจะนำภาพที่ได้จากการประมวลผลแล้วไปทำอะไรต่อไป เพราะอาจเป็นไปได้ที่ภาพผลลัพธ์อาจมีขนาดเล็กกว่าต้นแบบ บางระบบ ต้องการการคำนวณที่ถูกต้องสมบูรณ์แบบอย่างแท้จริงโดยนำข้อมูลบริเวณอื่นๆมาใช้แทนบริเวรโรว์และคอลัมน์ของจุดภาพที่เลยออกจากต้นแบบไป วิธีการหนึ่งนั้นทำได้โดยการใช้โรว์ทางด้านล่างของภาพมาใช้เป็นข้อมูลที่ต้องการของการคำนวณทางด้านบน และในทำนองเดียวกันที่ใช้โรว์ทางด้านบนมาเป็นข้อมูลในการคำนวณของคอลัมน์ทางด้านซ้ายและคอลัมน์ทางด้านซ้ายของภาพนำมาเป็นข้อมูลที่ต้องการคำนวณทาลดานขวาเช่นกันถึงแม้ว่าวิธีเช่นนี้จะเป็นการไม่เหมาะสมนักก็ตามแต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็ให้ภาพผลลัพธ์มีขนาดเท่ากับต้นแบบ เนื่องจากการทำคอนโวลูชั่นนี้ค่อนข้างจะใช้การคำนวณมากครั้ง เช่นหากเป็นหน้ากากขนาด 3×3 ในการที่จะได้ผลลัพธ์ 1 จุดภาพต้องมีการคูณ 9 ครั้ง การบวก 9 ครั้งและการหารอีกหนึ่งครั้งและหากเรามีการใช้ขนาดของหน้ากากที่ใหญ่ขึ้นก็ย่อมต้องมีการคำนวณมากครั้งขึ้นเราจึงต้องพยายามใช้ขนาดของหน้ากากที่เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ในการทำคอนโวลูชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# พื้นฐานของภาพ

## 3.1 โมเดลภาพ

ภาพ (Image) หมายถึงฟังก์ชันของความเข้มแสงที่กำหนดโดยฟังก์ชัน f(x,y)เมื่อค่าแอมปลิจูด ( amplitude ) ของ f(x,y) ที่สปาเชียลโคออดิเนต ( spatial coordinate ) ( x,y ) ให้ค่าความเข้มแสง (intensity ) ที่จุดนั้นเนื่องจากแสงเป็นรูปหนึ่งของพลังงาน f(x,y) จึงไม่เป็นศูนย์ และอนันต์

$$0 < f(x,y) < \infty \qquad (3.1.1)$$

ภาพที่มองเห็นโดยทั่วไปประกอบด้วยแสงสะท้อนวัตถุ ตามธรรมชาติแล้ว f(x,y) จะถูกกำหนดคุณสมบัติจากองค์ประกอบ 2 ประการ อย่างแรกได้แก่ปริมาณแสงที่แพร่มาจากแหล่งกำเนิดมายังฉากที่กำลังมอง ซึ่งเรียกองค์ประกอบนี้ว่า ความสว่าง ( illumination ) แทนด้วย i(x,y) อีกอย่างคือปริมาณแสงสะท้อนออกจากวัตถุในฉากซึ่งเรียกว่าการสะท้อน ( reflection ) แทนด้วย r (x,y)ซึ่งผลคูณของ r(x,y) และ i(x,y) จะได้เป็น f(x,y)

$$f(x,y) = I(x,y)r(x,y) \qquad (3.1.2)$$

เมื่อ

$$0 < I(x,y) < \infty$$
$$0 < r(x,y) < 1 \qquad (3.1.3)$$

สมการที่ 3.1.3 แสดงว่าการสะท้อนมีค่าขอบเขตอยู่ระหว่าง 0 คือดูดซับแสงทั้งหมด และเป็น 1 เมื่อสะท้อนแสงทั้งหมด คุณลักษณะของ I(x,y) กำหนดโดยแหล่งกำเนิดแสง ส่วน r(x,y) กำหนดโดยคุณลักษณะของฉาก

สำหรับภาพโมโนโครมความเข้มของฟังก์ชันภาพ f(x,y) ที่จุด (x,y) ใด ๆ จะเรียกว่าระดับสีเทา ( gray level ) l ของภาพ ที่จุดนั้น ๆ มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดคือ

$$L\min \leq l \leq L\min \qquad (3.1.4)$$

เมื่อ $L$ min = i min r min เป็นบวก และ $L$ max = i max r max สามารถหาค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) และการควอนไทซ์ (Quantization)

ในการที่จะทำให้ภาพอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันของภาพ f(x,y) ต้องทำให้เป็นดิจิตอล ทั้งทางสปาเชียล และแอมปลิจูด การทำให้เป็นดิจิตอลของทาง สปาเชียล โคออดิเนต (x,y) จะเรียกว่าการสุ่มตัวอย่างภาพ (image sampling) ในขณะที่การทำให้เป็นจำนวนเชิงเลขในแง่ของแอมปลิจูดจะเรียกว่าการควอนไทซ์ระดับสีเทา (gray-level quantization)

การสุ่มตัวอย่างภาพจะต้องมีการคำนึงถึงแถบความถี่ปฏิบัติงาน (bandwidth) ของภาพ เนื่องจากเราจะเลือกความถี่ของการสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) ให้มีค่าอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่ปฏิบัติงานของภาพ มิฉะนั้นค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจะไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของภาพได้ เนื่องจากจะเกิดปัญหาความผิดเพี้ยนเนื่องจากผลของการเอเลสซิง (aliasing effect) รายละเอียดเกี่ยวกับการเลือกความถี่ของการสุ่มตัวอย่างแสดงไว้ในภาคผนวก

ภาพต่อเนื่อง f(x,y) จะได้รับการประมาณค่าโดยการสุ่มตัวอย่างแล้วนำมาเรียงกันในรูปแบบของ NxN อาเรย์ดังแสดงในสมการที่ 3.2.1 เมื่อแต่ละอิลิเมนต์ (element) ในอาเรย์เป็นจำนวนเต็มหน่วย

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (3.2.1)$$

ทางด้านขวาของสมการ จะเรียกว่าภาพดิจิตอล (digital image) ในขณะที่แต่ละอิลิเมนต์ของอาเรย์จะเรียกว่า องค์ประกอบภาพ (image element , picture element , pixel หรือ pel)

กระบวนการทำให้เป็นดิจิตอล ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับค่าของ N และจำนวนระดับสีเทาเต็มหน่วย (discrete gray – level) ที่มีได้ในแต่ละจุดภาพ (pixel) โดยปกติแล้วในทางปฏิบัติค่าทั้งสองจะเป็นค่าของสองยกกำลังจำนวนเต็ม

$$N = 2 \quad (3.2.2)$$

$$G = 2 \quad (3.2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ G เป็นจำนวนของระดับสีเทาจำนวนของบิตที่ต้องการในการเก็บภาพดิจิตอลแสดงในสมการที่ 3.2.4

$$b = N \times N \times m \qquad (3.2.4)$$

ตารางที่ 3.1 แสดงงจำนวนบิต ที่ใช้ในการจัดเก็บที่แปลตามค่า N ,m

| N\m | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 1024 | 2048 | 3027 | 4096 | 5120 | 6144 | 7816 | 8129 |
| 64 | 4096 | 8192 | 12288 | 16384 | 20480 | 24567 | 28672 | 32786 |
| 128 | 16384 | 32786 | 49152 | 65536 | 81920 | 98304 | 114686 | 131072 |
| 256 | 65536 | 113072 | 196608 | 262144 | 327680 | 393216 | 458725 | 524288 |
| 512 | 264144 | 524288 | 786432 | 1048576 | 1310720 | 1572864 | 1835008 | 2097152 |

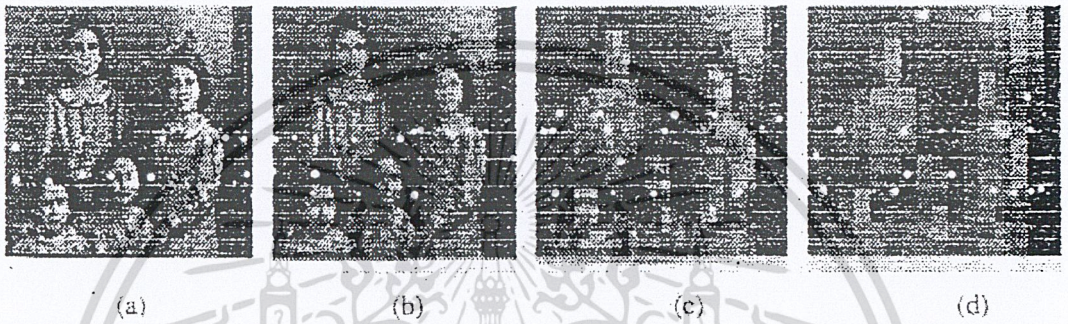
ตารางที่ 3.2 แสดงงจำนวนบิต ที่ใช้ในการจัดเก็บที่แปลตามค่า N ,m

| N\m | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 128 | 256 | 512 | 512 | 1024 | 1024 | 1024 | 1024 |
| 64 | 512 | 1024 | 2048 | 2048 | 4096 | 4096 | 4096 | 4096 |
| 128 | 2048 | 4096 | 8192 | 8192 | 1634 | 1634 | 1634 | 1634 |
| 256 | 8192 | 16384 | 32786 | 32786 | 65536 | 65536 | 65536 | 65536 |
| 512 | 32786 | 65536 | 131072 | 131072 | 262144 | 262144 | 262144 | 262144 |

อย่างเช่นภาพ 128 ×128 กับ 64 ระดับสีเทาต้องการที่เก็บ 980304 บิต ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของ b กับค่าของ N และ m ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนไบต์กับค่าของ N และ m จากสมการ 3.2.1 คือ การประมาณค่าของภาพต่อเนื่อง คำถามในตอนนี้ก็คือการสุ่มตัวอย่างเท่าไรจึงจะเพียงพอ เพื่อจะได้การประมาณค่าที่ดี ความละเอียด (resolution) ของภาพขึ้นอยู่กับค่า N และ m อยู่มาก การเพิ่มค่าเหล่านี้จะทำให้ ภาพดิจิตอลที่ได้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น แต่ว่าจากสมการ 3.2.4 จำนวนบิตที่ต้องการใช้ในการเก็บข้อมูลจะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของ N และ m จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพการพิจารณาว่าภาพนั้น ๆ ดี เป็นการยารกที่จะนิยามว่าคุณภาพที่ต้องการแปรผันตามงานที่ใช้ รูปที่ 3.1 แสดงผลของค่า N (การสุ่มตังอย่าง) จากรูปที่ 3.1 (a) เป็นภาพต้นฉบับขนาด 128 × 128 (b) , (c) และ (d) เป็นภาพเดียวกันแต่มีขนาด 64 × 64 , 32 × 32 และ 16 × 16 ตามลำดับ




รูปที่ 3.1 แสดงผลของ N ที่มีผลต่อคุณภาพของภาพ

จะเห็นได้ว่าใน รูปที่ 3.1 (b) จะพอดูได้แต่คุณภาพจะลดลงจากภาพต้นฉบับ ในรูปที่ 3.1 (c) ยังจะพอมองเห็นเค้าโครง ในรูปที่ 3.1 (d) ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นภาพอะไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การแปลงฟูริเยอร์ และการแปลงฟูริเยอร์ผกผันของภาพ

## 4.1 การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย

การแปลงฟูริเยอร์ (Fourier Transform) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนโดเมนของสัญญาณให้กลายเป็นโดเมนความถี่เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณ และเพื่อตัดสินใจเลือกขั้นตอนในการปรับปรุงสัญญาณที่เหมาะสมกับองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณนั้น ๆ

เนื่องจากในปริญญานิพนธ์ใช้เครื่องคำนวณเชิงเลขในการคำนวณ ดังนั้นข้อมูลที่จะใช้คำนวณในทุกขั้นตอนของการประมวลผลจะต้องอยู่ในรูปแบบที่เครื่องคำนวณเชิงเลขสามารถจัดการได้ คือจะต้องเป็นข้อมูลเชิงเลข (digital data) ด้วยเหตุผลดังกล่าวเราจึงไม่สามารถที่จะนำเครื่องคำนวณเชิงเลขคำนวณหาผลการแปลงฟูริเยอร์ของสัญญาณต่อเนื่อง (continuous signal) ได้โดยตรง แต่เราต้องสร้างลำดับสัญญาณเชิงเลขเต็มหน่วย (discrete digital signal) ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า ระดับสัญญาณเต็มหน่วย (discrete signal) ที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของสัญญาณต่อเนื่อง แล้วนำลำดับสัญญาณเต็มหน่วยไปคำนวณบนเครื่องคำนวณเชิงเลขแทน

การสร้างลำดับสัญญาณเต็มหน่วยเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสัญญาณต่อเนื่องนั้นจะใช้การสุ่มตัวอย่าง และการควอนไตซ์ที่ได้อธิบายไปแล้ว ในกรณีของสัญญาณ 1 มิติหารกำหนดให้ลำดับลำดับสัญญาณเต็มหน่วย {f (x) } x = 0, 1, 2,..., N – 1 เป็นลำดับสัญญาณเต็มหน่วยที่ได้จากกระบวนการสุ่มตัวอย่าง และการควอนไตซ์แล้ว เราจะสามารถหาผลของการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 1 มิติ ( One Dimensional Discrete Fourier Transform ) ซึ่งหากกำหนดให้ลำดับสัญญาณ { F(k) } เป็นผลของการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 1 มิติของ{ f(x) } แล้วจะได้ว่า

$$F(k) = DFT_{N,K}\{ f(n) \}$$
$$= \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \qquad (4.1.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากภาพมี 2 มิติ ดังนั้นการประมวลผลภพจึงเป็นการประมวลผลลำดับสัญญาณเต็มหน่วย 2 มิติ ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้ลำดับสัญญาณ { f (x,y) } x = 0, 1, 2, ..., N – 1 และy = 0, 1, 2, ..., M – 1 แทนลำดับสัญญาณของภาพเริ่มต้นซึ่งมีความกว้าง N จุด สูง M จุด สำหรับการหาผลของการแปลงฟูริเยอร์ของลำดับสัญญาณ { f (x,y) } นี้จะใช้การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติ (Two Dimensional Discrete Fourier Transform )ซึ่งหากกำหนดให้ลำดับสัญญาณ {F(u,v) } u = 0, 1, 2, ..., N – 1 และ v = 0, 1, 2, ..., M – 1 เป็นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติของ { f (x,y) } แล้ว

$$F(u,v) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{M}vm}e^{-j\frac{2\pi}{N}un} \qquad (4.1.2)$$

การคำนวณสมการที่ 4.1.2 นั้น นิยมแปลงรูปสมการ 4.1.2 ซึ่งเป็นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติให้อยู่ในรูปแบบของการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 1 มิติในสมการที่ 4.1.1 ซึ่งจะกระทำได้โดยการกระจายสมการ 4.1.2 ดังนี้

$$\begin{aligned} F(u,v) = &\Big(\sum_{m=0}^{M-1} f(0,m)e^{-j\frac{2\pi}{M}vm}\Big)e^{-j\frac{2\pi}{N}u(0)} + \\ &\Big(\sum_{m=0}^{M-1} f(1,m)e^{-j\frac{2\pi}{M}vm}\Big)e^{-j\frac{2\pi}{N}u(1)} + \\ &\ldots\ldots + \\ &\Big(\sum_{m=0}^{M-1} f(N-1,m)e^{-j\frac{2\pi}{M}vm}\Big)e^{-j\frac{2\pi}{N}u(N-1)} \end{aligned} \qquad (4.1.3)$$

เมื่อพิจารณาพจน์ในแต่ละวงเล็บจะพบว่า { f(x,y) } มีการแปรค่าในแนวเดียวคือแนว y จึงเสมือนเป็นลำดับสัญญาณ 1 มิติ และพจน์ในวงเล็บจึงกลายเป็นการหาการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยของลำดับสัญญาณ 1 มิติ หากลำดับสัญญาณ 1 มิติ { $g_x(y)$ } โดยที่ $g_x(y) = f(x,y)$ และให้$G_v(k)$ เป็นผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 1 มิติตำแหน่งที่ v ของ { $g_x(y)$ } เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} G_v(k) &= DFT_{M,v}\{ f(k,y) \} \\ &= \sum_{m=0}^{M-1} f(k,m)e^{-j\frac{2\pi}{M}vm} \end{aligned} \qquad (4.1.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราอาจเขียนสมการ 4.1.3 ได้เป็น

$$F(u,v) = G_v(0)\, e^{-j\frac{2\pi}{N}u(0)} + G_v(1)\, e^{-j\frac{2\pi}{N}u(1)} + \ldots + G_v(N\text{-}1)\, e^{-j\frac{2\pi}{N}u(N-1)}$$

$$= \sum_{n=0}^{N-1} G_v(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}un}$$

$$= DFT_{N,u}\{ G_v(n) \} \qquad (4.1.5)$$

จากสมการที่ 4.1.4 และ 4.1.5 เราจะได้ว่าเราสามารถที่จะหาการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติได้จากการหาการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 1 มิติ ขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นจะได้สมาชิกตำแหน่งเดียวของ { F(u,v) } หากต้องการหา { F(u,v) } ทั้งลำดับจะต้องทำซ้ำสำหรับทุกค่าของ u และ v

## 4.2 การแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์

จากสมการที่ 4.1.1 เราจะพบว่าในการคำนวณหาผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยเพื่อหา F(k) สำหรับ k เพียงค่าเดียวเราต้องใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อน N ครั้ง และต้องใช้การบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก N – 1 ครั้ง ดังนั้นหากเราต้องการหา { F(k) } ซึ่งประกอบไปด้วย F(k) ทั้งสิ้น N ค่า เราต้องใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อนทั้งสิ้น $N^2$ ครั้ง และการบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก N(N – 1)) ครั้ง ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณมาก

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการคิดค้นวิธีที่จะทำให้สามารถคำนวณผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยได้เร็วขึ้นโดยอาศัยการจัด การแบ่งข้อมูล และการใช้คุณสมบัติการซ้ำคาบ(periodicity) เราเรียกวิธีการดังกล่าวว่า **การแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์ ( Fast Fourier Transform ,FFT)** ซึ่งในปัจจุบันมีผู้คิดค้นมาแล้วหลายวิธี ในปริญญานิพนธ์นี้ใช้วิธีการคิดค้นโดยคูลี **(J.W. Cooley)** และทูคี **(J.W. Tukey)** ซึ่งมีชื่อว่าการแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์แบบฐานสอง (Radix 2 FFT)
เพื่อความสะดวกจะกำหนดฟังก์ชัน w(x) โดยที่

$$W_N(x) = e^{-j\frac{2\pi}{N}x} \qquad (4.2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$w_N(x)$ นี้เรียกว่าตัวประกอบหมุน (twiddle factor) ซึ่งทำให้เขียนสมการของ F(k) ได้เป็น

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) w_N(nk)$$

แบ่งทางด้านซ้ายมือของสมการออกเป็นผลบวกของสมชิกลำดับคู่ และผลบวกของสมชิกลำดับคี่ ดังนี้

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n) w_N(2nk) + \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n+1) w_N(2n+1)k$$

เพราะว่า $F(k) = .w_{N/2}(nk)$ และ $w_N(2n+1)k = w_N(k)\, w_{N/2}(nk)$ ดังนั้น

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n) w_{N/2}(nk) + w_N(k) \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n+1) w_N(nk)$$

ณ จุดนี้ เราสามารถนำคุณสมบัติการซ้ำคาบมาใช้เพื่อลดจำนวนครั้งของการคำนวณได้ สมมติให้ I = 0, 1, 2,..., N/2 – 1 เราจะพบว่า

$$F(i) = \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n) w_{N/2}(ni) + w_N(i) \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n+1) w_{N/2}(ni)$$

$$F(I+\frac{N}{2}) = \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n) w_{N/2}(n(i+\frac{N}{2})) + w_N(i+\frac{N}{2}) \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n+1) w_{N/2}(n(i+\frac{N}{2}))$$

$$F(I+\frac{N}{2}) = \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n) w_{N/2}(ni) - w_N(i) \sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n+1) w_{N/2}(ni)$$

จะพบว่าการหา F(k) ในช่วง $N/2 \le k \angle N$ เราไม่มีความจำเป็นที่จะต้องคำนวณ $\sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n) w_{N/2}(nk)$ และ $w_N$ (k) $\sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n+1) w_{N/2}(nk)$ เนื่องจากเราสามารถที่จะนำค่าในช่วง $0 \le k \angle N/2$ มาแทนที่ได้เพียงแต่นำมาลบกันแทน ดังนั้นเรามีความจำเป็นที่จะต้องคำนวณในช่วง $0 \le k \angle N/2$ เท่านั้นซึ่งจะได้ว่าในช่วงของ k ดังกล่าวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



$$\sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n)w_{N/2}(nk) = DFT_{N/2.k}\{f(2n)\}$$

และ $$\sum_{n=0}^{N/2-1} f(2n+1)w_{N/2}(nk) = DFT_{N/2.k}\{f(2n+1)\}$$

เขียนสมการที่ 4.2.2 ใหม่ได้ว่า

$$F(k) = DFT_{N/2.k}\{f(2n)\} + w_N(k)\, DFT_{N/2.k}\{f(2n+1)\}$$

โดยที่ I = จากสมการ 4.2.3 เราจะพบว่าหลังการแบ่งข้อมูล 1 ครั้ง ในการหา F(k) สำหรับค่า k เพียงค่าเดียว เราต้องใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อนจำนวน N/2 + N/2+1 = N+1 ครั้ง และการบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก (N/2-1) +(N/2-1) = N-1 ครั้งซึ่งจำนวนครั้งของการคูณจำนวนเชิงซ้อนมากกว่าในการคำนวณด้วยการแปลงฟูริเยอรเต็มหน่วย แต่ถ้าต้องการหา $\{F(k)\}$ ซึ่งประกอบด้วยF(k) สำหรับ k = 0, ,2, ... N –1 การหาจำนวนครั้งของการคำนวณแบ่งเป็น 2 ช่วง ในช่วง $0 \le k \angle N/2$ จำนวนครั้งของการคูณจำนวนเชิงซ้อนจะเป็น (n/2)(N+1) = N(N+1)/2 ครั้ง และจำนวนครั้งของการบวกจำนวนเชิงซ้อนจะเป็น (n/2)(N-1) = N(N-1)/2 ครั้ง ส่วนในช่วง $N/2 \le k \angle N$ นั้นเนื่องจากเราไม่ต้องคำนวณ $\sum_{n=0} f(2n)w_{N/2}(nk)$ และ $\sum_{n=0} f(2n+1)w_{N/2}(nk)$ ในช่วงนี้จึงมีแต่ละขั้นตอนของการลบจำนวนเชิงซ้อนซึ่งหากเราจะถือว่าการลบจำนวนเชิงซ้อนเป็นเสมือนการบวกชนิดหนึ่งแล้ว จะมีการบวกจำนวนเชิงซ้อนทั้งหมด (N/2)(1) =N/2 ครั้ง เมื่อรวมทั้งสองช่วงแล้วจึงจะได้ว่าการแบ่งข้อมูล 1 ครั้งทำให้จำนวนครั้งของการคูณจำนวนเชิงซ้อนเป็นN(N+1)/2 ครั้ง และจำนวนครั้งของการบวกจำนวนเชิงซ้อนจะเป็น N(N-1)/2+N/2 = $N^2/2$ ครั้งซึ่งน้อยกว่ากรณีที่คำนวณด้วยการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยมาก

การคำนวณหาผลการแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์มีข้อสังเกตดังนี้

1. การคำนวณจะเป็นในลักษณะแทนที่ นั่นคือตำแหน่งที่ใช้เก็บสัญญาณขาเข้าในตอนเริ่มคำนวณจะถูกเติมด้วยสัญญาณขาออกต่างหากทำให้สามารถประหยัดพื้นที่เก็บข้อมูลได้
2. ลำดับสัญญาณขาเข้าจะต้องถูกจัดลำดับใหม่ก่อนที่จะเริ่มคำนวณโโยที่ข้อมูลตำแหน่งใด ๆ ของลำดับสัญญาณขาเข้าจะต้องถูกย้ายไปเก็บในตำแหน่งใหม่ที่เกิดจากการกลับบิตของค่าตำแหน่งของข้อมูลนั้น ๆ เราเรียกการจัดลำดับแบบนี้ว่า ลำดับกลับบิต (bit-reversed order)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46536

ในการหาผลการแปลงฟาสท์ฟูรีเยอร์เราจะได้ผลการแปลงในทุกตำแหน่งมีใช่เพียงตำแหน่งเดียวเหมือนการหาผลการแปลงฟาสท์ฟูรีเยอร์เต็มหน่วย

## 4.3 การแปลงฟูรีเยอร์ผกผัน

การแปลงฟูรีเยอร์ผกผันของลำดับสัญญาณ 2 มิติกระทำได้จากสมการ 4.3.1

$$f(x,y) = \frac{1}{M}\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}F(n,m)e^{j\frac{2\pi}{M}xm}e^{j\frac{2\pi}{N}yn} \qquad (4.3.1)$$

ในการประมวลผลภาพเรามักจะละพจน์ $\frac{1}{M}\frac{1}{N}$ ทิ้งเนื่องจาก จะต้องมีการปรับข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมกับการแสดงผลบนจอภาพในภายหลังอยู่แล้ว หลังจากที่เราละพจน์ดังกล่าวสมการที่4.1.1 จะกลายเป็น

$$f(x,y) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}F(n,m)e^{j\frac{2\pi}{M}xm}e^{j\frac{2\pi}{N}yn} \qquad (4.3.2)$$

สมการดังกล่าวมีรูปแบบเดียวกับสมการการหาผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติ ต่างกันที่เพียงเครื่องหมายของเอ็กซโพเนนท์นั้น ดังนั้นเราสามารถที่จะใช้ฟังก์ชันในการหาผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติ มาหาการแปลงฟูรีเยอร์ผกผันได้โดยการหาเครื่องหมายเอ็กซ์โพเนนท์เท่านั้น

## 4.4 การย้ายตำแหน่งจุดศูนย์กลางของผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย

จากคุณสมบัติการซ้ำคาบของผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย

$$\begin{aligned}
F(u-N,v-N) &= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}((u-N)n+(v-N)m)} \\
&= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}((nu+mv)}e^{j\frac{2\pi}{N}N(n+m)} \\
&= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}(un+vm)} \\
&= F(u,v)
\end{aligned}$$

จะทำให้ได้ภาพผลการแปลงเป็นดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาผลการแปลงฟาสท์ฟูรีเยอร์เราจะได้ผลการแปลงในทุกตำแหน่งมีใช่เพียงตำแหน่งเดียวเหมือนการหาผลการแปลงฟาสท์ฟูรีเยอร์เต็มหน่วย

## 4.3 การแปลงฟูรีเยอร์ผกผัน

การแปลงฟูรีเยอร์ผกผันของลำดับสัญญาณ 2 มิติกระทำได้จากสมการ 4.3.1

$$f(x,y) = \frac{1}{M}\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}F(n,m)e^{j\frac{2\pi}{M}xm}e^{j\frac{2\pi}{N}ym} \qquad (4.3.1)$$

ในการประมวลผลภาพเรามักจะละพจน์ $\frac{1}{M}\frac{1}{N}$ ทิ้งเนื่องจาก จะต้องมีการปรับข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมกับการแสดงผลบนจอภาพในภายหลังอยู่แล้ว หลังจากที่เราละพจน์ดังกล่าวสมการที่4.1.1 จะกลายเป็น

$$f(x,y) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}F(n,m)e^{j\frac{2\pi}{M}xm}e^{j\frac{2\pi}{N}ym} \qquad (4.3.2)$$

สมการดังกล่าวมีรูปแบบเดียวกับสมการการหาผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติ ต่างกันที่เพียงเครื่องหมายของเอ็กซโพเนนท์นั้น ดังนั้นเราสามารถที่จะใช้ฟังก์ชันในการหาผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติ มาหาการแปลงฟูรีเยอร์ผกผันได้โดยการหาเครื่องหมายเอ็กซ์โพเนนท์เท่านั้น

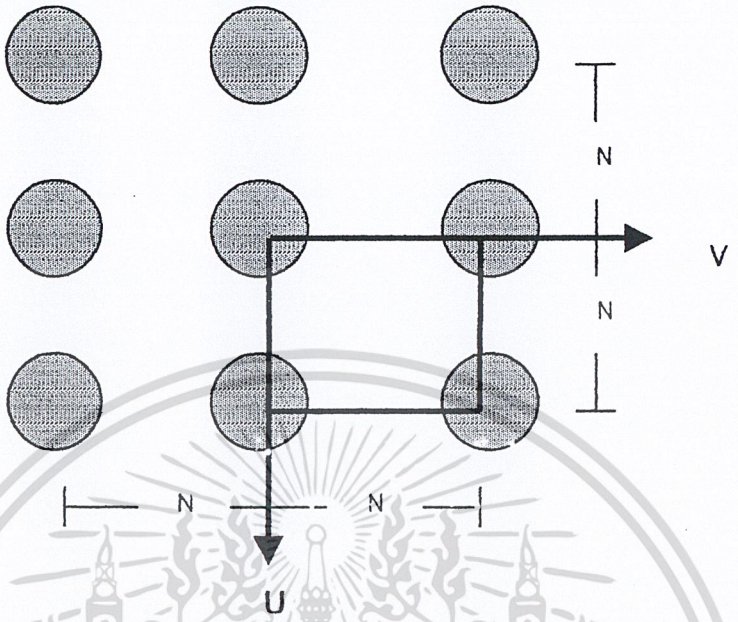
## 4.4 การย้ายตำแหน่งจุดศูนย์กลางของผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย

จากคุณสมบัติการซ้ำคาบของผลการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย

$$\begin{aligned}
F(u-N,v-N) &= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}((u-N)n+(v-N)m)} \\
&= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}((nu+mv)}e^{j\frac{2\pi}{N}N(n+m)} \\
&= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1}f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}(un+vm)} \\
&= F(u,v)
\end{aligned}$$

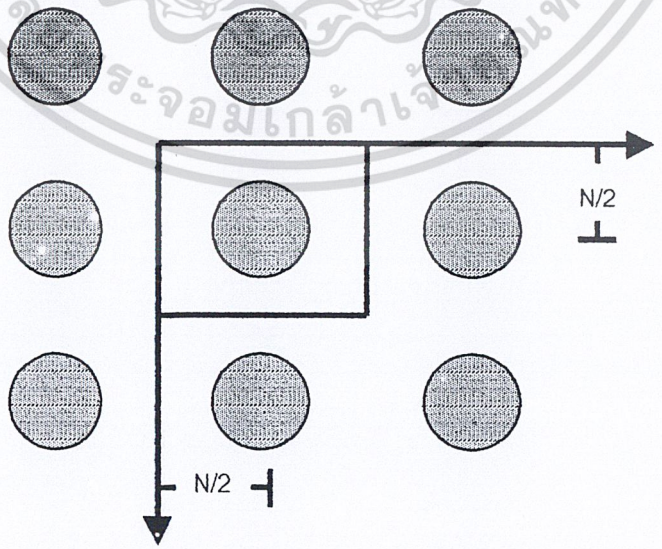
จะทำให้ได้ภาพผลการแปลงเป็นดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.1 การซ้ำคาบของผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย

การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย และการแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์ที่กล่าวมาข้างต้นจะให้ภาพผลการแปลงดังที่เห็นเป็นบริเวณสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.1 ซึ่งลักษณะไม่สะดวกในการวิเคราะห์เนื่องจากจุดศูนย์กลางของผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยอยู่ที่บริเวณมุมซ้ายบนของภาพ การย้ายจุดศูนย์กลางคือ การทำให้จุดศูนย์กลางเคลื่อนไปอยู่ที่จุดกึ่งกลางภาพดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2




รูปที่ 4.2 แสดงการย้ายจุดกำเนิดเพื่อความสะดวกในการมอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก F(u,v) จะซ้ำคาบทุก ๆ N ดังนั้นหากเราต้องการให้จุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกึ่งกลางภาพ เราต้องเลื่อนผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยทั้งในแนว u และ v แนวละ N/2 โดยการแทน u = u +N/2 และ v = v + N/2 ในสมการการหาผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย 2 มิติ (สมการที่ 4.1.2) จะได้ว่า

$$F(u+\frac{N}{2},v+\frac{N}{2}) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}((u+\frac{N}{2})n+(v+\frac{N}{2})m)}$$

$$= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} f(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}((un+vm)+\frac{N}{2}(n+m)}$$

$$= \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} f(n,m)e^{-j\pi(n+m)}e^{-j\frac{2\pi}{N}(un+vm)}$$

$$F(u+\frac{N}{2},v+\frac{N}{2}) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} f(n,m)(-1)^{(n+m)}e^{-j\frac{2\pi}{N}(un+vm)} \qquad (4.4.1)$$

สมการ4.3.1 เป็นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยซึ่งมีการย้ายจุดศูนย์กลางของผลการแปลงด้วยซึ่งเราสามารถนำการแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์มาใช้คำนวณเพื่อให้การคำนวณใช้เวลาสั้นลง แต่เนื่องจากเป็นการไม่สะดวกที่จะแก้ไขกระบวนการแปลงฟูริเยอร์ ในปริญญานิพนธ์นี้จึงเลี่ยงไปใช้วิธีการเปลี่ยนสัญญาณขาเข้า {f(x,y)} ให้กลายเป็นลำดับสัญญาณ { f (x,y)} โดย f (x,y) = f(x,y)(-1) $^{(x+y)}$ แล้วนำ ไปหาผลการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยหรือการแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์ดังแสดงไว้ในสมการ 4.4.2

$$F(u+\frac{N}{2},v+\frac{N}{2}) = \sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=0}^{M-1} f'(n,m)e^{-j\frac{2\pi}{N}(un+vm)}, f'(x,y) = f(x,y)(-1)^{(x+y)} \qquad (4.4.2)$$

สำหรับในตอนแปลงผกผันนั้น ผลการแปลงผกผันที่ได้จะเป็น { f (x,y)} เราจึงต้องเปลี่ยนกลับเป็น{f(x,y)} ดังนี้

$$f'(x,y) = f(x,y)(-1)^{(x+y)}$$

$$f'(x,y)(-1)^{(x+y)} = f(x,y)(-1)^{(x+y)}(-1)^{(x+y)}$$

$$= f(x,y)(-1)^{2(x+y)}$$

$$f'(x,y)(-1)^{(x+y)} = f(x,y)(-1) \qquad (4.4.3)$$

สมการ 4.3.3 จะใช้สำหรับเปลี่ยน { f (x,y)} กลับเป็น { f(x,y)} ตามเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การประมวลผลสัญญาณ

## 5.1 กระบวนการในโดเมนความถี่

พื้นฐานของการกระทำการทางโดเมนความถี่คือทฤษฎีการประสาน ( convolution ) ให้ g(x,y) เป็นภาพที่ได้จากการประสานภาพ *f(x,y)* กับตัวจัดการตำแหน่งยืนยงเชิงเส้น ( Linear , Position – invariant Operator ) *h(x,y)* ที่มีความสัมพันธ์ดังสามการที่ 5.1

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) \qquad (5.1.1)$$

จากทฤษฎีการประสานในบทที่แล้วเราจะได้ความสัมพันธ์ในโดเมนความถี่คือ

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) \qquad (5.1.2)$$

เมื่อ G(u,v) , H(u,v) และ F(u,v) เป็นผลการแปลงฟูริเยอร์ ของ g( x,y ) , h (x,y ) และ f(x,y) ตามลำดับ H (u,v ) บางทีก็เรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอน ( Transfer Eunction ) ของกระบวนการ

การปรับปรุงภาพสามารถกระทำได้ในรูปแบบของสมการที่ 5.1.2 โดยทั่วไปแล้วการปรับปรุงภาพ ภาพ f(x,y) จะให้มาและเราจะรู้ที่เราต้องการ จะทำโดยการแปลงฟูริเยอร์ F(u,v) จากการนั้นนำไปคูณกับ H(u,v) ที่เลือกให้เหมาะกับภาพที่ต้องการปรับปรุง แล้วทำการแปลงฟูริเยอร์ผกผันกับ ผลการคูณ ดังนั้นภาพที่ปรับปรุงจะได้จากสมการที่ 5.1.3

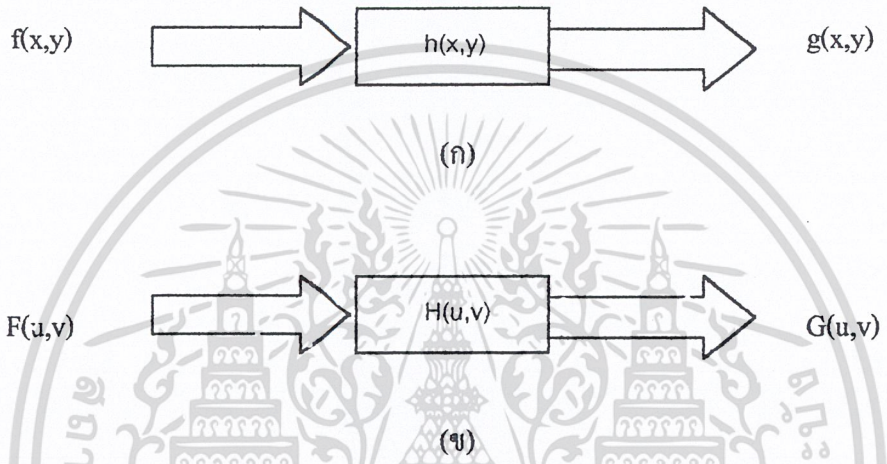
$$g(x,y) = IFFT\,[H(u,v)F(u,v)] \qquad (5.1.3)$$

การแสดงจุดเด่นบางประการของภาพ f(x ,y) อย่างเช่นขอบภาพใน f(x,y) สามารถเน้นได้โดยการเลือกใช้ฟังก์ชัน H(u,v) ที่ขยายส่วนความถี่สูงของ F(u,v) ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อ 5.2

ในรูปที่ 5.1(ก) h(x,y) เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของระบบ ซึ่งมี ฟังก์ชันที่จะผลิต g(x,y) จากภาพอินพุท f(x,y) ระบบจะทำการประสาน h(x,y) กับ ภาพอินพุท f(x,y) แล้วได้ผลลัพธ์ที่เอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น g(x,y) จากทฤษฎีการประสานเราสามารถใช้วิธีอื่นในการที่จะได้มาซึ่งผลอันเดียวกัน โดยการทำโดเมนความถี่ โดยการคูณ F(u,v) ด้วย H(u,v) จะได้ G(u,v) แล้วทำการแปลงฟูริเยอร์ผกผันที่เอาท์พุทจะได้ภาพตามที่ต้องการ




รูปที่5.1 แสดงการจัดการของระบบเชิงเส้น (ก) เอาท์พุทของระบบเป็นการประสาน h (x,y) กับอินพุท (ข) เอาท์พุทเป็นผลคูณของ H(u,v) กับอินพุท

ถ้าเราไม่รู้ h(x,y) แล้วเราป้อนฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย ( unit impulses function ) ให้กับระบบ เราทราบกันดีว่าผลการแปลงฟูริเยอร์ของอิมพัลส์ฟังก์ชันเท่ากับ 1 ดังนั้นจากสมการที่ 5.1.2 ได้ G(u,v) = H(u,v) ผลการแปลงฟูริเยอร์ผกผันจะได้ h(x,y) ผลนี้เป็นที่รู้จักกันดีในทฤษฎีระบบเชิงเส้น ( liner system theory ) ว่าเป็นระบบตำแหน่งยืนยงเชิงเส้น ( liner , position invariant system ) ซึ่งแสดงคุณสมบัติของการตอบสนองอิมพัลส์ ถ้าผลการแปลงฟูริเยอร์ของอิมพัลส์ถูกป้อนให้ระบบเอาท์พุทของระบบจะเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ H(u,v) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าป้อนอิมพัลส์โดยตรงจะได้ h(x,y) ที่เอาท์พุท ซึ่ง h(x,y) นี้จะเรียกว่าผลการตอบสนองอิมพัลส์ ( impulses response )

ในสมการที่ 5.1.1 อธิบายการกระทำทาง สปาเชียลซึ่งใช้การมาสก์ ที่กล่าวถึงในส่วนก่อนหน้านี้ ในความเป็นจริงแล้วเป็นการประสานเชิงเลข ( discrete convolution ) จากเหตุผลนี้ สปาเชียลมาสก์ ที่กล่าวถึงในส่วนก่อนหน้านี้มักจะเรียกว่าการประสานมาสก์ แต่อย่างไรก็ตามจุดประสงค์หลักที่จะสนับสนุนนี้ จากทฤษฎีการประสาน ต้องการว่า H(u,v) กับ h(x,y) ต้องมีขนาดเดียวกัน ยกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ถ้า H(u,v) มีขนาด 512 x 512 h(x,y) มีขนาด 512 x 512 เช่นกัน จากสมการ 5.1.1 จะให้ผลในสปาเชียล ที่เท่ากันก็ต่อเมื่อ h(x,y) มีขนาดเท่ากัน การประสานเชิงเลข กับอาเรย์ขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ถ้าทำในโดเมนความถี่โดยใช้ การแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์ ( Fast Fourier Transform หรือ FFT ) เข้าช่วย ในตอนหลังเราสามารถพัฒนาวิธีการที่จะใช้การประสานมาสก์เล็ก ๆ ในสปาเชียลโดเมน ที่ได้จากการประมาณค่าของ H(u,v) แบบกำสองผิดพลาดน้อยที่สุด ( least–square error ) สามารถใช้กับการประมวลผลทางสปาเชียลได้ดี

## 5.2 ตัวกรอง 2 มิติ (Filter)

ตัวกรองคือฟังก์ชันที่แปรผันตามความถี่สามารถแบ่งได้เป็นหลายชนิดตามผลการตอบสนองความถี่เช่น ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ ( Lowpass Filter ) ตัวกรองผ่านความถี่สูง ( Highpass Filter ), ตัวกรองผ่านแถบความถี่ ( Bandpass Filter ) และตัวกรองหยุดแถบความถี่ ( Bandrestop Filter ) เป็นต้น ในตอนนี้จะกล่าวถึงตัวกรองที่สำคัญเท่านั้น

### 5.2.1 ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ ( Lowpass Filter )

ขอบของภาพ และการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ( เช่น นอยส์ ( Noise ) ) ในระดับความสว่างของภาพ มักจะประกอบด้วยองค์ประกอบความถี่สูงในโดเมนความถี่ของการแปลงฟูริเยอร์ การจะทำให้ภาพดูนุ่มนวลขึ้น หรือเบลอ สามารถทำได้ในโดเมนความถี่ของภาพ โดยการลดทอนองค์ประกอบความถี่สูงในโดเมนความถี่ในช่วงที่กำหนดจากสมการ 5.1.2 เราจะได้ความสัมพันธ์คือ

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) \qquad (5.2.1)$$

เมื่อ F(u,v) เป็นผลการแปลงฟูริเยอร์ของภาพที่เราต้องการทำให้นุ่มนวลขึ้น ปัญหาคือว่าเราจะหาฟังก์ชัน H(u,v) ที่ให้ G(u,v) ที่เป็นการลดทอนองค์ประกอบความถี่สูงของ F(u,v) ได้อย่างไร การแปลงฟูริเยอร์ผกผันของ G(u,v) จะได้ภาพ g(x,y) ที่นุ่มนวลขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบความถี่ถูกกรองออกไป ส่วนองค์ประกอบความถี่ต่ำผ่านไปโดยไม่มีการลดทอน วิธีการที่กล่าวมานี้เรียกว่าการกรองความถี่ต่ำผ่าน ฟังก์ชัน H(u,v) ที่กล่าวถึง ในที่นี้เรียกว่า ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรอง (Filter Transfer Function) ตัวกรองจะเป็นฟังก์ชันที่มีผลต่อส่วนจริง และส่วนจินตภาพของผลการแปลงฟูริเยอร์ F(u,v) เนื่องจากตัวกรองควรที่จะเป็นแบบไม่มีการเลื่อนเฟส (Zero – phase shift) เพราะว่าเฟสเป็นส่วนสำคัญของภาพจึงไม่ควรถูกรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( ก ) ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำอุดมคติ

ตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติ ได้นิยามฟังก์ชันถ่ายโอนความสัมพันธ์ดังนี้

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & if \quad D(u,v > D_0 \\ 1 & if \quad D(u,v) \leq D_0 \end{cases} \qquad (5.2.2)$$

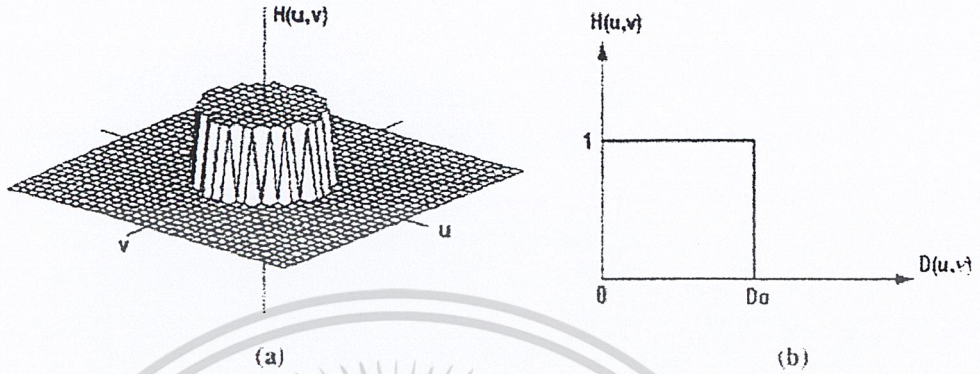
เมื่อ $D_0$ เป็นจำนวนจริงบวก และ $D(u,v)$ เป็นระยะของจุด (u,v) ถึง จุดกำเนิด (origin) ในแกนความถี่ซึ่งมีค่าดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 5.2.3

$$D(u,v) = (u^2 + v^2)^{1/2} \qquad (5.2.3)$$

ภาพ 3 มิติแสดงฟังก์ชันของตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติ แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าทุกค่าความถี่ในวงกลมรัศมี $D_0$ ซึ่งเป็นความถี่ต่ำจะผ่านไปโดยไม่มีการลดทอน แต่ในขณะที่ทุกค่าความความถี่ภายนอกวงกลมซึ่งเป็นความถี่สูงจะถูกลดทอนลงอย่างสิ้นเชิง

ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำในที่นี้จะเป็นแบบสมมาตรรอบจุดกำเนิด เพื่อให้ตัวกรองนั้นมีคุณสมบัติเพียงพอกับข้อกำหนดที่ต้องการ ภาพตัดขวางของตัวกรองเป็นฟังก์ชันของระยะทางจากจุดกำเนิดตามแนวรัศมีดังแสดงในรูปที่ 5.2(b) ฟังก์ชันถ่ายโอนที่สมบูรณ์ของตัวกรองสามารถสร้างโดยการหมุนภาคตัดขวางไป 360 องศารอบจุดกำเนิด ซึ่งมีจุดศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางระนาบความถี่ รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด NxN ของภาพ เนื่องจากว่าจุดกำเนิดของผลการแปลงฟูริเยอร์ F(u,v) มีศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางของสี่เหลี่ยมจัตุรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.2 แสดงตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติ (a) แสดงรูป 3 มิติ (b) แสดงภาพตัดขวาง

สำหรับตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติระหว่าง H(u,v) = 1 จะเรียกว่าความถี่คัทออฟ (cut – off frequency) เช่นความถี่คัทออฟ ของรูปที่ 5.2 (b) คือ $D_0$ จากภาคตัดขวางถูกนำมาหมุนรอบจุดกำเนิดที่ $D_0$ จะกลายเป็นขอบของวงกลม และจุดมีคัทออฟที่มีระยะห่างจากจุดกำเนิด $D_0$ เราพบว่าค่าความถี่คัทออฟนี้จะเป็นประโยชน์ในการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองต่าง ๆ และใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบคุณลักษณะของตัวกรองชนิดต่าง ๆ

สำหรับคัทออฟที่คมดังแสดงในรูปที่5.2นี้จะไม่สามารถที่จะสังเคราะห์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ แต่เราสามารถทำการสร้าง ( simulate ) ด้วยคอมพิวเตอร์ได้

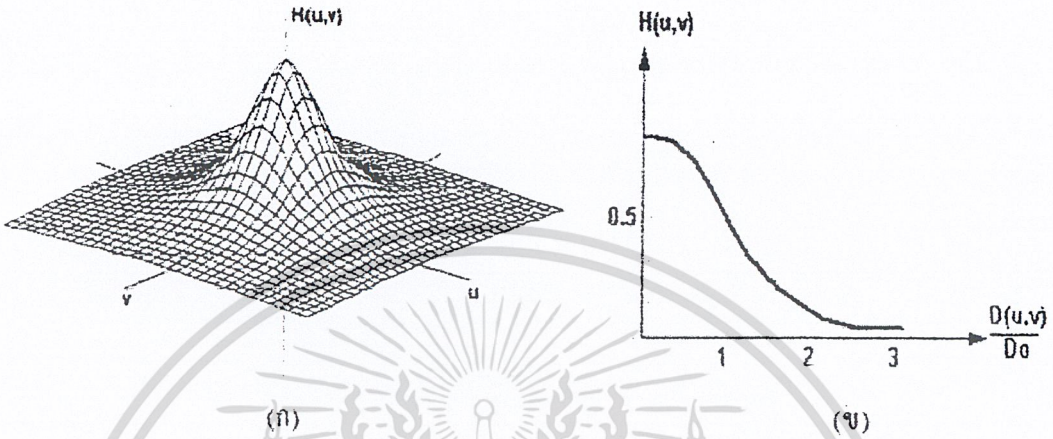
( ข ) ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำบัตเตอร์เวอร์ธ

ตัวกรองความผ่านถี่ต่ำบัตเตอร์เวอร์ธอันดับ n (order n) ที่มีความถี่คัทออฟ $D_0$ นิยามไว้ด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D(u,v) / D_0]^{2n}} \qquad (5.2.4)$$

ซึ่งมีภาพ 3 มิติแสดงไว้ในรูปที่ 5.3 ตัวกรองความผ่านถี่ต่ำบัตเตอร์เวอร์ธไม่มีช่วงคัทออฟที่คมซึ่งแยกแถบผ่าน (pass band) กับแถบหยุด (stop band) ไว้อย่างชัดเจน แต่จะมีช่วงเปลี่ยนสถานะ (transition band) ที่เรียบดังรูปที่5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.3 แสดง Butterworth Lowpass Filter

( ก ) แสดงรูป 3 มิติ ( ข ) แสดงภาพตัดขวาง

ในสมการที่ 5.2.4 เราพบว่าที่ความถี่คัทออฟ $D(u,v) = D_0$ ค่า $H(u,v)$ จะลดลงเหลือ 1/2 หรือ 50% จากค่าสูงสุดซึ่งโดยส่วนใหญ่เราจะใช้ $H(u,v) = 1/2$ หรือ 70.7% ของค่าสูงสุดเป็นค่า $H(u,v)$ ที่ความถี่คัทออฟ ดังนั้นเราสามารถปรับปรุงสมการที่ 5.2..4 ได้โดยง่ายเป็น

$$H(u,v) = \frac{1}{1+(\sqrt{2}-1)\left[D(u,v)/D_0\right]^{2n}} \qquad (5.2.5a)$$

$$\boxed{H(u,v) = \frac{1}{1+(0.414)\left[D(u,v)/D_0\right]^{2n}}} \qquad (5.2.5b)$$

**5.2.2 ตัวกรองผ่านความถี่สูง**

ภาพสามารถถูกทำให้เบลอได้ โดยการลดทอนส่วนความถี่สูงของภาพในโดเมนความถี่ หรือนำไปผ่านตัวกรองความผ่านถี่ต่ำ ส่วนของภาพที่เป็นขอบ และที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันขอบระดับสีเทา (gray level) นั้นจะประกอบด้วยองค์ประกอบความถี่สูง ดังนั้นการทำภาพให้คมชัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

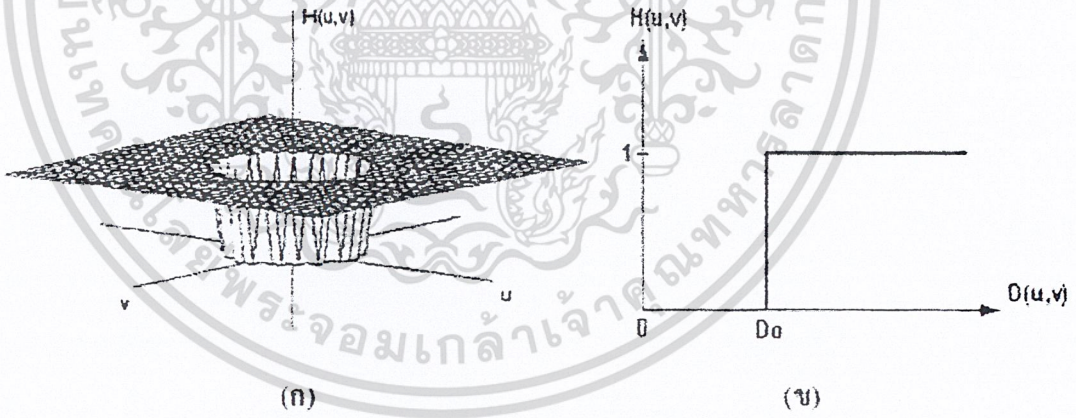
สามารถทำได้ โดยกระบวนการกรองผ่านความถี่สูง ซึ่งทำโดยลดทอนส่วนความถี่ต่ำโดยที่ไม่ลดทอนความสูง

( ก ) ตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติ

ตัวกรองผ่านความถี่สูง 2 มิติอุดมคติ สามารถให้คำจำกัดความได้ดังนี้

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u,v) \le D_0 \\ 1 & \text{if } D(u,v) > D_0 \end{cases} \qquad (5.2.6)$$

เมื่อ $D_0$ คือค่าระยะดัทออฟที่วัดจากจุดกำเนิดและ D(u,v) มีค่าตามสมการ 5.2.3 รูป 3 มิติและภาคตัดขวางของฟังก์ชันตัวกรองแสดงไว้ในรูปที่ 4.7(ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวกรองนี้ตรงกันข้ามกับตัวลงอย่างสิ้นเชิง ขณะเดียวกันองค์ประกอบความถี่สูงภายนอกวงกลมจะผ่านไปโดยไม่มีการลดทอนเช่นเดียวกับตัวกรองผ่านความถี่ต่ำอุดมคติ ตัวกรองนี้ก็ไม่สามารถทำให้เป็นจริงได้ทางกายภาพ




รูปที่ 5.4 แสดงตัวกรองผ่านความถี่สูงอุดมคติ

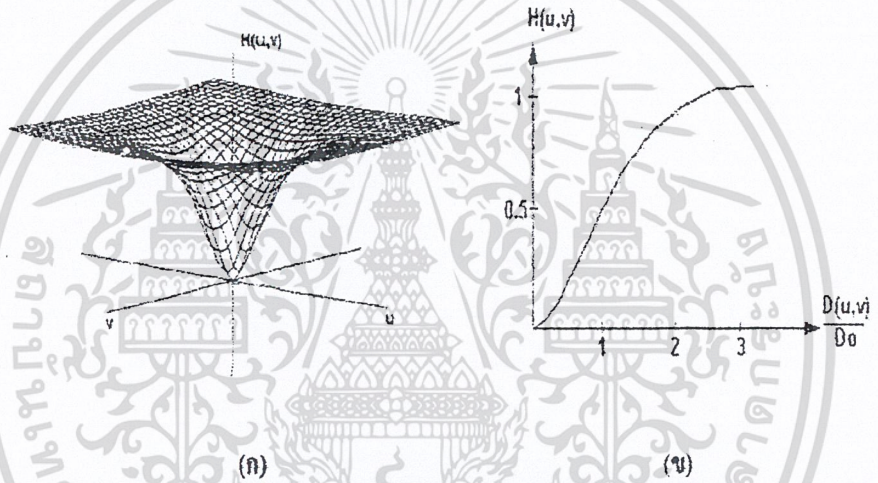
(ก) แสดงรูป 3 มิติ (ข) แสดงภาพตัดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**( ข ) ตัวกรองความถี่สูงผ่านบัตเตอร์เวอร์ธ**

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองผ่านความถี่สูงแบบบัตเตอร์เวอร์ธอันดับ n และความถี่คัทออฟที่ระยะ $D_0$ จากจุดกำเนิดสามารถแสดงด้วยความสัมพันธ์

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D_0 / D(u,v)]^{2n}} \qquad (5.2.7)$$




**รูปที่ 5.5 แสดงตัวกรองผ่านความถี่สูงแบบบัตเตอร์เวอร์ธ**
**(ก) แสดงรูป 3 มิติ (ข) แสดงภาพตัดขวาง**

จากสมการ 5.2.7 ที่คัทออฟ $D(u,v) = D_0$ $H(u,v)$ จะมีค่าลดลงเหลือ 1/2 ของค่าสูงสุดเช่นเดียวกับ ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวอร์ธ เป็นธรรมดาที่จะให้ค่าของ H(u,v) ที่ความถี่คัทออฟมีค่าลดลงเหลือ $1/\sqrt{2}$ ของค่าสูงสุดสมการ 5.2.7 สามารถปรับปรุงให้สอดคล้องตามต้องการอย่างง่ายดาย โดยการจัดระดับ จะได้เป็นสมการที่ 5.2.8

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + (\sqrt{2}-1)[D_0 / D(u,v)]^{2n}} \qquad (5.2.8a)$$

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + (0.414)[D_0 / D(u,v)]^{2n}} \qquad (5.2.8b)$$

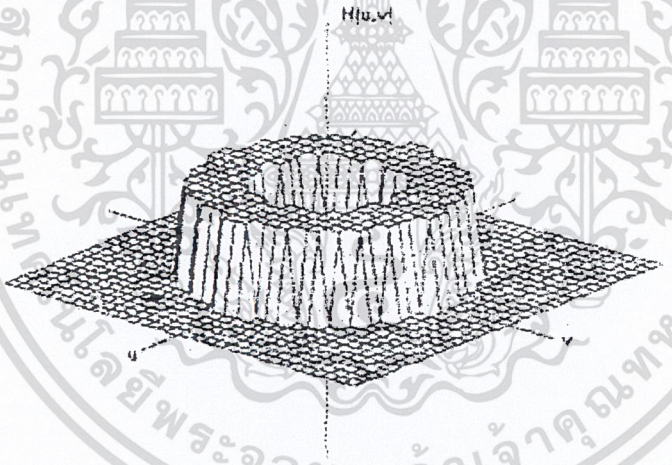
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 ตัวกรองผ่านช่วงความถี่อุดมคติ

ตัวกรองผ่านช่วงความถี่ผ่านอุดมคตินิยามฟังก์ชันถ่ายโอนไว้ด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u,v) < D_1 \text{ และ } D(u,v) > D_2 \\ 1 & \text{if } D(u,v) \leq D_2 \end{cases} \qquad (5.2.9)$$

เมื่อ $D_1$ และ $D_2$ เป็นจำนวนจริงบวก $D_2 > D_1$ และ D(u,v) เป็นระยะของจุด (u,v) ถึงจุดกำเนิดในแกนความถี่ ภาพ 3 มิติแสดงฟังก์ชันของตัวกรองผ่านช่วงความถี่อุดมคติแสดงไว้ในรูปที่ 5.5 ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า ทุกค่าความความถี่ในวงแหวนรัศมี $D_1$ , $D_2$ จะผ่านไปโดยไม่มีการลดทอน แต่ในขณะที่ทุกค่าความความถี่ภายนอกวงแหวนจะถูกลดทอนลงอย่างสิ้นเชิง




รูปที่ 5.6 แสดงตัวกรองผ่านช่วงความถี่

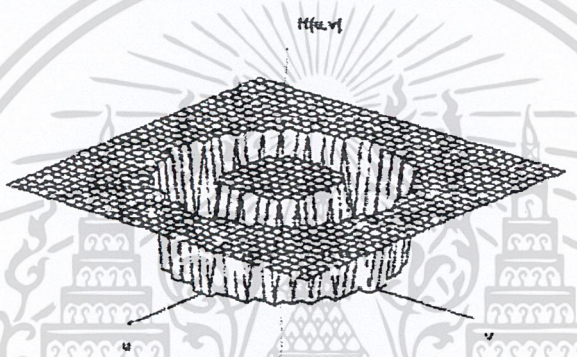
### 5.2.4 ตัวกรองหยุดช่วงความถี่อุดมคติ

ตัวกรองหยุดช่วงความถี่อุดมคติ นิยาม ฟังก์ชันถ่ายโอนไว้ด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D_1 D(u,v) \leq D_2 \\ 1 & \text{if } D(u,v) < D_1 \text{ และ } D(u,v) > D_2 \end{cases} \qquad (5.2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $D_1$ และ $D_2$ เป็นจำนวนจริงบวก $D_2 > D_1$ และ D(u,v) เป็นระยะของจุด(u,v) ถึงจุดกำเนิดในแกนความถี่ภาพ 3 มิติ แสดงฟังก์ชันของตัวกรองหยุดช่วงความถี่อุดมคติ แสดงไว้ในรูปที่ 5.6 ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า ทุกค่าความความถี่นอกวงแหวนรัศมี $D_1$ , $D_2$ จะผ่านไปโดยไม่มีการลดทอน แต่ในขณะที่ทุกค่าความถี่ภายในวงแหวนจะถูกลดลงอย่างสิ้นเชิง

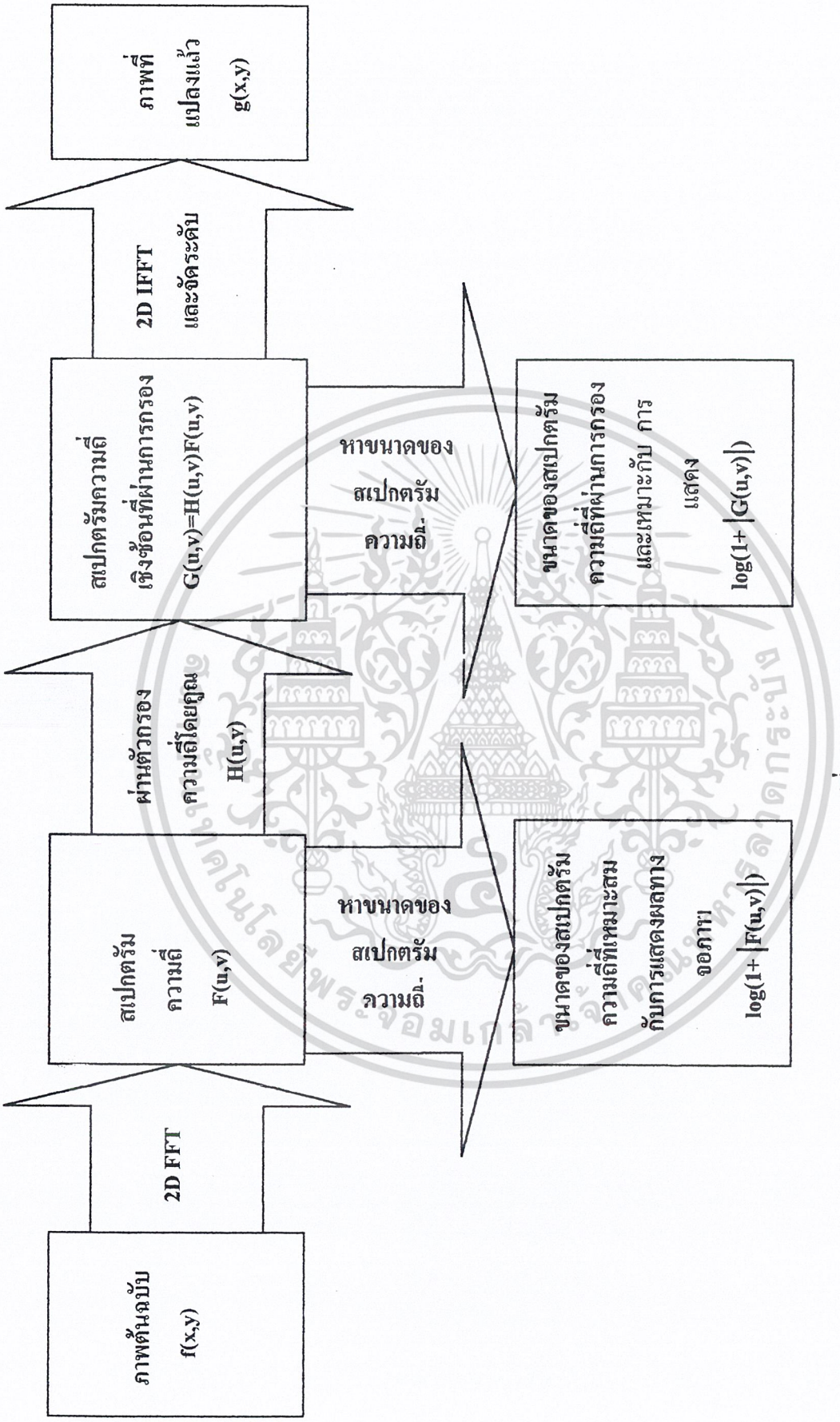



รูปที่ 5.7 แสดงตัวกรองหยุดช่วงความถี่

**5.3 การกรองภาพระดับสีเทา**

ในปริญญานิพนธ์นี้ใช้ กระบวนการทางโดเมนความถี่ในการทำการกรอง โดยจะทำการแปลงภาพต้นฉบับ f(x,y) ซึ่งเป็นภาพระดับสีเทา 256 ระดับ ให้อยู่ในโดเมนความถี่โดยการแปลงฟาสฟูริเยอร์ (FFT) ซึ่งจะได้ F(u,v) เป็นผลของการเปลี่ยนแปลง ทำการหาขนาดและจัดระดับ F(u ,v) ให้เหมาะสมกับการแสดงผลโดยการบีบอัดไดนามิกเรจน์ นำโดเมนความถี่ของภาพ F(u,v) มาทำการคูณกับฟังก์ชันถ่ายโอน H(u,v) ของตัวกรองที่คำนวณค่าตามชนิดของตัวกรอง และค่าคัทออฟตามที่ผู้ใช้ต้องการ จะได้ G(u,v) = H(u,v)F(u,v) โดย G(u,v) เป็นผลที่ได้จากการคูณกัน ทำการหาขนาดและจัดระดับ G(u,v) ให้เหมาะสมกับการแสดงผล จากนั้นนำ G(u,v) มาแปลงอินเวอร์สฟาสฟูริเยอร์ (IFFT) จะได้ g(x,y) = IFFT [H(u,v)F(u,v) ] ทำการจัดระดับ g(x,y) ให้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับภาพต้นฉบับจะได้ภาพระดับสีเทาที่ผ่านการกรอง g(x,y) กระบวนการกรองที่กล่าวมาสามารถแสดงเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 5.8 แสดงการทำการกรอง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# การเลือกช่วงที่เหมาะสมใน 2-D DFT DOMAIN

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ บอกถึงวิธีการเพื่อการสับเปลี่ยนและเงื่อนไขต่าง ๆ ของลายน้ำกับภาพดิจิตอล ซึ่งการซ่อนจุดจะทำการซ่อนในรูปแบบของ DFT จะมีประสิทธิภาพคงทนต่อการบีบอัดข้อมูล การปรับแต่ง การหมุน โดยภาพลายน้ำจะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และในการ Detect ไม่จำเป็นต้องอาศัยภาพต้นแบบ

ข้อมูลดิจิตอลสามารถคัดลอกได้โดยง่าย ภาพลายน้ำจึงมีบทบาทที่สำคัญในการป้องกันลิขสิทธ์ ภาพลายน้ำจะใส่ข้อมูลเกี่ยวกับเจ้าของลิขสิทธ์และจะถูกฝังอยู่แบบถาวรในรูปดิจิตอล ต่อมาเราจะพูดถึงขอบเขตของการป้องกันภาพดิจิตอล

ลายน้ำ จะใช้การแทรกเข้าไปในภาพ ( เช่น กระบวนการประมวลผลภาพ และ การบีบอัดภาพ ) ซึ่งจะไม่สามารถมองเห็นได้ มันจะถูกรวมเข้าเป็นส่วนหนึ่งของภาพโดยที่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับภาพ

ลายน้ำจะต้องทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เพราะถ้าหากสามารถมองเห็นได้ก็จะสามารถนำออกไปจากภาพได้ ลายน้ำจะต้องตรวจไม่พบโดยวิธีการทั่ว ๆ ไป ไม่เช่นนั้นก็จะถูกทำลายได้โดยง่าย

กระบวนการประมวลผลภาพ ไม่เพียงแต่จะทำการแก้ไขภาพเท่านั้นแต่ยังรวมไปถึงลายน้ำด้วย ผู้ที่ต้องการละเมิดลิขสิทธ์อาจจะพยายามใช้กระบวนการประมวลผลภาพในการตรวจหาลายน้ำได้ด้วย

วิธีการทำลายน้ำมีอยู่มากมายหลายวิธี ตัวอย่างเช่น ลายน้ำจะถูกฝังอยู่ในDomain[1] [2] [3] ซึ่งอย่างอื่นอาจจะฝังอยู่ใน DCT [4] [5] [6] [7] [8] [9] หรือ DFT Domain [10] [11]

## ขั้นตอนการฝัง - การถอดภาพลายน้ำใน DFT domain

เมื่อเรามีภาพต้นแบบ (I) ขาว-ดำ ขนาด N×N แล้วเราทำการ Fourier ภาพนั้นเราจะได้

$$I(k_1, k_2) = \sum_{n1=0}^{N1-1} \sum_{n2=0}^{N2-1} i(n_1, n_2) e^{-j2\pi n1k1/N1 - j2\pi n2k2/N2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรากำหนดให้

$M(k_1, k_2) = |I(k_1, k_2)|$ เป็นค่า magnitude

$P(k_1, k_2)$ เป็น phase ของ Fourier transform ของ I

$W(k_1, k_2)$ เป็นภาพลายน้ำ

$M'(k_1, k_2)$ เป็น magnitude ที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

$I'(k_1, k_2)$ เป็นภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว

ลายน้ำที่เราจะทำการฝังลงใน DFT domain นั้น จะทำการฝังลงไปแบบวงกลมเพราะว่าเมื่อเราทำการ Fourier ภาพแล้ว ก็จะเป็นการเปลี่ยนจาก time domain เป็น frequency domain ซึ่งความถี่ต่ำจะเริ่มที่มุมทั้ง 4 ด้านแล้วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมาถึงที่ตรงกลาง โดยที่ความถี่ต่ำจะแทนส่วนของภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย เช่น บริเวณผิวหน้าส่วนที่เป็นความถี่สูงนั้นก็จะแทนส่วนของภาพที่มีการเปลี่ยนมากๆ เช่น ตรงขอบของรูป

รูปที่ 6.1 แสดงรูป ORIGINAL

รูปที่ 6.2 แสดงรูปเมื่อผ่านการ Fourier แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในการที่เราจะฝังรูปลายน้ำลงไปที่ตำแหน่งความถี่ใดนั้นเราจะต้องเลือกให้ดี เพราะถ้าเราเปลี่ยนแปลงในส่วนที่เป็นความถี่ต่ำมากไป ภาพก็จะเสีย เพราะว่าส่วนที่เป็นความถี่ต่ำนั้นจะเป็นส่วนที่แสดงส่วนประกอบ รายละเอียดของภาพ

$$W(r,\theta)=\begin{cases}0 & if \quad r\langle R1 \quad and r\rangle R2\\ \pm 1 & if \quad R1\langle r\langle R2\end{cases}$$

เมื่อ $r=\sqrt{(k_1^2+k_2^2)}, \qquad \theta=\arctan(\frac{k_2}{k_1})$

วงกลมจะถูกแยกเป็น S sectors และวงกลมที่มีรัศมี $r \in [\, R_1, R_2 \,]$ ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าเดียวกันคือ 1 หรือ –1 ในแต่ละ sectors ของวงกลมลายน้ำ และตัวประกอบของ magnitude ที่ทำลายน้ำแล้ว $M'$ คือ

$$M'(k_1,k_2)=M(k_1,k_2)+a\,W(k_1,k_2)$$

จากสมการข้างต้นเป็นการฝังภาพลายน้ำลงไปใน frequency domain โดยใส่ลงไปทาง Amplitude จากนั้นเราก็ทำการแปลง Fourier กลับ เราก็จะได้ภาพกลับมาโดยที่จะเป็นภาพที่ประกอบไปด้วยภาพลายน้ำและภาพจริง แต่ในส่วนของภาพลายน้ำนั้นจะไม่ปรากฏออกมาส่วนในการที่จะถอดภาพลายน้ำออกมานั้นก็สามารถทำได้โดยนำภาพมา Fourier แล้วก็นำภาพต้นแบบที่ผ่านการ Fourier แล้วมาลบออก จากวิธีการที่เราหาภาพลายน้ำนั้นดูเหมือนง่าย แต่ถ้าเป็นบุคคลอื่นนั้นจะทำได้ยาก เพราะว่าจะไม่รู้ว่ารูปลายน้ำนั้นได้ฝังอยู่ที่ตำแหน่งใด จึงเป็นการยากที่จะหาเจอ

จากรูป แสดงถึงการฝังรูปลายน้ำที่ความถี่สูง และที่ความถี่ต่ำโดยจะเพิ่มค่า $\alpha$ ให้มากๆขึ้นเพื่อหาว่าที่ความถี่ไหนจึงจะเหมาะสมที่จะใส่รูปลายน้ำ โดยผลที่ได้นั้นก็คือ ภาพที่ได้จากการที่เราฝังลายน้ำเข้าไปที่ความถี่ต่ำนั้นจะสามารถทนต่อการใส่ลายน้ำที่มีค่า $\alpha$ มากๆได้ดีกว่าที่จะใส่ที่ความถี่สูงๆ

DFT ของสัญญาณ 2 – D จริงจะได้ค่า conjugates การเพิ่มลายน้ำเข้าไปใน magnitude ของ DFT ของภาพ อาจจะทำให้ inverse DFT ไม่สามารถสร้างภาพจริงได้
ถ้าต้องการให้ IDFT มีค่าจริง ลายน้ำจะต้องมีค่า [10] :

$$W_{k,l}=W_{N-k,N-l}, \quad \forall k,l \in [1,N]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ถูกทำลายน้ำสามารถหาได้จาก IDFT

$$i^{-1} = \text{IDFT}(I'),\ I' = (M', P)$$

ลายน้ำสามารถหาได้จาก spatial domain ดังนี้

$$W' = IDFT(W, P),\ i^{-1} = i + W'$$

กรณีที่ต้องการเพิ่มค่าความเข้มในการมองเห็นสามารถใช้ local image masking

## การตรวจสอบลายน้ำ

ให้ $I'$ คือ DFT ของภาพที่ทำลายน้ำ และ $M$ คือ Mognitude ความสัมพันธ์ c ระหว่างค่า $M'$และ $W$ จะใช้ในการตรวจสอบลายน้ำ;

$$c = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} W(k_1, k_2)\, M'(k_1, k_2)$$

ถ้าหากภาพที่ทำลายน้ำ $I'$ ด้วย $W_j'$ ซึ่ง $W \neq W_j'$ แล้วความสัมพันธ์ $c$ จะถูกกำหนดเป็น :

$$c = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} W(k_1, k_2)\, M(k_1, k_2) + a\, W(k_1, k_2)\, W'(k_1, k_2)$$

ถ้าภาพ $I'$ถูกทำลายน้ำด้วย $W$ ความสัมพันธ์จะเป็น

$$c = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} (W(k_1, k_2)\, M(k_1, k_2) + a\, W^2(k_1, k_2) \qquad )$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้ $W, N$ เป็นตัวแปรอิสระสามารถสุ่มค่าได้ และ $W$ มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ค่าเฉลี่ยของ $c$ คือ

$$\mu_c = \begin{cases} \pi(R_2^2 - R_1^2)a & \text{if } w = w' \\ 0 & \text{if } w \neq w' \\ 0 & \text{if no watermark is presen} \end{cases}$$

ค่าของตัวแปรที่จะกำหนดความสำคัญสามารถหาได้ดังสมการ $c' = c/\mu c$ ค่าเฉลี่ยตัวอย่างของตัวกำหนดความสัมพันธ์ $c$ มีค่าเป็น 1 สำหรับทุก ๆ ภาพที่ถูกทำลายน้ำ ค่า pdf ในทางปฏิบัติของ $c'$ ซึ่งอยู่ในภาพลายน้ำ Lenna $512 \times 512$ ซึ่งมีลายน้ำแตกต่างกัน 1,000 ลาย การตรวจสอบจะอยู่ในรูปแบบ

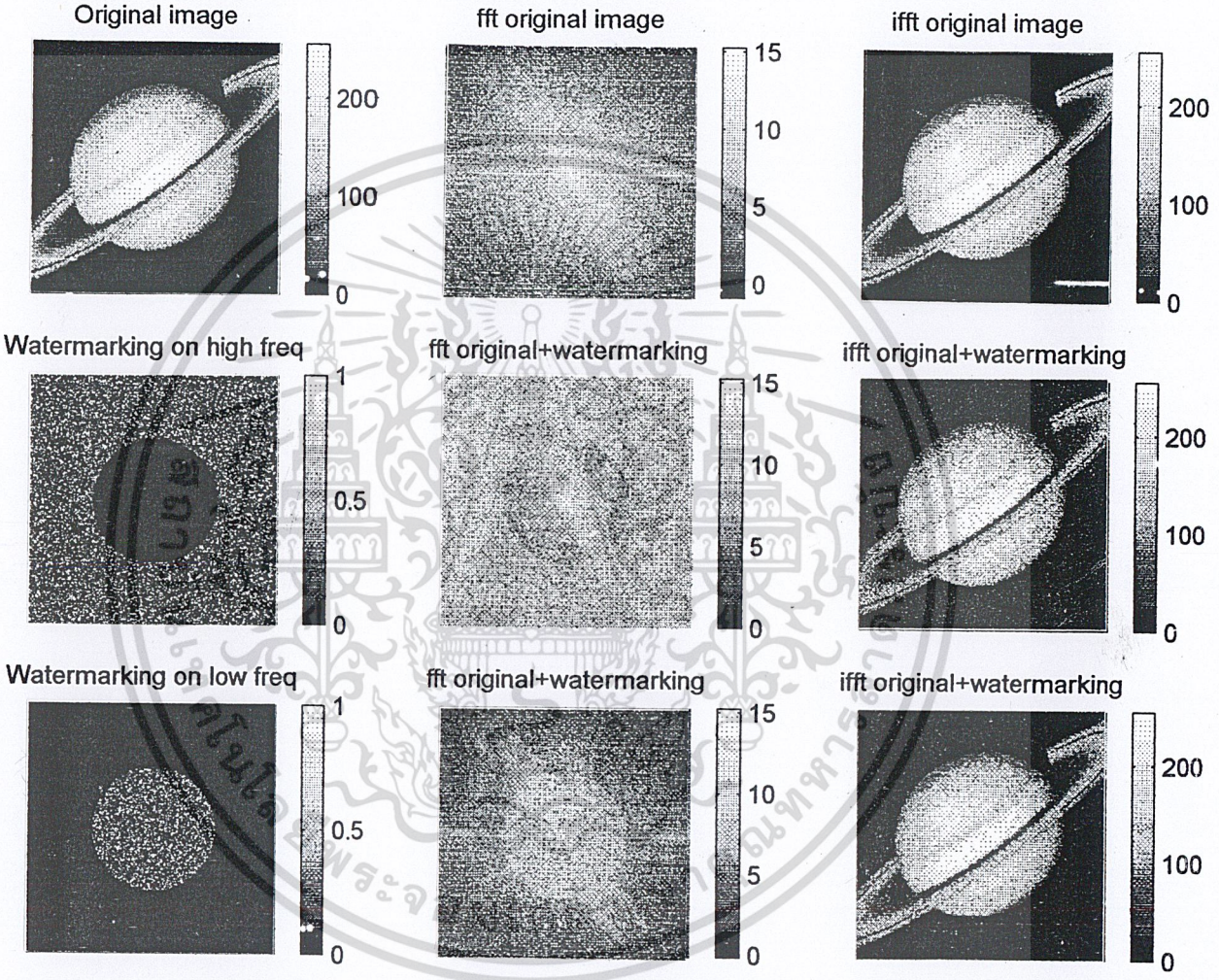
$H_0 : I'$ ถูกทำลายน้ำได้โดย $W'$ ถ้า $c \geq T$

$H_1 : I'$ จะไม่ถูกทำลายน้ำโดย $W'$ ถ้า $c < T$

พิจารณาค่า $T$ ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น สามารถประมาณค่าได้ 2 อย่างคือ อย่างแรก เป็นค่าเตือนความน่าจะเป็นที่จะผิดพลาดที่จะสามารถตรวจสอบลายน้ำในภาพที่ไม่ได้ทำเครื่องหมายไว้ การปฏิเสธข้อผิดพลาดของลายน้ำในภาพที่ทำเครื่องหมายไว้ซึ่งค่า pdf ในทางปฏิบัติของ $c'$ สามารถประมาณโดยค่าเตือนความผิดพลาดและปฏิเสธสามารถคำนวณโดยใช้ ฟังก์ชันค่าผิดพลาด *erf (x)*

$$P_F = 1 - \frac{1}{2} erf\left(\frac{T}{\sqrt{2\sigma_c^2}}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7
# การทดลองใส่และถอดลายน้ำในรูปแบบของ FREQUENCY DOMAIN

เมื่อเราได้ทำการศึกษาเลือกช่วงที่เหมาะสมแล้วซึ่งสรุปได้ว่าการใส่ Watermark ควรจะใส่ที่ความถี่ต่ำมากกว่าความถี่สูง ฉะนั้นในบทนี้เราจะเริ่มทำการใส่ลายน้ำลงไปในความถี่ต่ำ

ภาพ Original ที่เราจะทำการฝัง Watermark จะมีขนาด 512×512 ดังแสดงในรูปที่ 7.1 และภาพ Watermark ที่เราจะทำการฝังลงไปในภาพ Original จะมีขนาด 128×128 ดังแสดงในรูปที่ 7.2

รูปที่7.1 แสดงภาพORIGINAL

รูปที่ 7.2 WATERMARK ORIGINAL

ในการแทรกลายน้ำในโดเมนความถี่นั้น ได้ใช้การทำ FFT (Fast Fourier Transform) แบบ 2 มิติมาใช้ในการแปลงข้อมูลให้เป็นโดเมนความถี่ อันดับแรกรูปภาพตั้งต้น (Source image) จะต้องถูกแปลงข้อมูลให้อยู่บนโดเมนความถี่

ภาพ Watermark ที่เราจะฝังลงไปนั้นจะทำการฝังในรูปแบบของวงกลมเพราะว่าเมื่อเราทำการ Fourier ภาพแล้ว ความถี่จะเริ่มที่มุมทั้ง 4 ด้าน แล้วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมาถึงตรงกลางภาพ เมื่อเราทำการ Shift ภาพ ส่วนที่เป็นความถี่ต่ำจะมาอยู่ตรงกลางภาพแทนและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมาถึงที่ตรงขอบภาพ

ในส่วนของภาพ Watermark ที่เราจะนำมาทำการใส่ลงใน ข้อมูลภาพ เราได้ทำการเปลี่ยน Watermark จากเดิมที่เป็นMatrix ให้เป็น Vector ก่อน จากนั้นเรานำมาทำการสลับตำแหน่งกันทั้งหมดเพื่อที่ว่าเวลาเราจะใส่ลงไปหากว่าข้อมูลเรียงกันเป็นชุดแล้วภาพส่วนนั้นหายไป ภาพ Watermark ก็จะหายไปหมด การที่สลับที่เพื่อป้องกันตรงจุดที่ส่วนที่หายไปก็จะกระจายอยู่ทั้งภาพ Watermark ทำให้พอดูออกว่าเป็นภาพอะไร ภาพ Watermark ที่เราใช้เป็นภาพที่ที่อยู่ในรูปแบบ Binary ขาวดำเมื่อพิกเซลที่ถูกกำหนดจะมีค่าเป็น 0,1และเราได้ทำการแทนค่า0ด้วย -1 จากนั้นเราได้ทำการฝังลายน้ำลงไปในข้อมูล ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของวิธีการฝังลงภาพลายน้ำลงไปใน โดเมนความถี่ นั้นเราได้ทำการหาตำแหน่งที่จะใส่ภาพ Watermark ลงไปโดยจะใส่ในรูปของวงแหวนและขนาดของตำแหน่งที่จะใส่จะต้องพอดีกับขนาดของลายน้ำที่เราจะใส่โดยจะพยายามให้ไปทางความถี่มากกว่าความถี่สูงโดยเลือกตำแหน่งที่จะมีค่ามากกว่า $10^{12}$ ขึ้นไปมาทำการใส่ภาพลายน้ำดังแสดงในรูปที่7.3โดยใช้สมการ

$$M'(k_1, k_2) = M(k_1, k_2) + \propto W(k_1, k_2)$$

โดยที่ $M(k_1, k_2)$ คือ Magnitude ของ รูปภาพOriginal

$W(k_1, k_2)$ คือ ภาพ Watermark

$M'(k_1, k_2)$ คือ Magnitude ขนาดใหม่ซึ่งเกิดจากการรวมภาพ Watermark เข้าไปด้วย

$\propto$ คือ ค่าที่เราได้เพิ่มขนาดของ Watermark เข้าไป

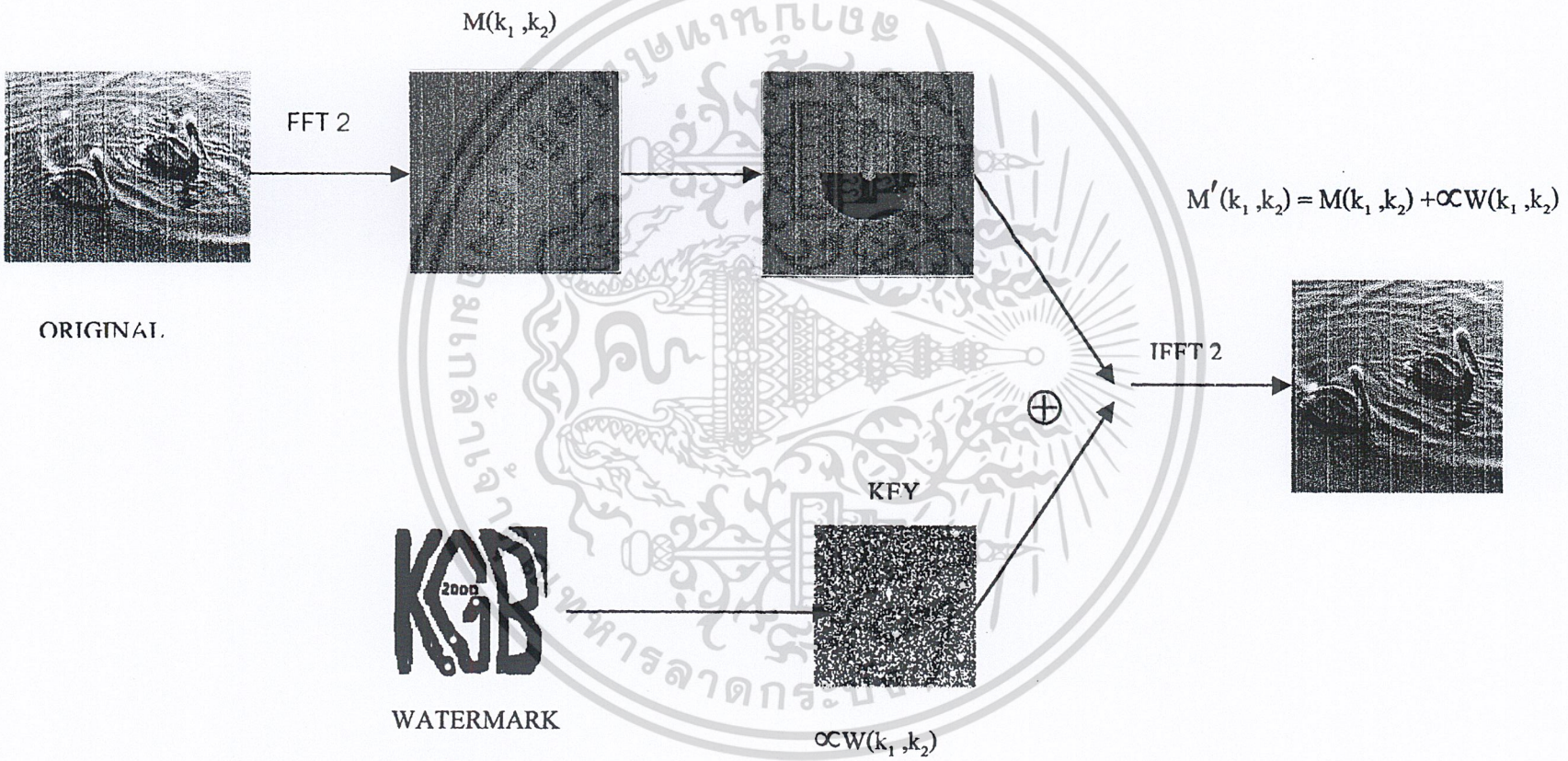
จากนั้นเราได้นำภาพที่ได้จากการฝัง Watermark ลงไปแล้วมาทำการ Degrade ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ lowpass Compession Clop และ Downsize จากนั้นก็นำภาพเหล่านั้นมาทำการถอดภาพลายน้ำแล้วเปรียบเทียบว่าภาพ Watermark ที่ถอดได้นั้นจะสามารถดูเป็นรูปร่างหรือไม่โดยในส่วนของวิธีการถอดนั้นเราได้ใช้สมการคือ

$$aW(k_1, k_2) = M'(k_1, k_2) - M(k_1, k_2)$$

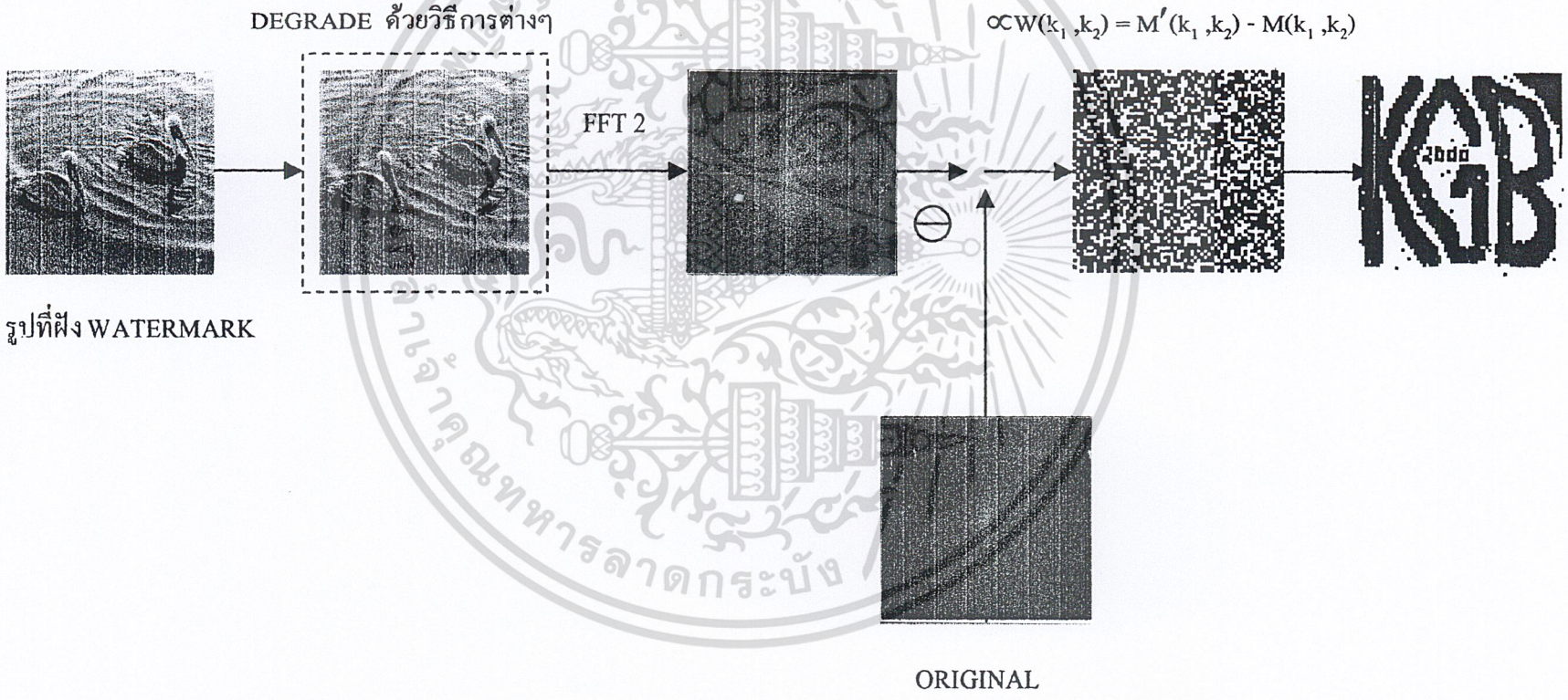
เมื่อเราได้ Watermark ที่ต้องการแล้ว เราต้องนำ Watermark ที่ใช้นั้นมาทำการเรียงกันเป็นรูปใหม่เพราะตอนใส่เราได้สลับตำแหน่ง เพราะฉะนั้นต้องนำมาเรียงใหม่แล้วเช็คค่าให้กลับเป็น 0 กับ 1 โดยถ้า Watermark ที่ได้น้อยกว่า 1 ก็จะให้ค่านั้นเท่ากับ 0 นอกจากนั้นให้เท่ากับ 1แล้วนำมาทำการ IFFT 2 กลับเราก็จะได้ภาพลายน้ำออกมาดังแสดงในรูปที่ 7.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.3 แสดงการฝัง WATERMARK



รูปที่ 7.4 แสดงการถอด WATERMARK



## ผลการทดลอง

การทดลองครั้งแรกจะใช้รูป ORIGINALขนาด 512 × 512 พิกเซลและใช้ตราสัญลักษณ์ KGB ขนาด124 × 124เป็นภาพลายน้ำที่จะฝังลงในรูป ORIGINAL ดังแสดงในรูปที่ 7.5

รูปที่ 7.5 แสดงรูป ORIGINAL และรูปลายน้ำ

ทำการฝังรูปลายน้ำในโดเมนความถี่ของรูป ORIGINAL และสร้างลายน้ำกลับคืนโดยใช้กุญแจลับ และใช้รูปเดิม ในการทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ถูกกำหนดไว้ดังนี้ แอมปลิจูดแฟคเตอร์ $\alpha$ เท่ากับ 8500 กุญแจลับเท่ากับ 13

รูปที่ 7.6แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG 25% จะสังเกตเห็นได้ว่าพอนำภาพมาผ่านวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพ ภาพจะผิดเพี้ยนไปจากเดิม

ORIGINAL PICTURE การบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG 25%

รูปที่ 7.6แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.7 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN จะเห็นภาพลายน้ำได้ชัดกว่าการกระทำการใน SPATIAL DOMAIN

-การกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN

% JPEG 100%　　% JPEG 50 %　　% JPEG 25%

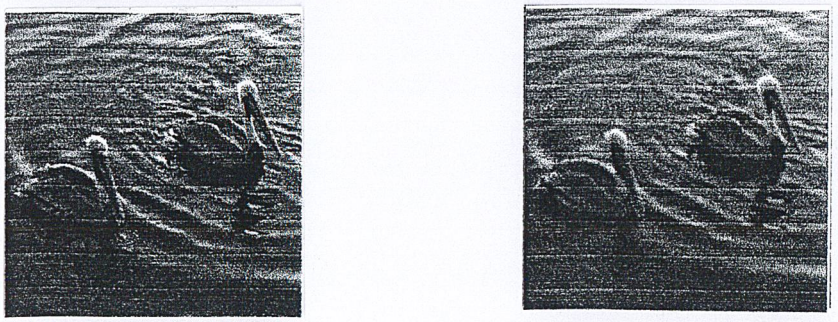
-การกระทำการในSPATIAL DOMAIN

% JPEG 100%　　% JPEG 50 %　　% JPEG 25%

รูปที่ 7.7 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN

รูปที่ 7.8แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการทำภาพให้ BLUR จะสังเกตเห็นได้ว่าพอนำภาพมาผ่านวิธีการทำให้ BLUR ภาพจะผิดเพี้ยนไปจากเดิม

ORIGINAL PICTURE　　BLUR



รูปที่ 7.8แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการทำภาพให้ BLUR

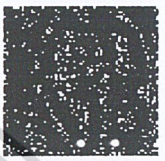
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.9 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการ BLUR ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN จะเห็นภาพลายน้ำได้ชัดกว่าการกระทำการใน SPATIAL DOMAIN

-การกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN

MEDIUN FILTER

LOW PASS FILTER 3X3



LOW PASS FILTER 5X5

-การกระทำการในSPATIAL DOMAIN

MEDIUN FILTER

LOW PASS FILTER 3X3

LOW PASS FILTER 5X5

**รูปที่ 7.9 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการ BLUR ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN**

รูปที่ 7.1 0แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพORIGINALกับภาพที่ผ่านการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED จะสังเกตเห็นได้ว่าพอนำภาพมาผ่านวิธีการทำ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED ภาพจะผิดเพี้ยนไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CROPPED SCALE DOWN ROTATED

รูปที่7.10แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพORIGINALกับภาพที่ผ่านการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED

รูปที่ 7.11 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN จะเห็นภาพลายน้ำได้ชัดกว่าการกระทำการใน SPATIAL DOMAIN

-การกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN

CROPPED SCALE DOWN ROTATED

-การกระทำการในSPATIAL DOMAIN

CROPPED SCALE DOWN ROTATED

รูปที่7.11แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการCROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 2 เราจะเปลี่ยนรูป ORIGINAL ไม่ให้เหมือนการทดลองครั้งแรกแต่ขนาดจะเท่าเดิมและรูปลายน้ำจะใช้เหมือนกับการทดลอครั้งแรกดังแสดงในรูปที่7.12

รูปที่ 7.12 แสดงรูป ORIGINAL และรูปลายน้ำ

ทำการฝังรูปลายน้ำในโดเมนความถี่ของรูป ORIGINAL และสร้างลายน้ำกลับคืนโดยใช้กุญแจลับและใช้รูปเดิม ในการทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ถูกกำหนดไว้ดังนี้ แอมปลิจูดแฟคเตอร์ $\alpha$ เท่ากับ 8500 กุญแจลับเท่ากับ 13

รูปที่ 7.13 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG 25% จะสังเกตเห็นได้ว่าพอนำภาพมาผ่านวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพ ภาพจะผิดเพี้ยนไปจากเดิม

ORIGINAL การบีบอัดข้อมูล JPEG 25 %

รูปที่ 7.13 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลภาพ JPEG 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.14 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN จะเห็นภาพลายน้ำได้ชัดกว่าการกระทำการใน SPATIAL DOMAIN

-การกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN

% JPEG 100%

% JPEG 50 %

% JPEG 25%

-การกระทำการในSPATIAL DOMAIN

% JPEG 100%

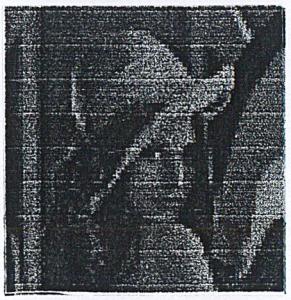
% JPEG 50 %

% JPEG 25%

รูปที่ 7.14 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN

รูปที่ 7.15แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการทำภาพให้ BLUR จะสังเกตเห็นได้ว่าพอนำภาพมาผ่านวิธีการทำให้ BLUR ภาพจะผิดเพี้ยนไปจากเดิม

ORIGINAL



BLUR

รูปที่ 7.15แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพ ORIGINAL กับภาพที่ผ่านการทำภาพให้ BLUR

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.16 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN จะเห็นภาพลายน้ำได้ชัดกว่าการกระทำการใน SPATIAL DOMAIN

-การกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN

MEDIUN FILTER

LOW PASS FILTER 3X3

LOW PASS FILTER 5X5

-การกระทำการในSPATIAL DOMAIN

MEDIUN FILTER

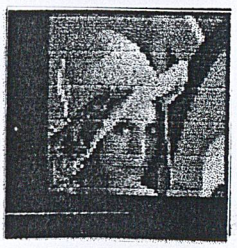
LOW PASS FILTER 3X3

LOW PASS FILTER 5X5

รูปที่ 7.16 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการบีบอัดภาพ JPEG ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN

รูปที่ 7.1 7แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพORIGINALกับภาพที่ผ่านการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED จะสังเกตเห็นได้ว่าพอนำภาพมาผ่านวิธีการทำ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED ภาพจะผิดเพี้ยนไปจากเดิม

CROPPED



SCALE DOWN

ROTATED

รูปที่7.17แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างภาพORIGINALกับภาพที่ผ่านการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.18 แสดงผลความแตาต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN จะเห็นภาพลายน้ำได้ชัดกว่าการกระทำการใน SPATIAL DOMAIN

-การกระทำการใน FREQUENCY DOMAIN

CROPPED SCALE DOWN ROTATED

-การกระทำการในSPATIAL DOMAIN

CROPPED SCALE DOWN ROTATED

รูปที่ 7.18 แสดงผลความแตกต่างของลายน้ำที่เกิดจากการทำการ CROPPED,SCALE DOWN และ ROTATED ที่กระทำการใน FREQUENCY DOMAIN และ SPATIAL DOMAIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ตารางค่าผลการทดลองใน Frequency Domain

Lena

| ∝ | Compression | | | Blur | | | Clopped | Rotated | Scale Down | Original |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100% | 50% | 25% | Median | 3x3 | 5x5 | | | | |
| 3000 | 0.994220624 | 0.607195183 | 0.272659498 | 0.764071937 | 0.426789303 | 0.115556610 | 0.142576215 | 0.284680036 | 0.370302967 | 1.00000018 |
| 8500 | 0.994221229 | 0.977132014 | 0.729447308 | 0.980673007 | 0.850109768 | 0.309547334 | 0.388953629 | 0.668554254 | 0.763709214 | 1.000001451 |
| 12000 | 0.993975069 | 0.990043245 | 0.877033544 | 0.837951004 | 0.869304644 | 0.399208902 | 0.557447593 | 0.725269520 | 0.872559413 | 1.000001512 |

birds

| ∝ | Compression | | | Blur | | | Clopped | Rotated | Scale Down | Original |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100% | 50% | 25% | Median | 3x3 | 5x5 | | | | |
| 3000 | 0.994220802 | 0.612699270 | 0.319456207 | 0.735250387 | 0.442633733 | 0.126678630 | 0.230289254 | 0.274589008 | 0.372625530 | 1.000000032 |
| 8500 | 0.994221624 | 0.976143414 | 0.747477750 | 0.960211898 | 0.838254007 | 0.327455328 | 0.502414157 | 0.654332951 | 0.761515986 | 1.000000257 |
| 12000 | 0.993975069 | 0.990043245 | 0.877033544 | 0.837951004 | 0.869304644 | 0.399208902 | 0.557447593 | 0.725269520 | 0.872559413 | 1.000000512 |

# ตารางค่าผลการทดลองใน Spatiai Domain

| Compression | | | Blur | | | Clopped | Rotated | Scale Down | Original |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100% | 50% | 25% | Median | 3x3 | 5x5 | | | | |
| 0.976375568 | 0.726542159 | 0.510168569 | 0.796695974 | 0.252731696 | -0.00436333 | 0.394481443 | 0.796171086 | 0.580242832 | 1.000000000 |

# บทที่ 8
# สรุปและแนวทางการพัฒนา

## สรุป

ภาพลายน้ำดิจิตอลของรูปภาพนั้น จำนวนของลักษณะที่แตกต่างกันของขบวนการทำลายน้ำและการทำรูปลายน้ำให้ได้ตามต้องการ จำเป็นต้องมีส่วนประกอบดังนี้

ความโปร่งใส (Invisible): ลายน้ำดิจิตอลที่ฝังลงในข้อมูลรูปภาพจะต้องไม่สามารถมองเห็นด้วยตาของมนุษย์

ความปลอดภัย (Security): ผู้ที่ไม่ได้ลิขสิทธิ์จะต้องไม่สามารถถอดรหัสหรือตรวจหาลายน้ำได้แม้ว่าจะรู้กรรมวิธีและขั้นตอนการสร้างลายน้ำก็ตาม

ความคงทน (Robustness): มีความเป็นไปได้ในการที่จะเปลี่ยนลายน้ำด้วยความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตาม การกระทำที่ปราศจากการลดคุณภาพของภาพลายน้ำต่างๆ ถือเป็นเรื่องที่สำคัญในการลดค่าทางพาณิชย์ ในแต่ละการกระทำเช่น การฟิลเตอร์, การ Blur ภาพ, การสูญเสียจากการบีบอัดเช่นภาพจำพวก JPEG เป็นต้น

ซึ่งจากผลการทดลองและได้นำลายน้ำที่ได้ทำการถอดออกมาเปรียบเทียบกันระหว่างเทคนิคของ FREQUENCY DOMAIN กับเทคนิคของ SPATIAL DOMAIN พบว่าเทคนิคทาง FREQUENCY DOMAIN มีข้อดีกว่าดังนี้

1. มีความคงทนต่อการ BLUR ภาพมากกว่า
2. มีความคงทนต่อการบีบอัดข้อมูลภาพมากกว่า
3. มีความคงทนต่อการ CLOPPED, SCALE DOWN และ ROTATED มากกว่า

ข้อเสียของเทคนิคทาง FREQUENCY DOMAIN คือ
สามารถใส่ข้อมูลลงไปได้น้อยกว่าเทคนิคทาง SPATIAL DOMAIN

## แนวทางการพัฒนา

จากที่ได้ทำการศึกษาและทำการทดลองมาแล้วนั้น ทำให้ทราบว่าในส่วนที่เป็นความถี่ต่ำนั้น จะเหมาะกับการใส่ WATERMARK ลงไปมากกว่าส่วนที่เป็นความถี่สูง จึงได้ทำการพัฒนาวิธีการฝังลายน้ำลงไป โดยในส่วนที่เป็น FREQUENCY DOMAIN นั้น ก็จะถูกแสดงเป็นค่าต่างๆ กัน โดยในแต่ละค่านั้นก็จะเกิดจากเลขฐานสอง เช่น 15 ในเลขฐานสิบก็คือ 1111 ในเลขฐานสอง เราได้อาศัยหลักการนี้ โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงที่ Bit เพราะ เมื่อ Bit มีค่ามากๆ ก็จะ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเปลี่ยนแปลงได้มาก เช่น 15 คือ 1111 Bit ที่เราจะทำการเปลี่ยนแปลงคือ Bit ที่ 3 คือ 1 ถ้าค่าข้อมูลเปลี่ยนเป็น 12 ก็คือ 1100 ค่า Bit ที่ 3 ที่เราต้องการก็จะยังไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าเรายิ่งให้ค่า Bit ที่สูง ๆ ก็จะสามารถทนได้มาก ในการที่เราจะหาค่า Bit ของค่าหนึ่ง ๆ นั้นเราสามารถทำได้โดยใช้ $\log_2$ เป็นตัวหาค่า Bit ทั้งหมดแล้วจึงเลือก Bit ที่ต้องการมาทำการเปลี่ยนแปลง หรือ อาจเปลี่ยนไปทำการฝัง Watermark ลงใน Domain อื่นๆ เช่น Wavelet หรือ DCT Domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

Digital Image Processing . Rafael C. Gonzaiez/Paul Wintz , Second Edition , Addision Wesley Publishing Company , 1987

Introduction Computer Vision Image Processing ,Adrian Low,Mc. Grawhill , 1991

Digtal Image Processing , William K. Peatt , Second Edition , A Wiley – Interscience Publication John Wiley & Son , 1991

Principles of Signals and System Fred I. Taylor , Mc. Graw Hill

IEEE Transaction on Acoustics , Speech , and Signal Processing , Vol. Assp – 26 , No.6 December 1978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

โปรแกรมการถอดและฝังลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%----- Select Point for embedding ------
%-------- Create water marking ----------

close all ;
clear all ;

alph   = input('Please insert alpha ') ;
wm     = randn(256) ;
wm_h = wm          ;
wm_l  = wm         ;
r      = 64        ;
for x  = 1 : r
  if x  == r
    y   = 1        ;
    y1 =  256      ;
  else y = sqrt((r^2)-(x^2)) ;
     y   = abs(y)    ;
     y   = round(y) ;
     y1 =  256-y     ;
  end
  wm_h(x,1:y)  = 0 ;
  wm_h(x,y1:256) = 0 ;
  wm_l(x,y:y1)  = 0 ;
end
rr   = 256 – r ;
xx = 1         ;
for x  =  256:-1:rr
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

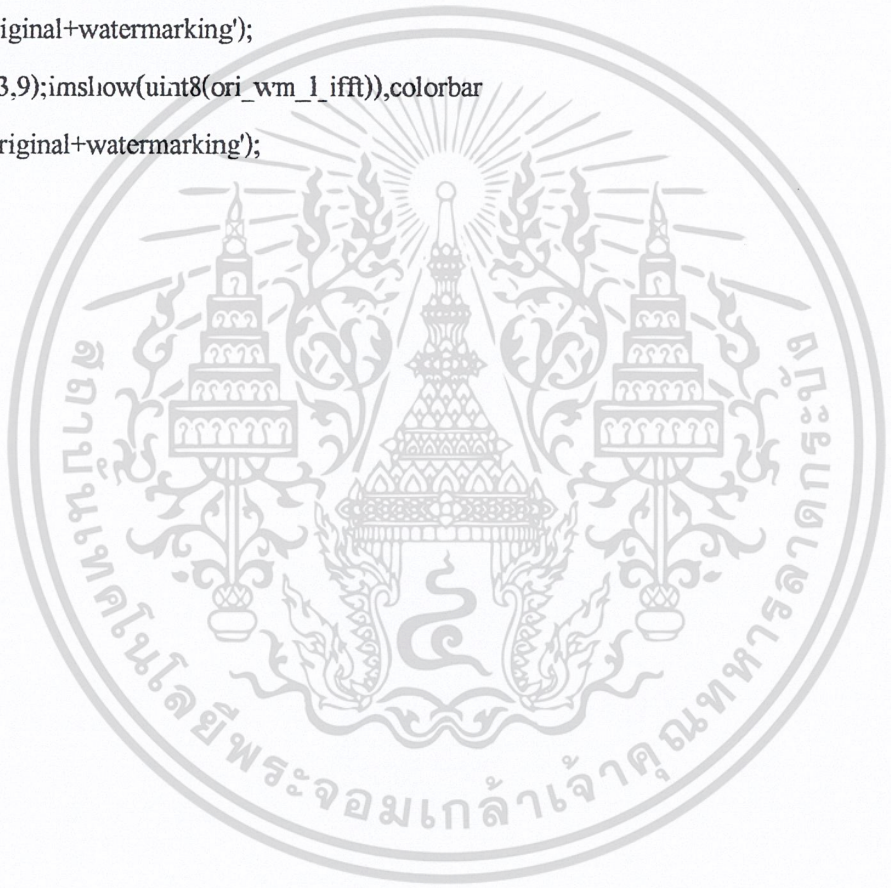
```
 if xx == r
     y2 = 1    ;
     y3 = 256 ;
else y2 = sqrt((r^2)-(xx^2)) ;
      y2  =  abs(y2)     ;
      y2  =  round(y2)  ;
      y3  =  256-y2       ;
  end
  wm_h(x,1:y2)    = 0 ;
  wm_h(x,y3:256) = 0 ;
  wm_l(x,y2:y3)   = 0 ;
  xx  =  xx+1 ;
end
wm_l(65:192,1:256) = 0 ;

%---------- Main program ----------
%---------- normal fft ----------

load imdemos saturn2
subplot(3,3,1) ;
imshow(saturn2) , colorbar
title('Original image') ;
ori_fft = fft2(saturn2) ;
ori_abs = abs(ori_fft) ;
ori_abs_shift = fftshift(ori_abs) ;
subplot(3,3,2)
imshow(log(abs(ori_abs_shift)),[]) , colorbar
title('fft original image') ;
ori = ifft2(ori_fft) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ori = uint8(ori)     ;
subplot(3,3,3)      ;
imshow(ori),colorbar
title('ifft original image') ;

%---------- High freq embeding ----------

ori_ang     = angle(ori_fft)    ;
ori_wm_h  =  ori_abs + (alph*wm_h)    ;
ori_wm_h_shift  =  fftshift(ori_wm_h) ;
real_ori_wm_h  =  ori_wm_h.*cos(ori_ang) ;
im_ori_wm_h    =  ori_wm_h.*sin(ori_ang) ;
ori_wm_h_fft    =  real_ori_wm_h+(i*im_ori_wm_h) ;
ori_wm_h_ifft   =  ifft2(ori_wm_h_fft) ;
subplot(3,3,4) ;
imshow(fftshift(wm_h)) , colorbar
title('Watermarking on high freq') ;
subplot(3,3,5) ;
imshow(log(ori_wm_h_shift),[]),colorbar
title('fft original+watermarking') ;
subplot(3,3,6) ;
imshow(uint8(ori_wm_h_ifft)),colorbar
title('ifft original+watermarking') ;

%---------- Low freq embeding ----------

ori_wm_l   =    ori_abs + (alph*wm_l) ;
ori_wm_l_shift  =  fftshift(ori_wm_l)   ;
real_ori_wm_l  =  ori_wm_l.*cos(ori_ang) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
im_ori_wm_1    = ori_wm_1.*sin(ori_ang) ;
ori_wm_1_fft   =  real_ori_wm_1+(i*im_ori_wm_1)  ;
ori_wm_1_ifft  =  ifft2(ori_wm_1_fft) ;
subplot(3,3,7) ;
imshow(fftshift(wm_1)),colorbar
title('Watermarking on low freq')  ;
subplot(3,3,8) ;
imshow(log(ori_wm_1_shift),[]),colorbar
title('fft original+watermarking');
subplot(3,3,9);imshow(uint8(ori_wm_1_ifft)),colorbar
title('ifft original+watermarking');
clear all ;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
% ----------Project 2  embedding_2 --------

if n >= 1
  n = n-1 ;
  num_wm = num_wm + 1 ;
  ori_abs(x,c)  =  ori_abs(x,c) + alph*wm_ran(num_wm) ;
  %ori_1(x,c)  = 0 ;
 ori_fft_1(x,c)  = 0  ;

 ax(b)  =  x ;
 ac(b)  =  c ;
 b =  b+1 ;
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%---------- Project 2 Embedding ----------

clear all  ;
close all  ;

alph = input('Please insert alpha  : ') ;

% ----------Load Original----------

ori  = imread('birds','bmp') ;
ori = ori(:,101:612)          ;
imwrite(ori,gray(256),'original.jpg','quality',100) ;
[ori_r,ori_c] = size(ori)     ;
ori_double  = double(ori)  ;
ori_fft_1   = fft2(ori)       ;
ori_fft     = fft2(ori)       ;
ori_abs     = abs(fft2(ori)) ;
ori_abs_1   = abs(fft2(ori)) ;

%---------- Load Watermark ----------

wm  = imread('kgb','bmp')  ;
wm  = imresize(wm,[128 128],'bilinear') ;
wm  = double(wm)           ;
[wm_r,wm_c] = size(wm) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%------------ random watermark ---------------

wmarkv  =  wm(1,:) ;
for a = 2:wm_r, wmarkv  =  [wmarkv wm(a,:)] ;  end ;
rand('state',13)  ;
indp  =  randperm(wm_r*wm_c) ;
for a  =  1:length(indp)
   wm_ran(a)    =   wmarkv(indp(a)) ;
   if wm_ran(a)  ==  0
     wm_ran(a)  = -1  ;
   end
end

%-------------- embedding ------------------

b = 1 ;
n          = wm_c*wm_r ;
num_wm  = 0   ;
r1          = 20    ;
r2          = 116   ;
bit_cut    = 12    ;

for  x     = 1 : r2
    if r1 > x
      y1  = sqrt((r1^2)-(x^2)) ;
      y1  = round(y1)  ;
      y4  = ori_c - y1  ;
    else y1  =  1          ;
       y4   =  ori_c     ;
    end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

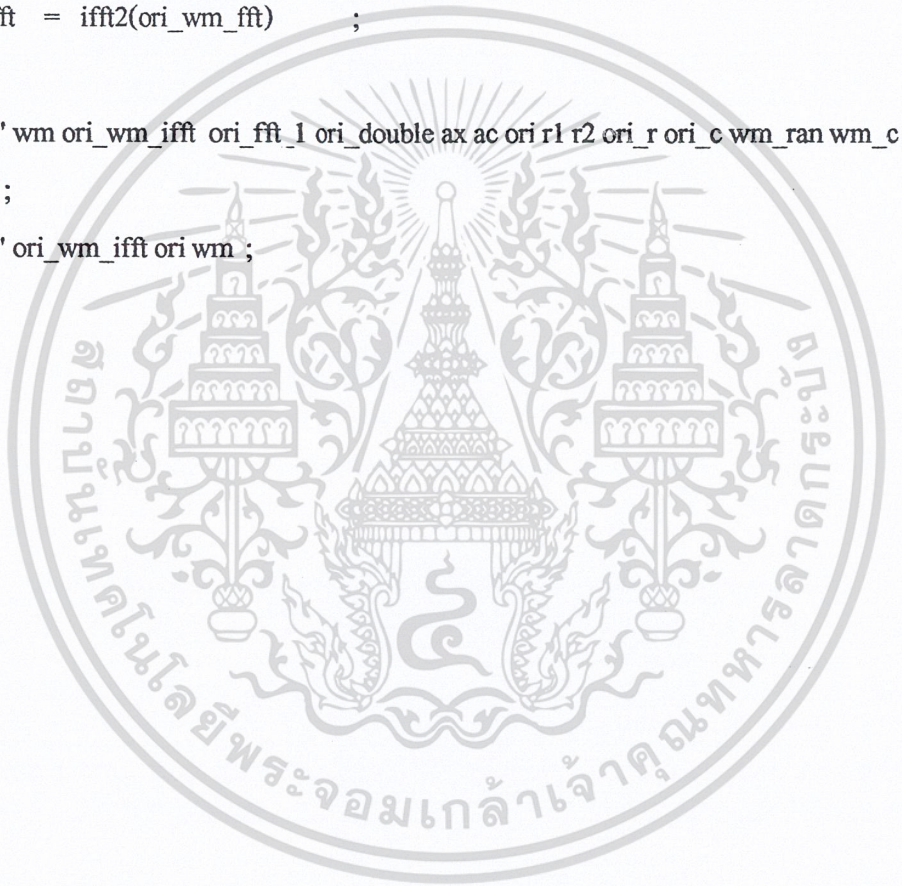
```
    if  r2  ==  x
        y2  =   1     ;
        y3  =   ori_c ;
    else y2  =  sqrt((r2^2)-(x^2))  ;
        y2   =  round(y2) ;
        y3   =  ori_c-y2   ;
    end

    if  y1 >= 1
        for c  =  y1:y2
            if ori_abs(x,c)  >=  2^bit_cut
                embedding_2 ;
            end
        end
     end

    if  y4 <= ori_c
        for c = y3:y4
            if ori_abs(x,c) >= 2^bit_cut
                embedding_2 ;
            end
        end
    end
end

rr2   = ori_c - r2  ;
xx    = 1 ;
for x  =  ori_c : -1 : rr2
    if  r1  > xx
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   y1  =  sqrt((r1^2)-(xx^2)) ;
   y1  =  round(y1)  ;
   y4  =  ori_c - y1  ;
else y1  =  1     ;
   y4   = ori_c ;
end

if r2  ==  xx
   y2  =  1     ;
   y3  =  ori_c ;
else y2  =  sqrt((r2^2)-(xx^2)) ;
   y2   = round(y2) ;
   y3   = ori_c-y2   ;
end

if y1  >=  1
   for c  =   y1:y2
      if ori_abs(x,c)  >=  2^bit_cut
        embedding_2  ;
      end
  end
end

if y4    <= ori_c
   for c  =   y3:y4
      if ori_abs(x,c)  >=  2^bit_cut
        embedding_2 ;
      end
   end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end
    xx = xx+1 ;
end

ori_ang  =  angle(ori_fft)              ;
real_ori_wm =  ori_abs.*cos(ori_ang)   ;
im_ori_wm   =  ori_abs.*sin(ori_ang)   ;
ori_wm_fft   =  real_ori_wm+( im_ori_wm) ;
ori_wm_ifft   =  ifft2(ori_wm_fft)        ;

save 'data1' wm ori_wm_ifft  ori_fft_1 ori_double ax ac ori r1 r2 ori_r ori_c wm_ran wm_c wm_r
ori_abs_1 ;
save 'data2' ori_wm_ifft ori wm ;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%---------- Project 2 Extraction ----------

clear all     ;
load data1  ;
load a        ;

ori_wm_ifft  =  imresize(ori_wm_ifft,[ori_r ori_c],'bilinear') ;

num  =  13  ;
for tiddle  =  1:num,                  % จำนวนทั้งหมดของภาพที่ได้ผ่าน degrade
  name = ['ho' num2str(tiddle)] ;
  load(name)     ;                     % load ภาพที่ผ่าน degrade
  h = double(h)  ;

  ori_wm_ifft_fft          = fft2(h)  ;
  iri_wm_fft(:,:,tiddle)   = ori_wm_ifft_fft  ;
  ori_wm_ifft_fft_abs      = round(abs(ori_wm_ifft_fft)) ;
  wm_cre  =  zeros(size(wm_ran)) ;
  n           = wm_c*wm_r    ;
  num_wm      =  0 ;

  % ---------- extraction ----------

for nn = 1:n
if n >= 1
  n = n-1;
  num_wm = num_wm + 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  wm_cre(num_wm) = ori_wm_ifft_fft_abs(ax(nn),ac(nn)) - ori_abs_1(ax(nn),ac(nn)) ;
end
end

%---------- inverse watermark ----------

rand('state',13) ;
indd = randperm(wm_r*wm_c)  ;
wmarkvr = zeros(size(wm_cre)) ;
for a = 1:length(indd)
  wmarkvr(indd(a)) = wm_cre(a) ;
  if wmarkvr(indd(a)) < 1
    wmarkvr(indd(a)) = 0 ;
  else
    wmarkvr(indd(a)) = 1 ;
  end
end
for a = 1:wm_r, wmark(a,:,tiddle) = wmarkvr((a-1)*wm_c+1:a*wm_c) ; end ;
wmark(:,:,tiddle) = wmark(:,:) ;
end

figure
imshow(log(abs(fftshift(ori_fft_1))),[]) ,
title('FFT original+watermarking') ;
figure
imshow((ori),[]);title(' Original image') ;
figure
imshow(uint8(ori_wm_ifft),[]) ,
title('ifft original+watermarking') ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
figure
imshow(uint8(h1),'notruesize');title('Median Filter') ;
figure
imshow(uint8(h2),'notruesize');title('Lowpass Filter 3 x 3') ;
figure
imshow(uint8(h3),'notruesize');title('Lowpass Filter 5 x 5') ;
figure
subplot(4,2,1) ; imshow(ori,'notruesize');title('Original Picture') ;
subplot(4,2,2) ; imshow(wmark(:,:,13),'notruesize');title('original Watermarking') ;
subplot(4,2,3) ; imshow(uint8(h1),'notruesize');title('Median Filter') ;
subplot(4,2,4) ; imshow(wmark(:,:,1),'notruesize') ;
subplot(4,2,5) ; imshow(uint8(h2),'notruesize');title('Lowpass Filter 3 x 3') ;
subplot(4,2,6) ; imshow(wmark(:,:,2),'notruesize') ;
subplot(4,2,7) ; imshow(uint8(h3),'notruesize');title('Lowpass Filter 5 x 5') ;
subplot(4,2,8) ; imshow(wmark(:,:,3),'notruesize') ;

figure
imshow(uint8(h5),'notruesize') ; title('% JPEG 75%') ;
figure
imshow(uint8(h6),'notruesize') ; title('% JPEG 50%') ;
figure
imshow(uint8(h7),'notruesize') ; title('% JPEG 25%') ;
figure
subplot(4,2,1) ; imshow(uint8(h13),'notruesize');title('JPEG 100%') ;
subplot(4,2,2) ; imshow(wmark(:,:,13),'notruesize');title('original Watermarking') ;
subplot(4,2,3) ; imshow(uint8(h5),'notruesize');title('% JPEG 75%') ;
subplot(4,2,4) ; imshow(wmark(:,:,5),'notruesize') ;
subplot(4,2,5) ; imshow(uint8(h6),'notruesize');title('% JPEG 50%') ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
subplot(4,2,6) ; imshow(wmark(:,:,6),'notruesize') ;
subplot(4,2,7) ; imshow(uint8(h7),'notruesize');title('% JPEG 25%') ;
subplot(4,2,8) ; imshow(wmark(:,:,7),'notruesize') ;

figure
imshow(uint8(h8),'notruesize') ;
figure
imshow(uint8(h9),'notruesize') ;
figure
imshow(uint8(h10),'notruesize') ;
figure
subplot(4,2,1) ; imshow(ori,'notruesize');title('Original Picture') ;
subplot(4,2,2) ; imshow(wmark(:,:,13),'notruesize');title('original Watermarking') ;
subplot(4,2,3) ; imshow(uint8(h8),'notruesize')    ;
subplot(4,2,4) ; imshow(wmark(:,:,8),'notruesize') ;
subplot(4,2,5) ; imshow(uint8(h9),'notruesize')    ;
subplot(4,2,6) ; imshow(wmark(:,:,9),'notruesize')  ;
subplot(4,2,7) ; imshow(uint8(h10),'notruesize')    ;
subplot(4,2,8) ; imshow(wmark(:,:,10),'notruesize') ;


figure
imshow(uint8(h11),'notruesize');title('Scaled down') ;
figure
imshow(uint8(h12),'notruesize');title('% Rotated')  ;
figure
subplot(3,2,1) ; imshow(ori,'notruesize');title('Original Picture')  ;
subplot(3,2,2) ; imshow(wmark(:,:,13),'notruesize');title('original Watermarking') ;
subplot(3,2,3) ; imshow(uint8(h11),'notruesize');title('% Scaled down') ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
subplot(3,2,4) ; imshow(wmark(:,:,11),'notruesize') ;
subplot(3,2,5) ; imshow(uint8(h12),'notruesize');title('% Rotated')   ;
subplot(3,2,6) ; imshow(wmark(:,:,12),'notruesize') ;

fprintf('  Correlation of  Original = %6.9f\n' ,corr2(ori_double,ori_wm_ifft) );

fprintf('  Correlation of  Median Filter = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,1))) ;
fprintf('  Correlation of  Lowpass Filter 3 x 3 = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,2))) ;
fprintf('  Correlation of  Lowpass Filter 5 x 5 = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,3))) ;
fprintf('  Correlation of  JPEG 100 = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,4)) ) ;
fprintf('  Correlation of  JPEG 75 = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,5))  ) ;
fprintf('  Correlation of  JPEG 50 = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,6))  ) ;
fprintf('  Correlation of  JPEG 25 = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,7))  ) ;
fprintf('  Correlation of  clopped = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,8))   ) ;
fprintf('  Correlation of  clopped = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,9))   ) ;
fprintf('  Correlation of clopped = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,10)) ) ;
fprintf('  Correlation of Scaled down = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,11))) ;
fprintf('  Correlation of Rotated = %6.9f\n' , corr2(wm,wmark(:,:,12))  );

clear all ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%---------- Project 2 Process ----------

load data2 ;

% ---------- Filter ----------

filtr_3    =  ones(3,3)/9  ;
ori_wm_fil3  =  filter2(filtr_3,ori_wm_ifft)  ; % Lowpass Filter 3 x 3
filtr_5        =  ones(5,5)/25  ;
ori_wm_fil5  =  filter2(filtr_5,ori_wm_ifft)  ; % Lowpass Filter 5 x 5
ori_wm_ifft_abs    =  abs(ori_wm_ifft) ;
ori_wm_ifft_med  =   medfilt2(ori_wm_ifft_abs)  ; % Median Filter
ori_wm_med       =  ori_wm_ifft_med.*cos(angle(ori_wm_ifft)) + (ori_wm_ifft_med.*sin
(angle(ori_wm_ifft))) ;

%---------- Compression ----------

map  =  double(gray(256))          ;
ori_wm_ifft = uint8(ori_wm_ifft) ;
imwrite(ori_wm_ifft,map,'ori_wm_ifft100.jpg','quality',100) ;   % JPEG 100%
ori_wm_100 =  rgb2gray(imread('ori_wm_ifft100','jpg'))    ;
imwrite(ori_wm_ifft,map,'ori_wm_ifft75.jpg','quality',75)    ;   % JPEG 75%
ori_wm_75  =   rgb2gray(imread('ori_wm_ifft75','jpg'))     ;
imwrite(ori_wm_ifft,map,'ori_wm_ifft50.jpg','quality',50)    ;   % JPEG 50%
ori_wm_50  =   rgb2gray(imread('ori_wm_ifft50','jpg'))     ;
imwrite(ori_wm_ifft,map,'ori_wm_ifft25.jpg','quality',25)    ;   % JPEG 25%
ori_wm_25  =  rgb2gray(imread('ori_wm_ifft25','jpg'))      ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

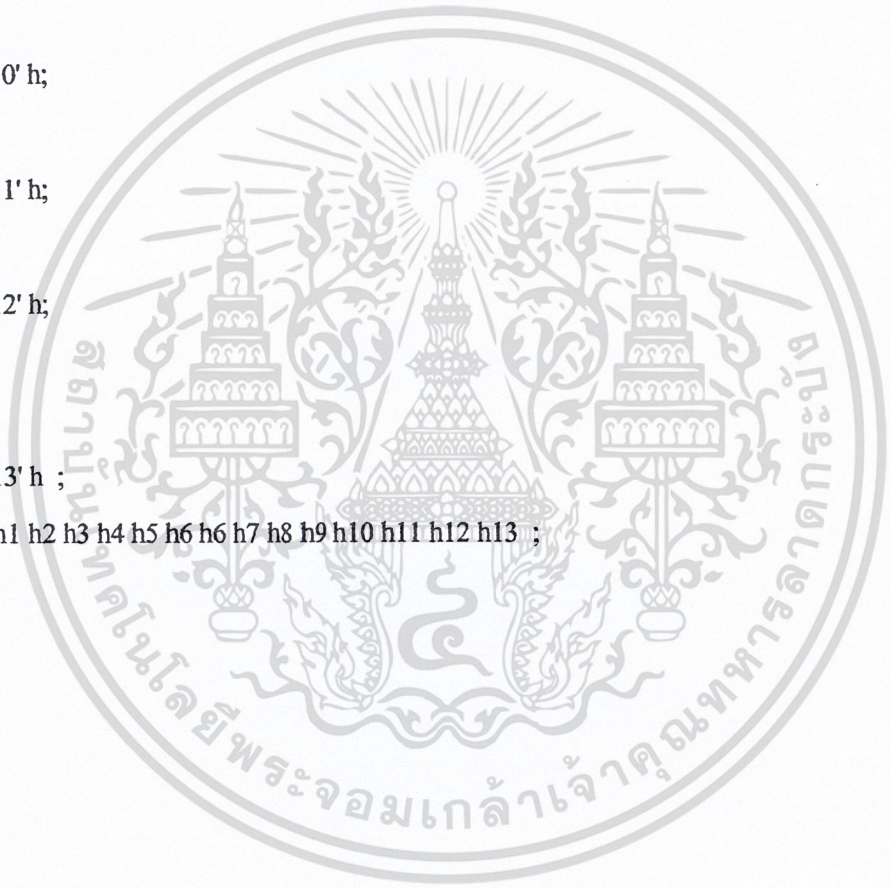
```
%---------- Cropped ----------

hostrc1 = zeros(size(ori_wm_ifft)) ;
hostrc1(10:ori_c-100,100:ori_c-10) = ori_wm_ifft(10:ori_c-100,100:ori_c-10) ;
ori_wm_c1 = hostrc1 ;
hostrc2 = zeros(size(ori_wm_ifft)) ;
hostrc2(130:ori_c,:) = ori_wm_ifft(130:ori_c,:) ;
ori_wm_c2 = hostrc2 ;
hostrc3 = zeros(size(ori_wm_ifft)) ;
hostrc3(:,130:ori_c) = ori_wm_ifft(:,130:ori_c) ;
ori_wm_c3 = hostrc3 ;

%---------- Scaled down ----------

hostrs = imresize(ori_wm_ifft,[356 356],'bilinear') ;
ori_wm_re = imresize(hostrs,[512 512],'bilinear') ;

%---------- Rotated ----------

hostrr = imrotate(ori_wm_ifft,-17,'bilinear','crop') ;  % 17
ori_wm_ro = imrotate(hostrr,17,'bilinear','crop') ;

h1 = ori_wm_med ;
h2 = ori_wm_fil3 ;
h3 = ori_wm_fil5 ;
h4 = ori_wm_100 ;
h5 = ori_wm_75 ;
h6 = ori_wm_50 ;
h7 = ori_wm_25 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
h8  = ori_wm_c1  ;
h9  = ori_wm_c2  ;
h10 = ori_wm_c3  ;
h11 = ori_wm_re  ;
h12 = ori_wm_ro  ;
h13 = ori_wm_ifft ;

figure(1) ; clf;imshow(h1,[0 255],'truesize') ; title('Unprocessed')  ;
figure(2) ; clf;imshow(h2,[0 255],'truesize') ; title('Lowpassed')  ;
figure(3) ; clf;imshow(h3,[0 255],'truesize') ; title('Median')  ;
figure(4) ; clf;imshow(h4,[0 255]) ; title('Scaled down') ;
figure(5) ; clf;imshow(h5,[0 255],'truesize') ; title('Scaled (R)') ;
figure(6) ; clf;imshow(h6,[0 255],'truesize') ; title('JPEG100') ;
figure(7) ; clf;imshow(h7,[0 255],'truesize') ; title('JPEG75')  ;
figure(8) ; clf;imshow(h8,[0 255],'truesize') ; title('JPEG50')  ;
figure(9) ; clf;imshow(h9,[0 255],'truesize') ; title('JPEG25')  ;
figure(10) ; clf;imshow(h10,[0 255],'truesize') ; title('Cropped')  ;
figure(11) ; clf;imshow(h11,[0 255],'truesize') ; title('Rotated')  ;
figure(12) ; clf;imshow(h12,[0 255],'truesize') ; title('Rotation Corrected')  ;
figure(13) ; clf;imshow(ori_wm_ifft,[0 255],'truesize') ; title('Rotation Corrected')  ;


h=h1  ;
save 'ho1' h ;
h=h2  ;
save 'ho2' h ;
h=h3  ;
save 'ho3' h ;
h=h4  ;
save 'ho4' h ;
h=h5  ;
save 'ho5' h ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
h=h6   ;
save 'ho6' h ;
h=h7   ;
save 'ho7' h ;
h=h8   ;
save 'ho8' h ;
h=h9   ;
save 'ho9' h ;
h= h10 ;
save 'ho10' h;
h= h11 ;
save 'ho11' h;
h= h12 ;
save 'ho12' h;
h=h13   ;

save 'ho13' h  ;
save 'a' h1 h2 h3 h4 h5 h6 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13  ;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้