

การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัด

COMPRESSED IMAGE QUALITY EVALUATION

นันทพงษ์ แหยมแสง  
NUNTAPONG YAMSANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัด

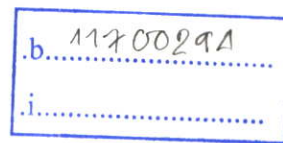
COMPRESSED IMAGE QUALITY EVALUATION



นันทพงศ์ แหยมแสง

NUNTAPONG YAMSANG

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 69046  
วัน,เดือน,ปี..... - 7 ก.พ. 2550



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

# **COMPRESSED IMAGE QUALITY EVALUATION**

**NUNTAPONG YAMSANG**

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

**2007**

COPY RIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัด
นักศึกษา	นายนันทพงศ์ แหยมแสง
รหัสนักศึกษา	47061141
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สมเกียรติ อุคมหาราชกุล

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัดแบบออบเจกทีฟ (Objective Image Quality) แบบใหม่ ซึ่งพัฒนามาจากการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัดแบบออบเจกทีฟแบบพื้นฐาน อันได้แก่ เอ็มเอสอี ตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ (Edge Measurement) ตัววัดคุณภาพของภาพแบบเลียนแบบระบบการมองเห็นของมนุษย์หรือฮิวแมนวิสวลซิสเต็ม (Human Visual System) หรือเอชวีเอส (HVS) ตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพ (Correlation Measurement) และตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ (Spectral Measurement) โดยงานวิจัยนี้จะแบ่งงานออกเป็น 2 ประเด็น คือ การทดลองผลกระทบของคุณสมบัติของภาพต้นแบบอันได้แก่ สเตปเฟรควเ็นซี (Spatial Frequency Measure) หรือเอสเอฟเอ็ม (SFM) ต่อการบอกค่าคุณภาพของภาพบีบอัดของตัววัดดั้งเดิม และการทดลองรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ ตัววัดใหม่ที่ได้จะถูกประเมินความน่าเชื่อถือโดยใช้ตัววัดความน่าเชื่อถืออยู่ 2 ตัวด้วยกัน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ และรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) หรืออาร์เอ็มเอสอี (RMSE) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัววัดที่ถูกพัฒนามีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น เมื่อเทียบกับตัววัดคุณภาพของภาพบีบอัดแบบออบเจกทีฟแบบพื้นฐาน

<b>Thesis Title</b>	Compressed Image Quality Evaluation
<b>Student</b>	Nuntapong Yamsang
<b>Student ID.</b>	47061141
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Information Engineering
<b>Year</b>	2007
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Dr. Somkait Udomhunsakul

## ABSTRACT

This thesis proposes new objective compressed image quality measurements, developed from MSE, Edge Measurement, Human Visual System (HVS), Correlation Measurement and Spectral Measurement. There are two issues for this research study, which are influence of original image characteristic i.e. Spectral Frequency Measure (SFM) to objective image quality measurement and distribution model between objective measurement and subjective measurement. The reliabilities of our new objective measurements are proved by the correlation coefficient and root mean square error (RMSE). From the experiments, we found that our proposed measurements are reliable and practical to measure the quality of JPEG and JPEG 2000 compressed image.

## กิตติกรรมประกาศ

ก่อนอื่นขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้การสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้  
วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สมเกียรติ  
อุดมพรธาดา ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนการรับฟังความคิดเห็น  
ขอบคุณ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา และ ผศ.อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ คณะกรรมการสอบหัวข้อและ  
เค้าโครงวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย  
ขอบคุณ พี่เจตน์ รุ่นพี่ในห้องแล็บ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในหลายๆ เรื่อง  
ขอบคุณ ชมพูนุท พรเจริญนพ ในการทำงานต่างๆ และตอบแบบสอบถาม  
ขอบคุณ วรพล เอี่ยมศิริ ในการตอบแบบสอบถาม  
ขอบคุณ ปฏิญา ภักดีประเสริฐ ในการตอบแบบสอบถาม  
ขอบคุณ สิริพร อมรชัยมงคล ในการอ่านตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นันทพงศ์ แหยมแสง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 การทรานซ์ฟอร์ม (Transform) .....	6
2.1.1 ดิสครีตฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์ม (Discrete Fourier Transform) หรือดีเอฟที (DFT).....	6
2.1.2 ดิสครีตโคไซน์ทรานซ์ฟอร์ม (Discrete Cosine Transform) หรือดีซีที (DCT).....	7
2.1.3 ดิสครีตเวฟเลตทรานซ์ฟอร์ม (Discrete Wavelet Transform) หรือ ดีดับเบิลยูที (DWT) .....	9
2.2 การตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection) .....	11
2.3 การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) .....	13
2.3.1 สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว.....	14
2.3.2 สมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร.....	15
2.3.3 สมการถดถอยยกกำลัง.....	17
บทที่ 3 เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพ.....	18
3.1 เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก (JPEG) .....	18
3.2 เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก 2000 (JPEG2000) .....	21

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวัดและประเมินผลภาพ.....	23
4.1 คุณสมบัติของภาพต้นแบบ.....	23
4.1.1 สเตปเทจเช็ลฟรีควเอนซีเมเชอร์ (Spatial Frequency Measure) .....	23
4.1.2 สเตปคทรอลแอกติวิตีเมเชอร์ (Spectral Activity Measure) .....	23
4.2 การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพ.....	24
4.2.1 การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบซั้บเจกทีฟ.....	24
4.2.2 การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบอบเจกทีฟ.....	24
4.3 ความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบอบเจกทีฟ.....	27
4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) .....	27
4.3.2 รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) ....	27
บทที่ 5 การทดลอง.....	29
5.1 การทดลองความสัมพันธ์ของคุณภาพของภาพแบบซั้บเจกทีฟ คุณภาพของภาพแบบอบเจกทีฟ และคุณสมบัติของภาพต้นแบบ.....	37
5.2 การทดลองการวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอย.....	52
5.2.1 การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว.....	52
5.2.2 การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร.....	55
5.2.3 การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอยยกกำลัง.....	56
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก ค่าคุณภาพของภาพ.....	63
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	90

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าการควอนไทซ์.....	20
5.1 ค่าเอสเอฟเอ็มของภาพต้นแบบชุดที่ 1.....	31
5.2 ค่าเอสเอฟเอ็มของภาพต้นแบบชุดที่ 2.....	31
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับ ตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	36
5.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับ ตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	36
5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟใหม่กับ ตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	51
5.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟใหม่กับ ตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	51
5.7 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	54
5.8 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	54
5.9 ค่าความน่าเชื่อถือของสเกลคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นหลายตัวแปรที่ได้จาก ภาพบีบอัดชุดที่ 1 และภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	55
5.10 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบยกกำลังที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	57
5.11 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบยกกำลังที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	57
ก.1 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1.....	64
ก.2 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ).....	64
ก.3 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1.....	65
ก.4 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ).....	65
ก.5 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2.....	66
ก.6 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ).....	66
ก.7 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2.....	67
ก.8 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ).....	67
ก.9 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1.....	68
ก.10 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ).....	68

## สารบัญญัตินำ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.11 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1.....	69
ก.12 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ).....	69
ก.13 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2.....	70
ก.14 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ).....	70
ก.15 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2.....	71
ก.16 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ).....	71
ก.17 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1.....	72
ก.18 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ).....	72
ก.19 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1.....	73
ก.20 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ).....	73
ก.21 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2.....	74
ก.22 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ).....	74
ก.23 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2.....	75
ก.24 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ).....	75
ก.25 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1.....	76
ก.26 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ).....	76
ก.27 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1.....	77
ก.28 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ).....	77
ก.29 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2.....	78
ก.30 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ).....	78

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.31 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2.....	79
ก.32 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ).....	79
ก.33 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1.....	80
ก.34 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ).....	80
ก.35 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1.....	81
ก.36 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ).....	81
ก.37 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2.....	82
ก.38 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ).....	82
ก.39 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2.....	83
ก.40 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ).....	83
ก.41 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1.....	84
ก.42 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ).....	84
ก.43 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1.....	85
ก.44 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ).....	85
ก.45 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2.....	86
ก.46 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ).....	86
ก.47 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2.....	87
ก.48 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ).....	87

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบภาพต้นแบบกับภาพบีบอัด.....	2
1.2 เปรียบเทียบภาพต้นแบบกับภาพบีบอัด.....	3
2.1 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการแปลงดีเอฟที.....	7
2.2 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการแปลงดีซีที.....	8
2.3 แสดงฟิลเตอร์เบงก์.....	10
2.4 แสดงหนึ่งขั้นของการแปลงดีดับเบิลยูทีแบบสองมิติ.....	10
2.5 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการแปลงดีดับเบิลยูที.....	11
2.6 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการตรวจจับขอบของภาพ.....	13
3.1 แสดงขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลภาพโดยใช้เทคนิคแบบเจเปก.....	19
3.2 แสดงการทำซิกแซกสแกน.....	20
3.3 แสดงขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลภาพโดยใช้เทคนิคแบบเจเปก 2000.....	21
5.1 แสดงภาพต้นแบบชุดที่ 1.....	30
5.2 แสดงภาพต้นแบบชุดที่ 2.....	30
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	32
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	33
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	33
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	34
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่กับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	34
5.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{MSE}$ ) ของเอสเอฟเอ็มในสมการที่ 5.1.....	38
5.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{Edge}$ ) ของเอสเอฟเอ็มในสมการที่ 5.2.....	38
5.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{HVS}$ ) ของเอสเอฟเอ็มในสมการที่ 5.3.....	39
5.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_C$ ) ของเอสเอฟเอ็มในสมการที่ 5.4.....	39

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{Spl}$ ) ของเอสเอฟเอ็มใน สมการที่ 5.5.....	40
5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	41
5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	42
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	42
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	43
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1.....	43
5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	44
5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	44
5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพกับเอ็ม โอเอสของ ภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	45
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	45
5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	46
5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	46
5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพกับเอ็ม โอเอส ของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	47
5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	47
5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่กับเอ็ม โอเอสของ ภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	48
5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2.....	48

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบีบอัดข้อมูลภาพมีความสำคัญในด้านช่วยลดต้นทุนสำหรับการเก็บข้อมูลภาพและการส่งข้อมูลภาพ เช่น การเก็บข้อมูลภาพลายนิ้วมือในฐานะข้อมูลประชากรของประเทศสหรัฐอเมริกา การแสดงภาพบนอินเทอร์เน็ต ฯลฯ ในปัจจุบัน หากมีการเก็บข้อมูลภาพหรือส่งข้อมูลภาพโดยปราศจากกระบวนการบีบอัดข้อมูลแล้วก็จะเหมือนจะเป็นการสิ้นเปลืองโดยไม่มีเหตุผล และอาจกล่าวได้ว่า การบีบอัดข้อมูลภาพได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดเก็บข้อมูลภาพ และกระบวนการส่งข้อมูลภาพไปแล้ว แต่การได้มาซึ่งกระบวนการบีบอัดข้อมูลที่ดี จะต้องมีการวัดและการประเมินผลกระบวนการด้วย ปัจจัยในการวัดและประเมินผลการบีบอัดข้อมูลภาพมี 3 ปัจจัย ได้แก่

1. อัตราส่วนการบีบอัด (Compression ratio) ปัจจัยสำคัญในการบีบอัดภาพคือเพื่อให้ภาพนั้นมีขนาดของข้อมูลที่เล็กลง

2. ความซับซ้อนในการบีบอัด (Complexity) กระบวนการในการบีบอัดภาพไม่ควรมีความซับซ้อนในการประมวลผลสูงเกินไป

3. คุณภาพของภาพที่ได้จากการบีบอัด สำหรับการบีบอัดข้อมูลภาพแบบไม่มีการสูญเสีย (Lossless compression) นั้น ภาพบีบอัดจะเหมือนกับภาพต้นแบบ แต่การบีบอัดแบบมีการสูญเสีย (Lossy compression) ข้อมูลบางส่วนจะถูกตัดออกไป และเป็นสาเหตุให้คุณภาพของภาพด้อยลง

สำหรับการประเมินผลการบีบอัดแบบไม่มีการสูญเสียนั้นเป็นงานที่ไม่ยาก เนื่องจากเราพิจารณาแค่ 2 ปัจจัยแรก ในทางกลับกันการประเมินผลการบีบอัดแบบมีการสูญเสียนั้นจะต้องอาศัยการวัดคุณภาพของภาพมาเป็นปัจจัยในการประเมินด้วย ในการวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการบีบอัดนั้นทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

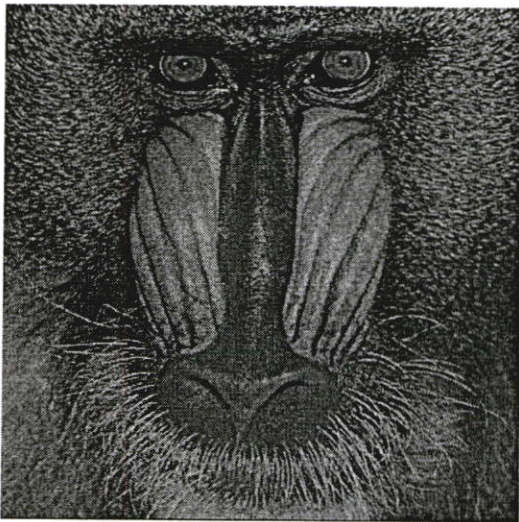
1. การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ (Subjective Image Quality Evaluation) คือ การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพโดยอาศัยการรับรู้ของมนุษย์

2. การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ (Objective Image Quality Evaluation) คือ การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์

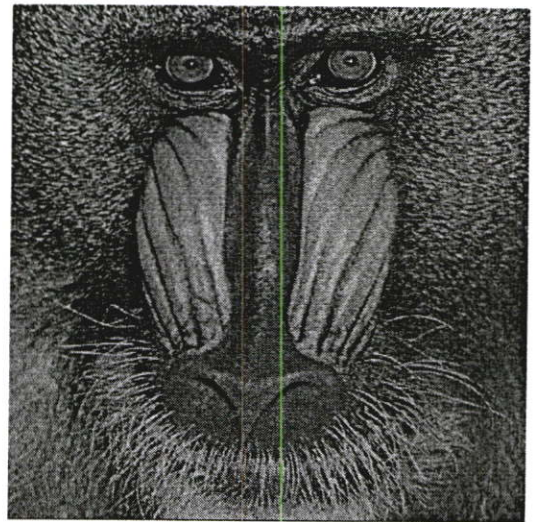
หากปราศจากตัววัดคุณภาพของภาพที่ดีแล้ว ก็คงจะนำไปสู่การบีบอัดข้อมูลภาพที่ดีไม่ได้ สำหรับปัจจัยในการวัดและการประเมินผลคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟนั้น มีอยู่ 2 ปัจจัย ได้แก่

1. ความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพ (Reliability) ซึ่งก็คือความเที่ยงตรงแม่นยำในการบอกค่าคุณภาพของภาพ โดยส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับการรับรู้ของมนุษย์
2. ความซับซ้อนในการวัดคุณภาพของภาพ (Complexity) คล้ายกับกระบวนการบีบอัดข้อมูลภาพ การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพไม่ควรมีความซับซ้อนในการประมวลผลที่สูงจนเกินไป

แต่ในปัจจุบันตัววัดคุณภาพของภาพอย่างง่ายที่มีอยู่ เช่น มีนสแควร์เออร์เรอร์ (Mean Square Error) หรือเอ็มเอสอี (MSE) พีคซิกแนลทูนอยส์เรโซ (Peak Signal to Noise Ratio) หรือพีเอสเอ็นอาร์ (PSNR) ยังให้ค่าคุณภาพของภาพที่ห่างไกลจากการรับรู้ของมนุษย์อยู่มาก ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2 โดยรูปที่ 1.1(ข) และรูปที่ 1.2(ข) เป็นภาพบีบอัดของรูปที่ 1.1(ก) และรูปที่ 1.2(ก) ตามลำดับ จากรูป ภาพบีบอัดทั้งสองรูปนั้นมีค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่เท่ากัน คือ 30 เดซิเบล ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่บ่งบอกว่า คุณภาพของภาพยอมรับได้ [1] เมื่อมองภาพบีบอัดจากรูปที่ 1.1 (ข) เปรียบเทียบกับภาพต้นแบบในรูปที่ 1.1 (ก) ก็จะเห็นว่าคุณภาพของภาพนั้นยอมรับได้จริง แต่เมื่อมองที่ภาพบีบอัดจากรูปที่ 1.2 (ข) ก็จะพบว่าภาพมีลักษณะเป็นบล็อก (blocking artifact) ซึ่งถือว่าคุณภาพของภาพนั้นไม่สามารถยอมรับได้ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบในรูปที่ 1.2 (ก) ด้วยสายตา ยังพบว่าคุณภาพของภาพนั้นแตกต่างกัน ทั้งๆที่ค่าพีเอสเอ็นอาร์เท่ากัน จากข้อเท็จจริงดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ตัววัดคุณภาพของภาพแบบเดิมยังไม่สามารถให้ผลที่มีความแม่นยำเพียงพอ



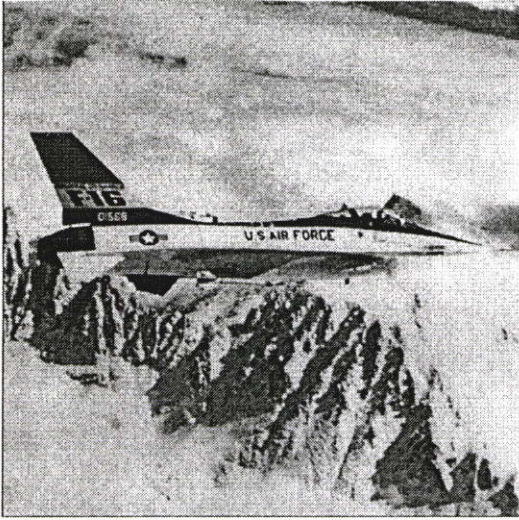
(ก)



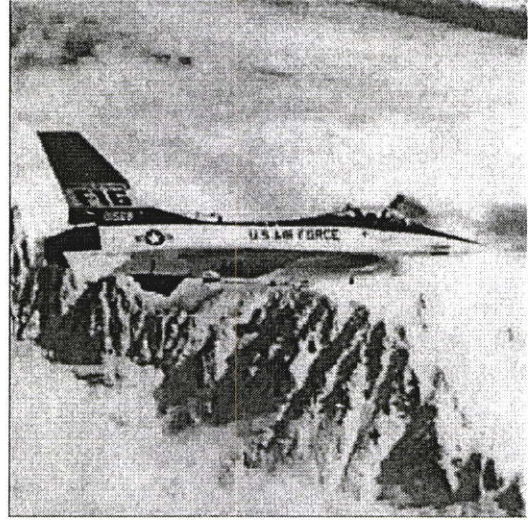
(ข)

รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบภาพต้นแบบกับภาพบีบอัด

(ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพบีบอัด



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบภาพต้นแบบกับภาพบีบอัด

(ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพบีบอัด

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษาและพัฒนากระบวนการของการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัดให้มีความน่าเชื่อถือมากกว่ากระบวนการที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน นอกจากนั้นตัววัดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ยังสามารถอ่านค่าได้ง่าย นั่นคือ ค่าที่ได้จะอ้างอิงได้กับมีน โอฟีเนียนสกอร์ (Mean Opinion Score) หรือเอ็ม โอเอส (MOS) [2, 3] ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพนั้น มีปัจจัยบางอย่างที่ถูกมองข้ามซึ่งมีผลต่อการบอกคุณภาพของภาพ หนึ่งในปัจจัยดังกล่าวก็คือ คุณสมบัติของภาพต้นแบบ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้สเปทเชี่ยลฟรีควเอนซีเมเชอร์ (Spatial Frequency Measure) หรือเอสเอฟเอ็ม (SFM) [4] ในการวัดคุณสมบัติของภาพต้นแบบ

นอกจากนี้ กระบวนการถดถอย (Regression Method) ยังสามารถช่วยให้ความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพนั้นสูงขึ้นได้ด้วย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟและค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟเป็นตัววัดความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพ และรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) หรืออาร์เอ็มเอสอี (RMSE)

ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากกระบวนการถอดยสามารถรวมเอาปัจจัยต่างๆ มาไว้ในสมการเดียว อีกทั้งกระบวนการถอดยที่ไม่เป็นเชิงเส้นยังสามารถเพิ่มความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นของค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟและค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟได้ด้วย

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้อาศัยหลักการดังต่อไปนี้

1. การวัดและประเมินผลภาพ ได้แก่ คุณสมบัติของภาพต้นแบบ คุณภาพของภาพบีบอัด และความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพ
2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ได้แก่ กระบวนการถอดย

#### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัด โดยจะมุ่งความสนใจในเรื่องต่อไปนี้

1. ภาพบีบอัดที่ได้ทำการศึกษาคือภาพบีบอัดที่ได้จากภาพต้นแบบซึ่งเป็นภาพตามธรรมชาติทั่วไป (General Image) โดยภาพต้นแบบดังกล่าวจะนำมาผ่านกระบวนการบีบอัด 2 แบบคือ แบบเจเปก (JPEG) และแบบเจเปก2000 (JPEG2000)
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของภาพต้นแบบกับการบอกค่าคุณภาพของภาพจากตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟอย่างง่ายแล้วนำมาพัฒนาเป็นตัววัดคุณภาพของภาพบีบอัดตัวใหม่ สำหรับคุณสมบัติของภาพต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ก็คือสเปกเชิลฟรีแควนซีเมเชอร์
3. หารูปแบบการกระจายของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟและการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ
4. สร้างตัววัดคุณภาพของภาพบีบอัดตัวใหม่ที่สามารถบอกค่าคุณภาพของภาพแบบอ้างอิงได้กับเอ็มไอเอส

#### 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท คือ

บทที่ 1 กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานที่จะนำไปใช้ ได้แก่ การทรานซ์ฟอร์ม (Transform) การตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection) การวิเคราะห์ถดถอย (Regression) และหลักการของการวิเคราะห์

บทที่ 3 กล่าวถึง เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก (JPEG) และแบบเจเปก 2000 (JPEG2000)

บทที่ 4 กล่าวถึง คุณสมบัติของภาพต้นแบบ การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพ และความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ

บทที่ 5 เป็นการนำเอาทฤษฎีและหลักการ มาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในการทดลอง โดยในการทดลองนี้จะแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ อิทธิพลของคุณสมบัติของภาพต้นแบบที่มีต่อความสัมพันธ์ของคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ และรูปแบบการกระจายข้อมูลของความสัมพันธ์ของคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ จากการทดลองที่ได้จะนำไปสู่ตัววัดคุณภาพของภาพตัวใหม่

บทที่ 6 เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานซึ่งจะนำไปใช้ในบทต่อๆ ไป โดยแบ่งได้เป็น 3 หัวข้อ คือ การทรานซ์ฟอร์ม (Transform) การตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection) และการวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis)

#### 2.1 การทรานซ์ฟอร์ม (Transform)

การทรานซ์ฟอร์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ ดิสกรีตฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์ม (Discrete Fourier Transform) หรือดีเอฟที (DFT) ดิสกรีตโคไซน์ทรานซ์ฟอร์ม (Discrete Cosine Transform) หรือดีซีที (DCT) และดิสกรีตเวฟเลททรานซ์ฟอร์ม (Discrete Wavelet Transform) หรือดีดับเบิลยูที (DWT) เนื่องจากสัญญาณรูปภาพเป็นสัญญาณแบบสองมิติ ฉะนั้นในการทรานซ์ฟอร์มสัญญาณรูปภาพนั้นก็จะต้องอาศัยการทรานซ์ฟอร์มแบบสองมิติ

##### 2.1.1 ดิสกรีตฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์ม (Discrete Fourier Transform) หรือดีเอฟที (DFT)

เราสามารถทราบความถี่ของสัญญาณได้จากดีเอฟทีของสัญญาณนั้นๆ ดีเอฟทีและอินเวอร์สของดีเอฟทีแบบหนึ่งมิติ [5] มีนิยามดังสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2 ตามลำดับ

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-\frac{j2\pi un}{N}} \quad (2.1)$$

$$x(n) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) e^{\frac{j2\pi un}{N}} \quad (2.2)$$

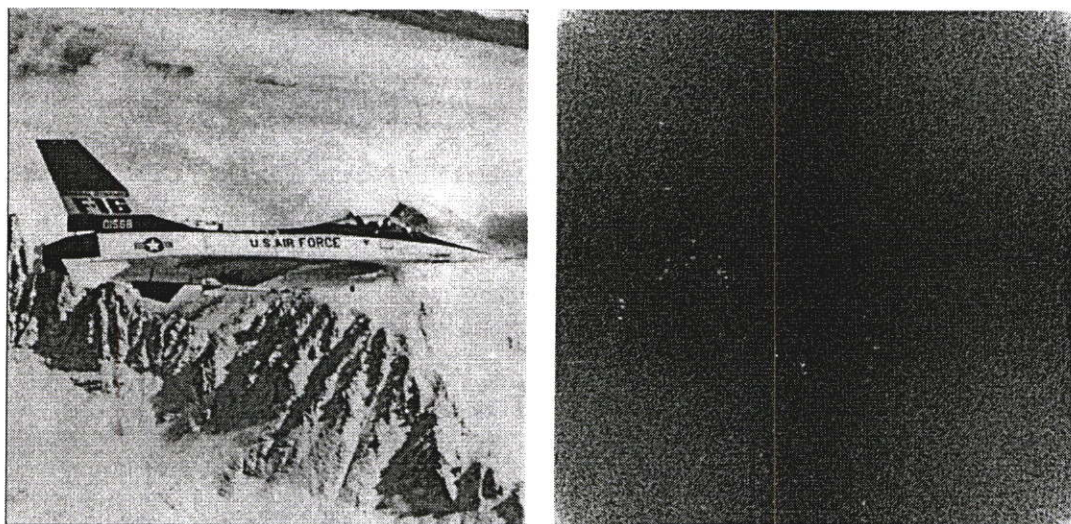
เมื่อ  $x(n)$  คือ ฟังก์ชันที่ต้องการแปลงดีเอฟที และ  $N$  คือจำนวนข้อมูล  $x(n)$  ทั้งหมด

ดีเอฟทีและอินเวอร์สของดีเอฟทีแบบสองมิติ [5] มีนิยามดังสมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.4 ตามลำดับ

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m, n) e^{-j2\pi \left( \frac{um}{M} + \frac{vn}{N} \right)} \quad (2.3)$$

$$x(m, n) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi \left( \frac{um}{M} + \frac{vn}{N} \right)} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $x(m, n)$  เป็นฟังก์ชันของภาพขนาด  $M \times N$



(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่ทำการแปลงดีเอฟที

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการแปลงดีเอฟที

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าภาพที่ทำการแปลงดีเอฟทีมีลักษณะสว่างทั้งสี่มุม ส่วนตรงกลางจะมีมืด นั่นคือจะมีค่ามากที่แถบความถี่ต่ำและมีค่าน้อยที่แถบความถี่สูง ทั้งนี้ก็เพราะภาพทั่วไปในธรรมชาติมีองค์ประกอบทางความถี่ส่วนใหญ่เป็นความถี่ต่ำ

### 2.1.2 ดิสกรีตโคซายน์ทรานซ์ฟอร์ม (Discrete Cosine Transform) หรือดีซีที (DCT)

ประโยชน์อย่างหนึ่งของดีซีทีที่เด่นชัดในงานวิจัยนี้ก็คือ ใช้ในการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก ดีซีทีและอินเวอร์สของดีซีทีแบบหนึ่งมิติ [5] สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.5 และสมการที่ 2.6 ตามลำดับ

$$T(u) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \alpha(u) \cos \left[ \frac{(2n+1)u\pi}{2N} \right] \quad (2.5)$$

$$x(n) = \sum_{u=0}^{N-1} T(u) \alpha(u) \cos \left[ \frac{(2n+1)u\pi}{2N} \right] \quad (2.6)$$

เมื่อ  $x(n)$  คือ ฟังก์ชันที่ต้องการแปลงดีเอฟที และ  $N$  คือจำนวนข้อมูล  $x(n)$  ทั้งหมดและ

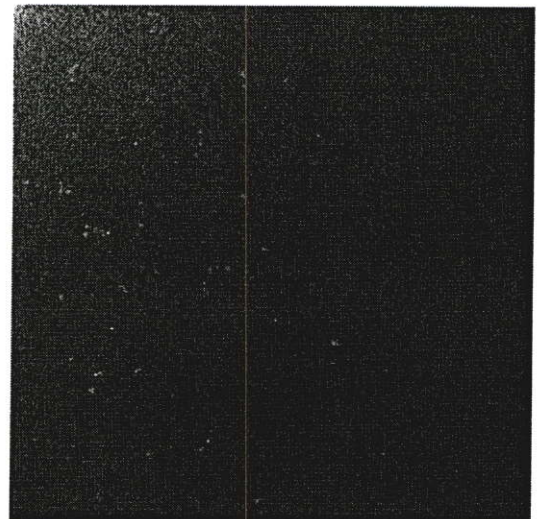
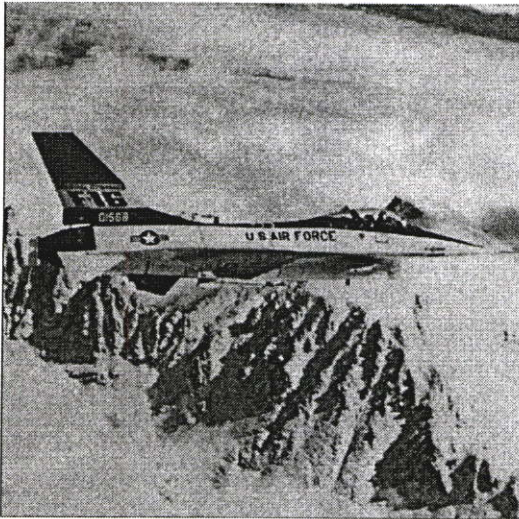
$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{for } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & \text{for } \textit{otherwise} \end{cases} \quad (2.7)$$

ดีซีทีและอินเวอร์สของดีซีทีแบบสองมิติ [5] สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.8 และสมการที่ 2.9 ตามลำดับ

$$T(u, v) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m, n) \alpha(u) \alpha(v) \cos\left[\frac{(2n+1)v\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2m+1)u\pi}{2M}\right] \quad (2.8)$$

$$x(m, n) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} T(u, v) \alpha(u) \alpha(v) \cos\left[\frac{(2n+1)v\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2m+1)u\pi}{2M}\right] \quad (2.9)$$

โดย  $x(m, n)$  เป็นฟังก์ชันของภาพขนาด  $M \times N$



(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่ทำการแปลงดีซีที

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการแปลงดีซีที

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าภาพที่ทำการแปลงดีซีทีมีลักษณะสว่างตรงส่วนมุมบนซ้าย ส่วนล่างซ้ายจะมีมืด นั่นคือจะมีค่ามากที่แถบความถี่ต่ำและมีค่าน้อยที่แถบความถี่สูง ทั้งนี้ก็เพราะภาพทั่วไปในธรรมชาติมีองค์ประกอบทางความถี่ส่วนใหญ่เป็นความถี่ต่ำ

### 2.1.3 ดิสกรีตเวฟเลททรานส์ฟอร์ม (Discrete Wavelet Transform) หรือ ดิตับเบิลยูที (DWT)

ในการบีบอัดข้อมูลแบบเจเปก2000 ซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคที่ใหม่กว่าแบบเจเปก ได้อาศัยหลักการของดิตับเบิลยูที ทั้งนี้ก็เนื่องจากคุณสมบัติในการลดขนาดของข้อมูล [6, 7, 8] รวมทั้งการแก้ปัญหาแบบแอดแดปทีฟสเปทเชียล-ฟรีควเอนซี (Adaptive Spatial-Frequency) นั่นคือการแก้ปัญหาสเปทเชียลที่ดีกว่าที่ความถี่สูงและการแก้ปัญหาฟรีควเอนซีที่ดีกว่าที่ความถี่ต่ำ ซึ่งทำให้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับคุณสมบัติของชีวแมนวิซวลซิสเต็ม (Human Visual System) หรือเอชวีเอส (HVS) มันสามารถให้คุณภาพของภาพที่ดีกว่าดิจิตัลโดยเฉพาะที่อัตราส่วนบีบอัดที่สูงๆ [8]

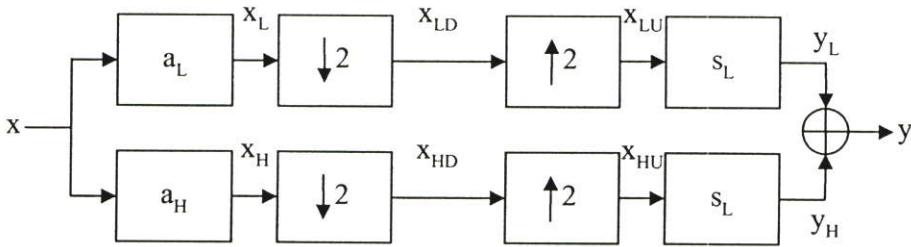
เวฟเลททรานส์ฟอร์มเป็นการสร้างสัญญาณภาพซึ่งเกิดจากการรวมกันของฟังก์ชันเวฟเลทซึ่งมีความแตกต่างกันของตำแหน่งและสเกล จากหลักการนี้เองทำให้เกิดการค้นพบเวฟเลทวิเคราะห์ซึ่งก็คือ ฟิลเตอร์แบงก์ (filter bank) เพอร์เฟ็ครีคอนสตรัคชัน (Perfect Reconstruction) ฟิลเตอร์แบงก์นี้เกิดจากการใช้ลำดับของสัมประสิทธิ์  $a_H$  และ  $a_L$  ซึ่งเป็นฟิลเตอร์แอนาไลซิส (Analysis Filter) ดังรูปที่ 2.3 เมื่อสัญญาณอินพุตถูกกรองด้วยไฮพาสฟิลเตอร์ (High Pass Filter) หรือเอชพีเอฟ (HPF) และโลว์พาสฟิลเตอร์ (Low Pass Filter) หรือแอลพีเอฟ (LPF) จะได้สัญญาณ  $x_L$  และ  $x_H$  ตามลำดับ แต่ละส่วนจะถูกควมแซมเปิล (Down Sample) ด้วย 2 ทำให้ได้สัญญาณ  $x_{LD}$  และ  $x_{HD}$  ตามลำดับ สัญญาณ  $x_{LD}$  และ  $x_{HD}$  จะถูกกู้กลับโดยผ่านการอัพแซมเปิล (Up Sample) และคอนโวลูชัน (Convolution) ด้วยฟิลเตอร์ซินทีสิส (Synthesis Filter)  $s_L$  และ  $s_H$  สำหรับการออกแบบฟิลเตอร์ที่ถูกต้องสามารถสร้างสัญญาณ  $x$  กลับมาได้เหมือนเดิม (นั่นคือ  $y=x$ )

ในการเลือกฟิลเตอร์ไม่เพียงบอกว่าเพอร์เฟ็ครีคอนสตรัคชันจะเป็นได้หรือไม่ แต่ยังรวมไปถึงรูปร่างของสัญญาณเวฟเลทซึ่งเรานำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ ดิคอมโพสิชันที่รู้จักกันในนามดิตับเบิลยูทีสามารถถูกสร้างได้ด้วยการต่อแคสเคดฟิลเตอร์แอนาไลซิสกับตัวมันเองจำนวนหนึ่ง การคำนวณทางคณิตศาสตร์ซึ่งก่อให้เกิดการสังเคราะห์ขึ้นถูกเรียกว่าอินเวอร์ส (Inverse) ดิตับเบิลยูที

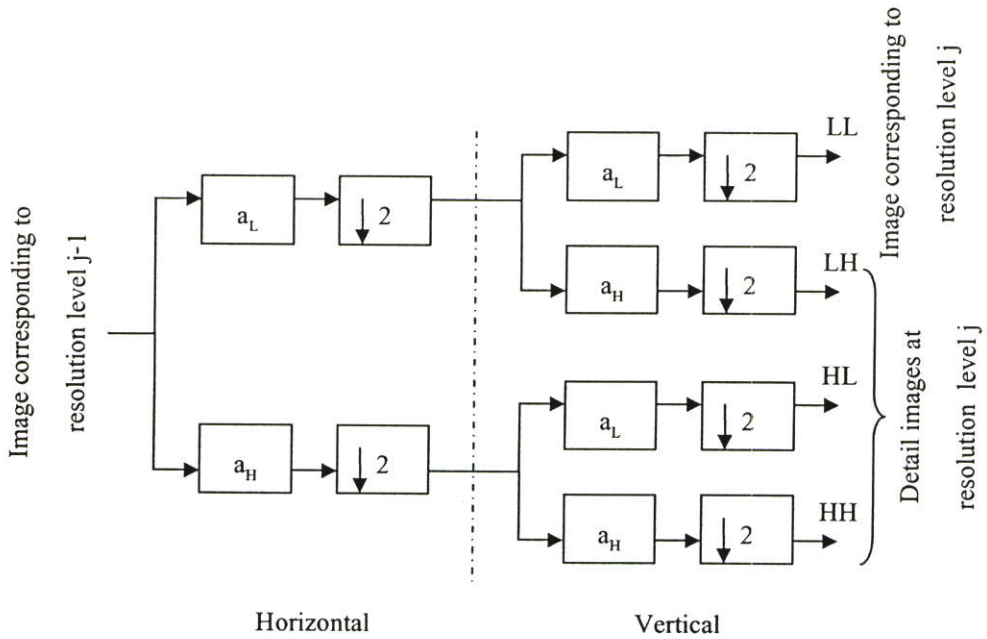
ดิตับเบิลยูทีสำหรับสัญญาณสองมิติสามารถสร้างได้จากดิตับเบิลยูทีหนึ่งมิติ วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การแปลงดิตับเบิลยูทีแบบหนึ่งมิติ 2 ครั้ง โดยทำในแนวแถว (Row) หนึ่งครั้ง และทำในแนวหลัก (Column) อีกครั้งสำหรับการแปลงหนึ่งชั้น ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะได้สี่ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1. ส่วนที่ผ่านแอลพีเอฟทั้งแนวตั้งและแนวนอนซึ่งบางครั้งเรียกว่า แอลแอล (LL)
2. ส่วนที่ผ่านแอลพีเอฟในแนวนอนและผ่านเอชพีเอฟในแนวตั้งบางครั้งก็จะเรียกว่า แอลเอช (LH)
3. ส่วนที่ผ่านเอชพีเอฟในแนวนอนและผ่านแอลพีเอฟในแนวตั้งซึ่งก็จะเรียกว่า เอชแอล (HL)
4. ส่วนที่ผ่านเอชพีเอฟทั้งแนวนอนและแนวตั้งเรียกว่า เอชเอช (HH)

โดยแต่ละส่วนก็จะถือเป็นหนึ่งคิคมโพซิชัน ส่วนที่ผ่านเอชพีเอฟซึ่งได้แก่ แอลเอช เอชแอล และ เอชเอช เรียกรวมกันว่า ดีเทล (Detail)

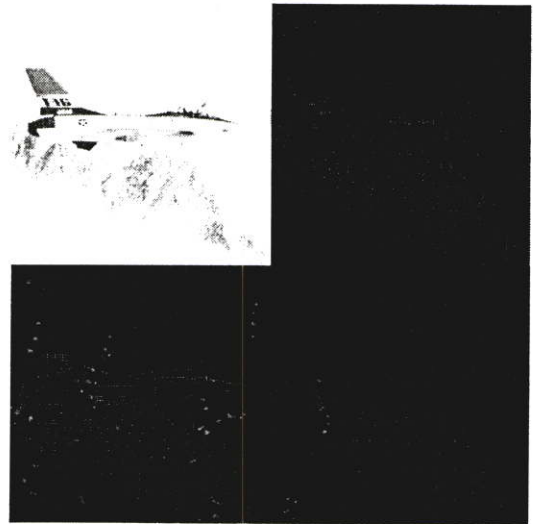
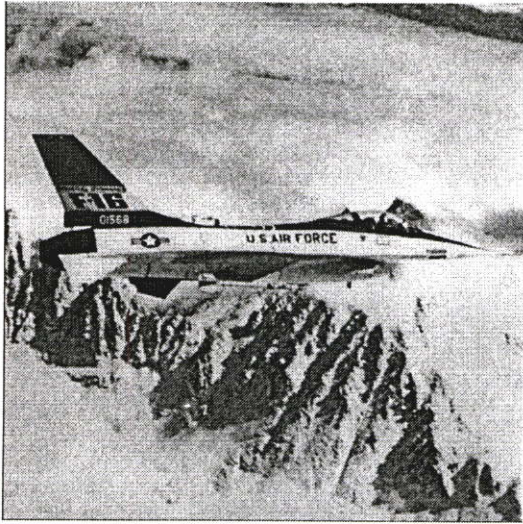


รูปที่ 2.3 แสดงฟิลเตอร์แบงก์



รูปที่ 2.4 แสดงหนึ่งขั้นของการแปลงดีดับเบิลยูที่แบบสองมิติ

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า สัญญาณส่วนบนซ้ายของภาพที่ทำการแปลงดีดับเบิลยูที่ซึ่งเป็น ส่วนแอลแอล มีลักษณะคล้ายกับภาพต้นแบบมากที่สุด ทั้งนี้ก็เพราะภาพทั่วไปในธรรมชาติมี องค์ประกอบทางความถี่ส่วนใหญ่เป็นความถี่ต่ำ



(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่ทำการแปลงระดับเบลยูที

รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการแปลงระดับเบลยูที

## 2.2 การตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection)

ในการตรวจจับขอบของภาพนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น โรเบิร์ตส์ (Roberts) พรูวิทท์ (Prewitt) และ โซเบล (Sobel) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การตรวจจับขอบของภาพแบบโซเบลเป็นกระบวนการในการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพด้วย

อนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพนั้นอยู่บนพื้นฐานของแกรเดียนท์แบบสองมิติ [5] แกรเดียนท์ของภาพ  $x(m, n)$  สามารถนิยามแบบเวกเตอร์  $\nabla x(m, n)$  ได้ดังสมการที่ 2.10

$$\nabla x(m, n) = \begin{bmatrix} G_m \\ G_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x(m, n)}{\partial m} \\ \frac{\partial x(m, n)}{\partial n} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $G_m$  และ  $G_n$  เป็นขอบของภาพในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ โดยขนาด (Magnitude) ของแกรเดียนท์  $Q$  นิยามได้ดังสมการที่ 2.11

$$Q = [G_m^2 + G_n^2]^{\frac{1}{2}} \approx |G_m| + |G_n| \quad (2.11)$$

ทิศทางของแกรเดียนท์ก็ถือว่าเป็นปริมาณที่มีความสำคัญเช่นกัน เมื่อให้  $\alpha(m, n)$  คือ ทิศทางของแกรเดียนท์ จะสามารถนิยามได้ดังสมการที่ 2.12

$$\alpha(m, n) = \tan^{-1} \left( \frac{G_n}{G_m} \right) \quad (2.12)$$

อนุพันธ์นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของการคอนโวลูชันได้ดังสมการที่ 2.13 และสมการที่ 2.14

$$G_m = x(m, n) \otimes h \quad (2.13)$$

$$G_n = x(m, n) \otimes h^T \quad (2.14)$$

โดยค่าของ  $h$  ก็เสมือนกับผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแกรเดียนท์ที่ใช้ ฟิเตอร์ดังกล่าวแสดงดังต่อไปนี้

โรเบิร์ตส์ (Roberts)

$$h_{Roberts} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$h_{Roberts}^T = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

พรีวิตท์ (Prewitt)

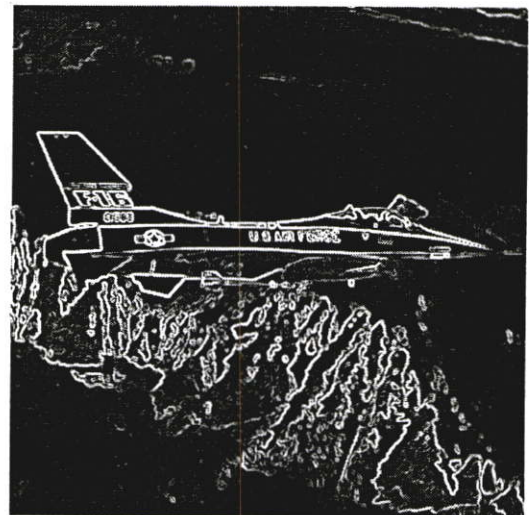
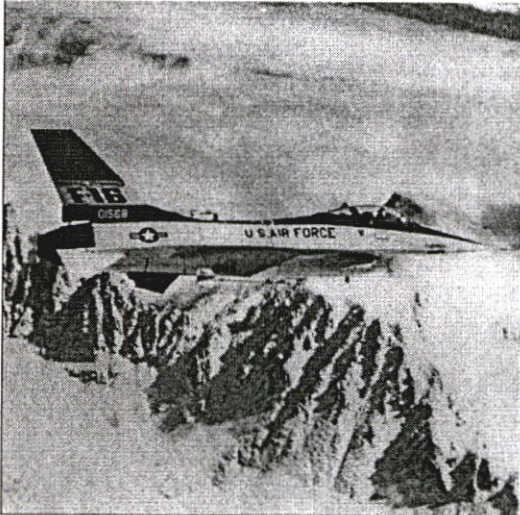
$$h_{Prewitt} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$h_{Prewitt}^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

โซเบล (Sobel)

$$h_{Sobel} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$h_{Sobel}^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$



(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่ทำการตรวจจับขอบของภาพ

รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ทำการตรวจจับขอบของภาพ

จากรูปที่ 2.6 (ข) เป็นภาพที่ทำการตรวจจับขอบของภาพโดยใช้ตัวดำเนินการ โซเบล ซึ่งจะเห็นว่าภาพจะเน้นส่วนที่เป็นขอบ

### 2.3 การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) [9] คือ กระบวนการทางสถิติที่ใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวหรือหลายตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว จากตัวอย่างข้อมูลที่มีอยู่ วิธีหนึ่งของการวิเคราะห์ถดถอยที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ หลักการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ซึ่งสมการของกำลังสองน้อยที่สุดนั้นต้องมีเงื่อนไขเป็นไปตามสมการที่ 2.21

$$\sum_i \frac{\partial}{\partial k_j} (y_i - f(x_i))^2 = 0 \quad (2.21)$$

- เมื่อ  $y_i$  คือ ค่าที่เกิดขึ้นจริง  
 $f(x_i)$  คือ สมการกำลังสองน้อยที่สุด  
 $x_i$  คือ ตัวแปรต้น  
 $k_j$  คือ สัมประสิทธิ์หรือพารามิเตอร์ตัวที่  $j$

### 2.3.1 สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว

สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเป็นสมการถดถอยที่เป็นพื้นฐานที่สุด สมการถดถอยแบบนี้มีรูปแบบดังสมการที่ 2.22

$$y \approx f(x) = k_0 + k_1x \quad (2.22)$$

จากสมการจะได้ว่า

$$\sum_i \frac{\partial}{\partial k_0} (y_i - (k_0 + k_1x_i))^2 = 0 \quad (2.23)$$

$$2 \sum_i (y_i - (k_0 + k_1x_i)) = 0 \quad (2.24)$$

$$\sum_i y_i = nk_0 + k_1 \sum_i x_i \quad (2.25)$$

และ

$$\sum_i \frac{\partial}{\partial k_1} (y_i - (k_0 + k_1x_i))^2 = 0 \quad (2.26)$$

$$2 \sum_i x_i (y_i - (k_0 + k_1x_i)) = 0 \quad (2.27)$$

$$\sum_i x_i y_i = k_0 \sum_i x_i + k_1 \sum_i x_i^2 \quad (2.28)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนข้อมูลที่มีอยู่ จากสมการที่ 2.27 และสมการที่ 2.28 จะได้สมการที่ 2.29 และสมการที่ 2.30

$$k_0 = \frac{\sum_i y_i \sum_i x_i^2 - \sum_i x_i \sum_i x_i y_i}{n \sum_i x_i^2 - \left( \sum_i x_i \right)^2} \quad (2.29)$$

$$k_1 = \frac{n \sum_i x_i y_i - \sum_i x_i \sum_i y_i}{n \sum_i x_i^2 - \left( \sum_i x_i \right)^2} \quad (2.30)$$

ค่า  $k_0$  และ  $k_1$  ในสมการที่ 2.29 และสมการที่ 2.30 ตามลำดับ คือ ค่าที่ทำให้สมการ  $\sum_i \frac{\partial}{\partial k_j} (y_i - f(x_i))^2 = 0$  เป็นจริง นั่นคือ มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (Least Square Error)

### 2.3.2 สมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร

สมการเชิงเส้นหลายตัวแปรมีรูปแบบดังสมการที่ 2.31

$$y \approx f(x) = k_0 + k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3 + \dots + k_n x_n \quad (2.31)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนข้อมูลที่มีอยู่

จากสมการที่ 2.31 จะได้ว่า

$$\sum_i \frac{\partial}{\partial k_0} (y_i - (k_0 + k_1 x_{1i} + k_2 x_{2i} + k_3 x_{3i} + \dots + k_n x_{ni}))^2 = 0 \quad (2.32)$$

$$2 \sum_i (y_i - (k_0 + k_1 x_{1i} + k_2 x_{2i} + k_3 x_{3i} + \dots + k_n x_{ni})) = 0 \quad (2.33)$$

$$\sum_i y_i = n k_0 + k_1 \sum_i x_{1i} + k_2 \sum_i x_{2i} + k_3 \sum_i x_{3i} + \dots + k_n \sum_i x_{ni} \quad (2.34)$$

และ

$$\sum_i \frac{\partial}{\partial k_j} (y_i - (k_0 + k_1 x_{1i} + k_2 x_{2i} + k_3 x_{3i} + \dots + k_n x_{ni}))^2 = 0 \quad (2.35)$$

$$2 \sum_i (y_i - (k_0 + k_1 x_{1i} + k_2 x_{2i} + k_3 x_{3i} + \dots + k_n x_{ni})) x_{ji} = 0 \quad (2.36)$$

$$\sum_i x_{ji} y_i = k_0 \sum_i x_{ji} + k_1 \sum_i x_{1i} x_{ji} + k_2 \sum_i x_{2i} x_{ji} + k_3 \sum_i x_{3i} x_{ji} + \dots + k_n \sum_i x_{ji} x_{ni} \quad (2.37)$$

เมื่อ  $j$  มีค่า 1, 2, 3, ...,  $n$

กำหนดให้

$$X = \begin{bmatrix} k_0 \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \dots \\ k_n \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

$$Y = \begin{bmatrix} \sum_i y_i \\ \sum_i x_{1i} y_i \\ \sum_i x_{2i} y_i \\ \sum_i x_{3i} y_i \\ \dots \\ \sum_i x_{mi} y_i \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

$$A = \begin{bmatrix} n & \sum_i x_{1i} & \sum_i x_{2i} & \sum_i x_{3i} & \dots & \sum_i x_{ni} \\ \sum_i x_{1i} & \sum_i x_{1i}^2 & \sum_i x_{1i} x_{2i} & \sum_i x_{1i} x_{3i} & \dots & \sum_i x_{1i} x_{ni} \\ \sum_i x_{2i} & \sum_i x_{2i} x_{1i} & \sum_i x_{2i}^2 & \sum_i x_{2i} x_{3i} & \dots & \sum_i x_{2i} x_{ni} \\ \sum_i x_{3i} & \sum_i x_{3i} x_{1i} & \sum_i x_{3i} x_{2i} & \sum_i x_{3i}^2 & \dots & \sum_i x_{3i} x_{ni} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_i x_{ni} & \sum_i x_{ni} x_{1i} & \sum_i x_{ni} x_{2i} & \sum_i x_{ni} x_{3i} & \dots & \sum_i x_{ni}^2 \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

จะได้ว่า

$$Y = AX \quad (2.41)$$

เนื่องจากมี  $n$  สมการ และ  $n$  ตัวแปรจึงทำให้  $A$  เป็นสแควร์แมทริกซ์และสามารถแก้สมการได้ด้วย  
กระบวนการอินเวอร์สแมทริกซ์ (Matrix Inverse) ทำให้ได้

$$X = A^{-1}Y \quad (2.42)$$

ซึ่ง  $X$  คือ ค่าพารามิเตอร์  $k_j$

## 2.3.3 สมการถดถอยยกกำลัง

สมการถดถอยยกกำลังสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.43

$$y \approx f(x) = e^{-kx} \quad (2.43)$$

จากสมการที่ 2.43 จะได้ว่า

$$\sum_i \frac{\partial}{\partial k_0} (y_i - e^{-kx_i})^2 = 0 \quad (2.44)$$

$$2 \sum_i (y_i - e^{-kx_i}) \cdot e^{-kx_i} \cdot x_i = 0 \quad (2.45)$$

$$\sum_i x_i y_i e^{-kx_i} = \sum_i x_i e^{-2kx_i} \quad (2.46)$$

จากสมการที่ 2.46 สามารถหาค่า  $k$  ได้ด้วยกระบวนการลองแทนค่า (Bisection Method)

หาก  $\sum_i x_i y_i e^{-kx_i} > \sum_i x_i e^{-2kx_i}$  แสดงว่า  $k$  มีค่ามากเกินไป

หาก  $\sum_i x_i y_i e^{-kx_i} < \sum_i x_i e^{-2kx_i}$  แสดงว่า  $k$  มีค่าน้อยเกินไป

ทฤษฎีและหลักการในบทนี้จะถูกนำไปใช้และอ้างอิงถึงในบทถัดไป

1. ดีเอฟทีและอินเวอร์สจะนำไปใช้ในกระบวนการวัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ (Spectral Measurement) ในบทที่ 4
2. ดีซีทีและอินเวอร์สจะนำไปใช้ในกระบวนการบีบอัดข้อมูลแบบเจเปกในบทที่ 3 และการวัดคุณภาพของภาพแบบเลียนแบบระบบการมองเห็นของมนุษย์หรือฮิวแมนวิสวลซิสเต็ม (Human Visual System) หรือเอชวีเอส (HVS) ในบทที่ 4
3. ดีดับเบิลยูทีและอินเวอร์สจะนำไปใช้ในกระบวนการบีบอัดข้อมูลแบบเจเปก 2000 ในบทที่ 3
4. การตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection) นำไปใช้ในกระบวนการวัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ (Edge Measurement) ในบทที่ 4
5. การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) นำไปใช้ในการทดลองบทที่ 5

## บทที่ 3

### เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพ

เทคนิคการบีบอัดข้อมูลสามารถช่วยลดขนาดในการเก็บข้อมูลลงได้ โดยใช้หลักการที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการลดส่วนที่เกินความจำเป็น (Redundancy) ทำให้การเก็บและส่งผ่านข้อมูลสามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นข้อมูลชนิดมัลติมีเดียซึ่งมักมีขนาดใหญ่โดยมากจะถูกเก็บในรูปแบบที่ถูกบีบอัดไว้

เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยอาศัยปัจจัยในการวัดและประเมินผลการบีบอัดข้อมูลภาพ 3 ประการในบทที่ 1 แม้จะมีปัจจัยในการวัดและประเมินผลการบีบอัดข้อมูลภาพแต่เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแต่ละประเภทก็มีข้อดีเสียต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนที่ต้องการกับคุณภาพของภาพที่ยอมรับได้ ความซับซ้อนที่ใช้ในการประมวลผล หรือแม้แต่ชนิดของภาพต้นแบบ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปกและเจเปก2000

#### 3.1 เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก (JPEG)

การบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก [10] แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การแบ่งบล็อก (Blocking) เพื่อให้กระบวนการต่างๆเป็นไปโดยง่ายจึงได้มีการแบ่งบล็อกเป็นบล็อกขึ้น โดยกระบวนการนี้จะนำภาพต้นแบบที่ได้มาทำการแบ่งออกเป็นบล็อก (ภาพเล็กๆ) โดยแต่ละบล็อกจะมีขนาดเท่ากับ  $8 \times 8$  พิกเซล

2. การทรานส์ฟอร์ม (Transform) จากบล็อกของภาพต้นแบบที่ได้ แต่ละบล็อกจะถูกทำการทรานส์ฟอร์มโดยใช้ดิสครีตโคไซน์ทรานส์ฟอร์ม (Discrete Cosine Transform) หรือดีซีที (DCT) เพื่อให้ได้บล็อกของดีซีที โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการที่ 3.1

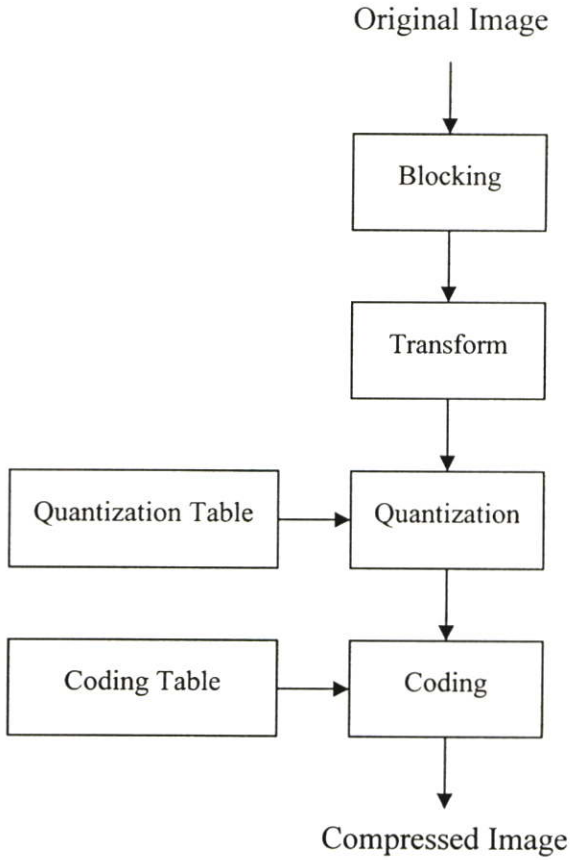
$$C = TO^T \tag{3.1}$$

เมื่อ C คือ สัมประสิทธิ์ดีซีที (DCT Coefficient)

T คือ เมทริกซ์ดีซีที (DCT Matrix) แสดงดังสมการที่ 3.2

O คือ บล็อกของภาพต้นแบบ

$$T = \begin{bmatrix} 0.35355 & 0.35355 & 0.35355 & 0.35355 & 0.35355 & 0.35355 & 0.35355 & 0.35355 \\ 0.49039 & 0.41573 & 0.27779 & 0.097545 & -0.097545 & -0.27779 & -0.41573 & -0.49039 \\ 0.46194 & 0.19134 & -0.19134 & -0.46194 & -0.46194 & -0.19134 & 0.19134 & 0.46194 \\ 0.41573 & -0.097545 & -0.49039 & -0.27779 & 0.27779 & 0.49039 & 0.097545 & -0.41573 \\ 0.35355 & -0.35355 & -0.35355 & 0.35355 & 0.35355 & -0.35355 & -0.35355 & 0.35355 \\ 0.27779 & -0.49039 & 0.097545 & 0.41573 & -0.41573 & -0.097545 & 0.49039 & -0.27779 \\ 0.19134 & -0.46194 & 0.46194 & -0.19134 & -0.19134 & 0.46194 & -0.46194 & 0.19134 \\ 0.097545 & -0.27779 & 0.41573 & -0.49039 & 0.49039 & -0.41573 & 0.27779 & -0.097545 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$



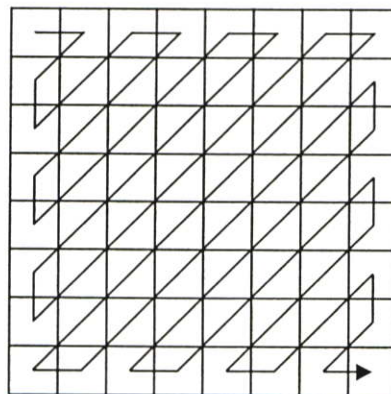
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลภาพ โดยใช้เทคนิคแบบเจเปก

ตารางที่ 3.1 ค่าการควอนไทซ์

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	59
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	12	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

**3. การควอนไทซ์ (Quantization)** การกำจัดส่วนที่ไม่สำคัญต่อรูปภาพออกจะใช้กระบวนการที่เรียกว่า การควอนไทซ์ ซึ่งก็คือการกำหนดระดับขนาดของสัญญาณใหม่ โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ดีซีทีที่ได้ไปคูณด้วยค่าจากตารางการควอนไทซ์ในตารางที่ 3.1 ในขั้นตอนนี้เราสามารถกำหนดว่าจะให้อัตราส่วนการบีบอัดข้อมูลได้โดยการกำหนดค่าในตารางการควอนไทซ์ให้เหมาะสม โดยการนำค่าคงที่ (Scalar) ไปคูณแต่ละค่าในตารางนี้ก่อนทำการควอนไทซ์

**4. การเข้ารหัส (Coding)** ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากกระบวนการควอนไทซ์จะถูกนำมาเรียงเป็นข้อมูล 1 บิต ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า ซิกแซกสแกน (Zigzag Scan) ดังรูปที่ 3.2 ก่อนทำการเข้ารหัสแบบฮัฟแมน (Huffman Coding)

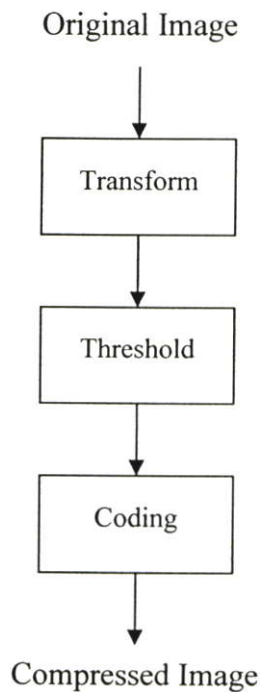


รูปที่ 3.2 แสดงการทำซิกแซกสแกน

### 3.2 เทคนิคการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก 2000 (JPEG2000)

การบีบอัดข้อมูลภาพแบบเจเปก2000 [11] แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การทรานซ์ฟอร์ม (Transform) ภาพต้นแบบจะถูกทำการทรานซ์ฟอร์ม โดยใช้ดิสครีตเวฟเลททรานซ์ฟอร์ม (Discrete Wavelet Transform) หรือดีคัมเบิลยูที (DWT) ซึ่งจะใช้ฟิลเตอร์คอบีซี 9/7 (Daubechies 9/7) และทำการแปลงจำนวน 4 ระดับ (Level)
2. การทำธรชโซลด์ (Threshold) ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากกระบวนการดีคัมเบิลยูทีจะถูกลดข้อมูลลงโดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่ต่ำกว่าค่าธรชโซลด์ให้เป็น 0



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลภาพ โดยใช้เทคนิคแบบเจเปก 2000

3. การเข้ารหัส (Coding) ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากกระบวนการทำธรชโซลด์จะถูกนำมาเข้ารหัสด้วยกระบวนการเข้ารหัสแบบเรจาคณิต (Arithmetic Coding)

การบีบอัดข้อมูลแบบเจเปกและเจเปก 2000 นั้นเหมาะสำหรับภาพประเภทภาพทั่วไป (Continuous tone) ซึ่งเป็นภาพที่มีความต่อเนื่องของแสงสว่างนั้นคือ พิกเซลที่อยู่ใกล้กันจะมีค่าความสว่างที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เทคนิคการบีบอัดข้อมูลข้างต้นแล้วยังมีเทคนิคการบีบอัดข้อมูลแบบอื่นๆ อีก เช่น การบีบอัดข้อมูลแบบจีฟ (gif) เหมาะสำหรับภาพประเภทภาพการ์ตูน เป็นต้น

# บทที่ 4

## การวัดและประเมินผลภาพ

### 4.1 คุณสมบัติของภาพต้นแบบ

คุณสมบัติของภาพต้นแบบสามารถวัดได้หลายรูปแบบ เช่น ในรูปของโดเมนสเปเชียล (Spatial Domain) ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้สเปเชียลฟริควเอนซีเมเชอร์ (Spatial Frequency Measure) หรือเอสเอฟเอ็ม (SFM) [12] หรือในรูปของโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยใช้สเปกตรอลแอคทิวิตีเมเชอร์ (Spectral Activity Measure) หรือเอสเอเอ็ม (SAM) [7] สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการอาศัยภาพต้นแบบมาเป็นปัจจัยช่วยในการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพบีบอัดด้วยซึ่งตัววัดที่ใช้คือเอสเอฟเอ็ม

#### 4.1.1 สเปเชียลฟริควเอนซีเมเชอร์ (Spatial Frequency Measure) หรือเอสเอฟเอ็ม (SFM)

สำหรับงานวิจัยนี้ เราได้เลือกเอสเอฟเอ็มมาเป็นตัววัดคุณภาพของภาพ โดยนิยามของเอสเอฟเอ็มแสดงดังสมการที่ 4.1

$$SFM = \sqrt{R^2 + C^2} \quad (4.1)$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=2}^N (x(m,n) - x(m,n-1))^2} \quad (4.2)$$

$$C = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=2}^M \sum_{n=1}^N (x(m,n) - x(m-1,n))^2} \quad (4.3)$$

เมื่อ R เป็นความถี่ในแนวแถว และ C เป็นความถี่ในแนวหลัก  $x(m, n)$  คือ ค่าความสว่างของภาพในตำแหน่งที่ m และ n ส่วน M และ N คือ ความกว้างและความยาวของภาพตามลำดับ มีหน่วยเป็นพิกเซล ค่าของเอสเอฟเอ็มจะมีค่าตั้งแต่ 0 ขึ้นไปโดยค่าที่มากกว่าของเอสเอฟเอ็มจะแสดงถึงรายละเอียด (content) ของภาพที่มากกว่า

#### 4.1.2 สเปกตรอลแอคทิวิตีเมเชอร์ (Spectral Activity Measure) หรือเอสเอเอ็ม (SAM)

เอสเอเอ็มคือเครื่องมือสำหรับวัดความสามารถที่จะถูกทำนายได้ของภาพ (Predictability) เอสเอเอ็มจะถูกนิยามเหมือนกับอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตต่อค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของดีเอฟที (DFT) ดังสมการที่ 4.4

$$SAM = \frac{\frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} |F(u, v)|^2}{\left[ \prod_{u=0}^{M-1} \prod_{v=0}^{N-1} |F(u, v)|^2 \right]^{\frac{1}{MN}}} \quad (4.4)$$

เมื่อ  $F(j, k)$  คือ สัมประสิทธิ์คี่เอฟทีทีที่  $(j, k)$  ของภาพ ค่าของเอสเอเอ็มจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง  $\infty$  โดยค่าที่มากขึ้นของเอสเอเอ็มหมายถึงความสามารถที่จะทำนายได้ของภาพที่สูงขึ้น

## 4.2 การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพ

การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบจับเจกทีฟ และการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ

### 4.2.1 การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบจับเจกทีฟ

ในระบบการบีบอัดข้อมูล นิยามของตัววัดคุณภาพของภาพที่ถูกต้องก็คือ ตัววัดคุณภาพของภาพโดยใช้การรับรู้ของมนุษย์ซึ่งก็คือการวัดคุณภาพของภาพแบบจับเจกทีฟนั่นเอง การบิดเบือนของภาพนี้ระบุได้โดยมีน โอฟีเนียนสกอร์ (Mean Opinion Score) หรือเอ็ม โอเอส (MOS) [2, 3] ซึ่งก็คือผลของการวัดโดยมีพื้นฐานของความรู้สึก โดยผลของเอ็ม โอเอสให้ความหมายดังนี้

5 หมายถึง ไม่สามารถรับรู้ได้ถึงความแตกต่างระหว่างภาพต้นแบบและภาพบีบอัด (imperceptible)

4 หมายถึง สามารถรับรู้ได้ถึงความแตกต่างระหว่างภาพต้นแบบและภาพบีบอัด แต่ไม่รู้สึกถูกรบกวน (perceptible, but not annoying)

3 หมายถึง รู้สึกถูกรบกวนเล็กน้อยจากสัญญาณรบกวน (slightly annoying)

2 หมายถึง รู้สึกถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวน (annoying)

1 หมายถึง รู้สึกถูกรบกวนมากจากสัญญาณรบกวน (very annoying)

โดยค่าของเอ็ม โอเอสจะได้มาจากค่าเฉลี่ยของคุณภาพของภาพจากผู้ประเมิน (Observer) จำนวนหนึ่ง

### 4.2.2 การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ

ในการวัดโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์หรือที่เรียกว่า การวัดแบบออบเจกทีฟนั้นประหยัดทรัพยากร (เวลาและบุคลากร) มากกว่าการวัดแบบจับเจกทีฟ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟทั้งหมด 5 ตัว คือ ผลต่างกำลังสองเฉลี่ยหรือมีนสแควร์เออร์เรอร์ (Mean Square Error) หรือเอ็มเอสอี (MSE) ตัววัดคุณภาพ

ของภาพจากขอบของภาพ (Edge Measurement) [14] ตัววัดคุณภาพของภาพแบบเลียนแบบระบบการมองเห็นของมนุษย์หรือฮิวแมนวิสวลซิสเต็ม (Human Visual System) หรือเอชวีเอส (HVS) [14] ตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพ (Correlation Measure) [14] และตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ (Spectral Measure) [14]

### 1. ผลต่างกำลังสองเฉลี่ยหรือมีนสแควร์เออร์เรอร์ (Mean Square Error) หรือเอ็มเอสอี (MSE)

ตัววัดคุณภาพของภาพที่จัดได้ว่าเป็นพื้นฐานที่สุดก็คือ เอ็มเอสอี ซึ่งมีนิยามตามสมการที่ 4.5

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (x(m, n) - \hat{x}(m, n))^2 \quad (4.5)$$

โดย  $x(m, n)$  คือ ค่าความสว่างของภาพต้นแบบ และ  $\hat{x}(m, n)$  คือ ค่าความสว่างของภาพบีบอัด ค่าของเอ็มเอสอีจะมีค่าตั้งแต่ 0 ขึ้นไป ค่าที่มากขึ้นของเอ็มเอสอี บ่งบอกถึงคุณภาพของภาพที่ด้อยลง

### 2. ตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ (Edge Measurement)

ตัววัดชนิดนี้สามารถหาได้จากสมการที่ 4.6 [14]

$$Edge = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Q(i, j) - \hat{Q}(i, j))^2 \quad (4.6)$$

เมื่อ  $Q(i, j)$  และ  $\hat{Q}(i, j)$  คือ เอ็ดจ์แกรเดียนท์ (Edge Gradient) ซึ่งเป็นตัวกระทำกรโซเบล (Sobel operator) ของภาพต้นแบบและภาพบีบอัดตามลำดับ เช่นเดียวกับเอ็มเอสอีค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจะมีค่าตั้งแต่ 0 ขึ้นไป ภาพที่คุณภาพต่ำกว่าจะให้ค่าจากการวัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพที่สูงกว่า

### 3. ตัววัดคุณภาพของภาพแบบเลียนแบบระบบการมองเห็นของมนุษย์หรือฮิวแมนวิสวลซิสเต็ม (Human Visual System) หรือเอชวีเอส (HVS)

การมองเห็นของมนุษย์จริงๆ นั้นมีความซับซ้อนเกินกว่าจะเข้าใจได้ทั้งหมด แต่ก็สามารถที่จะบรรยายในรูปของเอชวีเอสอย่างง่าย หนึ่งในเอชวีเอสอย่างง่ายจะนิยามคล้ายกับตัวกรองความถี่แบบเลือกผ่าน (Band Pass Filter)  $H(\rho)$  ในสมการที่ 4.7 [14]

$$H(\rho) = \begin{cases} 0.05e^{\rho^{0.554}} & , \rho < 7, \\ e^{-9[|\log_{10} \rho - \log_{10} 9|]^3} & , \rho \geq 7 \end{cases} \quad (4.7)$$

เมื่อ  $\rho = (u^2 + v^2)^{1/2}$  โดย  $u$  และ  $v$  เป็นตัวแปรของฟังก์ชัน  $H(\rho)$

นั่นคือ เอชวีเอสจะนิยามตามสมการที่ 4.8

$$HVS = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (U\{\hat{x}(m, n)\} - U\{x(m, n)\})^2 \quad (4.8)$$

โดย  $U\{\cdot\}$  เป็นตัวดำเนินการซึ่งนิยามดังสมการที่ 4.9

$$U\{x(m, n)\} = DCT^{-1}\{H(\rho) \cdot DCT\{x(m, n)\}\} \quad (4.9)$$

ค่าของเอชวีเอสจะมีค่าตั้งแต่ 0 ขึ้นไป โดยค่าของเอชวีเอสนี้จะลดลงถ้าคุณภาพของภาพดีขึ้น

#### 4. ตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพ (Correlation Measurement)

ความคล้ายระหว่างภาพสองภาพสามารถวัดได้โดยสมการความสัมพันธ์ซึ่งได้นิยามไว้ในสมการที่ 4.10 เมื่อ  $C$  คือ ค่าที่ได้จากการวัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพ [14]

$$C = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x(m, n)\hat{x}(m, n)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x^2(m, n) \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \hat{x}^2(m, n)}} \quad (4.10)$$

ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่าที่มากขึ้นของความสัมพันธ์จะหมายถึงคุณภาพของภาพที่ดีขึ้น

#### 5. ตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ (Spectral Measurement)

เมื่อการแปลงดีสครีตฟูเรียร์ (Discrete Fourier Transform) หรือ ดีเอฟที (DFT) เขียนแทนด้วย  $F(i, j)$  จะได้  $M(i, j) = |F(i, j)|$  และ  $\phi(i, j) = \arctan(F(i, j))$  และจะได้ตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ดังสมการที่ 4.11 เมื่อ  $Spt.$  คือ ค่าที่ได้จากการวัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่และ  $\lambda = 2.5 \times 10^{-5}$  [14]

$$Spt. = (1 - \lambda) \cdot D_M(i, j) + \lambda \cdot D_\phi(i, j) \quad (4.11)$$

$$D_M(i, j) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\hat{M}(i, j) - M(i, j))^2 \quad (4.12)$$

$$D_\phi(i, j) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\hat{\phi}(i, j) - \phi(i, j))^2 \quad (4.13)$$

ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จะมีค่าตั้งแต่ 0 ขึ้นไป ภาพที่คุณภาพต่ำกว่าจะให้ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ที่สูงกว่า

### 4.3 ความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ

ตัววัดคุณภาพของภาพใดๆ ก็ตามจะมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ได้ก็ต่อเมื่อสามารถบอกค่าคุณภาพของภาพได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัววัดความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพอยู่ 2 ตัว ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) [15, 16] ระหว่างค่าจากการวัดคุณภาพแบบออบเจกทีฟและค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ และรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) หรืออาร์เอ็มเอสอี (RMSE) [9]

#### 4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟและค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟแสดงได้ดังสมการที่ 4.14 [15, 16]

$$r = \frac{\sum_i (s_i - \bar{s})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_i (s_i - \bar{s})^2 \sum_i (o_i - \bar{o})^2}} \quad (4.14)$$

เมื่อ  $s_i$  และ  $o_i$  เป็นลำดับของค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟและค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟตามลำดับ ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ความสัมพันธ์ที่ดีจะให้ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ -1 หรือ 1

#### 4.3.2 รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) หรืออาร์เอ็มเอสอี (RMSE)

ในทางสถิตินั้นได้มีการนำอาร์เอ็มเอสอีมาใช้ในการวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ซึ่งรวมไปถึงการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์ถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย โดยอาร์เอ็มเอสอีมีนิยามดังสมการที่ 4.15 [9]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (s_i - o_i)^2} \quad (4.15)$$

เมื่อ  $s_i$  เป็นลำดับของค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ  
 $o_i$  เป็นลำดับของค่าจากการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ  
 $n$  คือ จำนวนข้อมูลที่มีอยู่

ค่าอาร์เอ็มเอสอีจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 เสมอ โดยค่าอาร์เอ็มเอสอีของตัววัดใดมีค่าน้อย (เข้าใกล้ 0) แสดงว่าตัววัดนั้นมีความน่าเชื่อถือสูง

จากนิยามการวัดและประเมินผลภาพต่างๆ อันได้แก่ คุณสมบัติของภาพต้นแบบ การวัด และประเมินผลคุณภาพของภาพ และความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ จะถูกนำไปใช้ในบทที่ 5 ซึ่งเป็นบทการทดลอง

## บทที่ 5

### การทดลอง

ในการทดลองนี้ ตัววัดคุณภาพของภาพแบบใหม่ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยนิยามขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟดั้งเดิมกับตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ ในการนิยามนั้นจะต้องอาศัยภาพต้นแบบและภาพบีบอัดจำนวนหนึ่ง เมื่อได้นิยามมาแล้วก็จะทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยอาศัยภาพต้นแบบและภาพบีบอัดอีกชุดหนึ่ง ดังนั้นภาพต้นแบบและภาพบีบอัดที่ใช้ในการทดลองนี้จึงมีอยู่ 2 ชุดด้วยกัน สำหรับภาพต้นแบบที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่

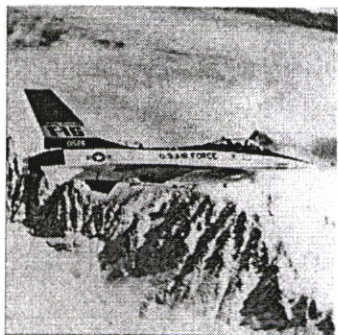
**ภาพต้นแบบชุดที่ 1** ใช้ในการพัฒนาตัววัดคุณภาพของภาพตัวใหม่ ได้แก่ ภาพต้นแบบที่ 1 ถึงภาพต้นแบบที่ 6 โดยภาพต้นแบบที่ 1 ภาพต้นแบบที่ 2 และภาพต้นแบบที่ 3 เป็นภาพขนาด  $512 \times 512$  พิกเซล ส่วนภาพต้นแบบที่ 4 ภาพต้นแบบที่ 5 และภาพต้นแบบที่ 6 เป็นภาพขนาด  $256 \times 256$  พิกเซล แต่ละภาพมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 5.1

**ภาพต้นแบบชุดที่ 2** ใช้ในการหาค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพตัวใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้น ได้แก่ ภาพต้นแบบที่ 7 ถึงภาพต้นแบบที่ 12 โดยภาพต้นแบบที่ 7 ภาพต้นแบบที่ 8 และภาพต้นแบบที่ 9 เป็นภาพขนาด  $512 \times 512$  พิกเซล ส่วนภาพต้นแบบที่ 10 ภาพต้นแบบที่ 11 และภาพต้นแบบที่ 12 เป็นภาพขนาด  $256 \times 256$  พิกเซล แต่ละภาพมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 5.2

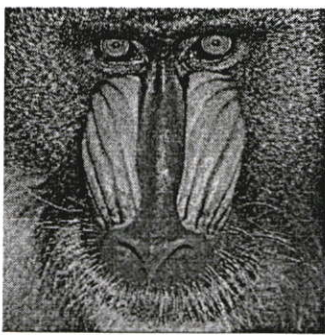
ภาพต้นแบบทั้งหมดได้ถูกนำมาหาคุณสมบัติโดยใช้เอสเอฟเอ็มและนำมาทำการบีบอัดข้อมูลโดยใช้เทคนิคแบบเจเปกและเจเปก2000 โดยใช้อัตราส่วนเทคนิคละ 10 อัตราส่วน คือ

**เทคนิคแบบเจเปก** ใช้สัมประสิทธิ์การควอนไทซ์ (Quantized Parameter, Q) ที่ 0.14, 0.2, 0.27, 0.37, 0.52, 0.72, 1, 1.4, 2 และ 2.7

**เทคนิคแบบเจเปก 2000** ใช้เปอร์เซ็นต์เรซโซลด์ (Percentage Threshold) ที่ 2.5%, 3.2%, 4%, 5%, 6.3%, 8%, 10%, 12.5%, 16% และ 20%



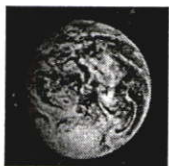
(ก) ภาพต้นแบบที่ 1



(ข) ภาพต้นแบบที่ 2



(ค) ภาพต้นแบบที่ 3



(ง) ภาพต้นแบบที่ 4

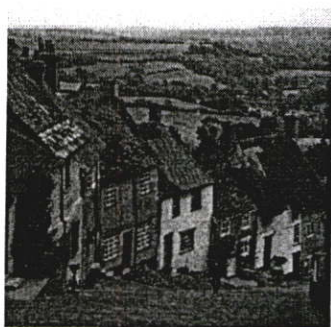


(จ) ภาพต้นแบบที่ 5



(ฉ) ภาพต้นแบบที่ 6

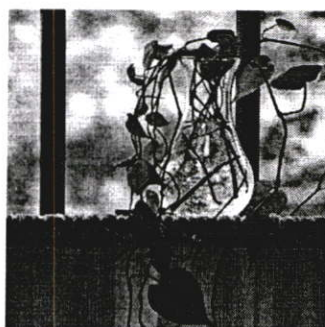
### รูปที่ 5.1 แสดงภาพต้นแบบชุดที่ 1



(ก) ภาพต้นแบบที่ 7



(ข) ภาพต้นแบบที่ 8



(ค) ภาพต้นแบบที่ 9



(ง) ภาพต้นแบบที่ 10



(จ) ภาพต้นแบบที่ 11



(ฉ) ภาพต้นแบบที่ 12

### รูปที่ 5.2 แสดงภาพต้นแบบชุดที่ 2

ตารางที่ 5.1 ค่าเอสเอฟเอ็มของภาพต้นแบบชุดที่ 1

ภาพ	เอสเอฟเอ็ม
ภาพต้นแบบที่ 1	14.865
ภาพต้นแบบที่ 2	31.402
ภาพต้นแบบที่ 3	6.9539
ภาพต้นแบบที่ 4	22.312
ภาพต้นแบบที่ 5	48.217
ภาพต้นแบบที่ 6	10.694

ตารางที่ 5.2 ค่าเอสเอฟเอ็มของภาพต้นแบบชุดที่ 2

ภาพ	เอสเอฟเอ็ม
ภาพต้นแบบที่ 7	16.414
ภาพต้นแบบที่ 8	14.057
ภาพต้นแบบที่ 9	20.553
ภาพต้นแบบที่ 10	12.713
ภาพต้นแบบที่ 11	28.95
ภาพต้นแบบที่ 12	12.182

ค่าเอสเอฟเอ็มได้แสดงดังตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 จากตารางจะเห็นได้ว่า ภาพต้นแบบที่มีค่าเอสเอฟเอ็มสูงที่สุดก็คือ ภาพต้นแบบที่ 5 คือมีค่าเอสเอฟเอ็มเป็น 48.217 และภาพต้นแบบที่มีค่าเอสเอฟเอ็มน้อยที่สุดก็คือ ภาพต้นแบบที่ 3 มีค่าเอสเอฟเอ็มเป็น 6.9539

ส่วนการบีบอัดข้อมูลภาพ ทำให้ได้ภาพบีบอัดจำนวน 240 ภาพ เป็นภาพบีบอัดชุดที่ 1 ซึ่งได้จากภาพต้นแบบชุดที่ 1 จำนวน 120 ภาพ และภาพบีบอัดชุดที่ 2 ได้จากภาพต้นแบบชุดที่ 2 อีกจำนวน 120 ภาพ ภาพบีบอัดเหล่านี้ได้ถูกนำมาหาค่าคุณภาพของภาพแบบจับเจกทีฟหรือเอ็ม โอเอส โดยอาศัยผู้ประเมินจำนวน 4 ท่าน และได้ถูกนำมาคำนวณหาคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ อันได้แก่ เอ็มเอสอี (MSE) ตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ (Edge) เอชวีเอส (HVS) ตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพ (C) และตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ (Spt.)

จากค่าคุณภาพของภาพข้างต้น ข้อมูลคุณภาพของภาพสำหรับภาพบีบอัดชุดที่ 1 ถูกนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับการวัดคุณภาพของภาพแบบจับเจกทีฟแต่ละตัวดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.3 ถึง รูปที่ 5.7

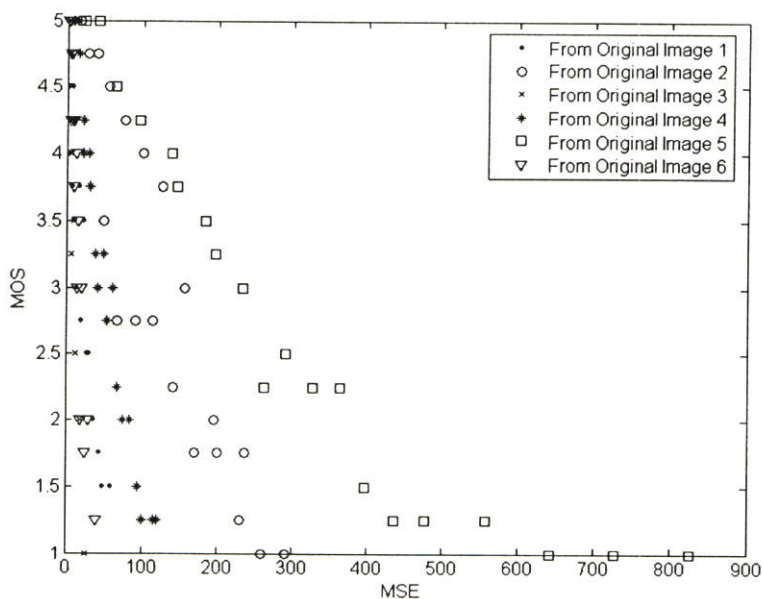
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ สัญลักษณ์ต่างๆ มีความหมายดังนี้

**สำหรับภาพบีบอัดชุดที่ 1**

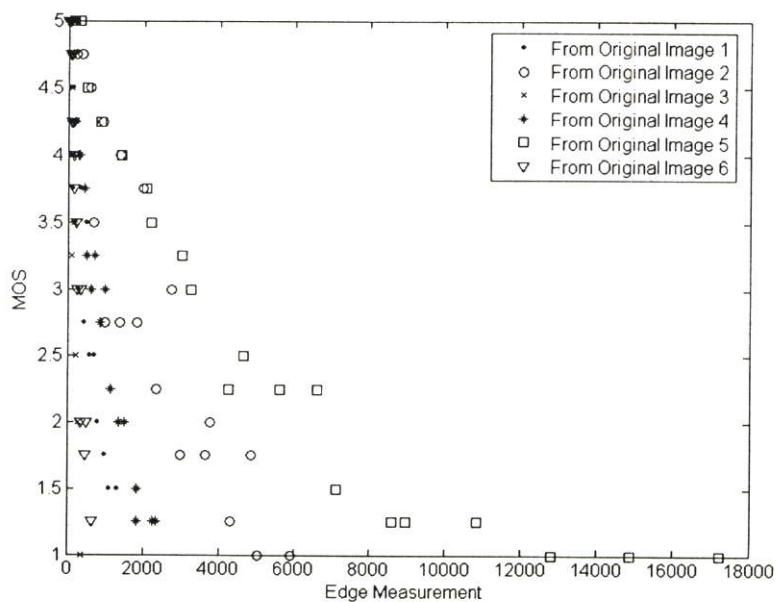
- รูปจุด (•) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 1
- รูปวงกลม (○) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 2
- รูปกากบาท (×) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 3
- รูปดอกจันทน์ (+) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 4
- รูปสี่เหลี่ยม (□) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 5
- รูปสามเหลี่ยมคว่ำ (▽) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 6

**สำหรับภาพบีบอัดชุดที่ 2**

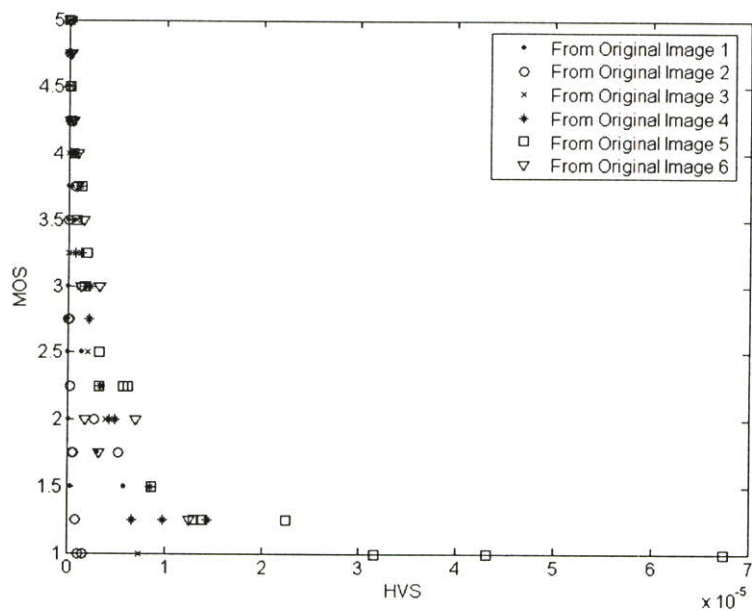
- รูปจุด (•) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 7
- รูปวงกลม (○) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 8
- รูปกากบาท (×) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 9
- รูปดอกจันทน์ (+) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 10
- รูปสี่เหลี่ยม (□) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 11
- รูปสามเหลี่ยมคว่ำ (▽) หมายถึงค่าคุณภาพของภาพที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 12



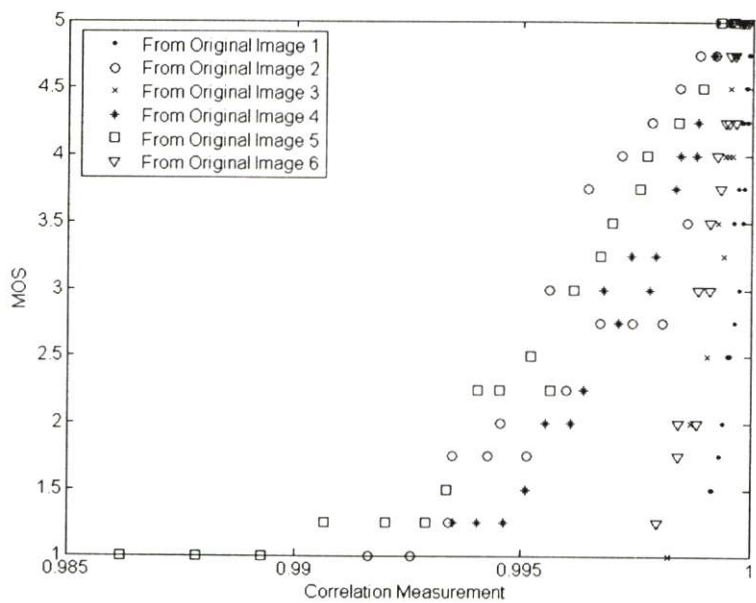
**รูปที่ 5.3** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีกับเอ็มโอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



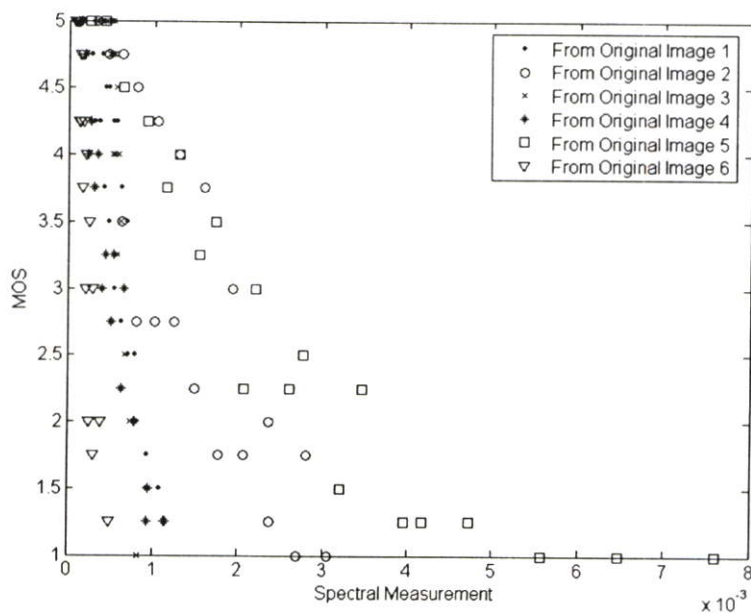
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ กับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮชวีเอสกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่กับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1

จากรูปที่ 5.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีกับเอ็มไอเอส จะเห็นได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายอยู่มากซึ่งก็หมายความว่า ความน่าเชื่อถือของตัววัดนี้ยังต่ำอยู่ ดังจะเห็นได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีกับเอ็มไอเอสที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1 ในตารางที่ 5.3 ซึ่งมีค่าเป็น  $-0.60758$  แต่การกระจายที่มากนั้นก็ยังมีรูปแบบของการกระจายอยู่ นั่นคือ ข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์นั้นจะมีรูปแบบการกระจายไปในทิศทางเดียวกัน ข้อมูลที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม จะมีการกระจายออกมาทางด้านขวามือ ถัดมาก็จะเป็นข้อมูลรูปวงกลม ข้อมูลรูปดอกจันทน์และข้อมูลรูปจุด ส่วนข้อมูลรูปสามเหลี่ยมกว่ากับข้อมูลรูปกากบาทจะอยู่ทางด้านซ้ายสุด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ภาพต้นแบบมีผลต่อการบอกค่าของเอ็มเอสอี ค่าของเอ็มเอสอีที่เท่ากันอาจมีคุณภาพของภาพที่แตกต่างกัน และหากพิจารณาที่ค่าเอสเอฟเอ็มของภาพด้วย ก็จะพบว่า ข้อมูลรูปสี่เหลี่ยม ที่มีการกระจายออกมาทางด้านขวามือสุดนั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 5 ซึ่งมีค่าเอสเอฟเอ็มมากที่สุดคือ 48.217 ถัดมาข้อมูลรูปวงกลม เป็นข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 2 ซึ่งมีค่าเอสเอฟเอ็ม 31.402 จากนั้นก็ตามด้วยข้อมูลรูปดอกจันทน์ เป็นข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 4 ซึ่งมีค่าเอสเอฟเอ็ม 22.312 ข้อมูลรูปจุด เป็นข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 1 ซึ่งมีค่าเอสเอฟเอ็ม 14.865 ข้อมูลรูปสามเหลี่ยมกว่า เป็นข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 6 ซึ่งมีค่าเอสเอฟเอ็ม 10.694 และสุดท้ายข้อมูลรูปกากบาท เป็นข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่ 3 ซึ่งมีค่าเอสเอฟเอ็ม 6.9539 ตามลำดับ ดังนั้นอิทธิพลของเอสเอฟเอ็มเองก็มีผลต่อการบอกค่าของเอ็มเอสอี ข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่มีค่าเอสเอฟเอ็มสูงจะมีการกระจายออกไปทางขวา ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จากภาพต้นแบบที่มีค่าเอสเอฟเอ็มต่ำก็จะมี การกระจายของกราฟข้อมูลไปทางซ้าย

จากรูปที่ 5.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ กับเอ็มไอเอสจะเห็นได้ว่าการกระจายของข้อมูลนั้นมีลักษณะคล้ายกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีกับเอ็มไอเอสในรูปที่ 5.3 อย่างมากนั่นคือ มีการกระจายอยู่มาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการวัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพกับเอ็มไอเอสที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 5.3 เป็น  $-0.6143$  ข้อมูลที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม จะมีการกระจายออกมาทางด้านขวามือ ถัดมาก็จะเป็นข้อมูลรูปวงกลม ข้อมูลรูปดอกจันทน์ ข้อมูลรูปจุด และข้อมูลรูปสามเหลี่ยมกว่า กับข้อมูลรูปกากบาทซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายสุดซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟในรูปที่ 5.3 จึงสามารถสรุปได้ว่า เอสเอฟเอ็มเองก็มีผลต่อการบอกค่าของตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพเช่นกัน

จากรูปที่ 5.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสกับเอ็มไอเอส การกระจายของ ข้อมูลมีการกระจายอยู่มากดังจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสกับเอ็มไอเอสที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 5.3 เป็น  $-0.50944$  ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในตาราง อีกทั้งข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์นั้นไม่แยกกันอย่างชัดเจนเหมือนกับเอ็มไอเอส

จากรูปที่ 5.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพกับเอ็มไอเอส จากกราฟข้อมูลมีการกระจายอยู่มาก แม้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพกับเอ็มไอเอสที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1 ในตารางที่ 5.3 จะบ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพมีค่าสูงที่สุดนั่นคือ 0.73529 ข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์มีการกระจายที่แบ่งแยกกันอย่างสังเกตเห็นได้

จากรูปที่ 5.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่กับเอ็มไอเอส จะพบว่าข้อมูลมีการกระจายอยู่มาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่กับเอ็มไอเอส คือ -0.62164 ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ข้อมูลแต่ละสัญลักษณ์มีการกระจายที่แบ่งแยกกันอย่างสังเกตเห็นได้

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
เอ็มเอสอี	-0.60758
ตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ	-0.6143
เอชวีเอส	-0.50944
ตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพ	0.73529
ตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่	-0.62164

ตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟกับตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
เอ็มเอสอี	-0.76413
ตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ	-0.77832
เอชวีเอส	-0.59105
ตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพ	0.80376
ตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่	-0.71007

ความน่าเชื่อถือของการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟใดๆ สามารถวัดได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟนั้นๆ กับค่าที่ได้จากการวัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถวัดได้โดยอาศัยตัววัดที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยค่าความน่าเชื่อถือของการวัดคุณภาพแต่ละตัวแสดงดังตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 จากตารางจะเห็นได้ว่า มีเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเอ็มไอเอสกับตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพเท่านั้นที่ให้ค่าเป็นบวก ทั้งนี้เนื่องจากตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพเป็นตัววัดเพียงตัวเดียวที่จะให้ค่าที่มากขึ้นเมื่อคุณภาพของภาพดีขึ้น ในขณะที่ค่าที่ได้จากการวัดของตัววัดคุณภาพของภาพตัวอื่นที่ลดลงหมายถึงคุณภาพของภาพดีขึ้น

## 5.1 การทดลองความสัมพันธ์ของคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟ คุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ และคุณสมบัติของภาพต้นแบบ

จากการวิเคราะห์กราฟในรูปที่ 5.3 ถึงรูปที่ 5.7 ก่อนหน้านี้ ทำให้ได้นิยามตัววัดคุณภาพของภาพใหม่ โดยมีรูปแบบแสดงดังสมการที่ 5.1 ถึงสมการที่ 5.5 เมื่อ

เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็ม (MSE<sub>SFM</sub>) คือ เอ็มเอสอีประกอบกับเอสเอฟเอ็ม (MSE with SFM)

อีเอสเอฟเอ็ม (ESFM) คือ ตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพประกอบกับเอสเอฟเอ็ม (Edge Measurement with SFM)

เอชวีเอสเอสเอฟเอ็ม (HVSSFM) คือ เอชวีเอสประกอบกับเอสเอฟเอ็ม (HVS with SFM)

ซีเอสเอฟเอ็ม (CSFM) คือ ตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพประกอบกับเอสเอฟเอ็ม (Correlation Measurement with SFM)

เอสเอสเอฟเอ็ม (SSFM) คือ ตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่ประกอบกับเอสเอฟเอ็ม (Spectral Measurement with SFM)

ส่วนเค (k) คือ เลขชี้กำลังซึ่งเป็นค่าคงที่

$$MSE_{SFM} = SFM^{k_{MSE}} \times MSE \quad (5.1)$$

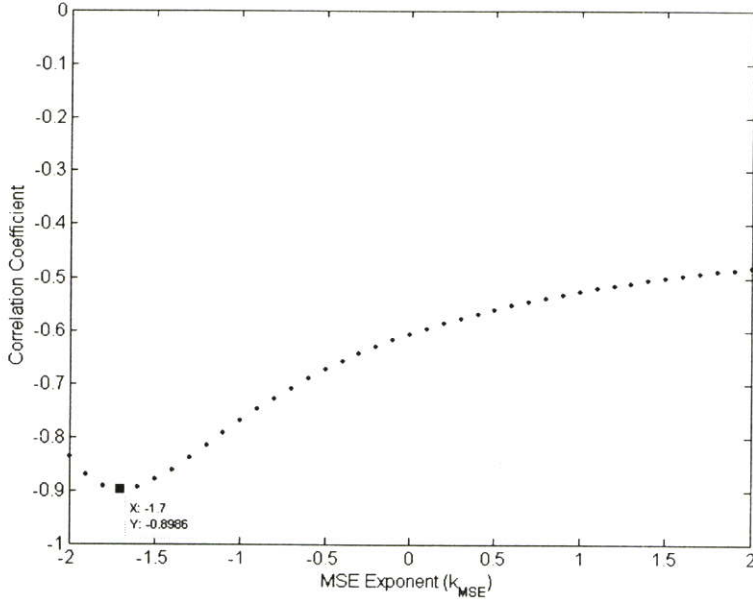
$$ESFM = SFM^{k_{Edge}} \times Edge \quad (5.2)$$

$$HVSSFM = SFM^{k_{HVS}} \times HVS \quad (5.3)$$

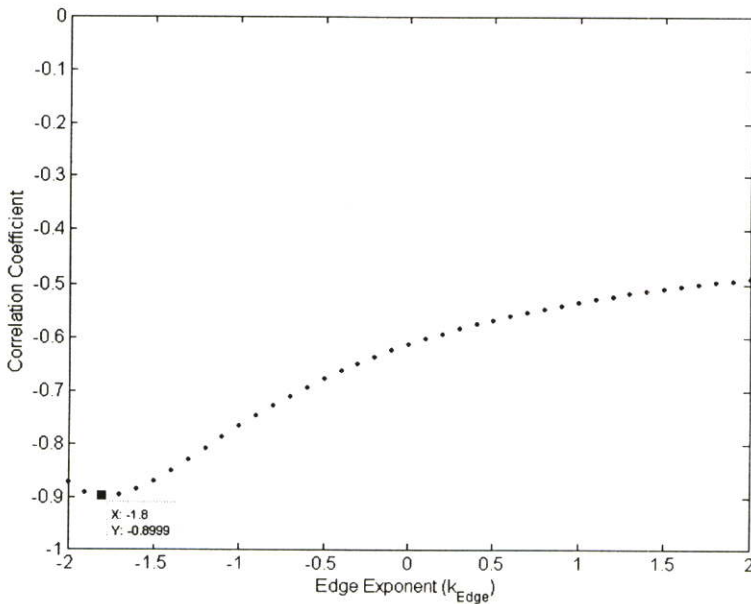
$$CSFM = SFM^{k_C} \times (1 - C) \quad (5.4)$$

$$SSFM = SFM^{k_{Spt}} \times Spt. \quad (5.5)$$

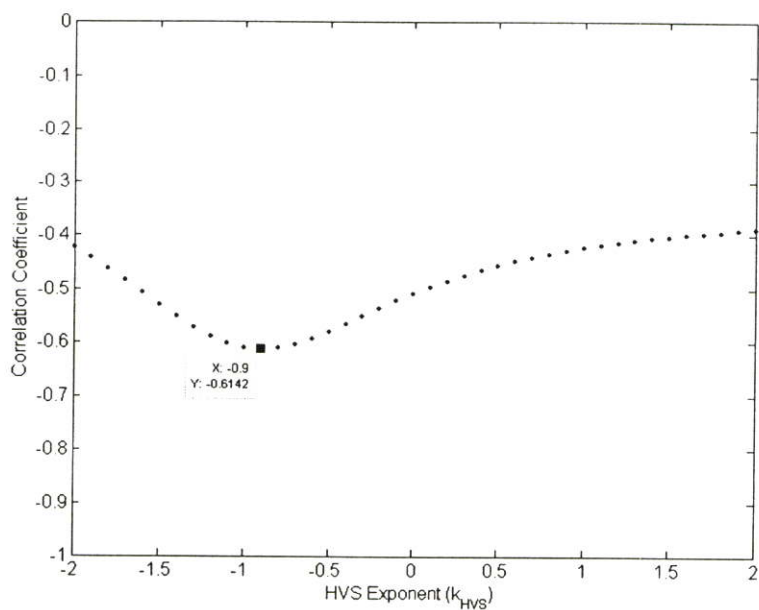
เพื่อให้ได้ค่าเลขชี้กำลัง ( $k$ ) ที่เหมาะสมสำหรับตัววัดคุณภาพของภาพตัวใหม่นี้ จึงได้ทำการปรับค่าของเลขชี้กำลังให้เป็นค่าต่างๆ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบจับเจกทีฟกับตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟซึ่งได้ผลดังกราฟในรูปที่ 5.8 ถึงรูปที่ 5.12



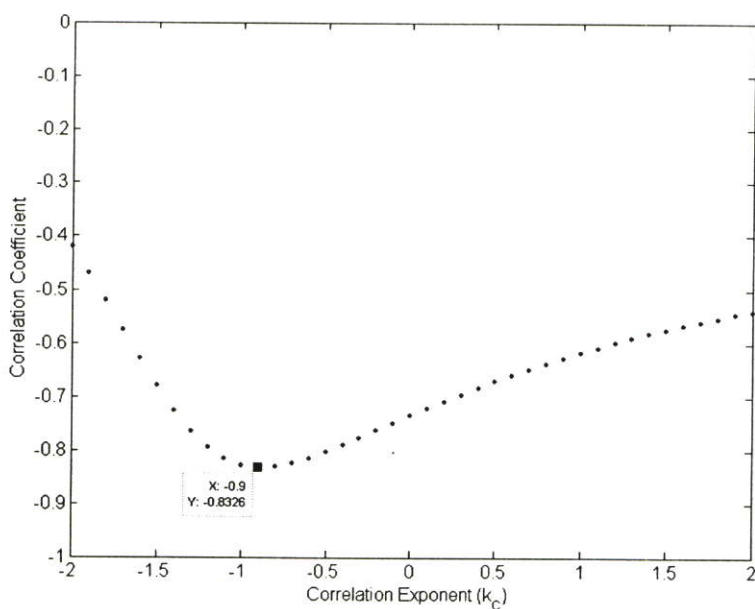
รูปที่ 5.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{MSE}$ ) ของเอสเอฟเอ็ม  
ในสมการที่ 5.1



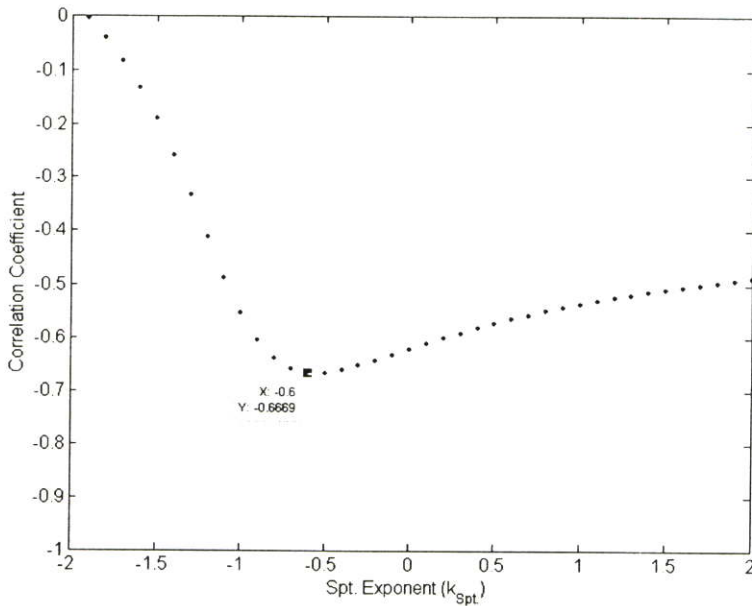
รูปที่ 5.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{Edge}$ ) ของเอสเอฟเอ็ม  
ในสมการที่ 5.2



รูปที่ 5.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{HVS}$ ) ของเอสเอฟเอ็ม  
ในสมการที่ 5.3



รูปที่ 5.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_C$ ) ของเอสเอฟเอ็ม  
ในสมการที่ 5.4



**รูปที่ 5.12** แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากเลขชี้กำลัง ( $k_{spt}$ ) ของเอสเอฟเอ็ม  
ในสมการที่ 5.5

จากกราฟในรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าค่าของเลขชี้กำลัง ( $k_{MSE}$ ) ในสมการที่ 5.1 ที่ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือของเอ็มเอสไอเอสเอฟเอ็มสูงที่สุด คือ -1.7 โดยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสไอเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสจากเดิมมีค่าเป็น -0.60758 ได้เปลี่ยนมาเป็น -0.89860 ซึ่งถือว่ามีความน่าเชื่อถือที่สูงขึ้นมาก

จากกราฟในรูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นว่าค่าของเลขชี้กำลัง ( $k_{Edge}$ ) ในสมการที่ 5.2 ที่ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือของอีเอสเอฟเอ็มสูงที่สุด คือ -1.8 โดยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสจากเดิมมีค่าเป็น -0.6143 ได้เปลี่ยนมาเป็น -0.89994 ซึ่งถือว่ามีความน่าเชื่อถือที่สูงขึ้นมาก

จากกราฟในรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าค่าของเลขชี้กำลัง ( $k_{HVS}$ ) ในสมการที่ 5.3 ที่ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือของเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มสูงที่สุด คือ -0.9 โดยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสจากเดิมมีค่าเป็น -0.50944 ได้เปลี่ยนมาเป็น -0.61421 แม้ค่าความน่าเชื่อถือของเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มจะสูงขึ้นแต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากกราฟในรูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นว่าค่าของเลขชี้กำลัง ( $k_C$ ) ในสมการที่ 5.4 ที่ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือของซีเอสเอฟเอ็มสูงที่สุด คือ -0.9 โดยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสจากเดิมมีค่าเป็น 0.73529 ได้เปลี่ยนมาเป็น -0.83263 แม้ค่าความน่าเชื่อถือของซีเอสเอฟเอ็มจะเพิ่มขึ้นไม่มากนักแต่ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพซึ่งเป็นตัววัดดั้งเดิมของซีเอสเอฟเอ็มนั้นก็สูงอยู่แล้ว

จากกราฟในรูปที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าค่าของเลขชี้กำลัง ( $k_{Spt}$ ) ในสมการที่ 5.5 ที่ทำให้ค่าความน่าเชื่อถือของเอสเอสเอฟเอ็มสูงที่สุด คือ -0.6 โดยจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสจากเดิมมีค่าเป็น -0.62164 ได้เปลี่ยนมาเป็น -0.66692

จากค่าของเลขชี้กำลังที่คำนวณมาได้ เมื่อนำไปแทนลงในสมการที่ 5.1 ถึงสมการที่ 5.5 ทำให้ได้นิยามตัววัดคุณภาพของภาพใหม่ แสดงดังสมการที่ 5.6 ถึงสมการที่ 5.10

$$MSESFM = SFM^{-1.7} \times MSE \quad (5.6)$$

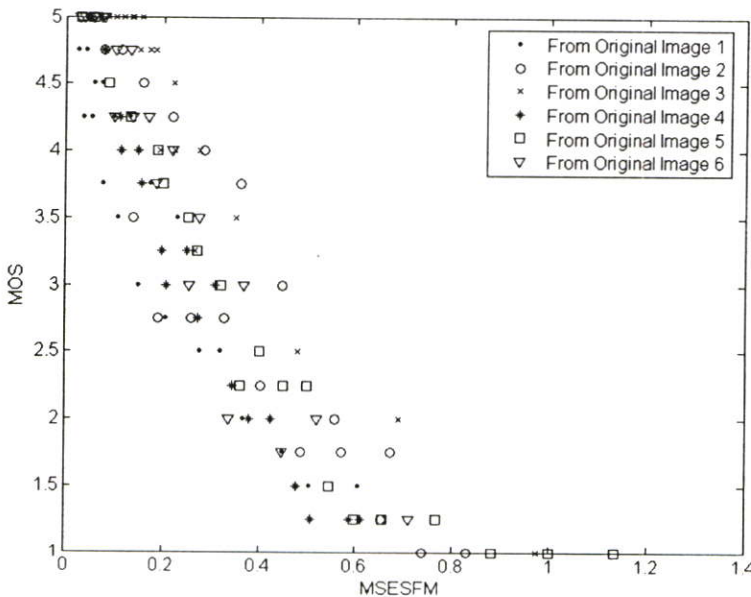
$$ESFM = SFM^{-1.8} \times Edge \quad (5.7)$$

$$HVSSFMS = SFM^{-0.9} \times HVS \quad (5.8)$$

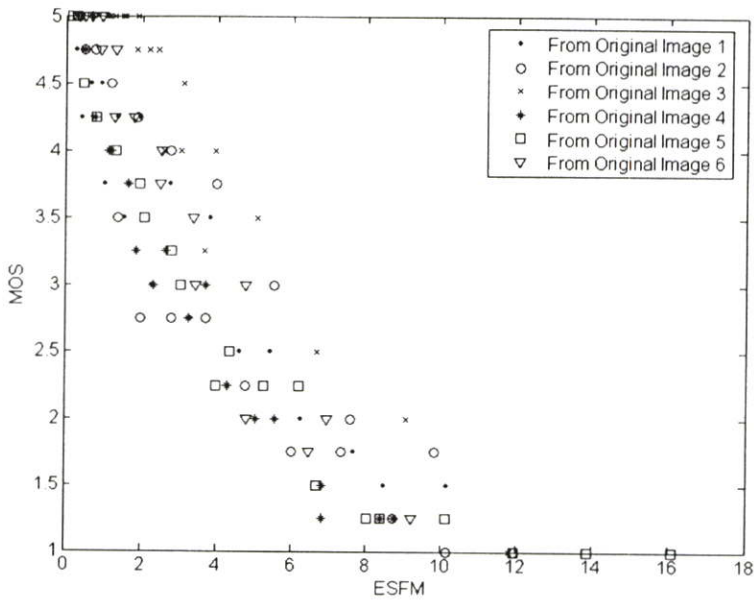
$$CSFM = SFM^{-0.9} \times (1 - C) \quad (5.9)$$

$$SSFMS = SFM^{-0.6} \times Spt. \quad (5.10)$$

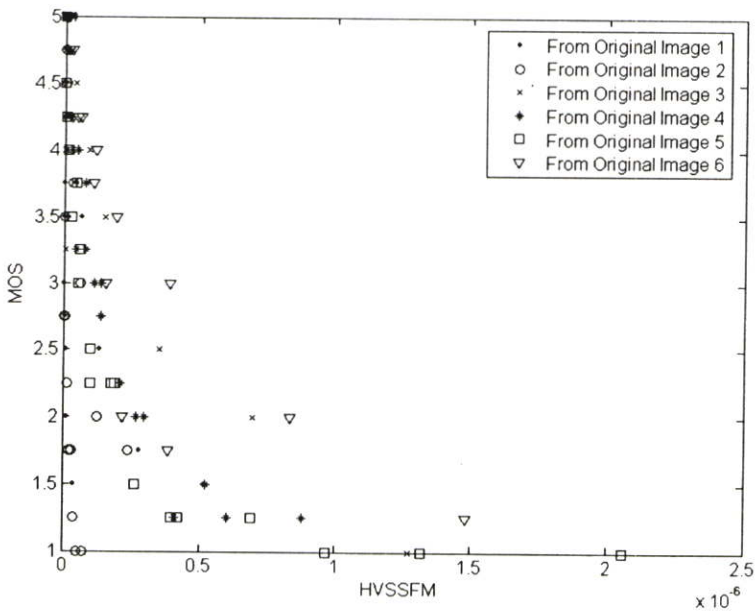
หลังจากที่ได้นิยามในสมการที่ 5.6 ถึงสมการที่ 5.10 แล้ว ตัววัดคุณภาพของภาพใหม่เหล่านี้ได้ถูกนำมาทดสอบวัดคุณภาพของภาพบีบอัดกับภาพบีบอัดชุดที่ 1 และภาพบีบอัดชุดที่ 2 ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณภาพของภาพบีบอัดกับภาพบีบอัดชุดที่ 1 แสดงดังกราฟในรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.17 และตารางที่ 5.5 ส่วนผลที่ได้จากการวัดคุณภาพของภาพบีบอัดกับภาพบีบอัดชุดที่ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 5.18 ถึงรูปที่ 5.27 และตารางที่ 5.6



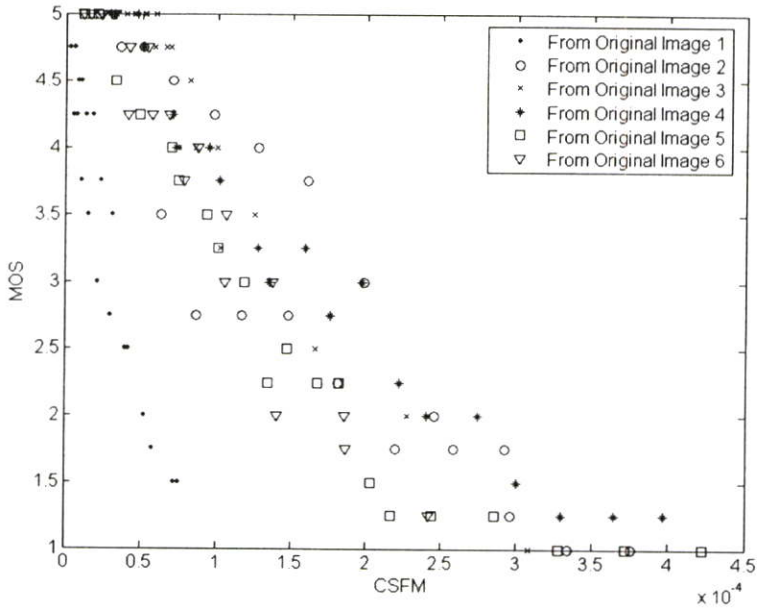
รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



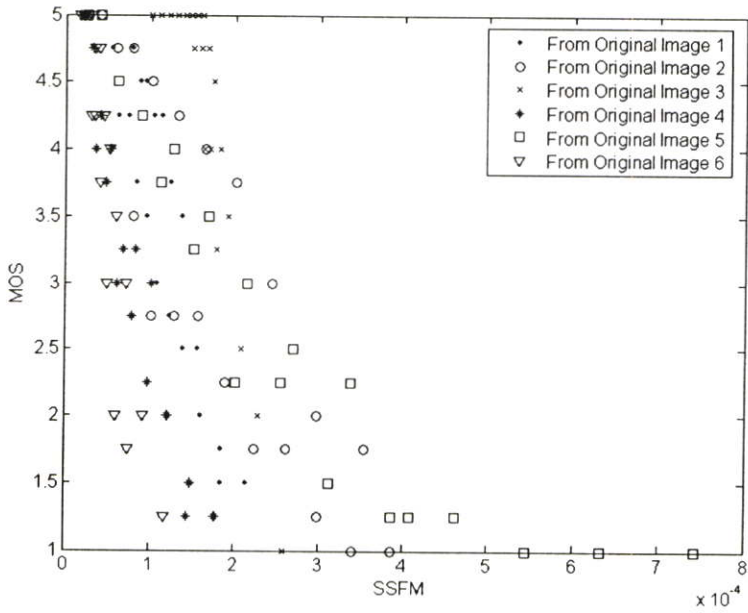
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



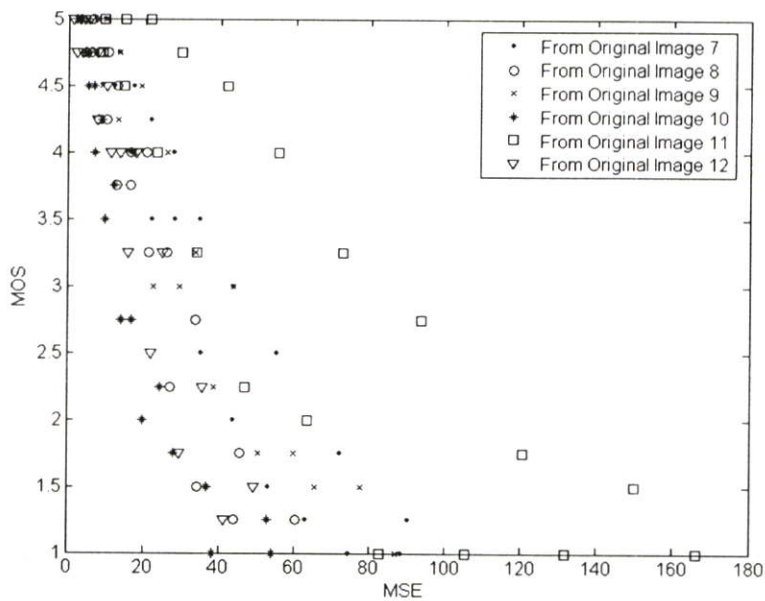
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



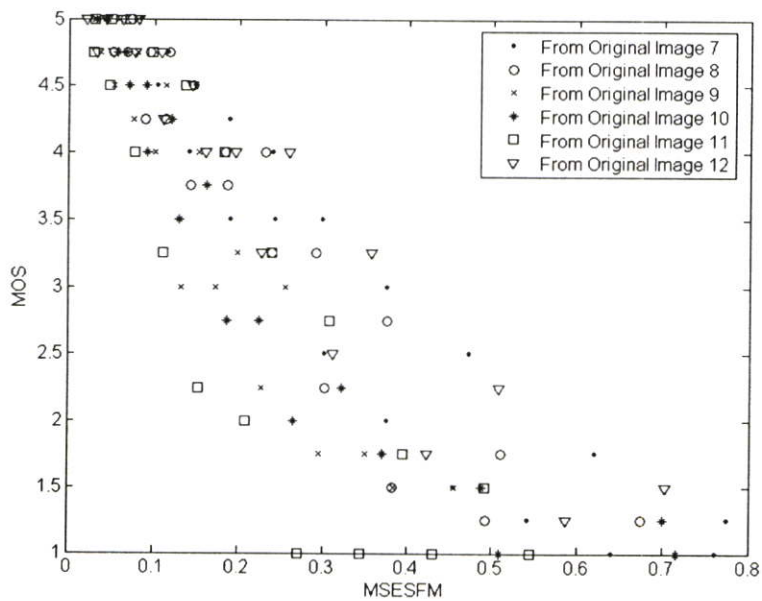
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



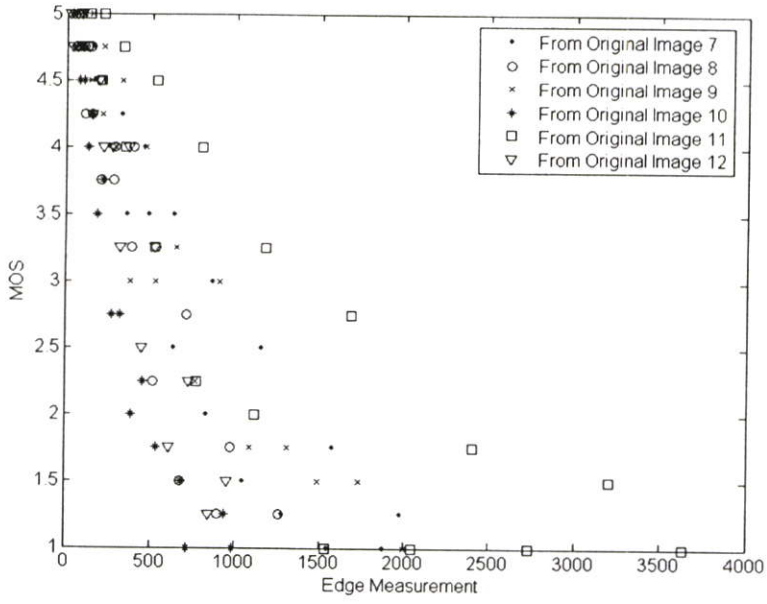
รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 1



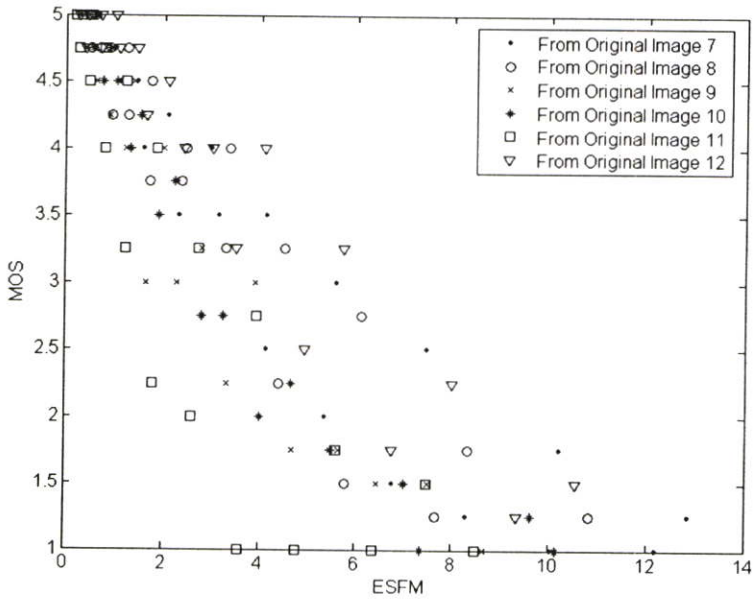
รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีกับเอ็มโอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



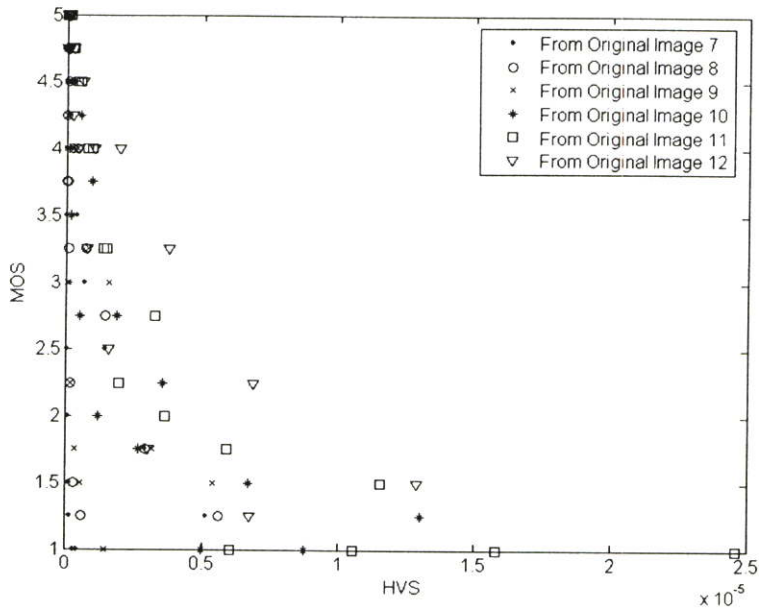
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มโอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



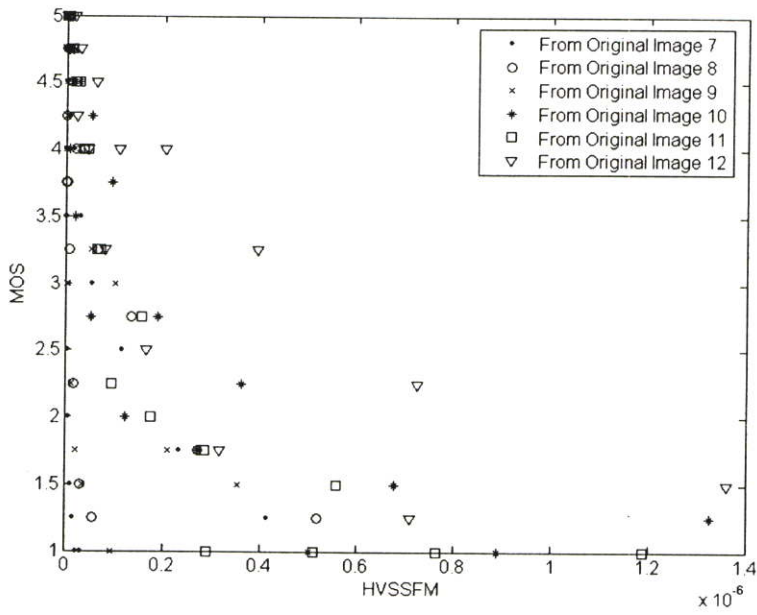
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ กับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



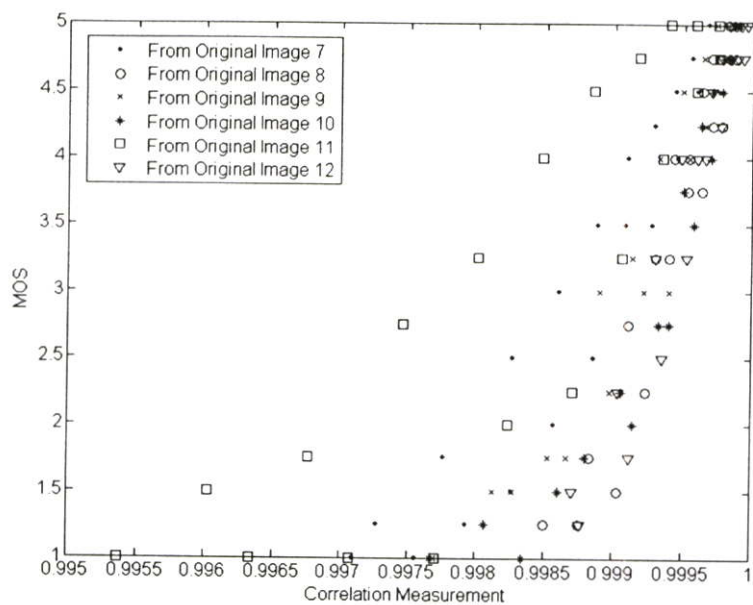
รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



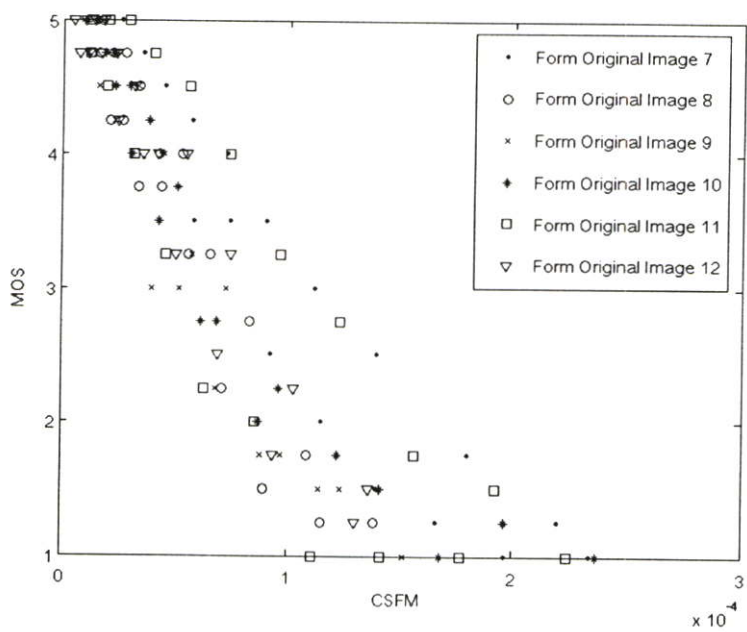
รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



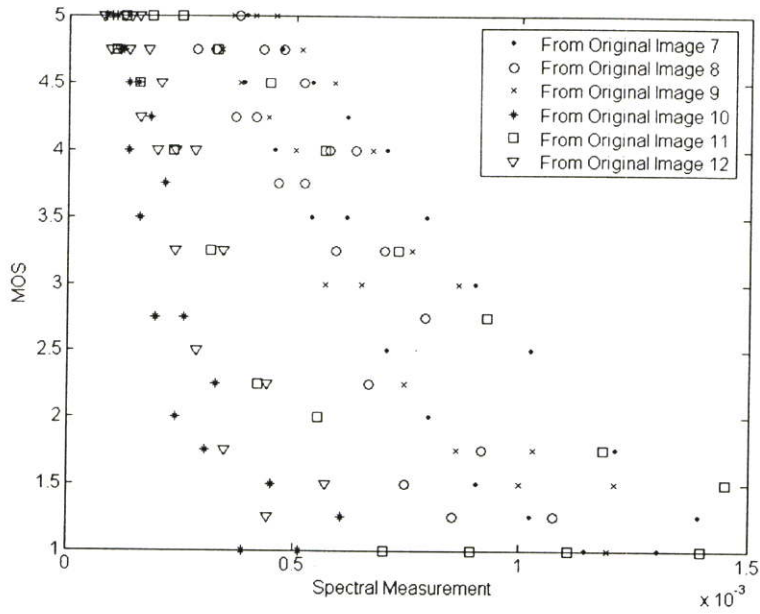
รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม โอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



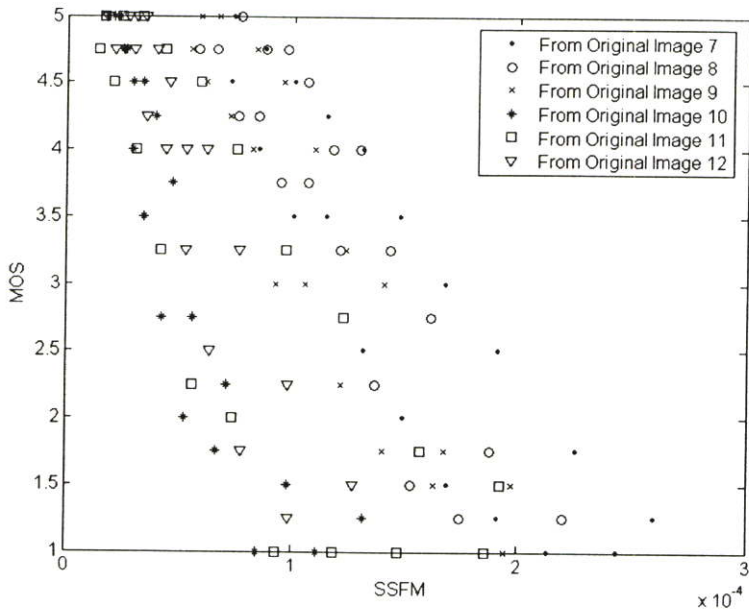
รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่กับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2



รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสของภาพบีบอัดชุดที่ 2





มีการกระจายของข้อมูลที่ใกล้เคียงกันกับกราฟในรูปที่ 5.26 และจากตารางที่ 5.4 กับตารางที่ 5.6 จากเดิมค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่กับเอ็ม ไอเอส คือ -0.71007 เปลี่ยนเป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเอสเอสเอฟเอ็มกับเอ็ม ไอเอส คือ -0.72308 ซึ่งถือว่าเป็นค่าความน่าเชื่อถือที่ดีขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟใหม่กับตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็ม	-0.89860
อีเอสเอฟเอ็ม	<b>-0.89994</b>
เอชวีเอสเอสเอฟเอ็ม	-0.61421
ซีเอสเอฟเอ็ม	-0.83263
เอสเอสเอฟเอ็ม	-0.66692

ตารางที่ 5.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟใหม่กับตัววัดคุณภาพของภาพแบบซับเจกทีฟที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็ม	-0.89058
อีเอสเอฟเอ็ม	-0.88494
เอชวีเอสเอสเอฟเอ็ม	-0.60069
ซีเอสเอฟเอ็ม	<b>-0.90020</b>
เอสเอสเอฟเอ็ม	-0.72308

เนื่องจากค่าเคที่หามาได้เป็นค่าเคที่ทำให้ความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพดีที่สุดสำหรับกลุ่มของภาพบีบอัดชุดที่ 1 ดังนั้นค่าที่ดีขึ้นของความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟใหม่ที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 5.5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5.3 จึงไม่ใช่ข้อสรุปว่าตัววัดคุณภาพของภาพแบบใหม่นั้นดีขึ้น การที่จะพิสูจน์ว่านิยามของตัววัดคุณภาพของภาพแบบใหม่ซึ่งก็คือ เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็ม อีเอสเอฟเอ็ม เอชวีเอสเอสเอฟเอ็ม ซีเอสเอฟเอ็ม และเอสเอสเอฟเอ็มนั้นมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นจึงต้องมีภาพบีบอัดอีกชุดหนึ่งที่ไม่ได้มีส่วนในการนิยาม ภาพบีบอัดในชุดที่ 2 จะได้ถูกนำมาวัดและหาความน่าเชื่อถือซึ่งผลที่ได้ก็แสดงว่าค่าความน่าเชื่อถือก็สูงขึ้นเช่นกันดังแสดงในตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบกับตารางที่ 5.4 จากตารางจะ

เห็นได้ว่าตัววัดทุกตัวเมื่อนำเอสเอฟเอ็มมาเป็นปัจจัยในการประเมินแล้วส่งผลให้ค่าความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นนั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ -1 มากขึ้น โดยซีเอสเอฟเอ็มมีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มกับเอ็มไอเอสเป็น -0.90020

## 5.2 การทดลองการวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอย

จากการทดลองในหัวข้อ 5.1 ทำให้เราได้ตัววัดคุณภาพของภาพแบบใหม่มา 5 ตัว คือ เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็ม อีเอสเอฟเอ็ม เอชวีเอสเอสเอฟเอ็ม ซีเอสเอฟเอ็ม และเอสเอสเอฟเอ็ม โดยในหัวข้อนี้จะเป็นการนำตัววัดคุณภาพของภาพที่ได้ในหัวข้อ 5.1 มาพัฒนาต่อด้วยกระบวนการถดถอยอันได้แก่ กระบวนการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว กระบวนการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร และกระบวนการถดถอยยกกำลัง

### 5.2.1 การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว

จากลักษณะการกระจายของกราฟในรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.17 พบว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นเชิงเส้นเพียงบางช่วงดังนั้นรูปแบบของสมการควรเป็นแบบฟังก์ชันแบบกำหนดเงื่อนไขนั่นคือรูปแบบของสมการแสดงดังสมการที่ 5.11 ถึงสมการที่ 5.15 โดย

เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มแอลเอส (MSEFMLS) คือ สเกลเอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มแบบเชิงเส้น (MSEFMLS Linear Scale)

อีเอสเอฟเอ็มแอลเอส (ESFMLS) คือ สเกลตัวอีเอสเอฟเอ็มแบบเชิงเส้น (ESFMLS Linear Scale)

เอชวีเอสเอสเอฟเอ็มแอลเอส (HVSSFMLS) คือ สเกลเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มแบบเชิงเส้น (HVSSFMLS Linear Scale)

ซีเอสเอฟเอ็มแอลเอส (CSFMLS) คือ สเกลซีเอสเอฟเอ็มแบบเชิงเส้น (CSFMLS Linear Scale)

เอสเอสเอฟเอ็มแอลเอส (SSFMLS) คือ สเกลเอสเอสเอฟเอ็มแบบเชิงเส้น (SSFMLS Linear Scale)

$$MSEFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } MSEFMLS < \frac{5 - c_{MSE}}{m_{MSE}} \\ m_{MSE} \cdot MSEFMLS + c_{MSE} & \text{where } \frac{1 - c_{MSE}}{m_{MSE}} \leq MSEFMLS \leq \frac{5 - c_{MSE}}{m_{MSE}} \\ 1 & \text{where } MSEFMLS > \frac{1 - c_{MSE}}{m_{MSE}} \end{cases} \quad (5.11)$$

$$ESFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } ESFM < \frac{5 - c_{Edge}}{m_{Edge}} \\ m_{Edge} \cdot ESFM + c_{Edge} & \text{where } \frac{1 - c_{Edge}}{m_{Edge}} \leq ESFM \leq \frac{5 - c_{Edge}}{m_{Edge}} \\ 1 & \text{where } ESFM > \frac{1 - c_{Edge}}{m_{Edge}} \end{cases} \quad (5.12)$$

$$HVSSFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } HVSSFMS < \frac{5 - c_{HVS}}{m_{HVS}} \\ m_{HVS} \cdot HVSSFMS + c_{HVS} & \text{where } \frac{1 - c_{HVS}}{m_{HVS}} \leq HVSSFMS \leq \frac{5 - c_{HVS}}{m_{HVS}} \\ 1 & \text{where } HVSSFMS > \frac{1 - c_{HVS}}{m_{HVS}} \end{cases} \quad (5.13)$$

$$CSFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } CSFM < \frac{5 - c_c}{m_c} \\ m_c \cdot CSFM + c_c & \text{where } \frac{1 - c_c}{m_c} \leq CSFM \leq \frac{5 - c_c}{m_c} \\ 1 & \text{where } CSFM > \frac{1 - c_c}{m_c} \end{cases} \quad (5.14)$$

$$SSFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } SSFM < \frac{5 - c_s}{m_s} \\ m_s \cdot SSFM + c_s & \text{where } \frac{1 - c_s}{m_s} \leq SSFM \leq \frac{5 - c_s}{m_s} \\ 1 & \text{where } SSFM > \frac{1 - c_s}{m_s} \end{cases} \quad (5.15)$$

จากกระบวนการลดรอยเชิงเส้นกับภาพบีบอัดชุดที่ 1 ทำให้ได้ค่าเอ็ม (m) และซี (c) ที่เหมาะสมดังแสดงในสมการที่ 5.16 ถึงสมการที่ 5.20

$$MSEFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } MSEFMS = 0 \\ -5.5322 \cdot MSEFMS + 4.7992 & \text{where } 0 < MSEFMS \leq 0.6867 \\ 1 & \text{where } MSEFMS > 0.6867 \end{cases} \quad (5.16)$$

$$ESFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } ESFM = 0 \\ -0.37843 \cdot ESFM + 4.5951 & \text{where } 0 < ESFM \leq 9.5 \\ 1 & \text{where } ESFM > 9.5 \end{cases} \quad (5.17)$$

$$HVSSFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } HVSSFMS = 0 \\ -2.993 \times 10^6 \cdot HVSSFMS + 3.5795 & \text{where } 0 < HVSSFMS \leq 8.6185 \times 10^{-7} \\ 1 & \text{where } HVSSFMS > 8.6185 \times 10^{-7} \end{cases} \quad (5.18)$$

$$CSFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } CSFM = 0 \\ -9719.4 \cdot CSFM + 4.3162 & \text{where } 0 < CSFM \leq 3.4119 \times 10^{-4} \\ 1 & \text{where } CSFM > 3.4119 \times 10^{-4} \end{cases} \quad (5.19)$$

$$SSFMLS = \begin{cases} 5 & \text{where } SSFM = 0 \\ -7665.8 \cdot SSFM + 4.2377 & \text{where } 0 < SSFM \leq 4.2235 \times 10^{-4} \\ 1 & \text{where } SSFM > 4.2235 \times 10^{-4} \end{cases} \quad (5.20)$$

จากนิยามในสมการที่ 5.16 ถึงสมการที่ 5.20 เมื่อนำมาวัดคุณภาพของภาพบีบอัดชุดที่ 1 และภาพบีบอัดชุดที่ 2 จากนั้นนำมาหาความน่าเชื่อถือได้ผลดังตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.7 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	อาร์เอ็มเอสอี
เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.92928	0.51411
อีเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.92811	0.52181
เอชวีเอสเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.68714	1.0088
ซีเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.84017	0.75707
เอสเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.70118	0.98059

ตารางที่ 5.8 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	อาร์เอ็มเอสอี
เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.89739	0.65821
อีเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.90233	0.61242
เอชวีเอสเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.64567	1.0861
ซีเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.90020	0.96069
เอสเอสเอฟเอ็มแอลเอส	0.72308	1.1200

จากตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 ค่าความน่าเชื่อถือสามารถวัดได้สองแบบ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับอาร์เอ็มเอสอี เมื่อเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นในตารางที่ 5.8 กับตารางที่ 5.6 พบว่า ตัววัดเกือบทุกตัวมีค่าความน่าเชื่อถือที่สูงขึ้น มีเพียงซีเอสเอฟเอ็มแอลเอสกับเอสเอสเอฟเอ็มแอลเอสที่มีขนาดของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่าเดิมต่างกันก็เพียงเครื่องหมายจากลบเป็นบวก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กระบวนการถอดอยเชิงเส้นแบบฟังก์ชันแบบกำหนดเงื่อนไขช่วยให้ความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพเพิ่มขึ้นได้ สำหรับตัววัดคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นที่มีความน่าเชื่อถือสูงที่สุดก็คือ อีเอสเอฟเอ็มแอลเอส โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอีเอสเอฟเอ็มแอลเอสกับเอ็มไอเอส คือ 0.90233 และรากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสอง (อาร์เอ็มเอสอี) คือ 0.61242

### 5.2.2 การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร

การทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการใช้กระบวนการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรทำการรวมเอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็ม อีเอสเอฟเอ็ม เอชวีเอสเอสเอฟเอ็ม ซีเอสเอฟเอ็ม และเอสเอสเอฟเอ็มให้เป็นตัววัดตัวเดียว รูปแบบของสมการแสดงดังสมการที่ 5.22 โดย

เอ็มแอลไอคิวเอสเอฟเอ็ม (MLIQSFM) คือ คุณภาพของภาพประกอบด้วยเอสเอฟเอ็มแบบเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Image Quality Scale with SFM) ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ 5.21

ไอคิวเอสเอฟเอ็มเอ็มแอลเอส (IQSFMMLS) คือ สเกลคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นหลายตัวแปร (Image Quality with SFM Multiple Linear Scale)

$$MLIQSFM = m_{MSE} \cdot MSESFM + m_{Edge} \cdot ESFM + m_{HVS} \cdot HVSSFM + m_C \cdot CSFM + m_S \cdot SSFM + c \quad (5.21)$$

$$IQSFMMLS = \begin{cases} 5 & MLIQSFM > 5 \\ MLIQSFM & 1 \leq MLIQSFM \leq 5 \\ 1 & MLIQSFM < 1 \end{cases} \quad (5.22)$$

จากกระบวนการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรกับภาพบีบอัดชุดที่ 1 ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่เหมาะสมดังแสดงในสมการที่ 5.23

$$MLIQSFM = -2.9105 \cdot MSESFM - 0.25115 \cdot ESFM + 860170 \cdot HVSSFM - 2335 \cdot CSFM + 3136.8 \cdot SSFM + 4.6609 \quad (5.23)$$

จากนิยามในสมการที่ 5.23 เมื่อนำมาวัดคุณภาพของภาพบีบอัดชุดที่ 1 และภาพบีบอัดชุดที่ 2 จากนั้นนำมาหาค่าความน่าเชื่อถือได้ผลดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ค่าความน่าเชื่อถือของสเกลคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นหลายตัวแปรที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1 และภาพบีบอัดชุดที่ 2

ภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	อาร์เอ็มเอสอี
ภาพชุดที่ 1	0.94209	0.47396
ภาพชุดที่ 2	<b>0.90652</b>	<b>0.60378</b>

จากตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าค่าความน่าเชื่อถือของสเกลคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นหลายตัวแปรสูงกว่าตัววัดคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นที่เป็นตัวแปรเดียวทุกตัวดังแสดงในตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 แต่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างไอคิวเอสเอฟเอ็มเอ็มแอลเอสกับเอ็มไอเอสที่

0.90652 และอาร์เอ็มเอสอีที่ 0.60378 นั้นบ่งบอกความน่าเชื่อถือของตัววัดที่สูงกว่า อีเอสเอฟเอ็มแอลเอส ในตารางที่ 5.8 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอีเอสเอฟเอ็มแอลเอสกับเอ็มไอเอสเป็น 0.90233 และอาร์เอ็มเอสอี 0.61242 เพียงเล็กน้อย

### 5.2.3 การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยสมการถดถอยยกกำลัง

จากลักษณะการกระจายของกราฟในรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.17 อาจมองได้ว่ามีรูปแบบการกระจายแบบยกกำลัง (Exponential) โดยมีรูปแบบของสมการดังสมการที่ 5.24 ถึงสมการที่ 5.28

$$MSESFMES = 4 \cdot e^{P_{MSE} \cdot MSESFM} + 1 \quad (5.24)$$

$$ESFMES = 4 \cdot e^{P_{Edge} \cdot ESFM} + 1 \quad (5.25)$$

$$HVSSFMES = 4 \cdot e^{P_{HVS} \cdot HVSSFM} + 1 \quad (5.26)$$

$$CSFMES = 4 \cdot e^{P_C \cdot CSFM} + 1 \quad (5.27)$$

$$SSFMES = 4 \cdot e^{P_S \cdot SSFM} + 1 \quad (5.28)$$

**เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มอีเอส (MSESFMES)** คือ สเกลเอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มแบบยกกำลัง (MSESFM Exponential Scale)

**อีเอสเอฟเอ็มอีเอส (ESFMES)** คือ สเกลตัวอีเอสเอฟเอ็มแบบยกกำลัง (ESFM Exponential Scale)

**เอชวีเอสเอสเอฟเอ็มอีเอส (HVSSFMES)** คือ สเกลเอชวีเอสเอสเอฟเอ็มแบบยกกำลัง (HVSSFM Exponential Scale)

**ซีเอสเอฟเอ็มอีเอส (CSFMES)** คือ สเกลซีเอสเอฟเอ็มแบบยกกำลัง (CSFM Exponential Scale)

**เอสเอสเอฟเอ็มอีเอส (SSFMES)** คือ สเกลเอสเอสเอฟเอ็มแบบยกกำลัง (SSFM Exponential Scale)

จากกระบวนการถดถอยแบบยกกำลังกับภาพบีบอัดชุดที่ 1 ทำให้ได้ค่าเลขชี้กำลังที่เหมาะสมดังแสดงในสมการที่ 5.29 ถึงสมการที่ 5.33

$$MSESFMES = 4 \cdot e^{-2.5927 \cdot MSESFM} + 1 \quad (5.29)$$

$$ESFMES = 4 \cdot e^{-0.19845 \cdot ESFM} + 1 \quad (5.30)$$

$$HVSSFMES = 4 \cdot e^{-9344100 \cdot HVSSFM} + 1 \quad (5.31)$$

$$CSFMES = 4 \cdot e^{7526 \cdot CSFM} + 1 \quad (5.32)$$

$$SSFMES = 4 \cdot e^{5331.8 \cdot SSFM} + 1 \quad (5.33)$$

จากนิยามในสมการที่ 5.29 ถึงสมการที่ 5.33 เมื่อนำมาวัดคุณภาพของภาพบีบอัดชุดที่ 1 และภาพบีบอัดชุดที่ 2 จากนั้นนำมาหาค่าความน่าเชื่อถือได้ผลดังตารางที่ 5.10 และตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.10 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบยกกำลังที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 1

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	อาร์เอ็มเอสอี
เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.93090	0.58440
อีเอสเอฟเอ็มอีเอส	<b>0.93379</b>	<b>0.51621</b>
เอชวีเอสเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.76753	0.97658
ซีเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.81878	0.81498
เอสเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.69307	0.98758

ตารางที่ 5.11 ค่าความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพแบบยกกำลังที่ได้จากภาพบีบอัดชุดที่ 2

ตัววัดคุณภาพของภาพ	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	อาร์เอ็มเอสอี
เอ็มเอสอีเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.92210	0.63382
อีเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.92359	<b>0.56817</b>
เอชวีเอสเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.73816	1.05590
ซีเอสเอฟเอ็มอีเอส	<b>0.93688</b>	0.67086
เอสเอสเอฟเอ็มอีเอส	0.72144	1.01930

จากตารางที่ 5.10 และตารางที่ 5.11 ค่าความน่าเชื่อถือสามารถวัดได้สองแบบ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับอาร์เอ็มเอสอี เมื่อเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของตัววัดคุณภาพของภาพในตารางที่ 5.11 กับตารางที่ 5.6 พบว่าตัววัดเกือบทุกตัวมีค่าความน่าเชื่อถือที่สูงขึ้น มีเพียงเอสเอสเอฟเอ็มอีเอสที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เทียบกับเอ็มไอเอสลดลงจาก -0.72308 เป็น 0.72144 แสดงว่าเอสเอสเอฟเอ็มอีเอสมีการกระจายที่ใกล้เคียงกับแบบเชิงเส้นมากกว่าแบบยกกำลัง

จากตารางที่ 5.11 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บ่งบอกว่า ซีเอสเอฟเอ็มอีเอสมีความน่าเชื่อถือสูงสุด คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มอีเอสกับเอ็มไอเอสเป็น 0.93688 ในขณะที่ผลของค่าอาร์เอ็มเอสอีบ่งบอกว่า อีเอสเอฟเอ็มอีเอสมีความน่าเชื่อถือสูงสุด คือ 0.56817 และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่า ค่าความน่าเชื่อถือของอีเอสเอฟเอ็มอีเอส

สูงกว่าไอคิวเอสเอฟเอ็มเอ็มแอลเอส (สเกลคุณภาพของภาพแบบเชิงเส้นหลายตัวแปร) ทั้งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าอาร์เอ็มเอสอี

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพที่พัฒนาและเสนอในงานวิจัยนี้เป็นการวัดและประเมินผลคุณภาพของภาพที่อาศัยอิทธิพลของเอสเอฟเอ็มและกระบวนการถดถอยเป็นปัจจัยในการวัด จากผลการทดลองได้พิสูจน์ให้เห็นว่า ตัววัดคุณภาพของภาพส่วนใหญ่โดยเฉพาะ เอ็มเอสอี และตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพ สามารถพัฒนาได้จากการอาศัยค่าเอสเอฟเอ็มของภาพต้นแบบประกอบการพิจารณา นอกจากนี้ ตัววัดดังกล่าวยังนำไปพัฒนาต่อได้อีกด้วยกระบวนการถดถอย ทำให้ได้ตัววัดที่มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น อีกทั้งยังบอกค่าแบบอ้างอิงถึงเอ็มไอเอสได้ด้วย

จากความน่าเชื่อถือในบทที่ 5 เมื่อวัดความน่าเชื่อถือด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า ตัววัดที่มีความน่าเชื่อถือสูงที่สุดก็คือ ซีเอสเอฟเอ็มอีเอส (จากตารางที่ 5.11) ดังนิยามในสมการที่ 5.32 นั่นคือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างซีเอสเอฟเอ็มอีเอสกับเอ็มไอเอสเป็น 0.93688 แต่เมื่อวัดด้วยอาร์เอ็มเอสอีก็จะพบว่า อีเอสเอฟเอ็มอีเอส มีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด คือ มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.56817 นอกจากนี้หากใช้กระบวนการถดถอยแบบเชิงเส้นก็จะพบว่า กระบวนการถดถอยแบบหลายตัวแปรจะให้นิยามของตัววัดคุณภาพของภาพที่แม่นยำกว่าแบบตัวแปรเดียว

ในการพัฒนาต่อนี้ผู้พัฒนาสามารถใช้ข้อมูลคุณภาพของภาพแบบต่างๆ จากในส่วนของดัชนีและค่าเอสเอฟเอ็มหรือค่าต่างๆ จากวิทยานิพนธ์นี้ โดยการพัฒนาที่อาจสร้างรูปแบบของสมการถดถอยเป็นแบบกราฟรูปตัวเอส (S-Curve)

สำหรับการนำไปใช้งานนั้น ตัววัดใหม่ที่ได้อาจนำไปเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการบีบอัดข้อมูลภาพแบบเลือกคุณภาพของภาพแทนที่จะเลือกอัตราส่วนบีบอัด หรืออาจนำไปตรวจสอบคุณภาพของภาพจากเทคนิคการบีบอัดใดๆ ว่าคุณภาพของภาพที่ได้จากเทคนิคการบีบอัดนั้นๆ ดีหรือไม่โดยไม่ต้องอาศัยมนุษย์เป็นผู้ประเมินคุณภาพ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] D. S. Taubman, M. W. Marcellin, *JPEG2000 Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*, 2002.
- [2] *Method for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*, CCIR Rec. 500-2, 1982.
- [3] ITU, *Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*, ITU-R Rec. BT. 500-9(1998).
- [4] M. Eskicioglu, P. S. Fisher, "Image Quality Measures and Their Performance", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 43, No. 12, 1995.
- [5] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing* (Second Edition), Prentice Hall.
- [6] S. Grgic, M. Mrak, M. Grgic, B. Zovko-Cihlar, "Comparative Study of JPEG and JPEG2000 Image Coders", *ICECom2003 17<sup>th</sup> International Conference on Applied Electromagnetics and Communications*, 2003.
- [7] M. Antonini, M. Barland, P. Mathieu, I. Daubechies, "Image Coding Using the Wavelet Transform", *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol. 1, 1992.
- [8] S. Grgic, K. Krcs, M. Grgic, "Image Compression Using Wavelets", *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE'99*, Bled, Slovenia, 1999.
- [9] ทรงศิริ แต่สมบัติ, *การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)*, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542
- [10] ชำรงรัตน์ อมรรักษา, บัณฑิต ทิพากร, *การทำภาพลายน้ำดิจิทัลสองเบื้องต้น*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [11] D. S. Taubman, M. W. Marcellin, *JPEG2000 Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*, Kluwer Academic Publishers.
- [12] M. Eskicioglu, P. S. Fisher, "Image Quality Measures and Their Performance", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 43, No. 12, 1995.
- [13] M. Miyahara, K. Kotani, and V.R. Algazi, "Objective Picture Quality Scale (PQS) for Image Coding", *IEEE Transaction on Communications*, Vol. 46, No. 9, 1998.
- [14] I. Avcibas, B. Sankur and K. Sayood, "Statistical Evaluation of Image Quality Measure", *Journal of Electronic Image*, Vol. 11(2), Apr. 2002.
- [15] X. Rong Li, *Probability, Random Signals, and Statistics*. New York: CRC Press, 1999.

- [16] S. Grgic, M. Grgic, M. Mrak, "Reliability of Objective Picture Quality Measures Measurement", *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 55, No. 1-2, 2004.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ค่าคุณภาพของภาพ

ตารางที่ ก.1 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 1	59.766	44.23	31.507	22.694	17.228
ภาพต้นแบบที่ 2	236.12	195.77	157.02	126.78	100.25
ภาพต้นแบบที่ 3	26.329	18.664	13.008	9.5322	7.4699
ภาพต้นแบบที่ 4	115.37	93.98	74.537	60.799	49.047
ภาพต้นแบบที่ 5	435.65	363.41	291.62	234.2	184.09
ภาพต้นแบบที่ 6	39.935	29.233	20.715	15.538	12.391

ตารางที่ ก.2 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 1	13.168	9.8612	7.5959	5.867	4.3586
ภาพต้นแบบที่ 2	76.913	55.723	40.018	27.866	17.163
ภาพต้นแบบที่ 3	5.9793	4.9816	4.2533	3.7158	3.2154
ภาพต้นแบบที่ 4	39.114	29.144	21.753	15.552	9.8359
ภาพต้นแบบที่ 5	138.4	96.368	64.274	41.214	23.051
ภาพต้นแบบที่ 6	9.5632	7.4678	5.7801	4.4262	3.2863

ตารางที่ ก.3 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 1	49.751	36.308	27.354	20.532	15.015
ภาพต้นแบบที่ 2	291.77	259.24	229.98	200.73	170.84
ภาพต้นแบบที่ 3	7.2179	6.0524	5.2732	4.6598	4.1295
ภาพต้นแบบที่ 4	120.43	100.08	83.277	67.526	53.541
ภาพต้นแบบที่ 5	824.51	726.99	641.63	558.06	477.74
ภาพต้นแบบที่ 6	25.238	19.015	14.305	10.569	7.7135

ตารางที่ ก.4 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 1	10.733	7.7596	5.5317	3.7558	2.6043
ภาพต้นแบบที่ 2	141.1	114.96	90.817	67.463	49.277
ภาพต้นแบบที่ 3	3.6504	3.2163	2.7924	2.3268	1.9132
ภาพต้นแบบที่ 4	40.977	30.874	22.251	14.292	8.7768
ภาพต้นแบบที่ 5	397.29	328.19	262.97	197.48	145.83
ภาพต้นแบบที่ 6	5.5977	4.1809	3.1165	2.227	1.5962

ตารางที่ ก.5 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 7	90.239	72.223	55.07	43.705	34.888
ภาพต้นแบบที่ 8	60.328	45.658	33.65	26.041	20.611
ภาพต้นแบบที่ 9	77.725	59.635	43.572	33.78	26.114
ภาพต้นแบบที่ 10	52.735	36.708	24.241	16.853	12.163
ภาพต้นแบบที่ 11	150.05	120.6	93.697	72.838	55.579
ภาพต้นแบบที่ 12	49.257	35.543	25.068	18.106	13.67

ตารางที่ ก.6 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 7	27.897	21.915	17.285	13.519	9.8173
ภาพต้นแบบที่ 8	16.468	12.988	10.488	8.4273	6.5127
ภาพต้นแบบที่ 9	19.327	13.58	9.9663	7.3129	5.0461
ภาพต้นแบบที่ 10	9.0635	6.8602	5.3222	4.2773	3.2404
ภาพต้นแบบที่ 11	41.861	29.891	21.728	15.064	9.4002
ภาพต้นแบบที่ 12	10.113	7.6143	5.6928	4.3445	3.0713

ตารางที่ ก.7 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 7	88.603	74.536	63.197	53.019	43.69
ภาพต้นแบบที่ 8	44.022	34.22	27.032	21.285	16.595
ภาพต้นแบบที่ 9	86.835	65.421	50.354	38.689	29.517
ภาพต้นแบบที่ 10	53.973	38.346	27.895	19.882	14.005
ภาพต้นแบบที่ 11	166.38	131.66	105.28	82.66	63.502
ภาพต้นแบบที่ 12	41.163	29.612	21.786	15.885	11.267

ตารางที่ ก.8 ค่าเอ็มเอสอีจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 7	35.14	28.177	22.143	16.457	12.166
ภาพต้นแบบที่ 8	12.855	10.141	7.9803	6.0717	4.6394
ภาพต้นแบบที่ 9	22.568	17.372	13.012	9.0624	6.2554
ภาพต้นแบบที่ 10	9.7752	6.9875	4.9838	3.4142	2.378
ภาพต้นแบบที่ 11	46.758	33.939	23.543	14.614	8.892
ภาพต้นแบบที่ 12	7.786	5.3878	3.6417	2.2939	1.4668

ตารางที่ ก.9 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 1	1308.7	987.43	699.33	491.08	355.19
ภาพต้นแบบที่ 2	4856.1	3755.6	2738.6	1970.7	1375.3
ภาพต้นแบบที่ 3	387.86	297.09	219.05	166.11	129.59
ภาพต้นแบบที่ 4	2343.5	1827.3	1348.7	988.99	706.42
ภาพต้นแบบที่ 5	8616.9	6622.2	4650.1	3263.7	2204.6
ภาพต้นแบบที่ 6	656.26	494.14	339.06	240.28	179.94

ตารางที่ ก.10 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 1	252.74	175.57	122.73	85.77	56.381
ภาพต้นแบบที่ 2	930.92	590.61	379.61	240.41	135.27
ภาพต้นแบบที่ 3	102.03	80.206	62.375	49.298	37.405
ภาพต้นแบบที่ 4	499.36	321.56	210	133.84	76.287
ภาพต้นแบบที่ 5	1417.7	858.64	513.29	304.97	163.21
ภาพต้นแบบที่ 6	129.06	93.829	66.589	48.946	34.601

ตารางที่ ก.11 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 1	1093.3	804.85	594.57	428.36	295.83
ภาพต้นแบบที่ 2	5909.2	5026.4	4316	3636.2	2972.1
ภาพต้นแบบที่ 3	120.75	99.734	84.909	72.34	61.02
ภาพต้นแบบที่ 4	2246.5	1828.7	1483.9	1142.1	866.18
ภาพต้นแบบที่ 5	17227	14861	12797	10835	8977.7
ภาพต้นแบบที่ 6	459.63	340.59	245.14	177.99	128.22

ตารางที่ ก.12 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 1	199.09	135.93	91.014	57.236	37.013
ภาพต้นแบบที่ 2	2353.2	1836.6	1390	974.37	674.61
ภาพต้นแบบที่ 3	50.827	42.375	34.887	27.654	21.945
ภาพต้นแบบที่ 4	618.6	443.3	302.47	181.52	105.72
ภาพต้นแบบที่ 5	7137.8	5617.1	4251.2	2998.7	2081.2
ภาพต้นแบบที่ 6	92.054	67.365	49.084	34.474	23.925

ตารางที่ ก.13 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกซูดที่ 2

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 7	1978.9	1575.2	1154.7	865.78	638.21
ภาพต้นแบบที่ 8	1261.9	970.89	712.55	526.4	392.14
ภาพต้นแบบที่ 9	1734.2	1307.5	906.64	651.36	465.16
ภาพต้นแบบที่ 10	936.55	682.54	453.78	316.39	217.48
ภาพต้นแบบที่ 11	3200.8	2400.4	1684.1	1176.1	795.58
ภาพต้นแบบที่ 12	948.82	721.98	518.58	369.01	272.54

ตารางที่ ก.14 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปกซูดที่ 2  
(ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 7	461.98	325.45	227.38	156.56	97.656
ภาพต้นแบบที่ 8	288.1	203.65	146.58	104.68	69.809
ภาพต้นแบบที่ 9	323.66	218.99	149.05	103.05	65.636
ภาพต้นแบบที่ 10	150.45	102.59	74.451	54.834	38.137
ภาพต้นแบบที่ 11	524.84	333.03	218.08	140.31	81.714
ภาพต้นแบบที่ 12	188.76	132.22	91.808	65.594	42.277

ตารางที่ ก.15 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบ JPEG 2000 ชุดที่ 2

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 7	1880	1548.5	1281.6	1044.4	827.18
ภาพต้นแบบที่ 8	894.95	674.5	512.81	383.86	277.81
ภาพต้นแบบที่ 9	2000.9	1490.4	1083.5	765.84	530.79
ภาพต้นแบบที่ 10	986.98	718.07	534.19	388.89	272.23
ภาพต้นแบบที่ 11	3634.4	2734.3	2050	1534.7	1112.3
ภาพต้นแบบที่ 12	841.82	609.72	446.25	317.61	218.61

ตารางที่ ก.16 ค่าจากตัววัดคุณภาพของภาพจากขอบของภาพจากภาพบีบอัดแบบ JPEG 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 7	637.79	486.26	360.11	249.1	170.78
ภาพต้นแบบที่ 8	202.09	149.68	111.58	79.978	57.868
ภาพต้นแบบที่ 9	380.97	286.86	210.67	143.72	94.961
ภาพต้นแบบที่ 10	187.23	128.86	87.473	56.4	36.745
ภาพต้นแบบที่ 11	772.82	524.27	343.39	205.89	119.12
ภาพต้นแบบที่ 12	148.54	98.886	63.902	38.061	23.385

ตารางที่ ก.17 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 1	5.88E-06	3.18E-06	1.52E-06	7.45E-07	4.38E-07
ภาพต้นแบบที่ 2	5.29E-06	2.79E-06	1.37E-06	7.02E-07	3.62E-07
ภาพต้นแบบที่ 3	7.31E-06	3.98E-06	2.01E-06	8.63E-07	5.13E-07
ภาพต้นแบบที่ 4	1.44E-05	8.56E-06	4.34E-06	2.27E-06	1.30E-06
ภาพต้นแบบที่ 5	1.30E-05	6.15E-06	3.18E-06	1.74E-06	8.47E-07
ภาพต้นแบบที่ 6	1.25E-05	7.03E-06	3.29E-06	1.61E-06	9.79E-07

ตารางที่ ก.18 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 1	2.46E-07	1.33E-07	5.38E-08	3.03E-08	1.63E-08
ภาพต้นแบบที่ 2	1.95E-07	9.74E-08	5.36E-08	2.89E-08	1.56E-08
ภาพต้นแบบที่ 3	2.17E-07	1.41E-07	6.42E-08	3.22E-08	1.63E-08
ภาพต้นแบบที่ 4	7.16E-07	4.60E-07	2.82E-07	1.92E-07	9.41E-08
ภาพต้นแบบที่ 5	5.03E-07	2.42E-07	1.28E-07	7.54E-08	3.66E-08
ภาพต้นแบบที่ 6	5.01E-07	2.47E-07	1.37E-07	7.56E-08	3.73E-08

ตารางที่ ก.19 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 1	4.50E-07	1.56E-07	9.84E-08	5.47E-08	2.42E-08
ภาพต้นแบบที่ 2	1.61E-06	1.12E-06	9.29E-07	6.88E-07	4.96E-07
ภาพต้นแบบที่ 3	3.96E-08	2.83E-08	2.01E-08	1.57E-08	1.05E-08
ภาพต้นแบบที่ 4	9.85E-06	6.68E-06	4.87E-06	3.39E-06	2.22E-06
ภาพต้นแบบที่ 5	6.75E-05	4.32E-05	3.17E-05	2.26E-05	1.39E-05
ภาพต้นแบบที่ 6	3.24E-06	1.84E-06	1.29E-06	9.19E-07	3.92E-07

ตารางที่ ก.20 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 1	1.39E-08	7.93E-09	5.21E-09	2.73E-09	2.34E-09
ภาพต้นแบบที่ 2	3.09E-07	1.84E-07	1.17E-07	5.09E-08	3.27E-08
ภาพต้นแบบที่ 3	5.65E-09	4.54E-09	3.13E-09	2.21E-09	1.93E-09
ภาพต้นแบบที่ 4	1.81E-06	1.29E-06	8.17E-07	4.83E-07	2.46E-07
ภาพต้นแบบที่ 5	8.60E-06	5.73E-06	3.25E-06	1.89E-06	1.38E-06
ภาพต้นแบบที่ 6	2.14E-07	1.19E-07	5.66E-08	2.57E-08	1.66E-08

ตารางที่ ก.21 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 7	5.14E-06	2.91E-06	1.43E-06	6.82E-07	3.96E-07
ภาพต้นแบบที่ 8	5.60E-06	2.94E-06	1.46E-06	7.27E-07	3.90E-07
ภาพต้นแบบที่ 9	5.39E-06	3.18E-06	1.57E-06	8.01E-07	4.09E-07
ภาพต้นแบบที่ 10	1.31E-05	6.69E-06	3.55E-06	1.88E-06	9.48E-07
ภาพต้นแบบที่ 11	1.16E-05	5.89E-06	3.24E-06	1.51E-06	9.57E-07
ภาพต้นแบบที่ 12	1.29E-05	6.88E-06	3.74E-06	1.94E-06	1.04E-06

ตารางที่ ก.22 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 7	2.07E-07	9.84E-08	5.60E-08	3.00E-08	1.53E-08
ภาพต้นแบบที่ 8	2.19E-07	1.06E-07	5.28E-08	3.07E-08	1.52E-08
ภาพต้นแบบที่ 9	2.21E-07	1.06E-07	5.43E-08	3.15E-08	1.58E-08
ภาพต้นแบบที่ 10	5.18E-07	2.75E-07	1.37E-07	8.05E-08	4.11E-08
ภาพต้นแบบที่ 11	5.39E-07	2.70E-07	1.29E-07	6.58E-08	3.86E-08
ภาพต้นแบบที่ 12	5.93E-07	2.84E-07	1.67E-07	9.40E-08	4.49E-08

ตารางที่ ก.23 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 7	4.25E-07	3.01E-07	2.09E-07	1.56E-07	1.09E-07
ภาพต้นแบบที่ 8	6.12E-07	3.33E-07	1.78E-07	9.70E-08	4.77E-08
ภาพต้นแบบที่ 9	1.46E-06	5.69E-07	3.56E-07	2.04E-07	1.06E-07
ภาพต้นแบบที่ 10	8.78E-06	4.96E-06	2.68E-06	1.22E-06	5.11E-07
ภาพต้นแบบที่ 11	2.46E-05	1.58E-05	1.06E-05	6.01E-06	3.65E-06
ภาพต้นแบบที่ 12	6.76E-06	2.99E-06	1.58E-06	7.72E-07	4.31E-07

ตารางที่ ก.24 ค่าเอชวีเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 7	6.46E-08	3.46E-08	1.74E-08	1.04E-08	6.74E-09
ภาพต้นแบบที่ 8	2.32E-08	1.19E-08	6.42E-09	3.45E-09	2.23E-09
ภาพต้นแบบที่ 9	5.90E-08	3.43E-08	1.97E-08	9.08E-09	3.88E-09
ภาพต้นแบบที่ 10	1.90E-07	8.90E-08	4.70E-08	2.07E-08	1.27E-08
ภาพต้นแบบที่ 11	1.95E-06	1.36E-06	7.77E-07	4.12E-07	2.27E-07
ภาพต้นแบบที่ 12	2.14E-07	1.14E-07	5.11E-08	2.62E-08	1.00E-08

ตารางที่ ก.25 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก ชุดที่ 1

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 1	0.99914	0.99934	0.99952	0.99965	0.99973
ภาพต้นแบบที่ 2	0.99349	0.99454	0.99559	0.99642	0.99716
ภาพต้นแบบที่ 3	0.99823	0.9987	0.99905	0.99928	0.99942
ภาพต้นแบบที่ 4	0.99404	0.9951	0.99607	0.99678	0.99739
ภาพต้นแบบที่ 5	0.9929	0.99404	0.9952	0.99613	0.99695
ภาพต้นแบบที่ 6	0.99796	0.99843	0.99884	0.9991	0.99926

ตารางที่ ก.26 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก ชุดที่ 1 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 1	0.99979	0.99984	0.99988	0.9999	0.99993
ภาพต้นแบบที่ 2	0.99782	0.99842	0.99886	0.99921	0.99951
ภาพต้นแบบที่ 3	0.99953	0.9996	0.99966	0.9997	0.99974
ภาพต้นแบบที่ 4	0.99791	0.99844	0.99884	0.99917	0.99947
ภาพต้นแบบที่ 5	0.99771	0.9984	0.99894	0.99932	0.99962
ภาพต้นแบบที่ 6	0.99942	0.99954	0.99965	0.99973	0.9998

ตารางที่ ก.27 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบ  
เจเปก 2000 ชุดที่ 1

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 1	0.99918	0.9994	0.99955	0.99966	0.99975
ภาพต้นแบบที่ 2	0.99164	0.99258	0.99342	0.99426	0.99512
ภาพต้นแบบที่ 3	0.99941	0.99951	0.99957	0.99962	0.99966
ภาพต้นแบบที่ 4	0.99351	0.99461	0.99552	0.99637	0.99712
ภาพต้นแบบที่ 5	0.98618	0.98783	0.98926	0.99067	0.99202
ภาพต้นแบบที่ 6	0.99843	0.99882	0.99911	0.99934	0.99952

ตารางที่ ก.28 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบ  
เจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 1	0.99982	0.99987	0.99991	0.99994	0.99996
ภาพต้นแบบที่ 2	0.99597	0.99672	0.99741	0.99807	0.99859
ภาพต้นแบบที่ 3	0.9997	0.99974	0.99977	0.99981	0.99984
ภาพต้นแบบที่ 4	0.9978	0.99834	0.9988	0.99923	0.99953
ภาพต้นแบบที่ 5	0.99337	0.99452	0.99561	0.99671	0.99757
ภาพต้นแบบที่ 6	0.99965	0.99974	0.99981	0.99986	0.9999

ตารางที่ ก.29 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก  
ชุดที่ 2

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 7	0.99727	0.99776	0.99826	0.9986	0.99888
ภาพต้นแบบที่ 8	0.9985	0.99883	0.9991	0.99929	0.99943
ภาพต้นแบบที่ 9	0.99812	0.99853	0.9989	0.99913	0.99932
ภาพต้นแบบที่ 10	0.99806	0.9986	0.99905	0.99932	0.9995
ภาพต้นแบบที่ 11	0.99602	0.99676	0.99746	0.99801	0.99848
ภาพต้นแบบที่ 12	0.99871	0.99903	0.9993	0.99948	0.9996

ตารางที่ ก.30 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบเจเปก  
ชุดที่ 2 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 7	0.9991	0.99929	0.99944	0.99956	0.99968
ภาพต้นแบบที่ 8	0.99954	0.99964	0.99971	0.99976	0.99982
ภาพต้นแบบที่ 9	0.9995	0.99964	0.99974	0.99981	0.99987
ภาพต้นแบบที่ 10	0.99962	0.99971	0.99977	0.99982	0.99986
ภาพต้นแบบที่ 11	0.99885	0.99918	0.9994	0.99958	0.99974
ภาพต้นแบบที่ 12	0.9997	0.99978	0.99983	0.99987	0.99991

ตารางที่ ก.31 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบ  
เจเปก 2000 ชุดที่ 2

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 7	0.9971	0.99756	0.99793	0.99826	0.99857
ภาพต้นแบบที่ 8	0.99875	0.99903	0.99924	0.9994	0.99953
ภาพต้นแบบที่ 9	0.99769	0.99826	0.99866	0.99897	0.99922
ภาพต้นแบบที่ 10	0.99767	0.99834	0.99879	0.99914	0.9994
ภาพต้นแบบที่ 11	0.99536	0.99633	0.99707	0.9977	0.99823
ภาพต้นแบบที่ 12	0.99876	0.99911	0.99935	0.99952	0.99966

ตารางที่ ก.32 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากความสัมพันธ์ของภาพจากภาพบีบอัดแบบ  
เจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 7	0.99885	0.99908	0.99928	0.99946	0.9996
ภาพต้นแบบที่ 8	0.99964	0.99971	0.99977	0.99983	0.99987
ภาพต้นแบบที่ 9	0.9994	0.99954	0.99965	0.99976	0.99983
ภาพต้นแบบที่ 10	0.99958	0.9997	0.99978	0.99985	0.9999
ภาพต้นแบบที่ 11	0.9987	0.99906	0.99935	0.99959	0.99975
ภาพต้นแบบที่ 12	0.99977	0.99984	0.99989	0.99993	0.99996

ตารางที่ ก.33 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบ JPEG ชุดที่ 1

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 1	1.08E-03	9.31E-04	7.91E-04	6.99E-04	6.29E-04
ภาพต้นแบบที่ 2	2.81E-03	2.35E-03	1.93E-03	1.59E-03	1.30E-03
ภาพต้นแบบที่ 3	8.28E-04	7.28E-04	6.64E-04	6.14E-04	5.84E-04
ภาพต้นแบบที่ 4	1.14E-03	9.54E-04	7.85E-04	6.57E-04	5.36E-04
ภาพต้นแบบที่ 5	4.17E-03	3.46E-03	2.76E-03	2.20E-03	1.73E-03
ภาพต้นแบบที่ 6	4.89E-04	3.81E-04	2.96E-04	2.47E-04	2.14E-04

ตารางที่ ก.34 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบ JPEG ชุดที่ 1 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 1	5.74E-04	5.28E-04	4.81E-04	4.43E-04	4.00E-04
ภาพต้นแบบที่ 2	1.04E-03	8.02E-04	6.24E-04	4.70E-04	3.29E-04
ภาพต้นแบบที่ 3	5.59E-04	5.36E-04	5.15E-04	4.95E-04	4.71E-04
ภาพต้นแบบที่ 4	4.42E-04	3.41E-04	2.64E-04	2.02E-04	1.37E-04
ภาพต้นแบบที่ 5	1.30E-03	9.15E-04	6.32E-04	4.21E-04	2.50E-04
ภาพต้นแบบที่ 6	1.85E-04	1.62E-04	1.41E-04	1.22E-04	1.07E-04

ตารางที่ ก.35 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบ JPEG 2000 ชุดที่ 1

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 1	9.32E-04	8.10E-04	7.06E-04	6.24E-04	5.48E-04
ภาพต้นแบบที่ 2	3.06E-03	2.69E-03	2.37E-03	2.07E-03	1.77E-03
ภาพต้นแบบที่ 3	5.70E-04	5.46E-04	5.24E-04	5.10E-04	4.81E-04
ภาพต้นแบบที่ 4	1.15E-03	9.34E-04	7.72E-04	6.27E-04	5.03E-04
ภาพต้นแบบที่ 5	7.60E-03	6.47E-03	5.57E-03	4.73E-03	3.96E-03
ภาพต้นแบบที่ 6	3.08E-04	2.50E-04	2.03E-04	1.70E-04	1.43E-04

ตารางที่ ก.36 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบ JPEG 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 1	4.83E-04	4.26E-04	3.75E-04	3.19E-04	2.76E-04
ภาพต้นแบบที่ 2	1.49E-03	1.24E-03	1.02E-03	8.03E-04	6.32E-04
ภาพต้นแบบที่ 3	4.50E-04	4.21E-04	3.90E-04	3.54E-04	3.19E-04
ภาพต้นแบบที่ 4	3.94E-04	3.07E-04	2.31E-04	1.61E-04	1.10E-04
ภาพต้นแบบที่ 5	3.20E-03	2.61E-03	2.06E-03	1.54E-03	1.14E-03
ภาพต้นแบบที่ 6	1.24E-04	1.09E-04	9.39E-05	8.43E-05	7.24E-05

ตารางที่ ก.37 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปกซูดที่ 2

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 7	1.39E-03	1.21E-03	1.03E-03	9.01E-04	7.93E-04
ภาพต้นแบบที่ 8	1.07E-03	9.17E-04	7.90E-04	7.00E-04	6.34E-04
ภาพต้นแบบที่ 9	1.21E-03	1.03E-03	8.64E-04	7.59E-04	6.72E-04
ภาพต้นแบบที่ 10	6.07E-04	4.51E-04	3.26E-04	2.56E-04	2.13E-04
ภาพต้นแบบที่ 11	1.45E-03	1.18E-03	9.26E-04	7.31E-04	5.66E-04
ภาพต้นแบบที่ 12	5.70E-04	4.40E-04	3.42E-04	2.78E-04	2.36E-04

ตารางที่ ก.38 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบเจเปกซูดที่ 2 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 7	7.05E-04	6.16E-04	5.38E-04	4.69E-04	3.93E-04
ภาพต้นแบบที่ 8	5.75E-04	5.18E-04	4.73E-04	4.26E-04	3.74E-04
ภาพต้นแบบที่ 9	5.85E-04	5.13E-04	4.56E-04	4.11E-04	3.62E-04
ภาพต้นแบบที่ 10	1.79E-04	1.53E-04	1.33E-04	1.20E-04	1.05E-04
ภาพต้นแบบที่ 11	4.41E-04	3.26E-04	2.49E-04	1.82E-04	1.25E-04
ภาพต้นแบบที่ 12	2.02E-04	1.76E-04	1.54E-04	1.37E-04	1.22E-04

ตารางที่ ก.39 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบ JPEG 2000 ชุดที่ 2

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 7	1.31E-03	1.15E-03	1.03E-03	9.06E-04	8.01E-04
ภาพต้นแบบที่ 8	8.53E-04	7.47E-04	6.68E-04	5.92E-04	5.21E-04
ภาพต้นแบบที่ 9	1.19E-03	1.00E-03	8.62E-04	7.45E-04	6.48E-04
ภาพต้นแบบที่ 10	5.12E-04	3.88E-04	3.04E-04	2.39E-04	1.93E-04
ภาพต้นแบบที่ 11	1.40E-03	1.11E-03	8.95E-04	7.01E-04	5.54E-04
ภาพต้นแบบที่ 12	4.41E-04	3.47E-04	2.83E-04	2.36E-04	1.95E-04

ตารางที่ ก.40 ค่าตัววัดคุณภาพของภาพจากแถบความถี่จากภาพบีบอัดแบบ JPEG 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 7	7.06E-04	6.17E-04	5.39E-04	4.56E-04	3.88E-04
ภาพต้นแบบที่ 8	4.62E-04	4.12E-04	3.67E-04	3.22E-04	2.82E-04
ภาพต้นแบบที่ 9	5.67E-04	5.01E-04	4.41E-04	3.76E-04	3.35E-04
ภาพต้นแบบที่ 10	1.57E-04	1.33E-04	1.13E-04	9.48E-05	8.11E-05
ภาพต้นแบบที่ 11	4.19E-04	3.15E-04	2.30E-04	1.55E-04	1.05E-04
ภาพต้นแบบที่ 12	1.58E-04	1.33E-04	1.12E-04	9.27E-05	7.75E-05

ตารางที่ ก.41 ค่าเอ็มโอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 1	1.5	1.75	2.5	3.5	3.75
ภาพต้นแบบที่ 2	1.75	2	3	3.75	4
ภาพต้นแบบที่ 3	1	2	2.5	3.5	4
ภาพต้นแบบที่ 4	1.25	1.5	2	3	3.25
ภาพต้นแบบที่ 5	1.25	2.25	2.5	3	3.5
ภาพต้นแบบที่ 6	1.25	2	3	3.5	4

ตารางที่ ก.42 ค่าเอ็มโอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 1 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 1	4.25	4.25	4.5	4.5	4.75
ภาพต้นแบบที่ 2	4.25	4.5	4.75	4.75	5
ภาพต้นแบบที่ 3	4.5	4.75	5	5	5
ภาพต้นแบบที่ 4	3.25	4	4.25	4.75	5
ภาพต้นแบบที่ 5	4	4.25	4.5	5	5
ภาพต้นแบบที่ 6	4.25	4.75	4.75	5	5

ตารางที่ ก.43 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 1	1.5	2	2.5	2.75	3
ภาพต้นแบบที่ 2	1	1	1.25	1.75	1.75
ภาพต้นแบบที่ 3	3.25	4	4	4.75	4.75
ภาพต้นแบบที่ 4	1.25	1.25	2	2.25	2.75
ภาพต้นแบบที่ 5	1	1	1	1.25	1.25
ภาพต้นแบบที่ 6	1.75	2	3	3.75	4.25

ตารางที่ ก.44 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 1 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 1	3.5	3.75	4.25	4.25	4.75
ภาพต้นแบบที่ 2	2.25	2.75	2.75	2.75	3.5
ภาพต้นแบบที่ 3	5	5	5	5	5
ภาพต้นแบบที่ 4	3	3.75	4	5	5
ภาพต้นแบบที่ 5	1.5	2.25	2.25	3.25	3.75
ภาพต้นแบบที่ 6	4.25	5	5	5	5

ตารางที่ ก.45 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2

Q	0.14	0.2	0.27	0.37	0.52
ภาพต้นแบบที่ 7	1.25	1.75	2.5	3	3.5
ภาพต้นแบบที่ 8	1.25	1.75	2.75	3.25	4
ภาพต้นแบบที่ 9	1.5	1.75	3	3.25	4
ภาพต้นแบบที่ 10	1.25	1.5	2.25	2.75	3.75
ภาพต้นแบบที่ 11	1.5	1.75	2.75	3.25	4
ภาพต้นแบบที่ 12	1.5	2.25	3.25	4	4

ตารางที่ ก.46 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปกชุดที่ 2 (ต่อ)

Q	0.72	1	1.4	2	2.7
ภาพต้นแบบที่ 7	4	4.25	4.5	4.75	5
ภาพต้นแบบที่ 8	4	4.5	4.75	4.75	5
ภาพต้นแบบที่ 9	4.5	4.75	5	5	5
ภาพต้นแบบที่ 10	4.25	4.5	4.5	4.75	5
ภาพต้นแบบที่ 11	4.5	4.75	5	5	5
ภาพต้นแบบที่ 12	4.5	4.75	5	5	5

ตารางที่ ก.47 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2

Threshold	20%	16%	12.5%	10%	8%
ภาพต้นแบบที่ 7	1	1	1.25	1.5	2
ภาพต้นแบบที่ 8	1.25	1.5	2.25	3.25	3.75
ภาพต้นแบบที่ 9	1	1.5	1.75	2.25	3
ภาพต้นแบบที่ 10	1	1	1.75	2	2.75
ภาพต้นแบบที่ 11	1	1	1	1	2
ภาพต้นแบบที่ 12	1.25	1.75	2.5	3.25	4

ตารางที่ ก.48 ค่าเอ็มไอเอสจากภาพบีบอัดแบบเจเปก 2000 ชุดที่ 2 (ต่อ)

Threshold	6.3%	5%	4%	3.2%	2.5%
ภาพต้นแบบที่ 7	2.5	3.5	3.5	4	4.5
ภาพต้นแบบที่ 8	3.75	4.25	4.25	4.75	4.75
ภาพต้นแบบที่ 9	3	4	4.25	4.5	4.75
ภาพต้นแบบที่ 10	3.5	4	4.75	5	5
ภาพต้นแบบที่ 11	2.25	3.25	4	4.5	4.75
ภาพต้นแบบที่ 12	4.25	4.75	4.75	4.75	5

ภาคผนวก ข  
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. นันทพงศ์ แหยมแสง, อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ และสมเกียรติ อุดมherrษากุล, "อิทธิพลของคุณสมบัติของภาพต่อการวัดคุณภาพของภาพแบบออบเจกทีฟ" *การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44, เล่มที่ 5, หน้า 348-349, 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2549*
2. Nuntapong Yamsang, and Somkai Udomhunsakul, "Distribution Model between Objective Measurement and Subjective Measurement", *5th International Conference on Research, Innovation & Vision for The Future*. (Accepted)

