

อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง  
สำหรับการประมาณการเคลื่อนที่ในการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์



นายพนชิต กิตติปัญญางาม

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

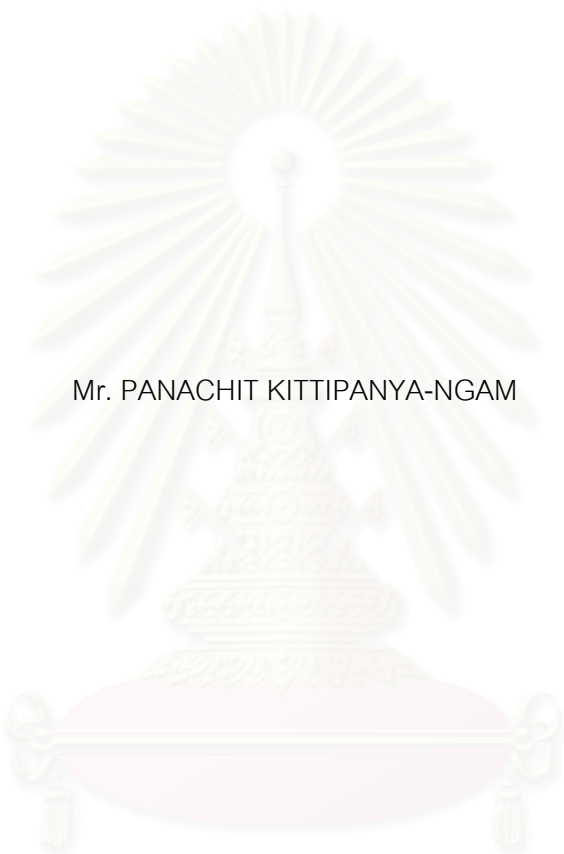
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0149-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ADAPTIVE SEARCH RANGE BLOCK MATCHING ALGORITHM  
FOR MOTION ESTIMATION IN VERY LOW BIT RATE VIDEO CODING



Mr. PANACHIT KITTIPANYA-NGAM

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0149-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้  
การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง สำหรับการประมาณการเคลื่อนในการเข้ารหัส  
รหัสสัญญาณวีดิทัศน์

โดย    นายพนชิต กิตติปัญญางาม

ภาควิชา                                        วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา                         รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... กรรมการ  
(อาจารย์สุวิทย์ นาคไพระยุทธ)

..... กรรมการ  
(ดร.เสถียร เตรียมล้ำเลิศ)

พนชิต กิตติปัญญางาม : อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก การค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้  
แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง สำหรับการประมาณการเคลื่อนที่ ในการเข้ารหัสสัญญาณ  
วีดิทัศน์. ( A HYBRID ADAPTIVE SEARCH BLOCK MATCHING ALGORITHM USING  
ADAPTIVE SEARCH CENTER FOR MOTION ESTIMATION IN VIDEO CODING )  
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, 216 หน้า. ISBN 974-13-0149-9.

การประมาณการเคลื่อนที่มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ โดยเฉพาะการประมาณการเคลื่อนที่แบบบล็อกด้วยอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก ถูกใช้อย่างแพร่หลายในมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ทั่วไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนออัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก แบบใช้เทคนิคไฮบริด ควบคู่กับเทคนิคการปรับย้ายจุดศูนย์กลาง เพื่อใช้เทคนิคการค้นหาได้อย่างเหมาะสมกับกรณีที่เกิดขึ้นของแต่ละลักษณะชุดภาพ เทคนิคการค้นหาที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มุ่งเน้นในการลดความซับซ้อนในการคำนวณของการประมาณการเคลื่อนที่ โดยที่ยังรักษาความถูกต้องในการประมาณ ผลในการจำลองระบบเพื่อทดสอบเทคนิคในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้ ลดการคำนวณที่ไม่จำเป็นออกไปได้เป็นจำนวนมาก และยังคงรักษาความถูกต้องในการคำนวณได้ในระดับที่น่าพอใจ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING KEY WORD: VIDEO CODING / MOTION ESTIMATION /  
BLOCK MATCHING ALGORITHM / HYBRID / ADAPTIVE

PANACHIT KITTIPANYA-NGAM : A HYBRID ADAPTIVE SEARCH BLOCK MATCHING  
ALGORITHM USING ADAPTIVE SEARCH CENTER FOR MOTION ESTIMATION IN  
VIDEO CODING . THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Ing.,,  
216 pp. ISBN 974-13-0149-9.

Motion estimation is playing a significant role in digital video coding process. In particular, the block-based motion estimation has been widely used in various video-coding standards. This thesis proposes a Block Matching Algorithm (BMA) using the hybrid technique and adaptive search-center to set the right search to the right case, which is predicted to be . The proposed algorithm focuses on reducing computational complexity and maintaining estimation accuracy. Simulation results show that this algorithm removes an amount of unnecessary computations shown in the number of search points while keeping satisfactory accuracy, PSNR and MSE.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Electrical Engineering..... Student's signature.....

Field of study.....Electrical Engineering..... Advisor's signature.....

Academic year.....2000..... Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิจัยด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ

ขอบพระคุณ ดร.วุฒิพงษ์ อารีกุล ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ชุดสภาพทดสอบมาตรฐาน เพื่อใช้ในงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องนิสิตทุกท่านที่อยู่ภายในห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing Research Laboratory) โดยเฉพาะเพื่อนๆ ในรุ่นและน้องๆ ทุกคนในกลุ่ม Video Coding ที่ได้ช่วยเหลือในการให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องนิสิตที่อยู่ภายในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม สำหรับวันเวลาที่ดีในยามพักผ่อนจากงานวิทยานิพนธ์ ที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าอย่างดียิ่ง และขอขอบคุณเพื่อนสนิทที่โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยและคุณพรพรรณ ช่างเพชร สำหรับกำลังใจและแรงกระตุ้นตลอดเวลาเพื่อเร่งข้าพเจ้าในการทำวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และขอขอบคุณน้องสาวที่น่ารักทั้งสองคนของข้าพเจ้า ที่เข้าใจลักษณะการทำงานของข้าพเจ้า คอยให้กำลังใจในการทำงานอย่างไม่ได้ขาดและคอยสนับสนุนผลักดันในการทำวิจัยอย่างต่อเนื่องเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฑ
บัญชีศัพท์.....	ด

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 การใช้งานของวีดิทัศน์ระบบดิจิทัล.....	1
1.2 มาตรฐานในการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์.....	3
1.2.1 มาตรฐานของ ITU-T.....	3
1.2.2 มาตรฐานของ MPEG.....	4
1.3 ปัญหาในการเข้าสัญญาณวีดิทัศน์.....	5
1.3.1 ความซับซ้อนในการคำนวณ.....	5
1.3.2 การคำนวณส่วนใหญ่ของการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ใช้ไป กับการประมาณเคลื่อนที่.....	6
1.3.3 ในขณะที่ลดความซับซ้อน ความถูกต้องก็ลดลงด้วย.....	6
1.4 วิธีแก้ปัญหามีคนเสนอมาน.....	7
1.5 แนวทางของวิทยานิพนธ์นี้.....	8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 วีดิทัศน์ระบบดิจิทัล.....	10
2.2 การเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์.....	11
2.2.1 การเข้ารหัสในเฟรม.....	11
2.2.2 การเข้ารหัสระหว่างเฟรม.....	12
2.3 การประมาณการเคลื่อนที่.....	13
2.3.1 สมมติฐานพื้นฐาน.....	15
2.3.2 ระเบียบวิธีสมการไหลของแสง.....	16

2.3.3	ระเบียบวิธีเพลรีเคอร์ซีฟ.....	16
2.3.4	อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก.....	17
2.4	อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก.....	18
2.4.1	สมมติฐานของอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก.....	18
2.4.2	ขั้นตอนกระบวนการของอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก.....	18
2.4.3	การเข้ารหัสเวกเตอร์การเคลื่อนที่.....	20
2.4.4	การวัดความเพี้ยนต่อบล็อก.....	21
2.4.4.1	ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย.....	21
2.4.4.2	ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย.....	22
2.4.4.3	Maximum Matching Pel Count ( MPC ) หรือ Pel Difference.....	22
2.4.4.4	Classification.....	22
2.4.4.5	Cross Correlation Function.....	23
2.4.4.6	Minimax.....	23
2.4.5	เวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบครึ่งจุดสี่.....	24
2.4.6	อัลกอริทึมแบบค้นหาทั้งหมด.....	25
2.4.7	สมมติฐานพื้นผิวความผิดพลาดแบบ โมดเดียว.....	25
2.4.8	ความหมายของจุดต่ำสุด.....	26
2.4.9	สหสัมพันธ์กันของข้อมูล.....	27
2.5	อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกอย่างรวดเร็ว.....	27
2.5.1	การลดจุดค้นหาโดยสร้างรูปแบบการค้นหาตามสมมติฐาน ของพื้นผิวค่าความเพี้ยน.....	28
2.5.1.1	งานวิจัยในช่วงต้นของอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกอย่างรวดเร็ว.....	28
2.5.1.1.1	Three Step Search.....	29
2.5.1.1.2	Logarithmic Search.....	29
2.5.1.1.3	Orthogonal Search.....	30
2.5.1.1.4	Block Base Gradient Descent Search.....	31
2.5.1.2	งานวิจัยสมัยใหม่ที่เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงจากการค้นหา ที่มีอยู่แล้ว.....	32
2.5.1.2.1	Cross Search.....	32



2.5.1.2.2	Four Step Search.....	33
2.5.1.2.3	One Dimensional Full Search .....	34
2.5.1.2.4	One at a Time Search .....	35
2.5.1.2.5	Center-biased Orthogonal Search.....	36
2.5.1.2.6	Diamond Search.....	36
2.5.2	การรวมเทคนิคต่างๆเข้ากับการเปลี่ยนรูปแบบการค้นหา.....	38
2.5.2.1	New Three Step Search.....	38
2.5.2.2	Adaptive Fill Search Block Matching.....	40
2.5.2.2.1	กำหนดค่าเริ่มต้น.....	41
2.5.2.2.2	การปรับค่าจุดเปลี่ยน.....	41
2.5.2.3	Adaptive Search Area Adjustment	
	Using Spatio-Temporal Correlation.....	42
2.5.2.4	Adaptive Search Length.....	44
2.5.3	การลดจำนวนจุดสรและการสุ่มตัวอย่างของสนามการเคลื่อนที่	
	(Pixel Decimation & Motion-filed Subsampling).....	47
2.5.4	เทคนิคอื่นๆ.....	48
2.5.4.1	Hybrid Adaptive Search .....	48
2.5.4.2	One-bit Transform.....	50
2.5.4.3	Genetic Algorithm for Motion Estimation.....	50
2.5.4.4	Successive Elimination Algorithm.....	51
2.5.4.4.1	วิธีลดการคำนวณ Sum Norm ของบล็อกที่เลือกมา...52	
2.6	การวัดสมรรถนะของระเบียบวิธี.....	55
2.6.1	การวัดคุณภาพของภาพ.....	55
2.6.1.1	ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย.....	55
2.6.1.2	ค่าอัตราส่วนสัญญาณขอดต่อสัญญาณรบกวน.....	55
2.6.2	การวัดความซับซ้อนในการคำนวณของระเบียบวิธี.....	56
3	การค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง.....	57
3.1	สมมติฐานพื้นฐาน.....	57
3.2	แนวคิดจากสมมติฐาน.....	58

3.3	ขั้นตอนการค้นหา.....	59
3.4	การปรับค่า.....	61
3.5	ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	62
4.	ผลการวิจัย.....	64
4.1	ระบบที่ใช้ในการทดสอบ และชุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ.....	64
4.1.1	ระบบที่ใช้ในการทดสอบ.....	65
4.1.1.1	สัญญาภาพที่ใช้.....	65
4.1.1.2	อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก.....	65
4.1.1.3	การวัดค่าความเพี้ยนต่อบล็อก และขนาดหน้าต่างการค้นหา.....	66
4.1.1.4	การชดเชยการเคลื่อนที่ ( Motion Compensation ).....	67
4.1.1.5	การวัดสมรรถนะ.....	68
4.1.1.6	ชุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ.....	68
4.2	การทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน.....	80
4.2.1	การทดสอบความสามารถของค่าความเพี้ยนต่อบล็อก ที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) ในการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0)..80	
4.2.1.1	ผลการทดลองเมื่อใช้กับชุดภาพทั้งสิบชุดภาพ.....	83
4.2.1.1.1	รูปแบบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อก แต่ละประเภท.....	84
4.2.1.1.2	การวิจารณ์ผลการทดลองกับชุดภาพ 10 ชุดภาพ.....	85
4.2.1.2	การเลือกช่วงที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยน T1.....	100
4.2.1.3	ค่าทางสถิติของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (0,0).....	101
4.2.2	การทดสอบความสามารถของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การ เคลื่อนที่(x,y) ซึ่งเป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่ในการตัดสินใจเพื่อระบุ ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (x,y) หรือทำการค้นหาต่อไป.....	103
4.2.2.1	ผลการทดลองเมื่อใช้กับชุดภาพทั้งสิบชุดภาพ.....	106
4.2.2.1.1	รูปแบบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อก แต่ละประเภท.....	107
4.2.2.1.2	การวิจารณ์ผลการทดสอบกับชุดภาพ 10 ชุดภาพ ...	108

4.2.2.2	การเลือกช่วงที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยน T2.....	124
4.2.2.3	ค่าทางสถิติของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (x,y).....	125
4.2.3	การทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการระบุด้วยค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 จากหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2.....	127
4.2.3.1	ผลการทดลองด้วยค่า T1.....	127
4.2.3.2	ผลการทดลองด้วยค่า T2.....	129
4.2.3.3	วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง.....	131
4.2.4	การทดสอบความสามารถในการระบุช่วงค่าขนาดเวกเตอร์ห่างจากจุด ศูนย์กลางการค้นหาด้วยค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อก ระหว่างจุดเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) และ (x,y).....	132
4.2.4.1	ผลการทดลอง.....	133
4.2.4.1.1	ลักษณะโดยรวมของความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเทียบกับ ขนาดระยะห่างระหว่างเวกเตอร์คำตอบกับเวกเตอร์ จุดศูนย์กลางการค้นหา.....	133.
4.2.4.1.2	ค่าทางสถิติของ BDMdiff.....	135
4.2.4.2	สรุปผลการทดลอง.....	137
4.2.5	การทดสอบความใกล้เคียงกันระหว่างเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อก ปัจจุบัน และ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง ( บล็อกก่อนหน้านี้ ).....	137
4.2.5.1	ผลการทดลอง.....	138
4.2.5.2	สรุปผลการทดลอง.....	138
4.3	การทดสอบเทคนิคที่นำเสนอ.....	141
4.3.1	การทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบเมื่อใช้เทคนิคการค้นหา แบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง.....	141
4.3.1.1	การทดลองเพื่อทดสอบผลของค่าจุดเปลี่ยน R ที่มีต่อ สมรรถนะของระบบ.....	141
4.3.1.2	การทดลองเพื่อทดสอบผลของค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่มีต่อ สมรรถนะของระบบ.....	146

4.3.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริด	
ชนิด ปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง กับอัลกอริทึมต่างๆ...	151
4.4 การวิเคราะห์ผลของเทคนิคที่นำเสนอ.....	158
4.4.1 สมการวิเคราะห์ความถูกต้องในการประมาณการเคลื่อนที่.....	158
4.4.2 สมการวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณ.....	159
4.4.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์.....	160
4.4.4 การวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นของเทคนิคที่นำเสนอ	
เปรียบเทียบกับความซับซ้อนในการคำนวณที่ลดลง.....	160
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	163
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	163
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	164
รายการอ้างอิง.....	166
ภาคผนวก ก.....	169
ภาคผนวก ข.....	195
ภาคผนวก ค.....	206
ประวัติผู้เขียน.....	216

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1.1 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอของ ITU-T	3
ตารางที่ 1.2 มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอของ MPEG	4
ตารางที่ 1.3 จำนวนการคำนวณปฏิบัติการต่อวินาที (Million Operations Per Second : MOPS) ที่ใช้ในการเข้ารหัสของ H.261	7
ตารางที่ 2.1 รูปแบบของสัญญาณวิดีโอที่ใช้งานในปัจจุบัน	10
ตารางที่ 2.2 การจัดเรียงลำดับก่อนหลังของการเข้ารหัสและถอดรหัส	14
ตารางที่ 2.3 รหัสความยาวหลากหลายสำหรับข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (VLC for Motion Vector Data)	20
ตารางที่ 4.1 ค่าขอบเขตของชุดภาพทั้งสิบที่ได้จากการทดลอง	101
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพ	102
ตารางที่ 4.3 ค่าขอบเขตของชุดภาพทั้งสิบที่ได้จากการทดลอง กรณีพิจารณาด้วยจุดศูนย์กลางใหม่	124
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพ กรณีสำหรับค่า T2	126
ตารางที่ 4.5 จำนวนบล็อกที่ได้จากการตัดสินด้วย T1 เท่ากับ 0.965 1.489 2.013 3.014 4.015	128
ตารางที่ 4.6 จำนวนบล็อกที่ได้จากการตัดสินด้วย T2 เท่ากับ 0.910 1.490 2.069 3.117 4.165	130
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของ BDMdiff ของบล็อกแต่ละประเภท	135
ตารางที่ 4.8 จำนวนคู่บล็อกที่อยู่ติดกันที่มีค่าความต่างของค่าเวกเตอร์ ในช่วง 0x0 1x1 2x2 และ 3x3 จุด	139
ตารางที่ 4.9 PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ ที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างกันของค่าจุดเปลี่ยน R	142
ตารางที่ 4.10 ค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาเฉลี่ยที่ใช้ ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ แบบไม่มีการปรับตัว	146
ตารางที่ 4.11 ค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ แบบมีการปรับตัว	147
ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาเฉลี่ยของการค้นหาชนิดต่างๆ	151

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์แบบที่มีการบีบอัด	14
รูปที่ 2.2 การแบ่งบล็อกของเฟรม ขนาด $N \times N$	18
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบการเข้าคู่บล็อก	19
รูปที่ 2.4 หน้าต่างการค้นหาขนาด $\pm 4$ pixels	20
รูปที่ 2.5 ลักษณะการเลือกจุดสีด้วยวิธีแบบครึ่งจุดสี	24
รูปที่ 2.6 จุดค้นหาแบบการค้นหาทั้งหมดขนาด $w=6$ หรือ $13 \times 13$	25
รูปที่ 2.7 พื้นที่ผิวความผิดพลาด(Error Surface) ของภาพจริง ซึ่งมี Local Minimum	26
รูปที่ 2.8 Three Step Search	29
รูปที่ 2.9 Logarithmic Search	30
รูปที่ 2.10 Orthogonal Search	31
รูปที่ 2.11 Block Based Gradient Descent Search	32
รูปที่ 2.12 Cross Search Algorithm	33
รูปที่ 2.13 Four Step Search	33
รูปที่ 2.14 1-Dimensional Full Search	34
รูปที่ 2.15 One at a Time Search	35
รูปที่ 2.16 Center-biased Orthogonal Search	36
รูปที่ 2.17 Large และ Small Search Pattern	37
รูปที่ 2.18 Diamond Search Algorithm	37
รูปที่ 2.19 New Three Step Search	40
รูปที่ 2.20 การเพิ่มขนาดของ หน้าต่างการค้นหา	43
รูปที่ 2.21 พื้นผิวชนิดต่างๆ	44
รูปที่ 2.22 การพล็อตระหว่างค่า $\Gamma$ และจำนวนจุดค้นหา	45
รูปที่ 2.23 การแบ่ง Column เพื่อลดการคำนวณ Sum	52
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Initial MAD กับจำนวนการคำนวณที่ต้องใช้	54
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของ เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง	60
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบการทดสอบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์	64
รูปที่ 4.2 การเข้าคู่บล็อกระหว่างบล็อกปัจจุบันและเฟรม	66
รูปที่ 4.3 การขยายพื้นที่ในการค้นหาพื้นที่	67
รูปที่ 4.4 การเลือกบล็อกเพื่อทำการชดเชยการเคลื่อนที่	67
รูปที่ 4.5 การสร้างเฟรมประมาณ	68
รูปที่ 4.6 ชุดลำดับภาพทดสอบมาตรฐาน	69

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ผ

บทที่	หน้า
รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ carphone	70
รูปที่ 4.8 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ claire	71
รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ foreman	72
รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ grandmother	73
รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ miss america	74
รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ mother & daughter	75
รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ salesman	76
รูปที่ 4.14 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ suzie	77
รูปที่ 4.15 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ trevor	78
รูปที่ 4.16 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ table tennis	79
รูปที่ 4.17 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Carphone	86
รูปที่ 4.18 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Claire	88
รูปที่ 4.19 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Foreman	89
รูปที่ 4.20 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Grandmother	90
รูปที่ 4.21 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Miss America	92
รูปที่ 4.22 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Mother & Daughter	93
รูปที่ 4.23 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Salesman	95
รูปที่ 4.24 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Suzie	97
รูปที่ 4.25 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Trevor	98
รูปที่ 4.26 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Table Tennis	99







## สารบัญภาพ (ต่อ)

ด

บทที่	หน้า
รูปที่ 4.37 รูปแผนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง BDMdiff และขนาดของเวกเตอร์เทียบ กับจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ (ก) ของชุดภาพ Foreman (ข) ของชุดภาพ Salesman (ค) ของ ชุดภาพ Miss America	134
รูปที่ 4.38 การปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน R ที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ ของชุดภาพ (ก) Carphone (ข) Miss America (ค) Mother & Daugther (ง) Salesman (จ) Talbe Tennis	144
รูปที่ 4.39 การปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มึนัยสำคัญ 4 คู่ต่างกัน ของชุดภาพ (ก) Carphone (ข) Miss America (ค) Mother & Daugther (ง) Salesman (จ) Table Tennis	149
รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบสมรรถนะของชุดภาพ Carphone (ก) MSE (ข) จำนวนจุดการค้นหา	154
รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบสมรรถนะของชุดภาพ Miss America (ก) MSE (ข) จำนวนจุดการค้นหา	155
รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบสมรรถนะของชุดภาพ Mother&Daughter (ก) MSE (ข) จำนวนจุดการค้นหา	156

## บทที่ 1

### บทนำ

ย้อนกลับไปเมื่อโทรเลขเริ่มเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารโทรคมนาคม คงจะมีหลายคนในขณะนั้นที่คิดไปไกลถึงว่าวันหนึ่งสัญญาณเสียงคงจะสามารถสื่อสารกันผ่านทางสายได้เฉกเช่นการส่งข้อความผ่านทางสายโทรเลข แต่จะมีใครจะคิดว่าสิ่งที่จะสามารถสื่อสารกันได้ไม่ใช่เฉพาะเสียงเท่านั้นแต่สามารถเห็นหน้าตาสีหน้าท่าทางขณะที่กำลังสื่อสารกันได้อีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นการสื่อสารนี้ยังสามารถ ส่งผ่านในแบบไร้สาย และสามารถติดต่อกันได้ในระยะทางที่ไกลมากได้ จะสังเกตได้ว่าความก้าวหน้าของพัฒนาการทางเทคโนโลยีสื่อสาร เป็นไปอย่างรวดเร็วมาก อีกทั้งช่วงสิบปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วยังผลให้เทคโนโลยีการสื่อสารเติบโตอย่างก้าวกระโดดตามไปด้วย จากพัฒนาการดังกล่าว ปัจจุบันซึ่งเป็นยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศ การสื่อสารโทรคมนาคมได้เข้ามามีบทบาทกับมนุษย์มากขึ้นเรื่อยๆ จนแทบจะขาดไม่ได้จะเห็นได้จากความตื่นตัวในการค้นหาข้อมูล และการสื่อสารทางอินเทอร์เน็ต ตั้งแต่ระดับองค์กรจนถึงระดับครอบครัว ไม่เพียงเท่านั้นเทคโนโลยีเหล่านี้ยังครอบคลุมไปถึงส่วนของนันทนาการซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มตลาดที่ใหญ่กลุ่มหนึ่งในโลก จะเห็นได้จากสื่อต่างๆที่เกิดขึ้นมากมาย เช่น เคเบิลทีวี ภาพยนตร์ การส่งสัญญาณกระจายเสียงและภาพ แผ่นเล่นวีดีโอซีดี และดีวีดี เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการพัฒนาการสื่อสาร ที่เป็นรูปแบบของสื่อผสม (multimedia) เทคโนโลยีในการสื่อสารข้อมูลจึงยังต้องพัฒนาให้มากยิ่งขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภค

ในบทนี้จะอธิบายการใช้งานของวิทัศน์ระบบดิจิทัล, มาตรฐานของการเข้ารหัสวิทัศน์ระบบดิจิทัล, ปัญหาของการเข้ารหัสที่เกิดจากการประมาณการเคลื่อนที่ จากนั้นจะกล่าวถึงเทคนิคการค้นหาที่มีผู้นำเสนอขึ้นมาและปัญหาในเทคนิคแต่ละแบบ รวมถึงแนวทาง, วัตถุประสงค์, ขอบเขตของของวิทยานิพนธ์, ขั้นตอนการดำเนินงาน, ภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์ และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการนิยามสัญลักษณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

#### 1.1 การใช้งานของวิทัศน์ระบบดิจิทัล

สังเกตได้ว่าในช่วงเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์และพัฒนา เทคโนโลยีทางด้าน ภาพและเสียง(audiovisual) มากมาย อีกทั้งงานทางด้านนี้ก็ได้รับความนิยมสนใจ และมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น ไม่เพียงแต่เพื่อพัฒนาความรู้ ยังรวมไปถึงเพื่อความบันเทิงอีกด้วย จนกระทั่งปัจจุบัน ผลผลิตต่างๆของงานด้านนี้ได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตคนเรา จากการสื่อสารในอดีต

เช่น โทรเลข พัฒนาสู่การส่งผ่านสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ จนกระทั่งมาถึงการสื่อสารข้อมูล พร้อมภาพและเสียง ในรูปแบบของภาพนิ่งและสัญญาณวิดีโอ แต่ด้วยพื้นฐานที่เทคโนโลยีของสัญญาณต่างๆเหล่านี้เป็นแบบแอนะล็อก (Analog) ซึ่งมีข้อจำกัดทางกายภาพ ดังนั้นผลตอบกลับจากการพัฒนาในส่วนองงานโดยอยู่บนพื้นฐานของระบบแอนะล็อก ในปัจจุบันจึงมีน้อยมาก อีกทั้งระบบแอนะล็อกมีความสูญเสียคุณภาพระหว่างการรับ-ส่งได้ง่ายและเป็นจำนวนมาก และยังถูกจำกัดจำนวนข้อมูลในการส่ง ด้วยขนาดของแถบความถี่(Bandwidth) ด้วยเหตุผลดังกล่าว ยังผลให้มีการพัฒนามาสู่ระบบดิจิทัล ที่มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่า สามารถบีบอัดสัญญาณข้อมูลได้มากกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถส่งสารชนิดเดียวกัน ในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ไปในช่องสัญญาณที่จำกัดได้ ในขณะที่ไม่สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณแอนะล็อกได้ในช่องสัญญาณนั้น เนื่องจากข้อมูลอยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ทำให้สามารถทำและคิดสร้างสรรค์งานในรูปแบบต่างๆให้เป็นจริงขึ้นมาได้ในขณะที่ข้อมูลในระบบแอนะล็อกไม่สามารถทำได้ เช่น การเข้าถึงสื่อแบบสุ่ม (Random media access ) เช่นแผ่น ซีดี ในขณะที่เทปแม่เหล็กในระบบแอนะล็อกไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้งานวีดิทัศน์ระบบดิจิทัลยังถูกนำไปใช้ในหลายรูปแบบ

ในปีคริสต์ศักราช 1977 ภาพยนตร์คลาสสิก สตาร์วอร์ส ได้เข้าฉายสร้างชื่อเสียงให้กับผู้กำกับ จอร์จ ลูคัส และเป็นแหล่งกระตุ้นเรื่องของเทคนิคพิเศษ ในขณะนั้นการถ่ายทำภาพยนตร์ทำยังอยู่บนแบบแอนะล็อกทำให้มีข้อจำกัดในการทำ ปีคริสต์ศักราช 1999 สตาร์วอร์ส ได้กลับมาอีกครั้งหนึ่งในภาพยนตร์ชุดนี้ จอร์จ ลูคัส สามารถทำงานสร้างสรรค์และมีประสิทธิภาพมากกว่างานก่อน สามารถตัดและเปลี่ยนหน้านักแสดงได้ หรือแม้กระทั่งตัดตัวนักแสดงออกเพราะดูแน่นเกินไป การถ่ายทำแบบวีดิทัศน์ระบบดิจิทัลช่วยให้สามารถทำเทคนิคพิเศษได้มากขึ้นและสร้างสรรค์งานคอมพิวเตอร์กราฟฟิกได้อย่างอิสระ สังเกตได้ว่างานทางด้านนี้กำลังเป็นที่นิยมในวงการบันเทิงทั่วโลก

การทำสำเนาโดยไม่มีการสูญเสียข้อมูล ช่วยให้สามารถเก็บ และเผยแพร่ ข้อมูลวีดิทัศน์ได้ชัดเจนมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยในงานด้านการตัดต่อ โดยไม่ต้องห่วงกังวลในเรื่องของการผ่านข้อมูลไปมาที่อาจทำให้เกิดการสูญเสียความชัดเจนเนื่องจากสายเชื่อมต่อ โปรแกรมที่ใช้ในงานนี้มีขายกันอยู่แพร่หลายจากหลายหน่วยงาน เช่น Adobe Premier เป็นโปรแกรมสำหรับผู้ทั่วไป และยังมีโปรแกรมสำหรับผู้ใช้ระดับมืออาชีพซึ่ง จะใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และ ซอฟต์แวร์ของหน่วยงานผู้ขาย

ด้วยคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเก็บและเผยแพร่ อีกทั้งใช้หน่วยความจำในการเก็บ(Memory Storage)น้อย อีกทั้งต้องการความกว้างความถี่ช่องสัญญาณ(Bandwidth)น้อยเช่นกัน (เมื่อทำการบีบอัดแล้ว) ทำให้วีดิทัศน์ระบบดิจิทัลได้ถูกนำไปในฉายเผยแพร่สัญญาณโทรทัศน์ความละเอียดสูง(HDTV) งานทางด้านอินเทอร์เน็ต video on demand แผ่นวีดีโอซีดี ดีวีดี และยังถูกนำไปใช้เพื่อการสื่อสารส่วนตัวเช่น การประชุมผ่านวีดิทัศน์ โทรศัพท์ที่มีการส่งสัญญาณภาพเคลื่อนไหวไป

ด้วย จะสังเกตได้ว่า ถ้าคิดต่อไป จะพบว่ายังมีงานอีกมากมายที่วิดิทัศน์ระบบดิจิทัลมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้องไม่มากนักน้อย และเนื่องจากการเข้ารหัสวิดิทัศน์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อยู่บนระบบดิจิทัล ดังนั้นต่อไปนี้จะขอกล่าวสั้นๆว่าการเข้ารหัสสัญญาณวิดิทัศน์ ให้หมายถึงการเข้ารหัสสัญญาณวิดิทัศน์ระบบดิจิทัล

## 1.2 มาตรฐานในการเข้ารหัสสัญญาณวิดิทัศน์

มีสองหน่วยงานใหญ่ที่ทำหน้าที่จัดทำมาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดิทัศน์ [Rao,K.R and Hwang,J.J.,1996] ได้แก่ ITU-T และ MPEG(Motion Picture Expert Group) และมีตระกูลของมาตรฐานดังที่จะกล่าวต่อไป

### 1.2.1 มาตรฐานของ ITU-T

ตั้งแต่ปลายทศวรรษ ที่ 1980 การสื่อสารผ่านโทรศัพท์ภาพ (Video Telephony) ผ่านสายโทรศัพท์ยุคเก่า ซึ่งมีแถบความถี่แคบ ดังนั้น ITU-T ตระกูล เอช (H-series) จึงถูกจัดทำขึ้น โดยมีจุดประสงค์มุ่งเน้นในการใช้งานกับ เครื่องโทรศัพท์ภาพ หรือ การประชุมสัมมนาทางโทรทัศน์ มาตรฐานต่างๆในตระกูล เอช แสดงไว้ใน ตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 : มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดิทัศน์ของ ITU-T

หมายเลขมาตรฐาน	ปีที่กำหนดใช้	วัตถุประสงค์
H.261	ค.ศ 1990	เพื่อการจัดการระบบการประชุมทางไกลผ่านระบบ ISDN (ISDN Video Conferencing)
H.262 (ร่วมกับ ISO/IEC)	ค.ศ 1995	เหมือน MPEG 2
H.263	ค.ศ 1996	สำหรับจัดการภาพเคลื่อนไหวก่อนผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่(Mobile Telephony Video)
H.263+	ค.ศ 1998	พัฒนามาจาก H.263
H.263++	ค.ศ 2000	พัฒนามาจาก H.263+
H.26L(H.263L)	ค.ศ 2002	เป็นงานเกี่ยวกับภาพเคลื่อนไหวสำหรับอินเทอร์เน็ต(internet video) และการเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหว(Video Storage and Retrieval Services)

## 1.2.2 มาตรฐานของ MPEG

คณะกรรมการMPEG เริ่มทำงานตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1988 โดยยึดเป้าหมายเพื่อที่จะให้ได้ การส่งและบันทึก สัญญาณเสียงและภาพที่เร็วและไม่สะดุด ที่อัตราบิต 1.5 Mbps มาตรฐานMPEG ได้รับการยอมรับจาก ISO IEC/JTC SC29 ในปี 1991 ตั้งแต่นั้นมา มาตรฐานของMPEG ได้รับการ พัฒนาเรื่อยมา ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 : มาตรฐานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอของ MPEG

หมายเลขมาตรฐาน	ปีที่กำหนดใช้	วัตถุประสงค์
MPEG-1	ค.ศ. 1992	เพื่อเข้ารหัสข้อมูลภาพเคลื่อนไหวสำหรับเก็บข้อมูล ในสื่อเก็บข้อมูล เช่น VCD (Video CD) สัญญาณภาพมีความละเอียด 768 จุดสีในแนวนอน และ 576 เส้นในแนวตั้ง (รูปแบบของ SIF)
MPEG-2	ค.ศ. 1995	พัฒนาจาก MPEG-1 เพื่อการส่งกระจายสัญญาณ(เช่น Digital TV,HDTV Satellite TV รวมทั้ง Cabel TV) และพัฒนาการเก็บมุลให้เก็บได้ชัด และมีคุณสมบัติหลากหลายขึ้น(DVD)
MPEG-4	ค.ศ. 1999 (version 1) ค.ศ. 2000(version 2)	มาตรฐานนี้จะมีสองส่วนใหญ่คือ เพื่อการส่งแบบอัตราบิตต่ำมาก (Very low bit rate) และเพื่อนำไปใช้งานทางอินเทอร์เน็ตแบบอินเทอร์แอคทีฟ (Interactive video) อาจจะได้ว่าเป็นมาตรฐานที่มุ่งเน้นในการบีบอัดเป็นมาตรฐานสุด

		ท้ายของ MPEG
MPEG-7	ค.ศ. 2001	เพื่อขยายมาตรฐานที่มีผู้การค้นหาและจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสื่อผสม(Multimedia content description interface)
MPEG-21	N/A	Multimedia Environment

### 1.3 ปัญหาในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ

ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐานในการเข้ารหัสวิดีโอใดก็ตาม คุณสมบัติสำคัญของการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโออยู่ที่ การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation: ME) เพราะส่วนการประมาณการเคลื่อนที่นี้จะช่วยลดข้อมูลส่วนเกินที่เกิดขึ้นในภาพหลายๆภาพที่ซ้ำกันในช่วงเวลาหนึ่ง (Spatial-Temporal Redundancy) ระบบใดที่มีกระบวนการการประมาณการเคลื่อนที่ที่มีความถูกต้องมากก็จะมีความสามารถในการบีบอัดข้อมูลได้สูงตามไปด้วย วิธีการประมาณการเคลื่อนที่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก (Block Matching Algorithm : BMA) เนื่องจากวิธีนี้มีความง่ายและมีประสิทธิภาพ และเป็นวิธีที่เทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ใช้เป็นพื้นฐานการเข้ารหัสด้วย ในมาตรฐานในการเข้ารหัสทั่วไปนิยมใช้ เทคนิคการค้นหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่(Motion Vector : MV) อัลกอริทึมแบบค้นหาทั้งหมด (Full Search Algorithm) [Rao,K.R and Hwang,J.J.,1996] เพราะเทคนิคนี้มีความถูกต้องสูงมาก แต่อย่างไรก็ตาม แม้เทคนิคการค้นหาแบบทั้งหมดจะให้ความถูกต้องในการประมาณสูง ก็ยังมีงานวิจัยทางด้านเทคนิคการค้นหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็นจำนวนมาก เนื่องด้วยเหตุผลใหญ่ดังนี้

#### 1.3.1 ความซับซ้อนในการคำนวณ

เนื่องจากการประมาณการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการค้นหาทั้งหมด (Full Search Algorithm) ต้องคำนวณหาค่าความเพี้ยนต่อบล็อก (Block Distortion Measure : BDM) ทุกบล็อกที่เกิดจากจุดค้นหา(SearchPoint) ที่เป็นไปได้ในหน้าต่างของการค้นหา (Search Window) ซึ่งต้องการการคำนวณสูง และต้องใช้เวลาอย่างมากในการเข้ารหัส ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้งานแบบเวลาจริง (Real Time)ได้ ถึงแม้วิธีการดังกล่าวจะให้ความถูกต้องสูงในการประมาณก็ตาม ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่เน้นการลดการคำนวณ



### 1.3.2 การคำนวณส่วนใหญ่ของการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอที่ใช้ไปกับการประมาณการเคลื่อนที่

ตารางที่ 1.3 แสดงจำนวนการคำนวณปฏิบัติการต่อวินาที (Million Operations Per Second : MOPS)ที่ใช้ในการเข้ารหัสของ H.261 [Furht,B ; Greenberg,J. and Westwater,R.,1997] ในการเข้ารหัสข้างต้นจะสังเกตได้ว่าจำนวนปฏิบัติการในการคำนวณของการประมาณการเคลื่อนที่ที่ใช้ไปร้อยละ 63 ของจำนวนปฏิบัติการในการคำนวณของระบบทั้งหมด โดยเทคนิคที่ใช้ในการค้นหาคือ เทคนิคการค้นหา 3 ขั้น (Three Step Search : TSS) ซึ่งเทคนิคนี้มีความซับซ้อนเป็นร้อยละ 25 ของอัลกอริทึมแบบค้นหาทั้งหมด (Full Search Algorithm) จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นอย่างมากที่ต้องมีการพัฒนา อัลกอริทึมการค้นหา (Search Algorithm) ให้มีความซับซ้อนน้อยลง

### 1.3.3 ในขณะที่ลดความซับซ้อน ความถูกต้องก็ลดลงด้วย

งานวิจัยหลายชิ้นที่นำเสนอเทคนิคต่างๆในการลดความซับซ้อน เช่น การค้นหาแบบลอการิทึม (Logarithmic Search Algorithm : LGSA), การค้นหาแบบ 3 ขั้น (Three Step Search Algorithm : TSS) และการค้นหาแบบแนวตั้งฉาก (Orthogonal Search Algorithm : OSA) เป็นต้น แต่เทคนิคต่างๆข้างต้น ไม่สามารถหาค่า เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector : MV) ที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อก (Block Distortion Measure : BDM) เป็นค่าต่ำสุดรวม (Global Minimum) ทุกค่าเวกเตอร์ เหมือนเช่นอัลกอริทึมการค้นหาแบบทั้งหมด (Full Search Algorithm) ได้ เพราะจะติดอยู่ที่ค่าต่ำสุดท้องถิ่น (Local Minimum)

ปัญหาดังกล่าวสามารถมองเป็น ปัญหาของการออปติไมซ์ (Optimization)ได้เช่นกัน และจากเหตุผลข้างต้น เป็นสาเหตุให้งานวิจัยที่มีการนำเสนอในปัจจุบัน ยึดหลักการ “การลดความซับซ้อนในการคำนวณ (Computational Complexity) โดยรักษาความถูกต้องในการประมาณให้ใกล้เคียงกับการใช้อัลกอริทึมแบบการค้นหาทั้งหมด” เป็นเป้าหมายของงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.3 จำนวนการตัวปฏิบัติการต่อวินาที (Million Operations Per Second : MOPS) ที่ใช้ในการเข้ารหัสของ H.261 [Furht,B ; Greenberg,J. and Westwater,R.,1997]

Compression modules	MOPS
RGB to YCbCr	27
<b>Motion estimation (25 searches in a 16 × 16 region)</b>	<b>608</b>
Inter/Intraframe coding	40
Loop filtering	55
Pixel prediction	18
2-D DCT	60
Quantization, zig-zag scanning	44
Entropy coding	17
Frame reconstruction	99
<b>Total</b>	<b>968</b>

#### 1.4 วิธีการแก้ปัญหาที่มีคนเสนอขึ้นมา

ดังที่กล่าวมา การประมาณการเคลื่อนที่ใช้จำนวนตัวปฏิบัติการสูงที่สุดในกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ แม้จะใช้วิธีการที่เร็วแล้วก็ตามยังความซับซ้อนในการคำนวณยังมีค่ามากอยู่เช่นเดิม ดังในตารางที่ 1.3 วิธีการที่ใช้ในตารางที่ 1.3 นั้นคือ อัลกอริทึมการเข้ารหัสแบบการค้นหา 3 ชั้น แต่ในมาตรฐานทั่วไปจะใช้ อัลกอริทึมการค้นหาแบบค้นหาทั้งหมด [Rao,K.R and Hwang,J.J.,1996] เพราะให้ค่าความถูกต้องสูงและให้ ค่าการบีบอัดสูงด้วย แต่ก็ใช้การคำนวณสูงตามไปด้วยเพื่อที่จะให้สามารถใช้การบีบอัดวิดีโอได้เวลาจริง การมุ่งเน้นที่จะลดจำนวนการคำนวณจึงสำคัญมาก อีกทั้งยังต้องรักษาอัตราการบีบอัด (Compression Ratio) ซึ่งสอดคล้องกับความถูกต้องแล้ว งานวิจัยอัลกอริทึมการค้นหาของอัลกอริทึมการเข้ารหัสแบบการค้นหาส่วนใหญ่ จึงอยู่ในการเพิ่มความเร็วในการค้นหา หรือในอีกแง่ก็คือ ลดจำนวนจุดค้นหา โดยที่ยังรักษา คุณภาพของการประมาณการเคลื่อนที่คือ รักษาความแม่นยำหรือ รักษาค่าสัดส่วนสัญญาณขอดีต่อสัญญาณรบกวนนั่นเอง

เทคนิคสำหรับอัลกอริทึมการเข้ารหัสแบบการค้นหาอย่างรวดเร็วที่น่าสนใจมีดังนี้

- 1.การลดจุดค้นหาโดยสร้างรูปแบบการค้นหาตามสมมติฐานของพื้นผิวค่าความเพี้ยน(Decreasing search point by creating search pattern from error surface assumption)



2 การรวมเทคนิคต่างๆเข้ากับการเปลี่ยนรูปแบบการค้นหา

(Combination of changing pattern and other techniques)

3 การลดจุดสีและการสุ่มตัวอย่างในสนามการเคลื่อนที่

(Pixel-decimation & Motion-field Subsampling)

4. เทคนิคอื่นๆ(others)

ซึ่งรายละเอียดของเทคนิคต่างๆจะนำเสนอในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.5 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

## 1.5 แนวทางของวิทยานิพนธ์นี้

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีเทคนิคการค้นหาสำหรับอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกที่ใช้ในการประมาณการเคลื่อนที่ในระบบการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ เทคนิคที่เสนอนี้เป็นเทคนิคการค้นหาที่ใช้เทคนิคการปรับจุดศูนย์กลางการค้นหา ร่วมกับการค้นหาแบบไฮบริดแบบปรับตัวได้ เพื่อลดความซับซ้อนในการค้นหาและรักษาความถูกต้องในการประมาณการเคลื่อนที่

ในการใช้เทคนิคการปรับจุดศูนย์กลางการค้นหา และการค้นหาแบบไฮบริดแบบปรับตัวได้ สามารถช่วยลดจำนวนในการค้นหาลงได้ เนื่องจากการใช้เทคนิคทั้งสองมีจุดประสงค์เพื่อเน้นพื้นที่การค้นหาให้เข้าใกล้จุดต่ำสุดได้เร็วขึ้น โดยใช้คุณสมบัติของการปรับย้ายจุดศูนย์กลางการค้นหาจะช่วยให้การค้นหาเข้าใกล้จุดที่มีโอกาสเป็นจุดต่ำสุดรวมได้เร็วขึ้น และการใช้เทคนิคไฮบริดจะช่วยให้สามารถใช้อัลกอริทึมการค้นหาที่เหมาะสมสำหรับบล็อกที่ต่างกัน อีกทั้งเทคนิคไฮบริดแบบปรับตัวได้ยังช่วยในการตัดสินใจก่อนจะใช้อัลกอริทึมการค้นหา เพื่อลดจำนวนบล็อกที่ไม่มีความจำเป็นต้องทำการค้นหา เนื่องจากสามารถระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ได้ก่อนเข้ากระบวนการ

## 1.6 เป้าหมายและขอบเขตวิทยานิพนธ์

ศึกษาและปรับปรุง การประมาณการเคลื่อนที่(Motion Estimation) แบบใช้อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก(Block Matching Algorithm) ด้วยการใช้อัลกอริทึมการค้นหาที่เหมาะสมกับโอกาสที่เป็นไปได้ของจุดค้นหา ร่วมกับการปรับย้ายจุดศูนย์กลางการค้นหา เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ(Computational Complexity)เมื่อเทียบจำนวนจุดค้นหาที่ใช้ กับเทคนิคการค้นหาทั้งหมด และการค้นหา 3 ชั้น และเพิ่มความถูกต้องในการประมาณ(Estimation Accuracy)โดยอ้างอิงความถูกต้องสูงที่สุดกับ ผลการประมาณด้วยอัลกอริทึมแบบค้นหาทั้งหมด

### 1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาความรู้พื้นฐานในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอและการประมวลการเคลื่อนที่
2. ศึกษาระเบียบวิธี และ อัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาชนิดต่างๆ
3. ศึกษาและวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ของชุดภาพตัวอย่างเพื่อระบุลักษณะของชุดภาพ
4. เขียนโปรแกรมเทคนิคอัลกอริทึมการค้นหาด้วยวิธีที่นำเสนอ พร้อมทั้งหาค่าที่เหมาะสมและรายละเอียดของวิธีที่นำเสนอ
5. ทดสอบวิธีที่นำเสนอกับอัลกอริทึมที่เป็นที่นิยมจากงานวิจัยอื่น เช่น การค้นหาแบบทั้งหมด, การค้นหาแบบ 3 ชั้น และการค้นหาแบบลอการิทึม เป็นต้น ด้วยชุดภาพทดสอบที่ใช้ทดสอบในงานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอของมาตรฐานทั่วไป พร้อมวิเคราะห์ผล ด้วยการเปรียบเทียบ ความซับซ้อนในการคำนวณและ ความถูกต้องของ ภาพที่ได้จากการประมวล
6. สรุปและรวบรวมผลงานวิจัย พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

### 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้ศึกษาความรู้พื้นฐานและเข้าใจเทคนิคต่างของการประมวลการเคลื่อนที่
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอทางด้านซอฟต์แวร์ได้
3. สามารถทำความเข้าใจและนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านฮาร์ดแวร์ได้
4. สามารถนำไปเป็นแนวความคิดในการใช้งานที่ต้องการลดความซับซ้อนในการคำนวณหรือการ ออปติไมซ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการพื้นฐานของวีดิทัศน์ระบบดิจิทัล ทฤษฎีการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ การประมาณการเคลื่อนที่ของการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก เทคนิคการค้นหาที่ใช้ในอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก การวัดสมรรถนะของเทคนิคการค้นหา เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดแบบปรับค่าได้ร่วมกับการปรับย้ายจุดศูนย์กลางการค้นหา

#### 2.1 วีดิทัศน์ระบบดิจิทัล ( Digital Video )

ภาพดิจิทัล หรือ เฟรมดิจิทัล ( Digital Image or Digital Frame) ประกอบด้วย ส่วนความเข้มแสง (luminance) และ ส่วนของความเข้มสี (chrominance) ที่ได้รับจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลหรือ การสแกนรูป จากภาพแบบแอนะล็อก ข้อมูลเหล่านี้อยู่ในรูปแบบของหน่วยจุดสีต่อความยาวหนึ่งหน่วย เช่น pixels/inch หรือ pixels/cm แต่ละจุดสีได้มาจากการสุ่มตัวอย่าง ผ่านการควอนไทซ์ โดยทั่วไปจุดสีแต่ละจุดสามารถแสดงด้วย ความเข้มแสงตั้งแต่ 0 ( สีดำ ) ถึง 255 ( สีขาว ) เป็นจำนวน 256 ระดับหรือ 8 bits และความเข้มสี 256 ระดับ หรือ 8 bits เช่นกัน สำหรับความเข้มสีอาจจะไม่จำเป็นต้องแสดงทุกจุดเนื่องมาจากความสามารถในการรับสีของระบบการมองเห็นของมนุษย์น้อยกว่าความเข้มแสง จึงมีจำนวนจุดความเข้มสีแล้วแต่จะกำหนด

วีดิทัศน์ระบบดิจิทัล หรือ ชุดภาพดิจิทัล เป็นกลุ่มของภาพดิจิทัลที่มีลักษณะอยู่ในรูปแบบของหน่วย เฟรมต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น เฟรมต่อวินาที (frame per second) รูปแบบของสัญญาณวีดิทัศน์มีการกำหนดไว้ใน ตาราง 2.1 [Marichal , X.,1998 ]

ตารางที่ 2.1 รูปแบบของสัญญาณวีดิทัศน์ที่ใช้งานในปัจจุบัน

Application	Luminance Resolution	Chrominance Resolution	Aspect Ratio	Temporal ( frames/s )	Bitrate ( Mbit/s )
HDTV	1920 x 1152	960 x 576	16/9	50	1800
TV(broadcast)	720 x 576	360 x 576	4/3	25	166
TV(CD rec.)	360 x 288	180 x 144	4/3	25	31
Video phone	360 x 288	180 x 144	4/3	10	12.4
Mobile video	180 x 144	90 x 72	4/3	5	1.6

## 2.2 การเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ (Video Coding)

การเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอจะมุ่งเน้นในงานส่วนใหญ่อยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) และการเข้ารหัสแหล่งกำเนิดสัญญาณ (Source Coding) การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) ต้องการความเชื่อถือสูงและตรวจสอบความผิดพลาดได้ การเข้ารหัสแหล่งกำเนิดสัญญาณ (Source Coding) มุ่งเน้นในการบีบอัดข้อมูล

การเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอแบบบีบอัดข้อมูลจะแบ่งได้สองประเภทตามชนิดข้อมูลดังนี้

### 2.2.1 การเข้ารหัสในเฟรม (Intra-Frame Coding)

ในการเข้ารหัสชนิดนี้จะลดส่วนเกินในโดเมนปริภูมิ (Spatial Redundancy) ของเฟรมภาพด้วยการบีบอัดโดยอาศัยความซ้ำซ้อนของข้อมูลภายใน 1 เฟรม โดยใช้เทคนิคต่างๆ

1. การสุ่มข้อมูล (Subsampling) คือแทนที่จะเข้ารหัสจุดสีทุกๆจุด (pixel) ก็อาจจะเข้ารหัสเพียงบางจุด หรือเข้ารหัสค่าเฉลี่ยของกลุ่มจุดสี เพื่อช่วยลดอัตราบิตในการส่งได้ แต่ความคมของภาพจะลดลง สำหรับจุดสีที่ไม่ถูกเข้ารหัสก็จะถูกสร้างขึ้นที่ภาครับโดยการประเมิน (Interpolation) ซึ่งมักจะทำให้ภาพมัว เช่นการเข้ารหัสส่วนของความเข้มสีดังที่ให้เห็นในตารางที่ 2.1
2. การควอนไทซ์แบบหยาบ หรือ การลดความลึกของจุดสี (Coarse Quantization or Depth Reduction) เป็นการควอนไทซ์โดยใช้จำนวนบิตต่ำลง โดยจะทำให้มีข้อมูลบางส่วนของภาพหายไป เช่นในภาพขาวดำ ในส่วนที่เป็นสีเทา มักจะถูกควอนไทซ์ด้วยวิธีนี้ เนื่องจากสายตาคอนมักจะไม่เห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้น
3. การเข้ารหัสแบบการแปลง (Transform Coding) เป็นการแปลงข้อมูลของภาพจากโดเมนปริภูมิ (Spatial Domain) เข้าไปใน เช่น โดเมนความถี่ (Frequency Domain) เนื่องจากในโดเมนความถี่จะมีการแสดงลักษณะของภาพที่ต่างออกไป ทั้งนี้บางส่วนของข้อมูลในโดเมนนั้นอาจจะเป็นส่วนที่ลบล้างกันซึ่งกันและกันที่นิยามใช้กันคือการทำ DCT หรือ Discrete Cosine Transform และจะตัดข้อมูลส่วนความถี่สูงที่มีผลน้อยต่อสายตามนุษย์ออก การแปลงชนิดอื่นซึ่งได้รับความสนใจอยู่ ได้แก่ Wavelet Transform
4. การทำควอนไทซ์แบบเวกเตอร์ (Vector Quantization) ข้อมูลภาพจะถูกแบ่งกลุ่มและแสดงแทนด้วยสัญลักษณ์จาก ชุดรหัส (Codebook) เพื่อทำการส่งแค่สัญลักษณ์แทนเท่านั้นซึ่งช่วยให้ประหยัดบิตในการส่งได้
5. ตามมาตรฐาน MPEG จะใช้การเข้ารหัสชนิดเดียวกันกับการเข้ารหัสภาพนิ่ง JPEG

## 2.2.2 การเข้ารหัสระหว่างเฟรม (Inter-Frame Coding)

เนื่องจากในสัญญาณวิดีโอที่มี คุณลักษณะที่ว่าเฟรมภาพที่อยู่ติดกันจะมีความซ้ำของข้อมูลภาพทางปริภูมิ-เวลา (spatial temporal correlation) ดังนั้น การเข้ารหัสระหว่าง เฟรม จึงสามารถมองข้อมูลที่ซ้ำกันเหล่านี้เป็นส่วนเกิน (redundance) และหากรรมวิธีในการลดข้อมูลเหล่านี้ตามคุณสมบัติดังกล่าว ข้อมูลที่ลดเป็นข้อมูลที่อยู่ในโดเมนของปริภูมิ-เวลา (spatial-temporal redundancy) เครื่องมือที่ใช้ในการเข้ารหัสมีหลายเทคนิค เช่น

1. การเข้ารหัสแบบสุ่มทางเวลา (Time Subsampling) ด้วยการเข้ารหัสไม่ครบทุกเฟรมภาพแล้วใช้ตัวถอดรหัสช่วยสร้างเฟรมที่หายไปขึ้นมา
2. การเข้ารหัสค่าความแตกต่าง (Different Coding) ด้วยวิธีการเข้ารหัสเพียงค่าความแตกต่างระหว่างเฟรมติดกัน แทนที่จะเข้ารหัสเฟรมภาพทั้งภาพ เพราะค่าความแตกต่างระหว่างเฟรมมักจะมีข้อมูลน้อยกว่าภาพทั้งเฟรม เนื่องจากมีความคล้ายกันมากแต่อาจต้องใช้ โอเวอร์เฮด (overhead) ในการบ่งบอกว่า จุดสีใดที่มีการเปลี่ยนแปลงและจุดใดไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3. การเข้ารหัสความแตกต่างระหว่างบล็อก (Block-Based Different Coding) โดยจะคล้ายกับการเข้ารหัสความแตกต่างระหว่างเฟรม แต่ภาพจะถูกแบ่งเป็นบล็อกก่อน หลังจากนั้นแต่ละบล็อกจะถูกเปรียบเทียบแทนการเปรียบเทียบเป็นจุดสีต่อจุดสี
4. การประมาณการเคลื่อนที่ และการชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Estimation and Motion Compensation) เครื่องมือทั้งสองนี้มีหน้าที่ลดข้อมูลในการส่งสัญญาณภาพวิดีโอ ด้วยวิธีการส่งข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างภาพไปเท่านั้น และ ส่วนที่ต้องส่งไปคือ ภาพอ้างอิง หรือ เฟรมอ้างอิง (Reference Image or Frame) เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector) และ ภาพข้อมูลผิดพลาด(ส่วนที่เหลือ)ที่ได้รับการเข้ารหัส แบบในเฟรม (Residue with Intra-Frame encoding ) จะสังเกตได้ว่า ยิ่งข้อมูลภาพที่ผิดพลาด แสดงความผิดพลาดน้อยเท่าใด การเข้ารหัสแบบในเฟรมก็จะยิ่งบีบอัดได้มากขึ้นเท่านั้น ในอีกแง่มุมหนึ่ง ถ้าส่วนที่ทำการประมาณการเคลื่อนที่ทำการประมาณได้แม่นยำมากขึ้นก็จะส่งผลให้ข้อมูลผิดพลาดน้อยลงทำให้บีบอัดได้มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้น การประมาณการเคลื่อนที่จึงมีบทบาทสำคัญมากในส่วนของ การบีบอัดข้อมูลสัญญาณวิดีโอ



## 2.3 การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation)

หลักการของการประมาณการเคลื่อนที่คือการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุบนเฟรมระหว่างเฟรมสองเฟรม ซึ่งค่าการเคลื่อนที่นี้จะถูกนำไปสร้างเฟรมถัดๆ ไปได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ค่าการเคลื่อนที่ไปใช้งานวิเคราะห์เพื่อการอื่นได้อีก เช่น การแบ่งภาพ ด้วยลักษณะของการประมาณการเคลื่อนที่ทำให้ ข้อมูลของเฟรมภาพเพียงบางเฟรมรวมกับการส่งค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่เพียงพอที่จะสร้างชุดภาพแทนค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ของเฟรมทุกเฟรมได้ โดยทั่วไป ส่วนใหญ่การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation) จะทำควบคู่กับการชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Compensation) โดยการประมาณการเคลื่อนที่ จะทำงานด้านส่งสัญญาณเพื่อเข้ารหัส จากชุดภาพออกมาเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่ และการชดเชยการเคลื่อนที่ จะทำงานหลักด้านรับสัญญาณเพื่อทำการถอดรหัสโดยการสร้างภาพประมาณ (Estimated Picture) จากภาพอ้างอิง (Reference Picture) และเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector) แต่ในส่วนของด้านส่งก็จะมี การชดเชยการเคลื่อนที่ได้เช่นเดียวกันดังในรูปที่ 2.1 เพื่อช่วยในการหาค่าความผิดพลาดตกค้าง (Residue)

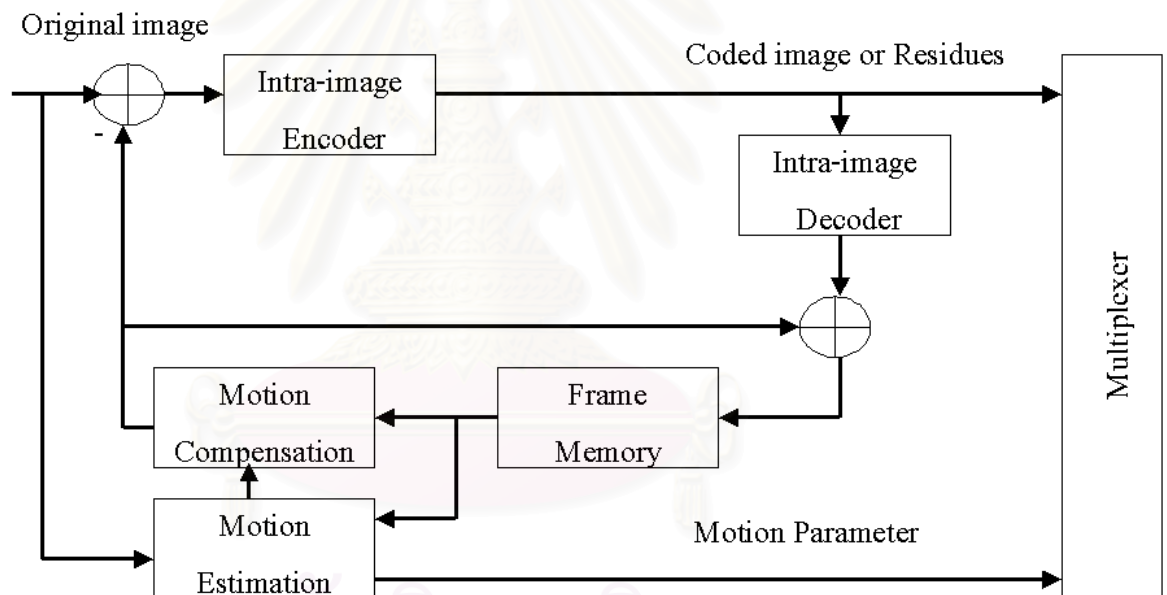
ปกติแล้วชุดภาพจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ โดยใน 1 กลุ่ม ประกอบด้วย เฟรมภาพ 3 ประเภท

1. Intra Frame หรือ I-Frame เป็นเฟรมที่ถูกบีบอัดแบบ Intraframe Coding (มักใช้ Transform Coding) โดยเฟรมชนิดนี้ถูกเข้ารหัสแบบการเข้ารหัสภาพนิ่ง ดังนั้น I-Frame นี้จะถูกบีบอัดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเฟรมภาพประเภทอื่นๆ และในการเข้าถึงแบบ Random Access I-Frame นี้เป็นเฟรมที่ใช้ในการอ้างอิงด้วย
2. Predicted Frame หรือ P-Frame คือเฟรมที่ถูกสร้างขึ้นจากค่าการเคลื่อนที่และภาพอ้างอิงก่อนหน้า (อาจจะเป็น P-Frame หรือ I-Frame ก็ได้) เพื่อได้ภาพที่ถูกประมาณ (Estimated Picture) หลังจากนั้นรวมกับค่าความผิดพลาดตกค้าง (Residue) ให้ค่า P-Frame ดังนั้น P-Frame จึงสามารถใช้เป็นภาพอ้างอิงในการประมาณการเคลื่อนที่ได้ จากที่กล่าวมา P-Frame จะถูกบีบอัดได้มากกว่า I-Frame
3. Bi-directional Predicted Frame หรือ B-Frame เป็นเฟรมที่ถูกสร้างจาก I-Frame และ P-Frame หรือ P-Frame (ในอดีต) และ P-Frame (ในอนาคต) รวมกับค่าการเคลื่อนที่ที่อ้างอิงจากทั้งสองเฟรม โดยละเลยค่าความเพี้ยนของภาพที่ได้จากการประมาณ ดังนั้นเฟรมชนิดนี้จึงไม่สามารถใช้เป็นเฟรมอ้างอิงได้ จากที่ได้อีกกล่าวมา B-Frame นี้จึงเป็นเฟรมชนิดที่ถูกบีบอัดมากที่สุด

จากรูปแบบข้างต้นทั้งสามแบบได้มีการนำเสนอการจัดเรียงเฟรมต่างๆเพื่อการเข้ารหัสที่มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานMPEG ดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 : การจัดเรียงลำดับก่อนหลังของการเข้ารหัสและถอดรหัส

Display	IBPBP
Decoding	IPBPB
Display	BBIBBPBBPBBP
Decoding	IBBPBBPBBPBB
Display	BIBBBbPBIBBII
Decoding	IBPBBBBIBIBBI



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอแบบที่มีการบีบอัด

จากรูปที่ 2.1 ที่แสดงถึงระบบการทำงานของด้านส่งสัญญาณหรือ ด้านเข้ารหัสไว้ดังนี้

1. การเข้ารหัสเฟรมอ้างอิง :- สำหรับเฟรมที่ไม่ต้องการเข้ารหัสแบบใช้การทำนายการเคลื่อนที่ (Motion Prediction) จะเข้ารหัสด้วยการเข้ารหัสแบบภายในเฟรม (Intra Frame Coding) แบบเต็มทีเช่นเดียวกับภาพนิ่ง แล้วส่งรหัสภาพ (Image Code) ออกไป เพื่อผ่านส่วนการเข้ารหัสช่อง

สัญญาณก่อนส่งเข้าช่องสัญญาณ และนอกจากนั้นรหัสภาพก็จะถูกส่งกลับมาเก็บไว้ยังหน่วยความจำ(Frame Memory) เพื่อนำกลับมาใช้เป็นเฟรมอ้างอิงสำหรับการประมาณการเคลื่อนที่ต่อไป

2. การเข้ารหัสเฟรมที่ต้องการการประมาณการเคลื่อนที่ :- เฟรมปัจจุบัน (Current Frame) ที่ต้องการจะเข้ารหัสจะถูกส่งไปยังส่วนของ การประมาณการเคลื่อนที่ (Motion Estimation) โดยส่วนนี้จะนำเฟรมปัจจุบันไปเปรียบเทียบกับเฟรมอ้างอิงเพื่อให้ค่า เวกเตอร์การเคลื่อนที่ออกมา ค่า เวกเตอร์การเคลื่อนที่จะถูกส่งไปยังส่วนการเข้ารหัสสัญญาณ เพื่อส่งออกไปยังช่องสัญญาณ และถูกส่งไปยังส่วนการชดเชยการเคลื่อนที่ (Motion Compensation) เพื่อทำการชดเชยการเคลื่อนที่ ให้ผลจากการชดเชยการเคลื่อนที่ออกมาเป็น เฟรมที่ถูกประมาณ (Estimated Frame or Estimated Picture) หลังจากนั้นเฟรมที่ถูกประมาณจะถูกส่งไปหากล้าจากเฟรมปัจจุบัน ค่าความเพี้ยนในแต่ละจุดที่ได้จาก ความแตกต่างของแต่ละจุดสี่ระหว่าง เฟรมปัจจุบัน และ เฟรมอ้างอิง เรียกว่าส่วนเหลือหรือความผิดพลาดตกค้าง(Residue)

3. การเข้ารหัสส่วนที่เหลือหรือความผิดพลาดตกค้าง (Residue) :- การเข้ารหัสของส่วนเหลือ จะทำการเข้ารหัสเช่นเดียวกับ เฟรมอ้างอิง หรือ ภาพนิ่งทั่วไปคือทำ การเข้ารหัสแบบภายในเฟรม (Intra Frame Coding)

### 2.3.1 สมมติฐานพื้นฐาน (Basic Assumption)

การประมาณการเคลื่อนที่คือระบบที่ทำหน้าที่ประมาณจุดสีของเฟรมปัจจุบัน จากเฟรมอ้างอิงในอดีตโดยอยู่บนรูปแบบของข้อมูลปริภูมิ-เวลา (Spatio-Temporal Information) ซึ่งเรียกว่า “การไหลของแสง” (Optical Flow) เทคนิคในการประมาณการเคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะอยู่บนสมมติฐานดังนี้

1. ความสว่าง (Brightness) จะต้องมีค่าเดียวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ :- สมมติฐานนี้มีขึ้นเพื่อละเลยการเปลี่ยนแปลงความสว่างที่ไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ โดยจะถือว่าการไหลของแสงทั้งหมด (Optical Flow) จะเกิดจากการเคลื่อนที่เท่านั้น
2. ส่วนของเฟรมอ้างอิงที่ไม่อยู่ถึงเฟรมปัจจุบันจะไม่มี ค่าการไหลของแสง

ถึงแม้สมมติฐานเหล่านี้ จะไม่ถูกต้องสมบูรณ์ในชุดภาพจริงๆ แต่ก็ถูกนำไปใช้โดยทั่วไปในเทคนิคการประมาณการเคลื่อนที่ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เทคนิคการประมาณการเคลื่อนที่ ได้มีการพัฒนากันอย่างมากมาย สามารถแบ่ง เป็นวิธีใหญ่ๆได้ 3 วิธี ดังนี้ [ Rao,K.R and Hwang,J.J.,1996; Furht,B ; Greenberg,J. and Westwater,R.,1997 ; Cheung ,C.K. ,1998 ]



- ระเบียบวิธีสมการการไหลของแสง (Optical Flow Equation Method)
- ระเบียบวิธีเพลรีเคอร์ซีฟ (Pel Recursive Method)
- ระเบียบวิธีอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก (Block Matching Algorithm Method)

ท่ามกลางวิธีที่กล่าวมาทั้งสามวิธี โดยทั่วไปนิยมใช้ ระเบียบวิธีอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก เพราะมีความสมดุลของความง่ายและประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และในงานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็จะมุ่งเน้น รายละเอียดของวิธีอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก

### 2.3.2 ระเบียบวิธีสมการการไหลของแสง (Optical Flow Method)

สมการการไหลของแสงตั้งสมมติฐานให้ ความเข้มของจุดสีในภาพ จะมีการเปลี่ยนไปตามการเคลื่อนที่ โดยให้  $Sc(x_1, x_2, t)$  เป็นการกระจายความเข้มทางด้าน พื้นผิวและเวลา และค่านี้จะต้องสอดคล้อง ตามสมการที่ 2.1 ซึ่งเป็นสมการการไหลของแสงดังนี้

$$\frac{\partial Sc(X; t)}{\partial X_1} v_1(X; t) + \frac{\partial Sc(X; t)}{\partial X_2} v_2(X; t) + \frac{\partial Sc(X; t)}{\partial t} = 0 \quad (2.1)$$

กำหนดให้

$$v_1(X; t) = \frac{dX_1}{dt} \quad \text{และ} \quad v_2(X; t) = \frac{dX_2}{dt}$$

$X$  เป็นค่าความเข้มแสงของภาพ ประกอบด้วย  $X_1$  และ  $X_2$

$X_1$  และ  $X_2$  เป็นความเข้มแสงของภาพ ทางแนวแกนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

วิธีนี้มีเป้าหมายในการหาค่า  $v_1$  และ  $v_2$  ซึ่งเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector)

### 2.3.3 ระเบียบวิธีเพลรีเคอร์ซีฟ (Pel-Recursive Method)

ในขบวนการทำซ้ำ (Recursion) จะปรับค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ไปจนเข้าสู่ค่าที่ให้ความผิดพลาดต่ำ โดยปรับค่าตามสมการ

$$\hat{d}_a(X, t) = \hat{d}_{a-1}(X, t) + u_{a-1}(X, t) \quad (2.2)$$

กำหนดให้

$\hat{d}_a(X, t)$  เป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในลำดับการคำนวณ(Iteration)ที่ a  
 $\hat{d}_{a-1}(X, t)$  เป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในลำดับการคำนวณ(Iteration)ที่ a-1  
 $u_{a-1}(X, t)$  เป็นค่าปรับปรุงจากลำดับการคำนวณที่ a-1 ไปยัง a

การปรับค่าข้างต้นมุ่งเน้น ในการหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ให้ค่าต่ำสุดของผลต่างของเฟรม (Displaced Frame Different:DFD)  $e(X, d)$

$$e(X, d_{a-1}) = Sc(X + d_{a-1}(x, t); t + \Delta t) - Sc(X, t) \quad (2.3)$$

เมื่อได้ค่าความเพี้ยนจากสมการดังกล่าวแล้วก็จะนำค่า ผลต่างเฟรมมาหาค่า  $u_{a-1}(X, t)$  ดังนี้

$$u_{a-1}(X, t) = -\frac{\delta}{2} \nabla_d [e^2(X, d_{a-1})] \quad (2.4)$$

โดยที่

$\nabla_d$  เป็น ตัว ปฏิบัติการเกรเดียนต์(Gradient Operator)

$\delta$  เป็น ค่าช่วงก้าวของแต่ละลำดับการคำนวณ ถ้าค่าช่วงก้าวกว้าง จะลู่เร็วแต่ไม่ค่อยเสถียรและมีโอกาสผิดพลาดสูง แต่ถ้าก้าวสั้นก็จะลู่เข้าช้าแต่ก็จะเสถียรและมีค่าความผิดพลาดต่ำกว่า ตามหลักของการลดตามเกรเดียนต์ (Gradient Descent)

### 2.3.4 อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก (Block Matching Algorithm: BMA)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมใช้กันมากในมาตรฐานทั่วไป ในการหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐาน MPEG 1, MPEG 2 และ มีแนวโน้มใน MPEG 4 ด้วย หรือจะเป็นมาตรฐาน H.261/262/263/263+/263++ เนื่องด้วยวิธีการนี้ใช้ความซับซ้อนในการคำนวณต่ำกว่าวิธีอื่น ที่กล่าวมาแล้ว และมีความสมดุลระหว่างความซับซ้อนในการคำนวณและคุณภาพการประมาณที่ดีกว่าวิธีอื่นที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้จะกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

## 2.4 อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก (Block Matching Algorithm)

### 2.4.1 สมมติฐานของอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก (The Assumptions of Block Matching Algorithm)

จุดสีทุกจุดในบล็อกเดียวกัน จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันด้วยขนาดเท่าๆ กัน (มี เวกเตอร์การเคลื่อนที่เดียวกัน) สมมติฐานนี้จะไม่เป็นจริงเมื่อบล็อกมีขนาดใหญ่เกินไป และสมมติฐานจะเป็นจริงมากขึ้นเมื่อขนาดของบล็อกเล็กลง แต่ขนาดของบล็อกนี้ต้องใหญ่พอสมควรพอที่จะแยกแยะจุดเด่นของแต่ละบล็อกได้ โดยทั่วไปบล็อกขนาดเล็กจะให้ผลของการประมาณการเคลื่อนที่ที่ดีกว่า (ระเบียบวิธีอื่นจะไม่ได้ใช้หน่วยภาพเป็นบล็อกแต่เป็นจุดสี) ขนาดของบล็อกทั่วไปคือ 8x8 และ 16x16 pixels)

ปัจจัยอื่นๆที่ทำให้อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกใช้งานได้ดีขึ้นได้แก่

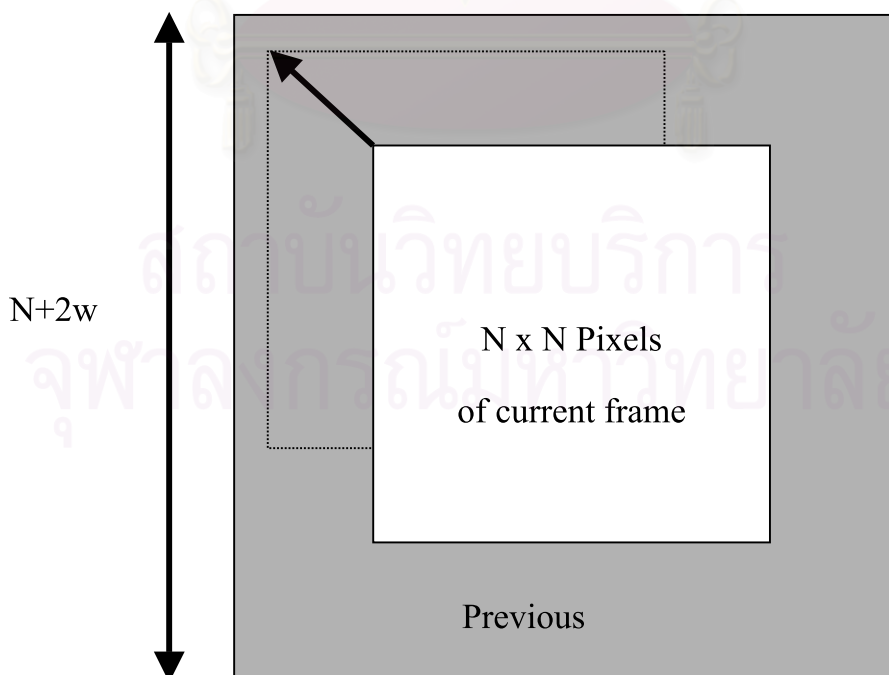
- วัตถุในภาพเคลื่อนที่ในแนวขนานกับระนาบของภาพ (Translation) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบอื่น การหมุนของวัตถุ (Rotation) , การขยาย (Scaling) และการซูม (Zoom)
- ความสว่างของภาพมีลักษณะเป็นรูปแบบเดียวกันทั้งในเวลา และทางตำแหน่ง หมายความว่าระดับแสงในภาพคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- ไม่มีวัตถุใหม่เกิดขึ้นในภาพหรือ การหายไป (uncover) ของภาพเบื้องหลัง (Background)

### 2.4.2 ขั้นตอนกระบวนการของอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก(Block Matching Algorithm Process)

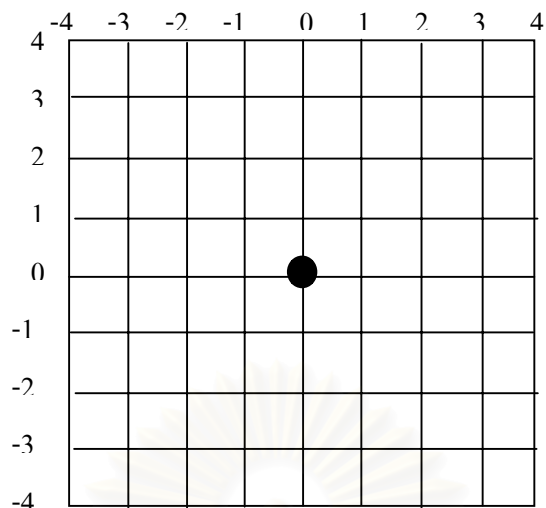
NxN											

รูปที่ 2.2 การแบ่งบล็อกของเฟรม ขนาด NxN

1. แบ่งภาพในเฟรมปัจจุบัน ออกเป็นบล็อกย่อยๆที่ไม่มีการซ้อนทับกัน (non-overlapped block) ขนาดเท่าๆกันเรียกว่า บล็อกปัจจุบัน (Current Block) ดังรูปที่ 2.2
2. ประเมินเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของแต่ละบล็อกโดยอ้างอิงจากบล็อกในอดีต (Previous Block) ตามกระบวนการดังต่อไปนี้ โดยพิจารณารูปที่ 2.3
  - 2.1 กำหนดขอบเขตการค้นหาคงของการเคลื่อนที่ของแต่ละบล็อกปัจจุบัน ซึ่งเป็นขอบเขตของขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ขอบเขตนี้เรียกว่า หน้าต่างการค้นหา(Search Window) ขนาดของหน้าต่างการค้นหาโดยทั่วไปนิยมใช้ที่  $\pm 7$  pixels ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 เป็นหน้าต่างการค้นหาขนาด  $\pm 4$  pixels
  - 2.2 กำหนดขอบเขตพื้นที่การค้นหา (Search Area) บนเฟรมอดีต (Previous Frame) โดยเลือกจุดศูนย์กลางของขอบเขตเป็นตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์กลางของบล็อกปัจจุบันที่กำลังอยู่ในกระบวนการ พื้นที่การค้นหบนเฟรมในอดีต มีขนาดเท่ากับ  $(N+2w) \times (N+2w)$  โดยที่บล็อกปัจจุบันมีขนาดเท่ากับ  $N \times N$
  - 2.3 เปรียบเทียบบล็อกปัจจุบันกับพื้นที่บนเฟรมอดีตที่มีขนาดเท่ากับบล็อกปัจจุบัน ( $N \times N$ ) พื้นที่บนเฟรมในอดีตที่เลือกด้วยการปรับตำแหน่งจุดศูนย์กลางบล็อกไปตามแต่ละค่าของเวกเตอร์การค้นหาที่เป็นไปได้ (ทุกค่าในหน้าต่างการค้นหา) เลือกค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ให้ค่าความความเพี้ยน (Distortion Measurement) ระหว่างบล็อกปัจจุบัน และบล็อกในอดีตที่เลือกมา ต่ำที่สุด เป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกที่กำลังค้นหา



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบการเข้าคู่บล็อก



รูปที่ 2.4 หน้าต่างการค้นหาขนาด  $\pm 4$  pixels

### 2.4.3 การเข้ารหัสเวกเตอร์การเคลื่อนที่

ในการเข้ารหัสการส่งค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ระบบจะส่งข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector Data : MVD) แทนการส่งค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector : MV) โดยค่าข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (MVD) จะถูกส่งและเข้ารหัสแบบหลายค่าความยาว (Variable Length Coding : VLC) ดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 : รหัสความยาวหลากหลายสำหรับข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่  
(VLC for Motion Vector Data)

MVD	VLC Code	MVD	VLC Code
-16,16	0000 0011 001	0	1
-15,17	0000 0011 011	1	010
-14,18	0000 0011 101	2,-30	0010
-13,19	0000 0011 111	3,-29	0001 0
-12,20	0000 0100 001	4,-28	0000 110
-11,21	0000 0100 011	5,-27	0000 1010
-10,22	0000 0100 11	6,-26	0000 1000
-9,23	0000 0100 01	7,-25	0000 0110
-8,24	0000 0101 11	8,-24	0000 0101 10

-7,25	0000 0111	9,-23	0000 0101 00
-6,26	0000 1001	10,-22	0000 0100 10
-5,27	0000 1011	11,-21	0000 0100 010
-4,28	0001 111	12,-20	0000 0100 000
-3,29	0001 1	13,-19	0000 0011 110
-2,30	0011	14,-18	0000 0011 100
-1	011	15,-17	0000 0011 010

ค่าข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่ เป็นค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของ บล็อกปัจจุบัน กับค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้า โดยค่าข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่จะ แยกเข้ารหัสตามแต่ละแกน x และ y (เป็น MVDx และ MVDy) ค่าข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่ คำนวณหาจากสมการต่อไปนี้

$$MVDx = MVx(n) - MVx(n-1) \quad (2.5)$$

$$MVDy = MVy(n) - MVy(n-1) \quad (2.6)$$

โดยที่

MVx(n)=ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกปัจจุบัน

MVx(n-1)=ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้า

#### 2.4.4 การวัดความเพี้ยนต่อบล็อก (Block Distortion Measurement : BDM)

เงื่อนไขการวัดความเพี้ยนต่อบล็อกที่นิยมมี 2 แบบดังนี้ [Rao,K.R and Hwang,J.J.,1996; Furht,B ; Greenberg,J. and Westwater,R.,1997 ; Cheung ,C.K. ,1998 ; Marichal, X., 1998 ]

##### 2.4.4.1 ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Means Square Error : MSE)

เป็นค่าที่ต้องใช้การคำนวณสูงแต่ให้ประสิทธิภาพที่ดีโดยจะนิยามดังนี้

$$MSE(i, j) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (X(m, n) - X^R(m+i, n+j))^2 \quad (2.7)$$

โดยที่

$M \times N$  เป็น ขนาดของบล็อก

$i$  และ  $j$  มีค่าตั้งแต่  $-w$  ถึง  $+w$  ( $w$  คือค่าขนาดของหน้าต่างการค้นหา)

$MSE(i, j)$  เป็นค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย เมื่อค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เท่ากับ  $(i, j)$

$X(m, n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพปัจจุบันที่จุด  $(m, n)$

$X^R(m, n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพอ้างอิงที่จุด  $(m, n)$

#### 2.4.4.2 ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error : MAE)

ให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย แต่ใช้การคำนวณต่ำกว่ามีนิยามตามสมการดังนี้

$$MAE(i, j) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |X(m, n) - X^R(m + i, n + j)| \quad (2.8)$$

โดยที่

$M \times N$  เป็น ขนาดของบล็อก

$i$  และ  $j$  มีค่าตั้งแต่  $-w$  ถึง  $+w$

$MAE(i, j)$  เป็นค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย เมื่อค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เท่ากับ  $(i, j)$

$X(m, n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพปัจจุบันที่จุด  $(m, n)$

$X^R(m, n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพอ้างอิงที่จุด  $(m, n)$

นอกจาก สองชนิดข้างบนที่เป็นที่นิยมใช้กันมาก ก็ยังมีตัววัดอื่นๆ ดังนี้ [B. Furht, 1997 ]

#### 2.4.4.3 Maximum Matching Pel Count (MPC) หรือ Pel Difference Classification (PDC)

MPC นี้ก็คือการเปรียบเทียบแต่ละคู่ของจุดสีที่ตำแหน่งเดียวกันใน บล็อกที่เลือกมาในอดีต (Candidate Block) และ บล็อกปัจจุบัน (Current Block) หากความแตกต่างน้อยกว่า ค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) ก็ให้นับเป็น 1 แต่หากความแตกต่างมากกว่า ก็ให้นับเป็น 0 โดย MPC คือจำนวนคู่ของจุดสี ที่ต่างกันน้อยกว่า  $t$  ยิ่ง MPC มากเท่าใด ความเหมือนของบล็อกก็มากขึ้นเท่านั้น ตัววัดแบบ MPC มีค่าตามสมการดังนี้



$$MPC(k,l;u,v) = \sum \sum T(k+i,l+j;u,v) \quad (2.9)$$

โดยที่

$$T(s,t;u,v) = \begin{cases} 1 & ,if \quad |I_n(s,t) - I_{n-1}(s+n,t+v)| \leq t \\ 0 & ,otherwise \end{cases} \quad (2.10)$$

จุดเปลี่ยน เป็น ค่า

#### 2.4.4.4 Cross Correlation Function

ตัววัดแบบ Cross Correlation Function มีค่าตามสมการ

$$M_3(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{m,n} X_{m+i,n+j}^R}{\left[ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{m,n}^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (X_{m+i,n+j}^R)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.11)$$

โดยที่  $X_{m,n}$  คือเซตของค่าความสว่างของจุดสีใน บล็อกปัจจุบัน ที่ตำแหน่ง (m, n) และ  $X_{m+i,n+j}^R$  คือเซตของค่าความสว่างของจุดสีใน บล็อกที่เลือกมาในอดีต ที่มี เวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็นค่า (i, j) ค่าความเพี้ยนที่วัดโดยวิธีนี้ มีความแม่นยำสูง แต่การคำนวณค่อนข้างยาก จึงไม่ค่อยนิยมใช้

#### 2.4.4.5 Minimax

เป็นตัววัดค่าความเพี้ยน ที่ช่วยลดจำนวนการคำนวณแบบหนึ่งซึ่งถูกนำเสนอใน [Chen, M. and Chen, L., 1995] เพื่อลดจำนวนการคำนวณในการประมาณการเคลื่อนที่เพื่อใช้งานในระบบเวลาจริง (Real-time)

#### วิธีการ

หาค่า Maximum ของค่าความแตกต่างของระดับของจุดสีแต่ละคู่ของบล็อกในเฟรมอ้างอิง กำหนดค่านี้เป็น  $G(i,j)$  เลือกเวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อกที่ให้ค่า  $G$  ต่ำที่สุด เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวน อาจใช้ค่า Maximum 2 ค่า เพื่อเปรียบเทียบในการหาค่า  $G$  ที่ต่ำที่สุด



### ข้อดี

- ช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณ ทำให้สร้างฮาร์ดแวร์ (Hardware) ได้ง่ายขึ้นมาก เนื่องจากไม่ต้องใช้การบวกเหมือน MAD แต่ใช้การเปรียบเทียบแทน
- เหมาะกับ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) แบบเวลาจริง เพราะการคำนวณลดลงมาก
- คุณภาพลดลงจากการใช้ Matching Criterion แบบ MAD ประมาณ 0.6-4 เปอร์เซ็นต์

### ข้อเสีย

- ลักษณะสมบัติของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของภาพเป็นอย่างมาก

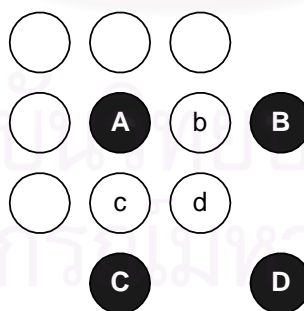
## 2.4.5 เวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบครึ่งจุดสี (Half Pixel Motion Vector)

การหา เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่สามารถทำให้ละเอียดมากขึ้นโดยใช้ การประมาณแบบครึ่งจุดสี (Half Pixel Estimation) ความละเอียดของ จุดสี จะถูกเพิ่มขึ้น โดยการประมาณ ค่า (Interpolation) การใช้ การประมาณแบบครึ่งจุดสี (Half Pixel Estimation) ช่วยให้ความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ต้องใช้การคำนวณเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

### ขั้นตอน

1. หาเวกเตอร์การเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการค้นหาตามปกติ
2. ปรับปรุง เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ได้โดย
  - 2.1 ทำการประมาณค่าแบบไบลิเนียร์ (Bilinear Interpolation) เพื่อหาค่าของจุดสีที่เพิ่มขึ้นมา

ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเลือกจุดสีด้วยวิธีแบบครึ่งจุดสี

วงสีดำคือ pixel ที่มีอยู่แล้ว ส่วนวงสีขาวคือ pixel ที่เพิ่มขึ้นมา

$$\text{โดยที่ } b = (A+B+1)/2$$

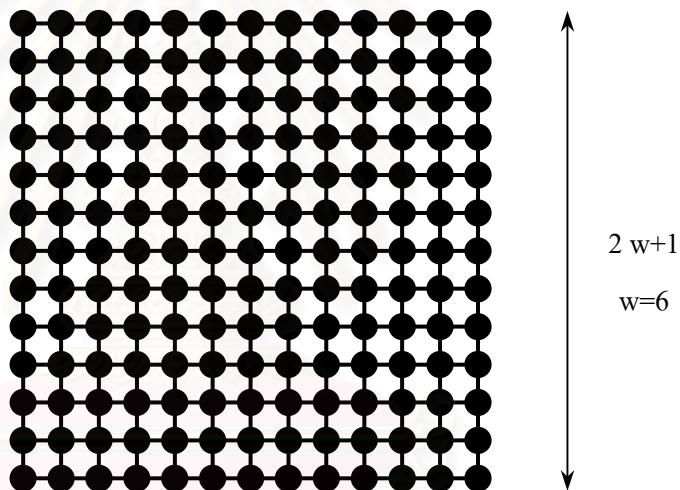
$$c = (A+C+1)/2$$

$$d = (A+B+C+2)/4$$

2.2 จากนั้นให้หา ค่าความเพี้ยนต่อบล็อก (BDM) จาก 8 จุดที่เพิ่มขึ้นมา (จุดสีขาวยในรูปที่ 2.5) หรือเรียกว่าจุดการค้นหาแบบครึ่งจุดสี (Half Pixel Search Point) รอบจุดของ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ได้ในข้อ 1 เลือกจุดการค้นหาแบบครึ่งจุดสีที่ให้ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกต่ำที่สุด เป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่แบบครึ่งจุดสี (Half Pixel Motion Vector)

#### 2.4.6 อัลกอริทึมแบบค้นหาทั้งหมด (Full Search Algorithm or Exhaustive Search)

ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะถูกนำมาคิดค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเพื่อเปรียบเทียบหาค่าที่ต่ำสุด โดยถ้าให้ขนาดของหน้าต่างการค้นหาที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่ทั้งแกน x และแกน y จาก  $-w$  ถึง  $+w$  ก็จะมีขนาดหน้าต่างการค้นหาขนาด  $(2w+1) \times (2w+1)$  จุดค้นหา รูปที่ 2.6 แสดงหน้าต่างการค้นหาและจุดค้นหาของ วิธีการค้นหาทั้งหมด



รูปที่ 2.6 จุดค้นหาแบบการค้นหาทั้งหมดขนาด  $w=6$  หรือ  $13 \times 13$

อัลกอริทึมแบบค้นหาทั้งหมด มีข้อดีในความสามารถของการหาค่าต่ำสุดรวมออกมาได้จริง แต่มีข้อเสียคือต้องใช้เวลาการคำนวณสูงเพราะต้องค้นหาทุกจุดค้นหา

#### 2.4.7 สมมติฐานพื้นผิวความผิดพลาดแบบโมดเดียว(Unimodal Error Surface Assumption หรือ UESA)

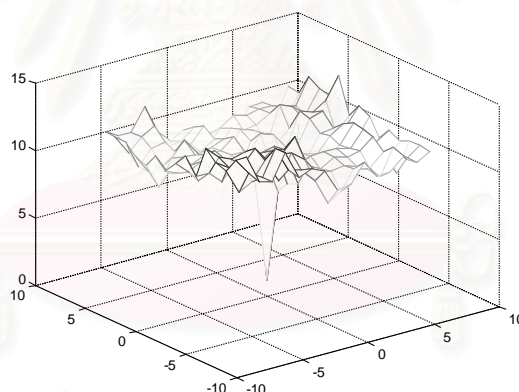
สมมติฐานพื้นผิวความผิดพลาดแบบโมดเดียว(Unimodal Error Surface Assumption หรือ UESA) นี้กล่าวว่า ยิ่งจุดการค้นหายู่ห่างจากจุดต่ำสุดรวมมากเท่าใด ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่

ได้ (BDM) ก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น หรือจุดต่ำสุดท้องถิ่นจะมีอยู่จุดเดียวนั่นเอง อัลกอริทึมที่อ้างอิงกับสมมติฐานนี้มักจะมีจำนวนจุดการค้นหาไม่มากและทำการค้นหาได้เร็ว (หรือเรียกว่า Fast Search) สมมติฐานนี้จะค่อนข้างเป็นจริงกับภาพที่มีการเคลื่อนที่น้อยและไม่ซับซ้อน แต่การใช้งานจริงอาจพบว่าสมมติฐานนี้ไม่ได้ผล เนื่องจากภาพที่มีการเคลื่อนที่ซับซ้อนทำให้พื้นที่ผิวความผิดพลาด ไม่เป็นไปตามสมมติฐาน UESA อย่างแท้จริง สมมติฐาน UESA นี้จะถูกใช้หากความผิดพลาดยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

#### 2.4.8 ความหมายของจุดต่ำสุด

จุดต่ำสุดที่กล่าวถึงมีอยู่สองชนิด คือ

- Global Minimum คือจุดต่ำสุดสมบูรณ์ หรือค่าต่ำสุดรวม เป็นจุดที่มีค่าความเพี้ยนต่อก็คือต่ำที่สุดใน หน้าต่างการค้นหา (Search Window)
- Local Minimum คือจุดต่ำสุดสัมพัทธ์ หรือจุดต่ำสุดท้องถิ่น เป็นจุดที่เป็นหลุมในพื้นที่ผิวความเพี้ยน ที่ไม่ใช่จุด Global Minimum



รูปที่ 2.7 พื้นที่ผิวความผิดพลาด (Error Surface) ของภาพจริง ซึ่งมี Local Minimum

จุดต่ำสุดท้องถิ่น (Local Minimum) เป็นปัจจัยที่ทำให้การค้นหาเกิดความผิดพลาด เนื่องจากการค้นหาจะถูกดัก (Trap) ให้ไปตกอยู่ใน จุดต่ำสุดท้องถิ่น ซึ่งไม่ใช่จุดที่จะให้ ค่าความเพี้ยนต่ำสุดจริง ที่จะนำไปสร้าง เฟรมที่ถูกต้องประมาณ (Estimated Frame) ได้ถูกต้อง ภาพที่สร้างขึ้นมาจึงมีความผิดพลาดมากรูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่ผิวความผิดพลาดที่ได้จากสัญญาณ วิดิทัศน์ที่ทำการประมาณการเคลื่อนที่

อัลกอริทึมที่อ้างอิงกับ UESA มักจะถูกดัดให้ไปตกอยู่ใน จุดต่ำสุดท้องถิ่นได้ง่าย การแก้ไขปัญหานี้ ทำได้โดยการกระจายและเพิ่มจำนวน Search Point ในขั้นตอนแรกของการ ค้นหา แนวทางดังกล่าวมีเทคนิคที่หลากหลายทำให้มีงานวิจัยออกมามากมาย

#### 2.4.9 สหสัมพันธ์ของข้อมูล (Correlation)

สหสัมพันธ์ของข้อมูล แบ่งได้เป็น

- สหสัมพันธ์ทางปริภูมิของบล็อก หรือ Spatial Correlation คือบล็อกที่อยู่ติดกันหรือใกล้กัน มักจะมี เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ใกล้เคียงหรือเหมือนกัน เนื่องจากบล็อกเหล่านี้มักจะอยู่ในพื้นที่ของวัตถุเดียวกันในภาพ การใช้สหสัมพันธ์นี้จะช่วยลดการคำนวณ หรืออัตราบิตที่จำเป็นในการส่งได้
- สหสัมพันธ์ทางเวลาของบล็อก หรือ Temporal Correlation คือบล็อกเดียวกันในเฟรมติดกัน บางบล็อกจะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากบล็อกเหล่านี้อยู่ในส่วนของภาพที่ไม่มีการเคลื่อนที่ การอ้างอิงสหสัมพันธ์ทางเวลา จะช่วยลดจำนวนการคำนวณ และอัตราบิต ได้เช่นกัน
- สหสัมพันธ์ของทางปริภูมิ-เวลา หรือ Spatio-temporal Correlation ในบางครั้งอาจจะใช้ทั้ง สหสัมพันธ์ทางปริภูมิ และ สหสัมพันธ์ทางเวลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณ โดยอาจจะพิจารณาจากความเหมาะสมว่าควรจะใช้ ทางปริภูมิ หรือ ทางเวลา หรือใช้ทั้ง 2 แบบ เลยกี่ได้ หรืออาจไม่ใช้ทั้งคู่ก็ได้ เช่น ภาพมีการเคลื่อนที่น้อย ก็ควรใช้ สหสัมพันธ์ทางเวลา ช่วยลดการคำนวณ และหากภาพมีวัตถุขนาดใหญ่ และไม่มีการหมุน ก็ควรใช้ สหสัมพันธ์ทางปริภูมิ ช่วยลดการคำนวณ แต่หากภาพมีการเคลื่อนที่ยุ่งยากซับซ้อน หรือมีการตัดภาพ การใช้ ความสัมพันธ์ ทั้ง 2 อาจไม่มีประโยชน์ จึงไม่จำเป็นต้องใช้ เพราะบางครั้งการใช้ ความสัมพันธ์อย่างไม่เหมาะสมก็ทำให้ความผิดพลาดเกิดได้มากขึ้นเช่นกัน

#### 2.5 อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกอย่างรวดเร็ว (Fast Block Matching Algorithm)

กระบวนการประมาณการเคลื่อนที่โดยใช้อัลกอริทึมแบบการค้นหาทั้งหมด (Full Search Algorithm) ให้ผลตอบที่มีความผิดพลาดต่ำสุด แต่ในขณะที่เดียวกันก็ให้ค่าการคำนวณสูงมาก ดังนั้นจึงมีงานวิจัยทางด้าน การลดความซับซ้อนออกมาจำนวนมากมายเพื่อที่จะให้สามารถทำการบีบอัดสัญญาณวิดีโอได้ในเวลาจริง การมุ่งเน้นที่จะลดจำนวนการคำนวณจึงสำคัญมาก อีกทั้งยังต้องรักษา อัตราการบีบอัด ซึ่งสอดคล้องกับความถูกต้องด้วย งานวิจัยระเบียบวิธีเปรียบเทียบบล็อกส่วนใหญ่

จึงอยู่ในการเพิ่มความเร็วในการค้นหา หรือในอีกแง่ก็คือ ลดจำนวนจุดค้นหา โดยที่ยังรักษาคุณภาพของการประมาณการเคลื่อนที่คือ การรักษาความแม่นยำ หรือการรักษาค่าอัตราส่วนสัญญาณขดต่อสัญญาณรบกวนนั่นเอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอัลกอริทึมอย่างรวดเร็วด้วยเทคนิคต่างๆดังนี้

2.5.1 การลดจุดค้นหาโดยสร้างรูปแบบการค้นหาตามสมมติฐานของพื้นผิวค่าความเพี้ยน (Decreasing search point by creating search pattern from error surface assumption)

2.5.2 การรวมเทคนิคต่างๆ เข้ากับการเปลี่ยนรูปแบบการค้นหา (Combination of changing pattern and other techniques)

2.5.3 การลดจุดสีและการสุ่มตัวอย่างในสนามการเคลื่อนที่ (Pixel-decimation & Motion-field Subsampling)

2.5.4 เทคนิคอื่นๆ (others) เช่น เทคนิคไฮบริด เทคนิคการแปลง 1 บิต เป็นต้น

**2.5.1 การลดจุดค้นหาโดยสร้างรูปแบบการค้นหาตามสมมติฐานของพื้นผิวค่าความเพี้ยน (Decreasing search point by creating search pattern from error surface assumption)**

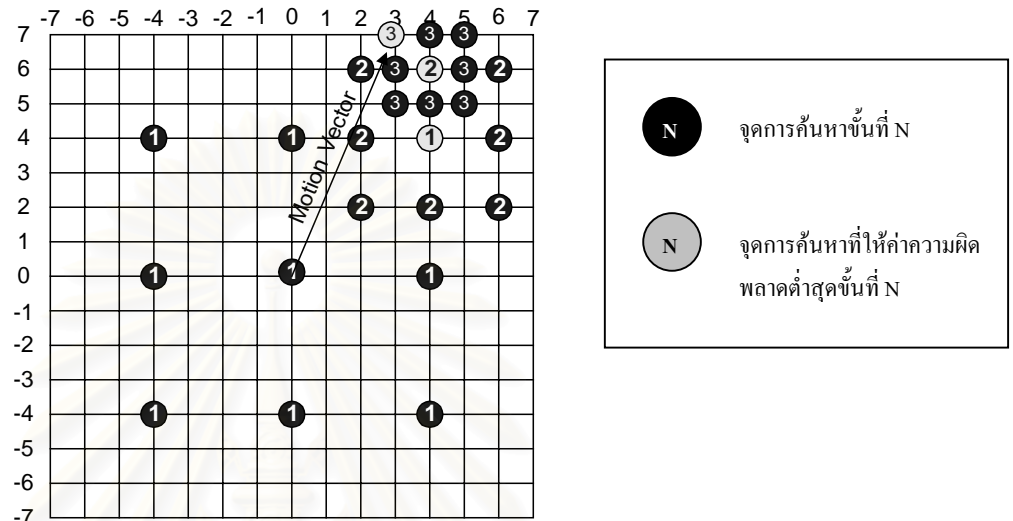
เทคนิคนี้ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ว่า “ยิ่งจุดค้นหาอยู่ห่างจากจุดที่ให้ค่าต่ำสุดรวมเท่าใด ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกก็จะมีค่าสูงขึ้นเท่านั้น” หรือ ตามหัวข้อ 2.4.7 จึงมีงานวิจัยจำนวนมากเสนอรูปแบบการค้นหาโดยให้สมมติฐานรูปแบบของพื้นผิวค่าความเพี้ยนที่ละเอียดขึ้นเพื่อที่จะสามารถเข้าถึงจุดต่ำสุดรวมได้โดยใช้จำนวนจุดค้นหาน้อย ซึ่งแสดงถึงความซับซ้อนในการคำนวณต่ำด้วยเทคนิคที่มึการทำงานวิจัยมาสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

**2.5.1.1 งานวิจัยในช่วงต้นของอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกอย่างรวดเร็ว**

งานวิจัยประเภทนี้อยู่บนสมมติฐาน UESA และ มุ่งเน้นเพื่อลดจุดค้นหา ด้วยการคิดรูปแบบการค้นหาตามแนวเกรเดียนต์ที่ลดลงของค่าความเพี้ยนต่อบล็อก บนหน้าต่างการค้นหา โดยจะหาเป็นลำดับขั้นจากส่วนเล็กๆ และตามแนวค่าต่ำสุดและทำการค้นหาไปเรื่อยๆ งานวิจัยในแนวนี้จะมีที่นิยมรู้จักโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นงานวิจัยที่ได้มีการนำเสนอก่อนปีค.ศ. 1990 เช่น

### 2.5.1.1.1 Three Step Search (3SS) [Koga ,J. and Iiunuma, K. ,1981]

เป็นอัลกอริทึมที่ให้ความเร็วในการ Search โดยใช้จุด Search Point ไม่มากและครั้งที่ การ Search จะเป็นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Three Step Search

จะเห็นว่าในอัลกอริทึมการค้นหาจะเพิ่มความละเอียดของการค้นหา ให้มากขึ้นในระดับขั้นแต่ละระดับขั้น สำหรับขนาดของ หน้าต่างการค้นหา เท่ากับ  $\pm 7$  จุดสี จะต้องใช้จำนวนจุดการค้นหา ทั้งหมดเท่ากับ 25 จุด ดังรูปที่ 2.8 หาก หน้าต่างการค้นหา มีขนาดมากกว่า  $\pm 7$  จุดสี จะต้องเพิ่มจำนวนขั้นตอนการค้นหาโดยระยะห่างระหว่างจุดการค้นหา ในแต่ละขั้นตอนคือ  $2^{L-n}$  เมื่อ  $n$  คือ ลำดับขั้นตอนที่ทำการค้นหา และ  $L$  คือจำนวนขั้นตอน ที่ใช้ในการค้นหา มีค่าเท่ากับ  $\log_2(d+1)$  และจำนวนจุดการค้นหา รวมทั้งหมดคือ  $[1 + 8 \log_2(d+1)]$  จุด เมื่อ  $d$  คือขนาดหน้าต่างการค้นหา

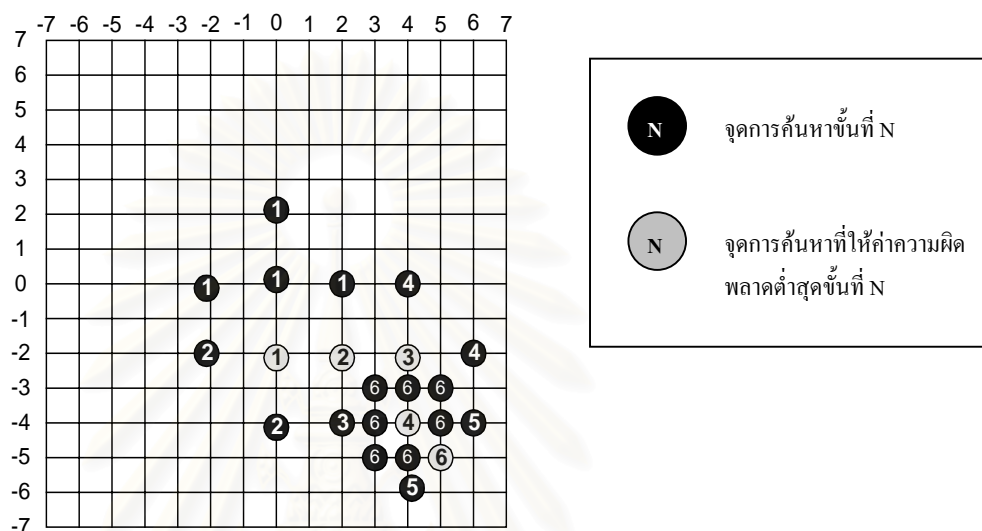
หากหน้าต่างการค้นหา มีขนาด  $\pm 7$  จุดสี อัลกอริทึมนี้จะมี อัตราการเพิ่มความเร็ว (Speed-up Ratio) เทียบกับ การค้นหาแบบทั้งหมด เท่ากับ  $255/25 = 10.2$  อัลกอริทึมนี้ให้ความแม่นยำในการค้นหาในระดับปานกลาง และได้รับความนิยมในการใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบกับอัลกอริ-ทึมอื่น ๆ เช่นเดียวกับ แบบการค้นหาทั้งหมด

### 2.5.1.1.2. Logarithmic Search (LOGS) [Jain J. and Jain A.,1981]

ใช้การค้นหาแบบเครื่องหมายบวก '+' ในแต่ละขั้นตอนการค้นหา โดยขั้นแรกจะใช้ระยะการค้นหา (หรือเรียกว่า Step Size) เท่ากับ  $\lceil d/4 \rceil$  ( $\lceil x \rceil$  คือจำนวนเต็มคี่ที่น้อยที่สุดที่มากกว่า  $x$ ) การ



ค้นหาจะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้จุดต่ำสุด เป็นจุดอยู่ที่ศูนย์กลางการค้นหาของ '+' แล้วจึงลดระยะการค้นหาหรือขนาดช่วงก้าว (Step Size) ลงครึ่งหนึ่ง ทำการค้นหา แบบเดิมจนกระทั่งขนาดช่วงก้าว (Step Size) ลดเหลือ 1 ทำการค้นหาอีก 8 จุดรอบจุดต่ำสุดในขณะนั้น เลือกจุดที่ให้ค่าความผิดพลาดบล็อกลดต่ำที่สุดเป็น เวกเตอร์การเคลื่อนที่ จำนวนจุดการค้นหาต่ำสุดที่เป็นไปได้คือ 13 สำหรับ  $d = 7$  ส่วนจำนวนจุดการค้นหาสูงสุด คือ 23 จุด ดังรูปที่ 2.9



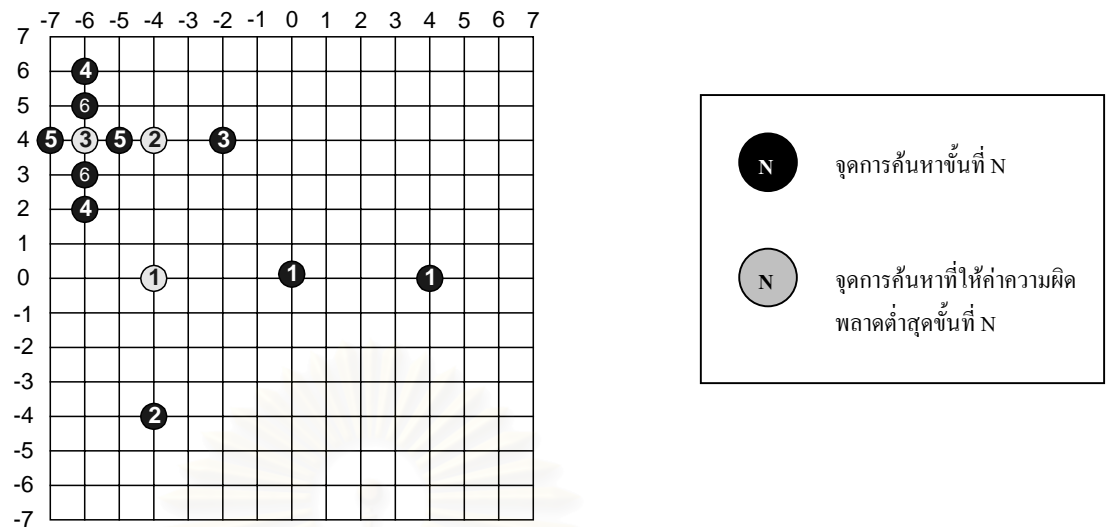
รูปที่ 2.9 Logarithmic Search

2.5.1.1.3. Orthogonal Search Algorithm (OSA) [Puri, A. ; Hang, H.M. and Schilling , D.L.,1987]

ลักษณะการค้นหา จะเป็นดังรูปที่ 2.10 คือสลับการ ค้นหา ในแนวตั้งและแนวนอน รวมกับการลดช่วงก้าว ( Step Size) ลงเรื่อย ๆ จนได้จุดต่ำสุด ในขั้นตอนแรก ช่วงก้าวจะมีขนาดเท่ากับ  $\lfloor d/2 \rfloor$  (โดยที่  $\lfloor x \rfloor$

คือจำนวนเต็มทีมากที่สุดที่น้อยกว่า  $x$ ) และลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อทำการค้นหาในแนวตั้งและแนวนอนไปอย่างละ 1 ครั้ง และจำนวนจุดการค้นหา (Search Point) ในอัลกอริทึมนี้จะคงที่ คือ  $1+4\lceil \log_2(d+1) \rceil$  หาก  $d$  เท่ากับ 7 แล้วจำนวนจุดการค้นหา ทั้งหมดคือ 13 จุด





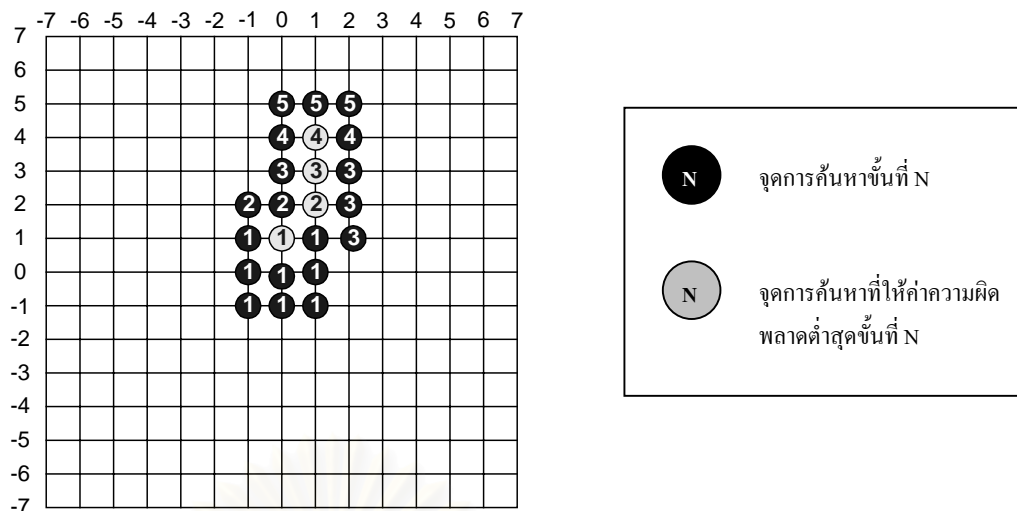
รูปที่ 2.10 Orthogonal Search

#### 2.5.1.1.4. Block Based Gradient Descent Search (BBGDS) [Cheung ,C. K. ,1998]

ลักษณะการค้นหา จะเป็นดังรูปที่ 2.11 คือ ในขั้นแรก การค้นหา จะทำกับ จุดการค้นหา 8 จุดรอบจุด (0,0) และรวม จุด(0,0) รวมเป็น 9 จุด จากจุดเลือกจุดต่ำสุดในขั้นแรก ขึ้นต่อไปให้ ค้นหาอีก 8 จุดรอบที่เป็นจุดต่ำสุดในขั้นที่แล้ว (สำหรับจุดที่ทำการค้นหา หากทำการค้นหาไปแล้วก็ไม่จำเป็นต้องทำการค้นหาอีก ดังนั้น จำนวนจุดการค้นหาที่เพิ่มขึ้นมาในแต่ละขั้นตอนคือ 3 จุดในกรณีจุดต่ำสุดในขั้นก่อนหน้าอยู่บริเวณขอบ และ 5 จุดในกรณีที่จุดต่ำสุดในขั้นก่อนหน้านี้อยู่บริเวณมุม การค้นหา จะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนกว่าจุดต่ำสุดที่ได้จะอยู่ตรงกลาง ก็จะหยุดการค้นหา และให้จุดนั้นเป็น ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่

จะเห็นว่าอัลกอริทึมนี้เหมาะกับภาพที่มีการเคลื่อนที่น้อย เพราะหากค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่อยู่ไกล ก็จะทำให้ต้องใช้จำนวนจุดการค้นหาจำนวนมาก แต่หากเวกเตอร์การเคลื่อนที่อยู่บริเวณใกล้กับจุด (0,0) จำนวนจุดการค้นหาที่ต้องใช้จะน้อยมาก อัลกอริทึมที่เหมาะสมกับภาพที่มีการเคลื่อนที่น้อยอย่างนี้เรียกว่าอัลกอริทึมแบบ Center-biased

BBGDS มีข้อเสียที่สำคัญคือถูกดักไปตกลงใน จุดต่ำสุดท้องถิ่น (Local Minimum) ได้ง่ายมาก ทำให้ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับภาพที่เคลื่อนที่มากและซับซ้อน



รูปที่ 2.11 Block Based Gradient Descent Search

### 2.5.1.2 งานวิจัยสมัยใหม่ที่เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงจากการค้นหาที่มีอยู่แล้ว

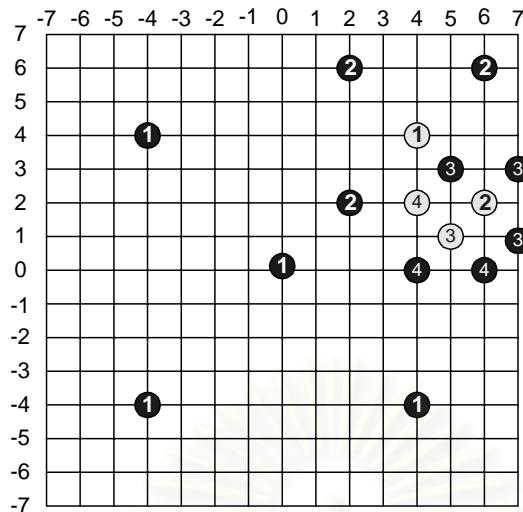
ด้วยสมมติฐานUESA ที่ใช้ไม่ถูกต้องสมบูรณ์ วิธีการนี้นั้นจะให้ค่าต่ำสุดท้องถิ่นมากกว่าจะให้ค่าต่ำสุดรวมเช่นเดียวกับแบบการค้นหาทั้งหมดถึงแม้จะใช้จำนวนจุดค้นหาที่น้อยกว่ามากก็ตาม

เนื่องจากอัลกอริทึมการค้นหาที่กล่าวมานั้นมุ่งเน้น การลดจำนวนจุดค้นหาโดยอาศัยสมมติฐาน UESA ทำให้การไล่ตามแนวเกรเดียนต์ ส่วนใหญ่ติดอยู่กับค่าต่ำสุดท้องถิ่น ดังนั้นงานวิจัยในช่วงถัดมาหลังปี 1990 จึงเน้นในการหลีกเลี่ยงการติดอยู่กับค่าต่ำสุดท้องถิ่นและพยายามค้นหาจุดต่ำสุดรวมให้ใกล้ที่สุด บ้างก็เน้นการค้นหาในช่วงที่ใกล้จุดศูนย์กลาง บ้างก็ออกแบบให้รูปแบบมีโอกาสก้าวกระโดดข้ามจุดต่ำสุดท้องถิ่นได้ ผลปรับปรุงการค้นหาเป็นเหตุให้มีรูปแบบที่ซับซ้อนขึ้น งานวิจัยประเภทนี้ได้แก่

#### 2.5.1.2.1. Cross Search Algorithm (CSA) [Ghanbari, M., 1990]

ในรูปที่ 2.12 เทคนิคการค้นหา จะมีรูปแบบเครื่องหมาย 'x' โดยลดช่วงก้ำวลง ครั้งละครึ่งหนึ่ง ในแต่ละขั้นตอนของการค้นหาจนกระทั่งช่วงก้ำว มีค่าเท่ากับ 1 ทำการค้นหาอีก 1 ครั้งรอบจุดต่ำสุดที่ได้ ตามนี้ หากจุดต่ำสุดในขั้นนี้เป็นจุดที่อยู่ด้านบนซ้าย หรือด้านล่างขวา ให้เปลี่ยน รูปแบบการค้นหา เป็น '+' แล้ว ค่อยค้นหาอีก 1 ครั้ง เพื่อเลือกจุดต่ำสุด เป็น ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ แต่หากจุดต่ำสุด เป็นจุดที่อยู่บนขวาหรือล่างซ้าย ก็ให้ใช้ รูปแบบการค้นหาเดิม(x) ทำการค้นหาอีก 1 ครั้งเพื่อเลือกค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่

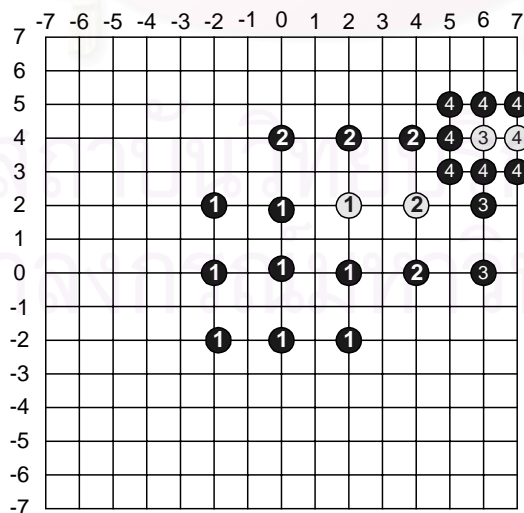
จำนวนการจุดการค้นหาจะคงที่คือ  $5+4\lceil \log_2 d \rceil$  สำหรับ  $d = 7$  ใช้ 17 จุด



รูปที่ 2.12 Cross Search Algorithm

2.5.1.2.2 Four Step Search (4SS) [Po, L.M.; Jain, A.K., 1996]

4SS นี้มีลักษณะการค้นหา คล้ายกับ BBGDS แต่เพิ่มระยะห่างระหว่างจุดการค้นหา เป็น 2 สำหรับ  $d = 7$  และ  $\lceil d/4 \rceil$  สำหรับค่า  $d$  อื่น ๆ และจะทำการค้นหาแบบ BBGDS ในขั้นตอน 3 ขั้นตอนแรก (หากจุดต่ำสุด ไม่ได้ตกอยู่ตรงกลาง) และหากถึงขั้นตอนที่ 4 หรือจุดต่ำสุดไปตกอยู่ตรงกลาง ก็ให้ตรวจสอบ จุดการค้นหา 8 จุดรอบ ๆ จุดต่ำสุดในขณะนั้นเพื่อเลือกเวกเตอร์การเคลื่อนที่ จำนวนจุดการค้นหามากที่สุด (Worst Case) คือ 27 จุด และน้อยที่สุด (Best Case) คือ 17 จุด ดัง

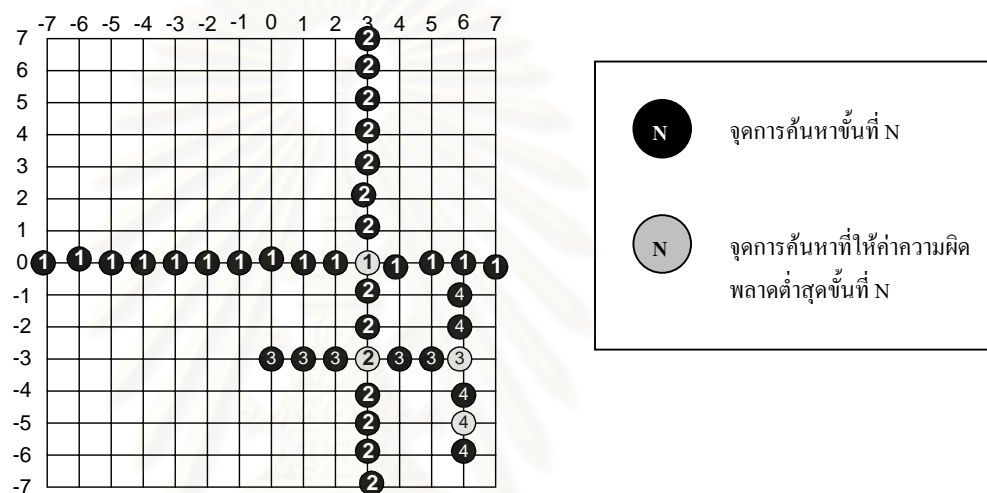


รูปที่ 2.13 Four Step Search

## รูปที่ 2.13

## 2.5.1.2.3. One Dimensional Full Search Algorithm (1DFS) [ Chen ,M. ; Chen, L. ; Chiuch,T. ,1994]

ใช้สมมติฐาน UESA เพื่อลดจำนวนจุดการค้นหา ทำให้เหมาะสมขึ้นกับการเข้ารหัส สัญญาณวิดิทัศน์แบบเวลาจริง และตัวอัลกอริทึมเองทำให้มีความน่าจะเป็นที่จะถูกดักเข้าไปตกลง ในจุดต่ำสุดท้องถิ่นน้อยลง



รูปที่ 2.14 1-Dimensional Full Search

## วิธีการ

1. ค้นหาในแนวนอนที่แกน  $y = 0$  ทุกจุด แล้วเปลี่ยนเป็นแนวตั้งทุกจุดที่จุดต่ำสุดที่ได้
2. ลด ช่วงการค้นหา เหลือครึ่งหนึ่ง แล้ว ค้นหา เหมือนเดิม ดังรูปที่ 2.14

## ข้อดี

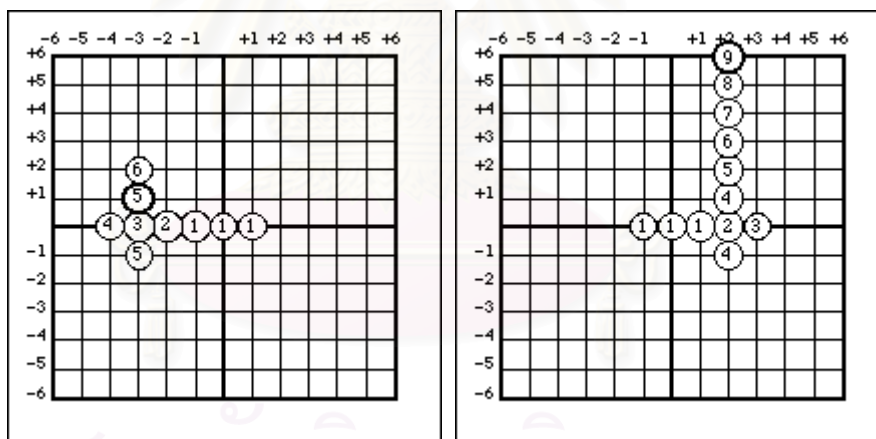
- สามารถใช้ ข้อมูลซ้ำกับข้อมูลก่อน ได้ เนื่องจากจุดที่ทำการค้นหา อยู่ติด ๆ กัน
- อัตราการไหลของข้อมูล (Data Flow) สม่่าเสมอ และมี โอเวอร์เฮดควบคุม (Control Overhead ) น้อย
- ลดโอกาสที่จะถูกดักไปตกลงในจุดต่ำสุดท้องถิ่นได้เนื่องจากมีคุณสมบัติของการค้นหาทั้งหมด
- เหมาะกับการสร้างเป็นฮาร์ดแวร์ เพราะราคาถูกและความเร็วสูง

ผลจากทดสอบ ในบทความ [Chen ,M. ; Chen, L. ; Chiuch,T. ,1994]

ค่าอัตราส่วนสัญญาณยอดต่อสัญญาณรบกวน (PSNR)ใกล้เคียงการค้นหาแบบทั้งหมดและดีกว่า 3SS และ OTS ในขณะที่ต้องใช้จำนวนจุดการค้นหามากกว่า แต่จำนวนการคำนวณอาจลดได้ เนื่องจากการนำข้อมูลเดิมกลับมาใช้ใหม่ (Data Reuse)

#### 2.5.1.2.4. One at a Time Search [Kumar,S. ,1994]

เป็นอัลกอริทึมที่ง่ายแต่ก็มีประสิทธิภาพพอสมควร อาศัย UESA ก่อนข้างมากทำให้อาจไปตกลงในจุดต่ำสุดท้องถิ่นได้ง่าย การค้นหา เริ่มจากในแนวนอนก่อน ในขั้นแรกทำการค้นหาทั้งหมด 3 จุดในแนวนอน เลือกทิศทางที่จะค้นหา (ว่าจะไปทางซ้ายหรือขวา โดยพิจารณาจากค่าความเพี้ยนต่อบล็อก BDM) จากนั้นให้ค้นหาไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบจุดที่ถูกล้อมด้วยจุดที่มี BDM สูงกว่าทั้ง 2 ด้าน จากจุดดังกล่าวให้เป็นจุดเริ่มต้นในการค้นหาขั้นต่อไปโดยค้นหาในแนวตั้ง โดยใช้วิธีการค้นหา เช่นเดียวกัน จุดต่ำสุดที่ได้ก็คือ เวกเตอร์การเคลื่อนที่

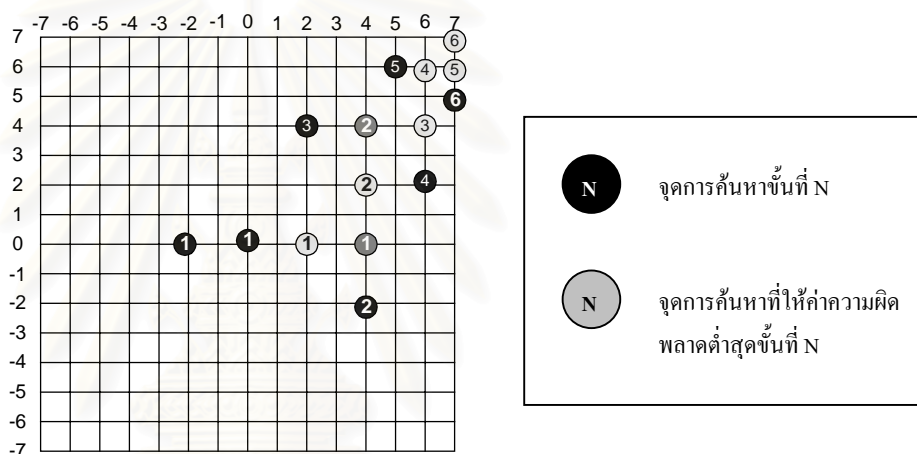


รูปที่ 2.15 One at a Time Search

จะเห็นว่าอัลกอริทึมนี้จะใช้การค้นหาเพียง 2 ทิศทาง และใช้จุดการค้นหาค่อนข้างน้อย ทำให้ง่ายต่อการคำนวณมาก แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 รูปทางซ้ายมือของภาพจะไม่มีค่าที่ถูกปิดล้อมทำให้อาจไปจนสุดขอบ ต่างกับรูปทางขวาที่ถูกปิดล้อมด้วยวงกลม 4 และ วงกลม 6

## 2.5.1.2.5. Center-biased Orthogonal Search (CBOSA) [Po, L.M. ; Cheung, C.K., 1996]

ใช้การค้นหา ดังรูปที่ 2.16 คือในขั้นตอนแรกใช้ 3 จุดการค้นหาในแนวนอน หากจุดต่ำสุดเป็นจุดซ้ายหรือขวาให้เพิ่มจุดการค้นหาในด้านนั้นเข้าไปอีก 1 จุด หากจุดต่ำสุด อีกครั้ง จากจุดต่ำสุดที่ได้นี้ให้ค้นหาในรูปแบบเดิมในแนวตั้ง ขั้นตอนที่ 2 ทำเหมือนขั้นตอนแรกแต่ไม่ต้องเพิ่มจุดค้นหาเหมือนขั้นแรก คำนึงสลับกันเมื่อถึงขั้นตอนที่ 3 ให้ลดระยะการค้นหาเป็น 1 จุดดี โดยใช้จำนวนจุดการค้นหาต่ำสุดคือ 13 และมากที่สุดคือ 15 การค้นหาแบบนี้เป็นการค้นหาที่เน้นในการค้นหาบริเวณจุดศูนย์กลางการค้นหาและค้นหาได้ดีโดยเฉพาะการเคลื่อนที่ไม่เกิน 4x4 จุดดี



รูปที่ 2.16 Center-biased Orthogonal Search

## 2.5.1.2.6. อัลกอริทึมการค้นหารูปเพชร (Diamond Search : DS) [Zhu, S. ; Ma ,K. ,1997]

อัลกอริทึมการค้นหารูปเพชรนำเสนอโดย Shan Zhu และ Kai-Kuang Ma (1997) ซึ่งเสนอ

- BBGDS มักจะถูกไล่ให้ตกใน จุดต่ำสุดท้องถิ่น
- TSS หากผิดพลาดในขั้นตอนแรกแล้ว จะทำให้ขั้นตอนต่อ ๆ ไปผิดพลาดตามไปด้วย
- NTSS จำนวนครั้งในการค้นหาไม่แน่นอน ทำให้อัตราการไหลของข้อมูลไม่สม่ำเสมอ (รายละเอียดของ NTSS อยู่ในหัวข้อถัดไป)
- 4SS ต้องใช้จำนวนจุดการค้นหาจำนวนกว่าอัลกอริทึมทั่ว ๆ ไป

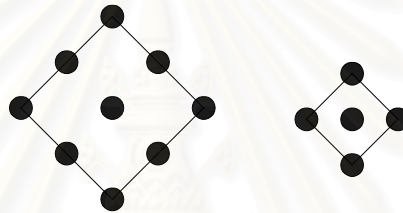
จึงนำเสนอ อัลกอริทึมการค้นหาแบบเพชร (เปลี่ยนเพียงขนาดและรูปแบบในการค้นหา เท่านั้น ) โดยมีหลักการคือ

- จากการเก็บสถิติจากภาพเคลื่อนที่ต่าง ๆ พบว่า โอกาสที่จะพบเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ใน หน้าต่างการค้นหาจะมีค่ามากอยู่ในพื้นที่วงกลมรัศมี 2 จุดสี รอบจุด (0,0) และมากที่สุดที่จุด (0,0)
- ทิศทางของ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ จะกระจายไปเท่า ๆ กันทุกทิศทาง

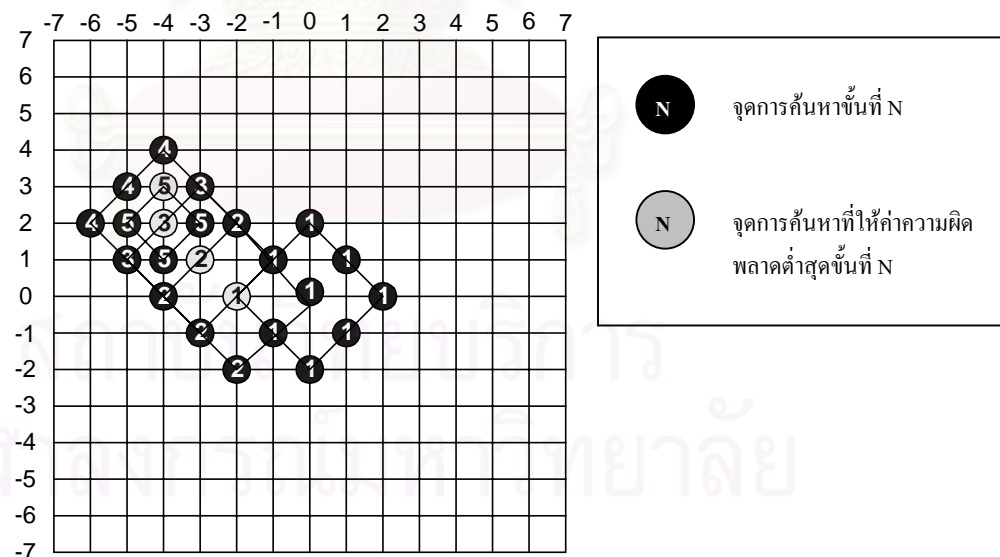
#### วิธีการ

อัลกอริทึมนี้มี รูปแบบการค้นหา (Search Pattern) 2 รูปแบบ ดังรูปที่ 2.17 คือ

1. รูปการค้นหาแบบใหญ่ (Large Search Pattern :LSDP) มีจำนวนจุดการค้นหา เท่ากับ 8 จุด
2. รูปการค้นหาแบบเล็ก (Small Search Pattern :SDSP) มีจำนวนจุดการค้นหา เท่ากับ 5 จุด



รูปที่ 2.17 Large และ Small Search Pattern



รูปที่ 2.18 Diamond Search Algorithm

การค้นหาแสดงไว้ในรูปที่ 2.18 เริ่มแรกจะใช้ รูปแบบการค้นหาแบบใหญ่ (LSDP) ในการค้นหาเมื่อได้จุดต่ำสุดจะใช้จุดต่ำสุด นี้เป็นจุดตั้งต้นในการค้นหา ต่อ ๆ ไป (จะพบว่าเมื่อค้นหา ครั้งต่อ ๆ ไปจะมีจำนวนจุดการค้นหาเพิ่มขึ้นไม่มาก เนื่องจากการ ซ้ำซ้อนในจุดการค้นหา ) จนกระทั่ง



เมื่อได้จุดต่ำสุด เป็นจุดกึ่งกลางของการค้นหา ก็ให้เปลี่ยน รูปแบบการค้นหาเป็นแบบเล็ก (SDSP) แล้วเลือกจุดที่มีค่า BDM ต่ำที่สุดเป็น เวกเตอร์การเคลื่อนที่

#### ข้อดี

เหมาะสมกับทั้งภาพเคลื่อนที่เร็วและช้า และจำนวนจุดการค้นหาลดลงเมื่อภาพมีการเคลื่อนที่ช้าลง (น้อยที่สุดคือ 13 จุด)

#### ผลจากการทดสอบในบทความ [ Zhu,S. and Ma, K.,1997]

พบว่า MSE/pixel ต่ำกว่า 4SS, BBGDS, NTSS และ TSS ยิ่งภาพที่มีการเคลื่อนที่มาก MSE จะน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ โอกาสที่จะพบ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่แท้จริง (True Motion Vector ) ยังสูงกว่าด้วย

#### 2.5.2 การรวมเทคนิคต่างๆ เข้ากับการเปลี่ยนรูปแบบการค้นหา (Combination of changing pattern and other techniques)

ปัจจุบันมีอัลกอริทึมชนิดใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมาย โดยอัลกอริทึมเหล่านี้จะไม่เพียงแต่ปรับปรุงรูปแบบการค้นหา (Search Pattern) เท่านั้น แต่มักจะรวมเทคนิคแบบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น การทำนายเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (Motion Vector Prediction) เพื่อให้การค้นหาหรือถูกต้องมากยิ่งขึ้น การปรับความละเอียดของการคำนวณ การอาศัยสหสัมพันธ์ (correlation) หรือสมมติฐาน UESA หรือการปรับขนาดหน้าต่างการค้นหา อีกทั้งการเปรียบเทียบกับค่าจุดเปลี่ยน (thresholding) หรือ เทคนิคการหยุดครึ่งทาง (Half stop) เป็นต้น

##### 2.5.2.1. New Three Step Search (NTSS) [Li, R. ; Zeng, B., 1994 )

เป็นการปรับปรุงจาก TSS ซึ่ง NTSS เพื่อแก้ไขข้อหาของ TSS ซึ่งไม่เหมาะสมกับภาพที่มีการเคลื่อนที่น้อย NTSS จะมีรูปแบบเป็นเน้นจุดศูนย์กลาง (Center biased) คือให้ความสำคัญกับจุด จุดการค้นหาซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางของหน้าต่างการค้นหา

#### ข้อดี

- มีการใช้ เทคนิคการหยุดครึ่งทาง (Half Way Stop Technique) เพื่อช่วยลดจำนวนการคำนวณ

- ไม่ต้องใช้ค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) เหมือนวิธีหน้าต่างการค้นหาปรับตัวได้ (Adaptive Search Window) เนื่องจากการใช้ค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) มีข้อเสียคือค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) ที่เหมาะสมกับภาพต่าง ๆ กัน ก็จะมีค่าต่าง ๆ กัน ทำให้ยากต่อการใช้งานจริง
- คงความง่ายของ TSS แต่ความแม่นยำดีกว่า และมีความยุ่งยากในการคำนวณเท่า ๆ กัน

### หลักการ

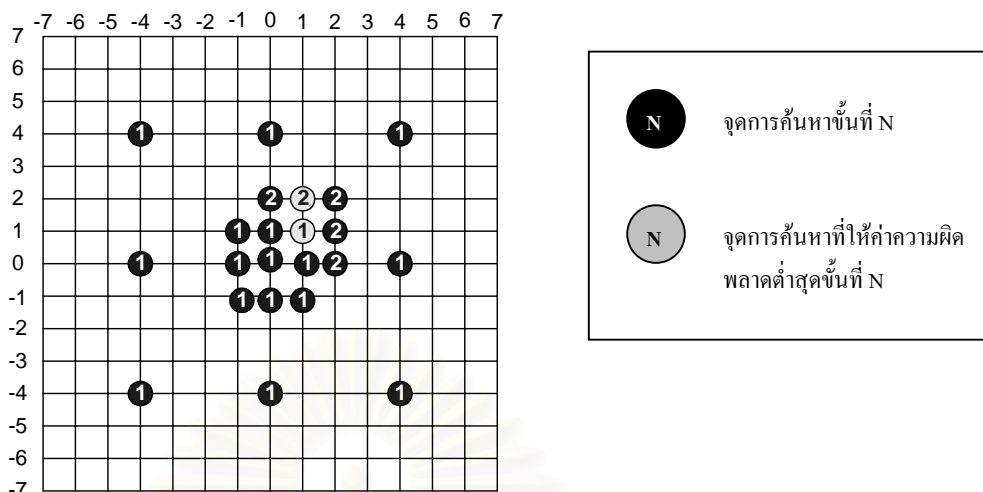
พื้นผิวความผิดพลาด จะมีลักษณะเป็นแบบโมโนโทนิก(Monotonic) ในพื้นที่เล็ก ๆ รอบ ๆ จุดต่ำสุดรวม (Global Minimum) (ต่างจาก TSS ซึ่งสมมติ พื้นผิวความผิดพลาด เป็นแบบโมโนโทนิก ทั้งทั้งหน้าต่างการค้นหา แบบ UESA) ดังนั้น เมื่อจุดการค้นหาใดเข้าไปใกล้จุดต่ำสุดรวม ก็มีโอกาที่จะค้นหาได้จุดต่ำสุดรวมมากยิ่งขึ้น ดังนั้น NTSS จะเหมาะกับภาพที่มีการเคลื่อนที่น้อย โดยเฉพาะภาพการประชุมผ่านวิดีโอ (Video Conference) หรือ ภาพคนครึ่งตัว (Head and Shoulder)

### วิธีการ

1. จากรูปที่ 2.19 ในขั้นตอนแรกใช้รูปแบบการค้นหาเหมือน ขั้นตอนแรกของ TSS แต่เพิ่มจุดการค้นหาอีก 8 จุดรอบ ๆ จุด (0,0)
2. ถ้าจุดต่ำสุดอยู่ที่ (0,0) ก็ให้หยุดการค้นหา แล้วให้ค่าเวกเตอร์การค้นหา เป็น (0,0) จำนวนจุดการค้นหา ทั้งหมดคือ 17 จุด
3. ถ้าจุดต่ำสุดอยู่ที่จุดรอบ ๆ จุด (0,0) ให้ทดลองตรวจสอบค้นหาจุดอื่น (เลือกเฉพาะจุดที่ยังไม่ได้ทำการค้นหาจาก 8 จุด) จุดต่ำสุด ที่ได้คือค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ จำนวนจุดการค้นหา ทั้งหมดคือ 20 จุดในกรณีที่จุดศูนย์กลางการค้นหาไม่ใช่จุดมุม หรือ 22 จุด ในกรณีที่จุดศูนย์กลางการค้นหาเป็นจุดมุม
4. ถ้าจุดต่ำสุด อยู่ที่จุดอีก 8 จุดที่เหลือ (จุดรอบนอก) ให้ค้นหา แบบ TSS จนจบ จำนวนจุดการค้นหาทั้งหมดคือ 33 จุด

จำนวน จุดการค้นหาโดยเฉลี่ยคือ  $17P_1 + 20P_2 + 22P'_2 + 33(1 - P_1 - P_2 - P'_2)$  จุด

โดยที่  $P_1, P_2, P'_2$  คือความน่าจะเป็นที่จุดต่ำสุด ในขั้นตอนแรกจะไปตกอยู่ที่จุด (0,0) จุดขอบ และจุดมุมรอบ ๆ จุด (0,0) ตามลำดับ



รูปที่ 2.19 New Three Step Search

**ผลจากการทดสอบในบทความ [Li, R. ,Zeng, B. , 1994 )**

ให้อัตราการเพิ่มความเร็ว (Speed-up Ratio) สูงกว่า TSS หากใช้กับรูปที่มีการเคลื่อนที่น้อย ความน่าจะเป็นที่จะพบ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่แท้จริง (True Motion Vector) สูงกว่า TSS รวมทั้งค่าระยะห่างของเวกเตอร์การเคลื่อนที่เฉลี่ยจาก เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของการค้นหาทั้งหมด (FS) น้อยกว่า TSS

**2.5.2.2. Adaptive Full Search Block Matching (AFSBM) [Feng,J.,Lo, K.T., 1995)**

**หลักการ**

เลือกจุดเริ่มต้นในการค้นหา หรือจุดศูนย์กลางการค้นหา โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างบล็อกที่อยู่ติด ๆ กัน เพื่อเลือกจุดเริ่มต้นการค้นหาที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังปรับขนาดของช่วงการค้นหา ตามความเร็วของวัตถุในภาพอีกด้วย การเลือกจุดเริ่มต้นทำโดย เลือกค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกที่อยู่บน ซ้าย และ บนซ้าย รวมทั้ง เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่เท่ากับ (0,0) ที่คำนวณแล้วให้ค่าความเพี้ยนที่ต่ำที่สุด (BDM) แล้วเลือกเวกเตอร์การเคลื่อนที่นั้นเป็นจุดเริ่มต้นการค้นหาของบล็อก เป็นการใช้ประโยชน์จากสหพันธ์ทางปริภูมิ (Spatial Correlation) คือบล็อกที่อยู่ติด ๆ กัน มักจะมีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เหมือนหรือใกล้เคียงกัน จากนั้นทำการค้นหาโดยวิธีการค้นหาแบบทั้งหมด ภายในพื้นที่ที่อยู่ในระยะ ช่วงการค้นหา (Search Range)

## การปรับช่วงการค้นหา (Search Range)

ปรับขนาดของช่วงการค้นหา ตามขนาดของการเคลื่อนที่ของบล็อกคือ ถ้าบล็อกมีการเคลื่อนที่เร็วช่วงการค้นหาจะมีค่ามาก หากบล็อกมีการเคลื่อนที่ช้า หรือ ไม่เคลื่อนที่ ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ ช่วงการค้นหามากเพราะจะสิ้นเปลืองเวลาในการค้นหา

บล็อกจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เคลื่อนไหวมาก (High), ปานกลาง (Medium) และ น้อย (Low) ในการจำแนกประเภทของบล็อกนั้นอาศัยการสันนิษฐานว่ายิ่งบล็อกมีความเร็วมากเท่าใด ค่าความเพี้ยนต่อบล็อก ที่จุดเริ่มต้นการค้นหา ก็จะมีค่ามากเท่านั้น กำหนดชนิดของบล็อกตามค่าจุดเปลี่ยน  $T_1$  และ  $T_2$  ดังนี้

บล็อกเคลื่อนไหวมาก (High Motion Block) ถ้า  $BDM > T_1$

เคลื่อนไหวปานกลาง (Medium Motion Block) ถ้า  $T_2 < BDM < T_1$

เคลื่อนไหวน้อย (Low Motion Block) ถ้า  $BDM < T_2$

การกำหนดค่า จุดเปลี่ยน ทั้ง 2 นี้ ทำโดย

### 2.5.2.2.1 กำหนดค่าเริ่มต้น

1. ทำการหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของทุกบล็อกในเฟรมแรกโดยอัลกอริทึมแบบค้นหาทั้งหมด
2. หา ค่าความเพี้ยนต่อบล็อก(BDM) ที่ จุดศูนย์กลางการค้นหาของแต่ละบล็อก เรียงลำดับจากมากไปน้อย
3. หาว่าบล็อกที่มีการเคลื่อนที่มากกว่า  $W/2$  และ  $W/4$  มีจำนวนเท่าไร แล้วให้จำนวนนี้เป็น  $N_A$  และ  $N_B$  ตามลำดับ โดย  $W$  คือขนาดของหน้าต่างการค้นหา
4. ให้  $T_1$  คือค่า BDM ที่มากที่สุดอันดับที่  $N_A$  และ  $T_2$  คือค่า BDM ที่มากที่สุดอันดับที่  $N_B$

### 2.5.2.2.2 การปรับค่าจุดเปลี่ยน

กำหนด  $N_H(n)$  คือจำนวนของ บล็อกที่มีการเคลื่อนที่มาก (High Motion Block)

กำหนด  $N_M(n)$  คือจำนวนของ บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ปานกลาง (Medium Motion Block)

กำหนด  $N_1(n)$  คือจำนวนของบล็อกที่มีการเคลื่อนที่มากกว่า  $W/2$

กำหนด  $N_2(n)$  คือจำนวนของ บล็อกที่มีการเคลื่อนที่ในช่วง  $W/4$  ถึง  $W/2$

คำนวณ  $P_H(n) = N_1(n) / N_H(n)$  และ  $P_M(n) = N_2(n) / N_M(n)$

และเปลี่ยนค่า  $T_1$  และ  $T_2$  ตามสมการ (2.12)

$$\begin{aligned} T_1^{n+1} &= T_1^n - \left\lfloor \left| \frac{P_H(n) - P_H(n-1)}{0.2} \right| \right\rfloor \text{sgn}\{P_H(n) - P_H(n-1)\} \\ T_2^{n+1} &= T_2^n - \left\lfloor \left| \frac{P_M(n) - P_M(n-1)}{0.2} \right| \right\rfloor \text{sgn}\{P_M(n) - P_M(n-1)\} \end{aligned} \quad (2.12)$$

โดย  $\lfloor x \rfloor$  คือจำนวนเต็มที่สุดที่น้อยกว่า  $x$  จะเห็นว่าถ้า  $P_H(n) - P_H(n-1)$  น้อยกว่า 0.2 จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจุดเปลี่ยน

เมื่อจำแนกประเภทบล็อก และกำหนดจุดเริ่มต้นของการค้นหาแล้ว ทำการค้นหาโดยวิธีการค้นหาแบบทั้งหมด ภายในช่วงการค้นหาที่กำหนดสำหรับแต่ละชนิดของบล็อกคือ  $W/2$  และ  $W/4$  สำหรับบล็อกประเภท การเคลื่อนที่มาก, ปานกลาง และ น้อย ตามลำดับ

**ผลจากการทดสอบในบทความ [Feng,J. and Lo,K.T., 1995]**

พบว่า ได้ MSE ใกล้เคียงกับการค้นหาทั้งหมดมาก คือแตกต่างประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น ส่วนจำนวนจุดการค้นหาลดลงร้อยละ 73-82 ขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุนภาพ

**2.5.2.3 Adaptive Search Area Adjustment Using Spatio-Temporal Correlation [Oh, H.S. ; Lee,C.H. ; Lee, H.K and Jeon,J.H., 1999]**

#### หลักการ

อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างบล็อกทั้งในทางปริภูมิและเวลา โดยเฉพาะเมื่อใช้งานกับภาพชนิดอัตราบิตต่ำ (Low Bit Rate) ซึ่งมี สหสัมพันธ์ทางเวลา (Temporal Correlation) ของบล็อกสูงมาก เพราะว่าวัตถุในภาพมักจะเคลื่อนที่ไม่มาก และเคลื่อนที่เพียงบางส่วนเท่านั้น

#### วิธีการ

1. ในเฟรมแรก จะใช้วิธีการค้นหาทั้งหมดแบบธรรมดาเพื่อหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่แล้วแบ่งบล็อกทั้งหมดออกเป็น 4 ชนิดคือ
  - บล็อกที่เป็นพื้นหลัง (Background Block)
  - บล็อกที่เคลื่อนไหว (Active Moving Block)
  - บล็อกที่กำลังเปลี่ยนจากพื้นหลังเป็นเคลื่อนไหว (Changing Block From Background to Active Block)
  - บล็อกที่กำลังเปลี่ยนจากเคลื่อนไหวเป็นพื้นหลัง (Changing Block From Active to Background Block)
2. สำหรับเฟรมถัด ๆ ไป ให้สมมติว่าแต่ละบล็อกในเฟรมยังคงเป็นบล็อกชนิดเดิมในขั้นตอนแรก โดยอาศัยสมมติฐานว่ามีสหสัมพันธ์ทางเวลา ในภาพมีค่ามาก จากนั้นจะทำการค้นหาในพื้นที่จำกัดคือ

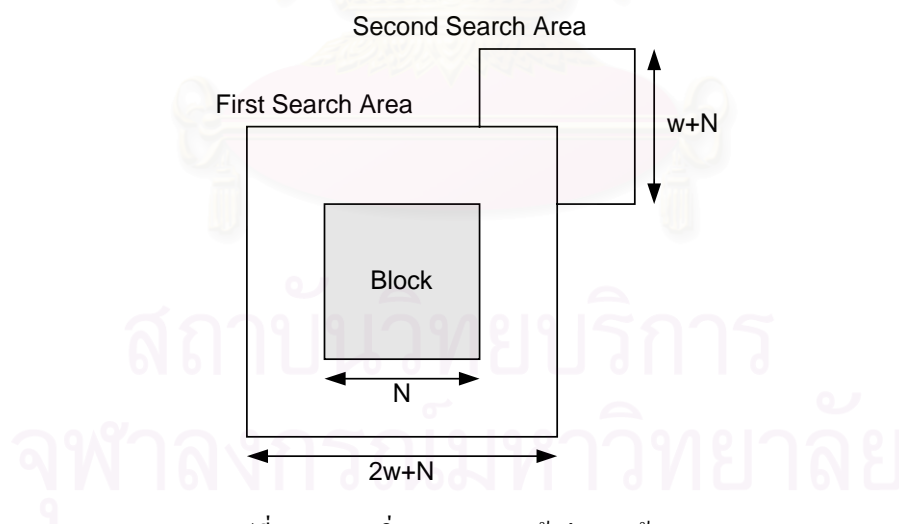
- $W$  สำหรับ บล็อกชนิดเคลื่อนที่ และชนิดที่เปลี่ยนจากพื้นหลังเป็นเคลื่อนที่
- $W/2$  สำหรับ บล็อกชนิดที่เปลี่ยนจากเคลื่อนไหวเป็นพื้นหลัง
- $W/2$  สำหรับ บล็อกชนิดพื้นหลัง

โดยการค้นหาให้ใช้จุดเริ่มต้นการค้นหาเหมือน AFSBM คือใช้สมมติฐาน สหสัมพันธ์ทางปริภูมิ (Spatial Correlation) เลือกเวกเตอร์การเคลื่อนที่จากบล็อกบน ซ้าย บนซ้าย และ  $(0,0)$  ที่ให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกต่ำสุดเป็นจุดเริ่มต้น

3. หากเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่หาได้ไปตกอยู่ที่ขอบของหน้าต่างการค้นหา แสดงว่าจุดเริ่มต้นการค้นหาที่เลือกนั้นอาจไม่ถูกต้อง หรือชนิดของบล็อกไม่ถูกต้อง ให้ทำการค้นหาต่อไปจากจุดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้นี้ โดยลดพื้นที่ของการค้นหาลงครึ่งหนึ่ง และทำต่อไป จนกว่าจะได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ไม่ตกลงบนขอบของหน้าต่างการค้นหา ดังในรูปที่ 2.20

ผลจากการทดสอบในบทความ [Oh, H.S. ; Lee, C.H. ; Lee, H.K and Jeon, J.H., 1999]

พบว่าความแม่นยำใกล้เคียง DASWF และต่ำกว่า Adaptive BMA ส่วนจำนวนการคำนวณลดลงจาก DASWF ประมาณ ร้อยละ 50

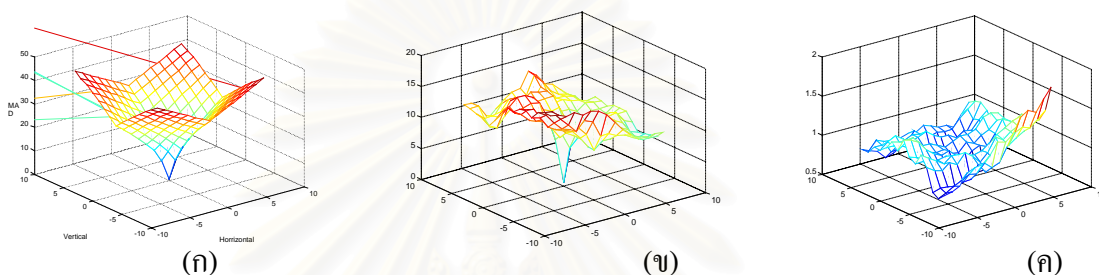


รูปที่ 2.20 การเพิ่มขนาดของ หน้าต่างการค้นหา



#### 2.5.2.4. Adaptive Search Length (ASL) [Pickering, M. R. ; Arnold, J. F. and Frater, M. R.,1997 ]

ใช้ Modified OTS (One at a Time Search) เป็นวิธีการค้นหาโดยใช้การปรับระยะ ช่วงการค้นหาตามความเหมาะสมของลักษณะของพื้นผิวความผิดพลาดของภาพ ทั้งนี้ช่วงกว้างในการค้นหาหมายถึงจำนวนจุดการค้นหาที่ต้องใช้เพื่อให้ได้จุดต่ำสุดรวม



รูปที่ 2.21 พื้นผิวนิตต่างๆ

#### หลักการ

พื้นผิวความผิดพลาด ของภาพเคลื่อนที่สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังรูปที่ 2.21 คือ

1. แบบเป็นไปตาม UESA ซึ่งแบบนี้การค้นหาไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนจุดการค้นหาจำนวนมาก ก็สามารถที่จะได้จุดต่ำสุดรวมได้ จะเห็นได้จาก อัลกอริทึมอย่างรวดเร็วชนิดต่างๆ (Fast Search Algorithm ) ที่ใช้สมมติฐาน UESA จะใช้จำนวนจุดการค้นหาไม่มาก ดังในรูปที่ 2.21(ก)
  2. แบบที่พื้นผิวความผิดพลาดที่มีจุดต่ำสุดท้องถิ่นหลายจุด ดังในรูปที่ 2.21(ข) หากต้องการหาจุดต่ำสุดรวมให้ได้ จำเป็นต้องใช้ จำนวนจุดการค้นหาจำนวนมาก เพราะถ้าใช้น้อยเกินไปจะทำให้การค้นหาติดอยู่กับ จุดต่ำสุดท้องถิ่นได้ง่าย
  3. แบบที่พื้นผิวความผิดพลาดมีจุดต่ำสุดจำนวนมาก ดังในรูปที่ 2.21(ค)และแต่ละจุดไม่ได้มีค่าความผิดพลาดที่ต่างกันมากนัก พื้นผิวความผิดพลาดแบบนี้แม้จะเพิ่มจำนวนจุดการค้นหา ก็ไม่ทำให้การค้นหา ดีขึ้นมากนัก เพราะแต่ละจุดมีความใกล้เคียงกันมาก
- จากพื้นผิวความผิดพลาดทั้ง 3 ลักษณะจะเห็นได้ว่าควรต้องปรับจำนวนจุดการค้นหาให้เหมาะสมต่อภาพที่มี พื้นผิวความผิดพลาดแต่ละลักษณะ คือให้ใช้น้อยสำหรับภาพที่มี พื้นผิวแบบที่ 1 และมากสำหรับภาพแบบที่ 2 แต่ต้องไม่มากเกินไปจนสิ้นเปลือง สำหรับแบบที่ 3 ที่ไม่ว่าจะได้จุดใดก็ไม่ให้ค่าความผิดพลาดต่างกันมากนัก



### ขั้นตอน

1. สำหรับจุดแรกที่ค้นหา ใช้ Modified OTS ซึ่งต่างจาก OTS คือขั้นแรกในการค้นหาจะทำการค้นหาทั้งในแนวตั้งและในแนวนอน
2. กำหนดค่า Maximum Search Length,  $L_m$  ด้วยวิธีการที่จะกล่าวต่อไป
3. หากจำนวนจุดการค้นหาที่ทำการค้นหาไปแล้วมีจำนวนมากกว่า  $L_m$  ก็ให้หยุดค้นหาและถือว่าจุดต่ำสุดในขณะนั้นเป็น เวกเตอร์การเคลื่อนที่ แต่หากจำนวนจุดการค้นหาที่มีจำนวนน้อยกว่า  $L_m$  ก็ให้ย้อนกลับไปทำที่ขั้นตอนที่ 1 ใหม่ โดยให้จุดต่ำสุดในขณะนั้นเป็นจุดเริ่มต้น

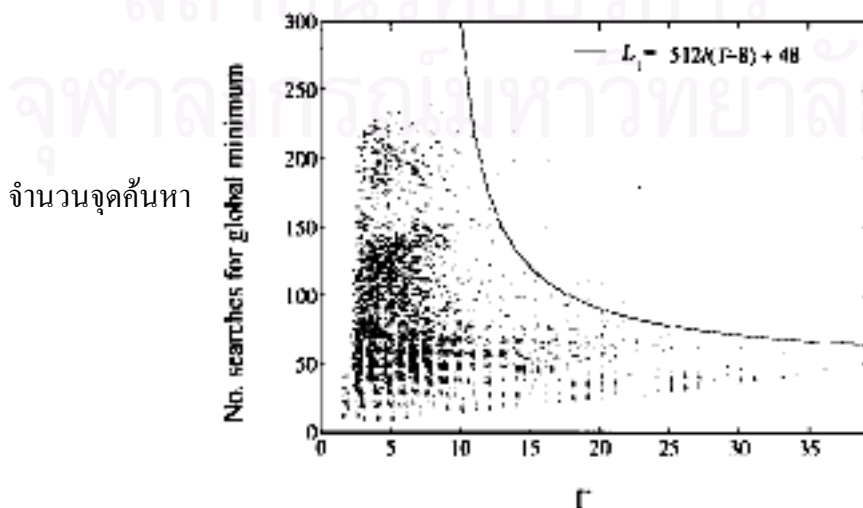
### การกำหนดค่า $L_m$

$L_m$  นี้จะเป็นค่าต่ำสุดระหว่าง  $L_1$ ,  $L_2$  และ  $L_3$

$L_1$  – เป็นค่าที่ประมาณมาจากการประมาณจำนวนจุดต่ำสุดท้องถิ่น ที่มีในหน้าตาการค้นหา หากมีจุดต่ำสุดท้องถิ่นหลายจุด  $L_1$  ก็ควรจะมีความมาก เพื่อเพิ่มจำนวนจุดการค้นหาจำนวนจุดต่ำสุดท้องถิ่นนี้อาจประมาณได้จาก Average Search Path Length,  $\Gamma$  หรือระยะห่างเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น จนถึงจุดต่ำสุด ในขณะนั้น ซึ่ง  $\Gamma$  นี้จะมีค่าน้อยเมื่อภาพมีจุดต่ำสุดท้องถิ่นหลายจุด เราสามารถคำนวณค่า  $\Gamma$  ได้จากสมการ  $\Gamma = \Lambda/\Phi$  เมื่อ  $\Lambda$  คือระยะ (จำนวนจุดการค้นหา) ตามเส้นทางการค้นหาและ  $\Phi$  คือจำนวนจุดทั้งหมดที่ทำการค้นหา

Mark R. Pickering, John F. Arnold, Michael R. Frater (1997) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง  $\Gamma$  และ  $L_1$  ด้วยการทดลองโดยใช้ภาพตัวอย่างดังนี้

1. หาจุดต่ำสุดรวมของแต่ละบล็อกในภาพตัวอย่างโดยใช้ การค้นหาทั้งหมด
2. ใช้ Modified OTS หาจุดต่ำสุดไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้จุดต่ำสุดรวม นับจำนวนจุดการค้นหาทั้งหมด ที่ต้องใช้ และคำนวณค่า  $\Gamma$  นำมาพล็อตรูปภาพ ได้ดังรูปที่ 2.22 [Pickering, M. R. ; Arnold, J. F. and Frater, M. R., 1997 ]



รูปที่ 2.22 การพล็อตระหว่างค่า  $\Gamma$  และจำนวนจุดค้นหา

ทำให้สามารถสร้างสมการเพื่อกำหนดจำนวนที่มากที่สุดของจุดค้นหาที่ต้องใช้ เพื่อให้ได้จุดต่ำสุดรวมสำหรับค่า  $\Gamma$  ต่าง ๆ กันคือ

$$L_1 = \begin{cases} \frac{512}{\Gamma - 8} + 48, \Gamma \leq 8 \\ N_{MAX}, \Gamma > 8 \end{cases} \quad (2.13)$$

โดยที่  $N_{MAX}$  คือจำนวนจุดค้นหาทั้งหมด ยิ่ง  $\Gamma$  มากเท่าไร  $L_1$  ก็จะยิ่งน้อยลงเท่านั้น การพิจารณาเพียงค่า  $L_1$  นี้ยังไม่เพียงพอ เพราะจำนวนค้นหาที่ยังมากเกินไปโดยไม่มีประโยชน์ตามที่กล่าวไว้แล้ว

$L_2$ -ใช้สำหรับจำกัดจำนวนจุดต่ำสุดท้องถิ่นที่ใช้ในการค้นหา ในกรณีที่  $L_1$  คำนวณให้จุดการค้นหาจุดต่ำสุดท้องถิ่นมากเกินไป คำนวณด้วยสมการ (2.14)

$$L_2 = \begin{cases} 0 & \text{if } D_{MIN} \leq 4 \\ 16D_{MIN} - 64 & \text{if } 4 < D_{MIN} \leq \frac{N_{MAX} + 64}{16} \\ N_{MAX} & \text{if } D_{MIN} > \frac{N_{MAX} + 64}{16} \end{cases} \quad (2.14)$$

โดยที่  $D_{MIN}$  คือค่า MAD ของจุดต่ำสุดในขณะนั้น จะเห็นว่ายิ่ง  $D_{MIN}$  มีค่าน้อยลง จำนวนจุดค้นหาที่ต้องใช้ก็น้อยลงด้วย หาก  $D_{MIN}$  น้อยกว่า 4 ก็ไม่จำเป็นต้องทำการค้นหาอีกต่อไป

$L_3$ - $L_3$  เป็นการใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์จากบล็อกรอบข้าง เพื่อจำกัดไม่ให้ใช้จำนวนจุดค้นหามากเกินไป ค่า  $L_3$  นี้จะได้มาจากการค้นหาในบล็อกก่อนหน้า ซึ่งจะคงที่ตลอดการค้นหาในบล็อกนั้น ๆ สมมติค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

$N_m$  คือจำนวนจุดการค้นหาเฉลี่ยต่อบล็อก

$N$  คือจำนวนจุดการค้นหาของบล็อกก่อนหน้า

$N^+$  คือจำนวนจุดการค้นหาที่ได้จากประมาณของบล็อกที่กำลังจะค้นหา

ในบล็อกแรกสุด การค้นหาจะกำหนดให้  $L_3 = N_m$  และ  $N^+ = 0$  สำหรับบล็อกต่อ ๆ ไป เราจะเปลี่ยนค่า  $N^+$  เป็น  $N^+ + N_m - N$  และเปลี่ยนค่า  $L_3$  เป็น  $L_3 = N_m + N^+$

ผลจากการทดสอบในบทความ [Pickering, M. R. ; Arnold, J. F. and Frater, M. R.,1997 ]

พบว่า ค่าอัตราส่วนสัญญาณยดต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) ต่ำลง 0.25 dB จากค่า PSNR ที่ได้จากอัลกอริทึมแบบการค้นหาทั้งหมด โดยจำนวนจุดค้นหาเฉลี่ยต่อบล็อกลดลงเหลือประมาณร้อยละ 10 และค่า PSNR ที่ได้มีค่ามากกว่า TSS และ OTS

### 2.5.3 การลดจำนวนจุดสีและการสุ่มตัวอย่างของสนามการเคลื่อนที่

(Pixel-decimation & Motion-field Subsampling)

เทคนิคการลดจำนวนจุดสีจะเป็นเทคนิคที่ช่วยลดจำนวนปฏิบัติการโดยที่ไม่ได้ลดจำนวนจุดค้นหา การลดจำนวนจุดสีที่ใช้ในการนำมาคำนวณค่าความพี้ยนต่อบล็อก ทำให้สามารถลดจำนวนปฏิบัติการได้มากและกระทบต่อความแม่นยำของระเบียบวิธีการค้นหาน้อย ในขณะที่ลดจำนวนจุดสีลงโดยสุ่มจุดสีมาใช้ในการคำนวณให้ผลที่ต่างกันน้อยมากกับการคำนวณด้วยจุดสีทั้งหมด เพราะความใกล้เคียงของจุดสีในบล็อกเดียวกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานและพัฒนาอย่างมากโดยพัฒนาควบคู่กับระเบียบวิธีการค้นหา

เทคนิคการสุ่มตัวอย่างของสนามการเคลื่อนที่ เป็นเทคนิคที่ลดการคำนวณหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ด้วยการหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกในเฟรมไม่ครบทุกบล็อก หลังจากนั้นจึงหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่เหลือจากข้อมูลเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่มีอยู่ เช่น หากค่าเฉลี่ยจากค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียงเพื่อนำมาใช้เป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกนั้น จะสังเกตว่าถึงแม้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้จากการเฉลี่ยจะไม่ถูกต้องนักแต่ก็ช่วยลดการคำนวณเทคนิคจึงพัฒนาในการหาการสุ่มตัวอย่างและหาค่าเวกเตอร์ของบล็อกที่ไม่ได้ผ่านระเบียบวิธีการค้นหาให้ได้ความแม่นยำสูง

ส่วนมากจะเห็นว่าจะมีการใช้เทคนิคสองเทคนิคนี้คู่กัน เพราะไม่มีการซ้ำซ้อนกันของข้อมูลที่นำมาคำนวณ เนื่องจากจะใช้เทคนิคการลดจำนวนจุดสีกับบล็อกที่หาเวกเตอร์การเคลื่อนที่โดยผ่านระเบียบวิธีการค้นหา และจะใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างของสนามการเคลื่อนที่กับภาพรวมโดยจะใช้เพื่อหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกที่ไม่ได้หาโดยระเบียบวิธีการค้นหา จึงเป็นเทคนิคที่ส่วนใหญ่แล้วจะพัฒนาไปคู่กัน

เทคนิคการลดจำนวนจุดสีในปัจจุบันมีแนวทางวิจัย คือการวิจัยรูปแบบการเลือกจุดสีที่นำมาใช้งานเพื่อให้ได้จำนวนจุดสีน้อยที่สุดที่สามารถแทนบล็อกทั้งบล็อกได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างของสนามการเคลื่อนที่มีแนวทางวิจัย คือ การวิจัยรูปแบบการเลือกบล็อกที่นำมาใช้งานเพื่อให้ได้จำนวนบล็อกน้อยที่สุดที่สามารถแทนการใช้บล็อกทุกบล็อกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการวิจัยหาวิธีการประมาณบล็อกจากบล็อกข้างเคียงเพื่อให้ได้ความถูกต้องสูง

สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมในบทความเหล่านี้ Liu,B. and Zaccarin,A. (1993) Liu, B. and Zaccarin, A.(1992) Yue,Y. ; Jian, Z.;Wang Y.L.,Li F.T. and Ge C.H. (1998)

## 2.5.4 เทคนิคอื่นๆ (others)

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีอีกหลายเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งเทคนิคเหล่านี้จะช่วยลดจำนวนการคำนวณลงได้ หรือช่วยให้การประมาณค่าแม่นยำมากขึ้น

### 2.5.4.1. Hybrid Adaptive Search Algorithm (HASA) [Cheung, C.K. and Po,L.M.,1996)

#### หลักการ

ใช้สมมติฐาน UESA คือ ยิ่งจุดต่ำสุดรวมอยู่ห่างจากจุด (0,0) มากเท่าไร ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ (0,0) ก็จะมีค่ามากขึ้นเท่านั้น การค้นหาแบบไฮบริดปรับตัวได้ (Hybrid Adaptive Search) เป็นอัลกอริทึมที่รวมการค้นหาแบบ 4SS และ CBOSA เพื่อหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังเป็นอัลกอริทึมชนิดเน้นจุดศูนย์กลาง (Center Biased) อีกด้วย ทั้งนี้ 4SS เป็น อัลกอริทึมการค้นหาที่เหมาะสมกับภาพที่การเคลื่อนที่มาก ส่วน CBOSA มีคุณสมบัติช่วยลดจำนวนจุดการค้นหาได้ เมื่อภาพมีการเคลื่อนที่น้อย

#### ขั้นตอน

1. ทำนายขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่โดยแบ่งชนิดของบล็อกออกเป็น 3 ชนิดคือ ไม่มีการเคลื่อนไหว (Stationary Block), การเคลื่อนที่น้อย (Small Motion Block) และ การเคลื่อนที่มาก (Large Motion Block) โดยใช้ BDM ที่ (0,0) เป็นตัวแบ่งชนิดดังนี้
  - ชนิดบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว เมื่อ BDM ที่ (0,0)  $\leq T_1$
  - ชนิดบล็อกที่มีการเคลื่อนที่น้อย เมื่อ  $T_1 < \text{BDM ที่ (0,0)} \leq T_2$
  - ชนิดบล็อกที่มีการเคลื่อนที่มาก เมื่อ BDM ที่ (0,0)  $> T_2$

โดยที่  $T_1$  และ  $T_2$  คือค่า ค่าจุดเปลี่ยน

2. สำหรับบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวกำหนดให้ เวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็น (0,0)
3. สำหรับบล็อกที่มีการเคลื่อนที่น้อย ให้ใช้ CBOSA หาเวกเตอร์การเคลื่อนที่
4. สำหรับบล็อกที่มีการเคลื่อนที่มาก ให้ใช้ 4SS หาเวกเตอร์การเคลื่อนที่

จะเห็นได้ว่าถ้าเป็นบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว จะใช้ จุดค้นหา เพียง 1 จุด ถ้าเป็น บล็อกที่มีการเคลื่อนที่น้อย จะใช้ จุดการค้นหา 9 ถึง 10 จุด ส่วนค่าที่มากที่สุด (ของ 4SS) คือ 27 จุด ( ดังนั้นจำนวน จุดการค้นหา ต่อบล็อกจะมีตั้งแต่ 1 ถึง 27 จุด) และยิ่งภาพเคลื่อนที่น้อยเท่าใด จำนวน จุดการค้นหาต่อบล็อกจะมีค่าลดลงมากเท่านั้น

### การปรับค่าจุดเปลี่ยน

ค่าจุดเปลี่ยนนี้จะถูกปรับ ทุกครั้งหลังจากการประมาณการเคลื่อนที่เสร็จแต่ละบล็อก ใน ครั้งแรกค่า จุดเปลี่ยนนี้ จะ ได้มาจากการนำภาพทดสอบหลาย ๆ ภาพมาเก็บเป็นสถิติ โดย

- $T_1$  คือค่า BDM ที่จุด (0,0) เฉลี่ยทุกบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ได้เป็นแบบไม่มีการเคลื่อนไหว
- $T_2$  คือค่า BDM ที่จุด (0,0) เฉลี่ยทุกบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ได้เป็นแบบ Small Motion
- จากการทดลอง ได้ค่า  $T_1$  เท่ากับ 3.61 และ  $T_2$  เท่ากับ 10.15

การปรับค่าจุดเปลี่ยนทำได้โดย

1. หาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของทุกบล็อกโดย การค้นหาแบบไฮบริดแบบปรับตัวได้
2. เก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ คือ จำนวนบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว ( $N_1$ ), ผลรวมของ BDM ที่จุด (0,0) ของบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว ( $E_1$ ), จำนวนบล็อกที่มีการเคลื่อนที่น้อย ( $N_2$ ), และผลรวมของ BDM ที่จุด (0,0) ของบล็อกเป็นชนิดที่มีการเคลื่อนที่น้อย ( $E_2$ )
3. ให้ค่าจุดเปลี่ยนใหม่คือ  $T_1 = E_1/N_1$  และ  $T_2 = E_2/N_2$

นอกจาก HASA แล้ว ยังมีอัลกอริทึมที่มีลักษณะคล้ายกันคือ Hybrid Search Algorithm (HSA) (C.K. Cheung and L.M Po,1998 ) โดยใช้ BBGDS สำหรับบล็อกที่เคลื่อนที่ช้า และ 4 Step Search สำหรับบล็อกที่เคลื่อนที่เร็ว นอกจากนี้ยังมีการปรับค่าจุดเปลี่ยนแตกต่างกัน โดยใช้ขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ และ BDM(0,0) ในการปรับค่า

### ผลจากการทดสอบในบทความ [Cheung, C.K. and Po,L.M.,1996]

พบว่าจำนวนจุดการค้นหาลดลงมาก คือเฉลี่ยแล้วประมาณ 4-6 จุดเท่านั้น และมากขึ้นหากภาพมีการเคลื่อนที่มากขึ้น เช่น Miss America เฉลี่ยแล้วมี อัตราการเพิ่มความเร็ว (Speed Up Ratio) หลาย 10 เท่า ส่วน MSE นั้นจะมากกว่า 3SS พอสมควร แต่ก็น้อยกว่า CBOSA

#### 4.5.4.2. One Bit Transform [Natarajan, B. Bhaskaran, and V. Konstantinides, K, 1997]

วิธีนี้จะแปลงจุดสีซึ่งมีขนาด 8 บิต (เฉพาะค่าความสว่าง 256 ระดับ) เป็น 1 บิต ( 2 ระดับ) แล้วใช้อัลกอริทึมทั่วไปในการหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ข้อดีคือไม่จำเป็นต้องคำนวณค่า MAD แต่ใช้การ Exclusive-Or แต่ละจุดสีช่วยลดความยุ่งยากในการสร้างฮาร์ดแวร์ได้

ปัญหาที่ก็จะแปลง 1 Bit Transform อย่างไรให้ได้ผลดี Natarajan, B. Bhaskaran, และ V. Konstantinides, K (1997) เสนอว่า ให้ภาพ 8 บิต ผ่าน วงจรกรองผ่านแถบ (Bandpass Filter) เนื่องจากการจะให้ได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ดีนั้น ควรจะเน้นการเปรียบเทียบบล็อกจากขอบของวัตถุในภาพ การผ่าน วงจรกรองผ่านสูง (High Pass Filter) จะช่วยเน้นขอบ ทำให้การประมาณดีขึ้น แต่อาจจะแสดงผลของสัญญาณรบกวน จึงต้องจำกัดช่วงของวงจรกรองให้เป็น วงจรกรองผ่าน

ผลที่ได้ในการใช้งานจริง (ตามที่ Natarajan, B. Bhaskaran, และ V. Konstantinides, K (1997) เสนอ โดย ค้นหาแบบใช้การค้นหาทั้งหมด) คือ ได้ PSNR ต่ำกว่า การค้นหาทั้งหมด (FS) หรือ LOGS ที่ใช้ 8 บิต ธรรมดาไม่มาก แต่ช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณได้มาก

#### 1.5.4.3 Genetic Algorithm ใน Motion Estimation [Dixon, E.L.; Markhauser, C.P.; Rao, K.R., 1997]

ช่วยให้ได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ใกล้เคียงจุดต่ำสุดรวมมากยิ่งขึ้น ไม่ได้อ้างอิงกับสมมติฐาน UESA ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่อง จุดต่ำสุดท้องถิ่น

ใช้การ Cross Over, Mutation, และ Evolution เพื่อให้ได้เวกเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (The Fittest Survive)

#### ขั้นตอน

1. หาค่าความเหมาะสมของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ แล้วเรียงลำดับเวกเตอร์การเคลื่อนที่แต่ละตัวตามค่าความเหมาะสมนี้
2. แบ่งเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่เรียงลำดับแล้วเป็น 3 ประเภทคือ สูง (High), กลาง (Medium) และต่ำ (Low) ตามค่าความเพี้ยนต่อบล็อก
3. สำหรับประเภท High Class ให้ทำการ Cross Over แล้วนำผลที่ได้ (Offspring) ไปทดแทนพวก Low Class เพื่อตัดพวก Low Class ทั้งหมดทิ้งไป
4. ทำการ Mutation แบบสุ่มกับประชากรที่เหลือ



5. ดูว่าประชากรที่มีใช้ได้ดีพอหรือไม่ ถ้าได้ผลไม่ดีก็ให้ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 1 อีกรอบ แต่ถ้าผลออกมาดีพอ ก็ใช้ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุด
- ผลของอัลกอริทึมนี้ก็คือ ช่วยให้การประมาณการเคลื่อนที่แม่นยำมากขึ้นสามารถหาอ่านรายละเอียดได้จากบทความ ของ Li S.; Xu W.P.; Wang H.; Zheng N. N. (1999) Dixon, E.; Markhauser, C.P.; Rao, K.R. (1996; 1999) Chow H. K., K.; Liou, M.L. (1993) Lin C.H.; Wu J.L. (1993 ; 1996)

#### 2.5.4.4. Successive Elimination Algorithm (SEA) [Li, W. and Salari, F. , 1995)

มีความถูกต้องเทียบเท่าแบบการค้นหาทั้งหมด แต่ต้องการจำนวนการคำนวณน้อยกว่า อัลกอริทึมนี้จะสร้างอสมการขึ้นมาเพื่อตัดลดจำนวนบล็อกที่ไม่มีโอกาสที่จะเป็นต่ำสุดออก ทำให้ไม่ต้องคำนวณค่า MAD ของจำนวนบล็อกทั้งหมด

ที่มาของอสมการที่ใช้ในการตัดลดจำนวน

จากทฤษฎีของอสมการทำให้ได้อสมการที่(2.15)

$$\|f(i, j, t) - f(i - x, j - y, t - 1)\| \leq |f(i, j, t) - f(i - x, j - y, t - 1)| \quad (2.15)$$

โดยที่ค่า  $f(i, j, t)$  คือค่าความสว่างของจุด pixel ที่ตำแหน่ง  $(i, j)$  ในเวลา  $t$  สมการนี้มีความหมายเท่ากับ 2 อสมการนี้คือ

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |f(i, j, t) - f(i - x, j - y, t - 1)| \leq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |f(i, j, t) - f(i - x, j - y, t - 1)| \quad (2.16)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |f(i - x, j - y, t - 1) - f(i, j, t)| \leq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |f(i, j, t) - f(i - x, j - y, t - 1)| \quad (2.17)$$

จะเห็นว่า  $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |f(i, j, t) - f(i - x, j - y, t - 1)|$  ก็คือ MAD ที่ เวกเตอร์การเคลื่อนที่เท่ากับ  $(x, y)$  และ กำหนดให้  $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |f(i, j, t)|$  คือ Sum Norm (R) หรือผลรวมของค่าสมบูรณ์ของค่าความสว่างของทุก ๆ จุดสีใน 1 บล็อก



$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |f(i-x, j-y, t-1)|$  คือ Sum Norm ของ Candidate Block ที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  จะเรียกค่านี้ว่า  $M(x,y)$  ใช้ค่า  $R$  และ  $M(x,y)$  แทนลงไปในสมการที่ 2.16 และ 2.17 จะได้ว่า

$$R - M(x,y) \leq MAD(x,y) \quad (2.18)$$

$$M(x,y) - R \leq MAD(x,y) \quad (2.19)$$

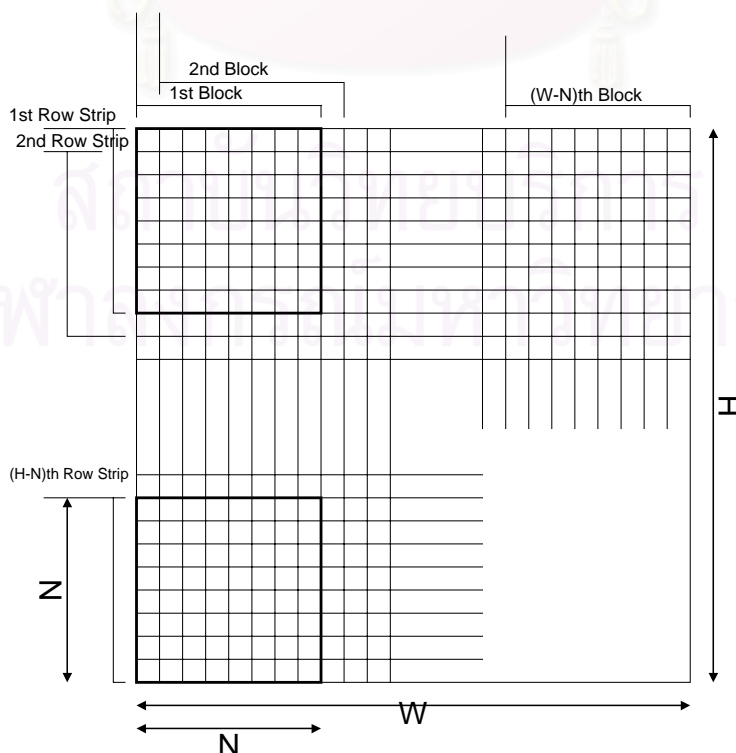
เนื่องจากมีความต้องการค่า  $MAD$  ที่มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้น  $MAD(x,y)$  ต้องมีค่าน้อยกว่า  $MAD(m,n)$  เมื่อ  $MAD(m,n)$  คือ  $MAD$  ของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นของการ ค้นหา ทำให้ได้สมการ

$$R - MAD(m, n) \leq M(x, y) \leq R + MAD(m, n) \quad (2.20)$$

นั่นคือเมื่อคำนวณ Sum Norm ของบล็อกที่ต้องการประมาณและกำหนดค่า  $MAD$  เริ่มต้นจาก เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ณ จุด  $(m, n)$  ซึ่งกำหนดแล้ว จะสามารถกำหนดขอบเขตของ  $M(x,y)$  หรือ Sum Norm ของ บล็อกที่เลือกมา ที่มี ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็น  $(x, y)$  ได้ คือถ้า บล็อกที่เลือกมาบล็อกใดมี Sum Norm ไม่อยู่ในขอบเขตของสมการ (2.20) ก็ให้ตัดบล็อกนั้นออกไปได้เลย โดยไม่ต้องคำนวณหา  $MAD$  ซึ่งต้องใช้การคำนวณมาก

ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการคำนวณหาค่า Sum Norm และการเลือก เวกเตอร์การเคลื่อนที่ ณ จุด  $(m, n)$  เพื่อให้ได้ค่า  $MAD(m, n)$  มีค่าต่ำ ๆ ทำให้ตัด บล็อกที่เลือกมาออกไปได้จำนวนมาก

#### 2.5.4.4.1 วิธีลดการคำนวณ Sum Norm ของ บล็อกที่เลือกมา



รูปที่ 2.23 การแบ่ง Column เพื่อลดการคำนวณ Sum Norm

การลดการคำนวณ Sum Norm ทำได้โดยวิธีการนำข้อมูลกลับมาใช้ใหม่ (Data Reuse) โดยคำนวณค่า Sum Norm ของจุดสี่เป็น Column ตามรูปที่ 2.23 ดังนี้

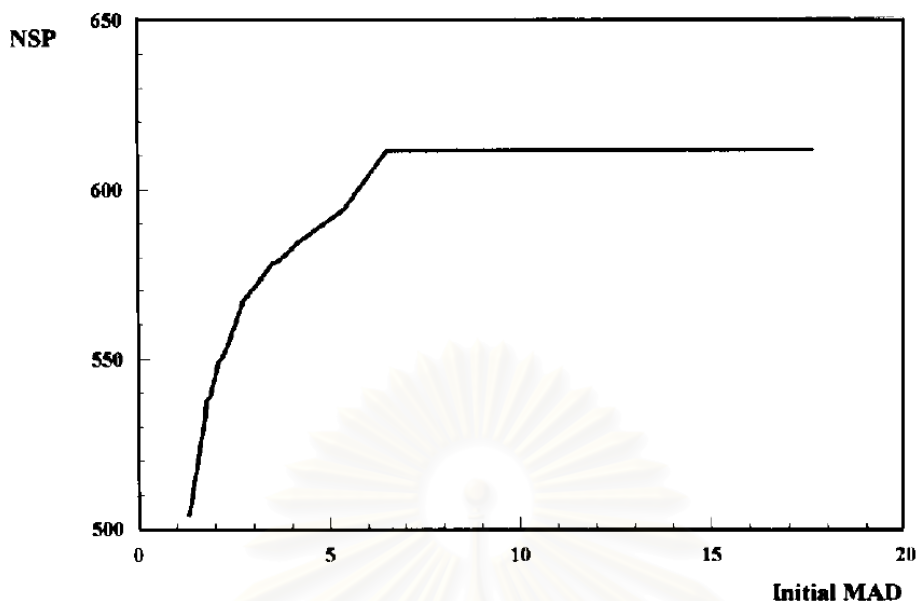
1.1 สมมติว่า จุดสี่ ทั้งหมดใน หน้าต่างการค้นหา ถูกจัดเป็น แถบแถว (Row Strip) ทั้งหมด H แถบ N แถบแถว ดังรูปที่ 2.23 ซึ่งใน 1 แถบแถว จะมี N แถว (Row) จากนั้นจะคำนวณค่า Sum Norm ของแต่ละ คอลัมน์ (Column) ทั้งหมดใน แถบแถว ซึ่งแต่ละ คอลัมน์ นี้จะมีความสูงเท่ากับ N เรียก Sum Norm ของ คอลัมน์ ใน แถบแถว ที่ 1 แต่คอลัมน์ เป็น  $C_{11}, C_{12}, C_{13}, \dots, C_{1W}$  และเรียก Sum Norm ของ แถบแถว ใน คอลัมน์ ที่ 2 เป็น  $C_{21}, C_{22}, C_{23}, \dots, C_{2W}$  ในขั้นแรกให้คำนวณหา  $C_{11}, C_{12}, C_{13}, \dots, C_{1W}$  ซึ่งต้องใช้จำนวนการคำนวณทั้งหมด  $W(N-1)$  ครั้ง สำหรับ  $C_{21}$  สามารถคำนวณได้จาก  $C_{21} = C_{11} - f(1,1) + f(N+1,1)$  และ  $C_{22} = C_{12} - f(1,2) + f(N+1,2)$  การคำนวณ Column ของ Row Strip ต่อ ๆ มานี้ต้องการการคำนวณ  $2W$  ครั้ง ต่อ 1 Row Strip ดังนั้นจำนวนการคำนวณทั้งหมดจะเป็น  $W(N-1) + 2W(H-N-1)$  ครั้ง

1.2 จะหา Sum Norm ของแต่ละบล็อกที่เลือกมาได้โดยใช้ผลรวมของค่าคอลัมน์ต่าง ๆ ที่ได้คำนวณไว้แล้ว เช่น สมมติต้องการหา Sum Norm ของ บล็อกที่เลือกมาเป็นบล็อกแรก (บนซ้าย) ซึ่งแทนด้วย  $SN_{11}$  โดย

$$SN_{11} = C_{11} + C_{12} + C_{13} + \dots + C_{1N} \quad (2.21)$$

$$SN_{12} = SN_{11} - C_{11} + C_{1N+1} \quad (2.22)$$

เมื่อคำนวณ Sum Norm ของบล็อกที่เลือกมาทั้งหมดใน 1 แถบแถว ต้องใช้การคำนวณทั้งหมด  $(N-1) + 2(W-N-1)$  ดังนั้นการคำนวณ Sum Norm ของ บล็อกที่เลือกมา ทั้งหมดใน H แถบ N แถบแถว คือ  $(H-N)[(N-1) + 2(W-N-1)]$  รวมการคำนวณทั้ง 2 ขั้นตอนจะได้การคำนวณทั้งหมดคือ  $4WH - (H-N)(N-3) - 3W(N+1)$  ครั้ง



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Initial MAD กับจำนวนการคำนวณที่ต้องใช้

เราอาจใช้หลักการของสหสัมพันธ์ทางเวลา (Temporal) หรือ ทางปริภูมิ (Spatial Correlation) ของข้อมูลสนามการเคลื่อนที่ (Motion Field) ในการเลือกค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เริ่มต้น  $(m,n)$  เช่นการใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกเดียวกันในเฟรมก่อนหน้า หรืออาจใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง ค่า  $MAD(m,n)$  นี้ อาจเปลี่ยนแปลงให้ลดลงได้ระหว่างการค้นหา คือเมื่อคำนวณ  $MAD(p,q)$  (เมื่อ  $(p,q)$  คือเวกเตอร์การเคลื่อนที่อื่น ๆ) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า  $MAD(m,n)$  ได้ เราก็นำค่า  $MAD(p,q)$  นี้ไปแทน  $MAD(m,n)$  เพื่อให้สามารถตัดจุดการค้นหาลงได้มากขึ้น

ภาพที่มีการเคลื่อนที่ซับซ้อนทำให้ค่า Initial  $MAD(m,n)$  ที่ได้ อาจมีค่ามากเกินไปจะไปทำให้อัลกอริทึมนี้ทำงานได้ไม่ดี ความสัมพันธ์ของ Initial  $MAD(m,n)$  และจำนวนจุดการค้นหาแสดงไว้ในรูปที่ 2.24

ผลจากการทดสอบในบทความ [Li, W. and Salari, F., 1995)

จะได้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่เป็นค่าต่ำสุดรวมจริง เทียบเท่ากับแบบการค้นหาทั้งหมด (FS) แต่จำนวนการคำนวณจะลดลงมาก คือเหลือประมาณร้อยละ 15-20 อย่างไรก็ตามจะต้องใช้โอเวอร์เฮด (Overhead) ในการคำนวณมากขึ้น

## 2.6 การวัดสมรรถนะของระเบียบวิธี (Performance Measurement)

การวัดสมรรถนะของระเบียบวิธีจะมีอยู่สองลักษณะคือ ค่าคุณภาพของภาพ และความซับซ้อนในการคำนวณ ดังจะอธิบายโดยละเอียด ดังนี้

### 2.6.1 การวัดคุณภาพของภาพ (Quality Measurement)

ในการวัดคุณภาพของภาพนั้น คุณภาพของภาพที่สร้างจากระบวนการชดเชยการเคลื่อนที่อย่างง่ายจากค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้มาจากวิธีอัลกอริทึมการค้นหานั้นๆ จะวัดว่า ภาพที่ได้จากการชดเชยเคลื่อนที่นั้นมีความใกล้เคียงกับภาพที่ต้องการจะประมาณมากเพียงใด ค่าที่ใช้วัดคุณภาพที่นิยมกันทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) และค่าอัตราส่วนสัญญาณยอดต่อสัญญาณรบกวน (Peak Signal to Noise Ratio)

#### 2.6.1.1 ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error)

เป็นค่าที่วัดคุณภาพในแบบ Objective ซึ่งคำนวณหาได้ตามสมการ

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (X(m,n) - X^R(m,n))^2 \quad (2.23)$$

โดยที่

$M \times N$  เป็น ขนาดของเฟรม

MSE เป็นค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย

$X(m,n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพปัจจุบันที่จุด  $(m,n)$

$X^R(m,n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพอ้างอิงที่จุด  $(m,n)$

#### 2.6.1.2 ค่าอัตราส่วนสัญญาณยอดต่อสัญญาณรบกวน (Peak Signal to Noise Ratio)

เป็นค่าที่วัดคุณภาพแบบ objective ที่พยายามให้ความหมายเชิง subjective [Rao,K.R. and Hwang, J.J.,1996] ทั้งนี้จะคำนวณหาได้ตามสมการ

$$PSNR = 10 \log \left( \frac{R^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (X(m,n) - X^R(m,n))^2} \right) \quad (2.24)$$

โดยที่

$R=2^L$  เมื่อ  $L$  แทนจำนวนบิตและ  $R$  แทนค่ายอดสูงสุดที่เป็นไปได้ของสัญญาณ

$M \times N$  เป็น ขนาดของเฟรม

PSNR เป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณยดต่อสัญญาณรบกวน

$X(m,n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพปัจจุบันที่จุด  $(m, n)$

$X^R(m,n)$  เป็นค่าความเข้มของภาพอ้างอิงที่จุด  $(m, n)$

## 2.6.2 การวัดความซับซ้อนในการคำนวณของระเบียบวิธี (Computational Complexity Measurement)

การวัดความซับซ้อนของระเบียบวิธีสามารถทำได้หลายแบบ เช่น เวลาในการคำนวณ หรือ จำนวนปฏิบัติการในการคำนวณ แต่สำหรับระเบียบวิธีที่ใช้แบบเข้าคู่บล็อก ส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบกับ จำนวนจุดค้นหาที่ใช้ เนื่องจาก หนึ่งจุดค้นหาใช้การคำนวณเท่ากันในทุกครั้ง และในแต่ละครั้งก็จะใช้ปฏิบัติการในการคำนวณสูง ดังนั้น ค่าจำนวนจุดค้นหาจึงมีนัยสำคัญอย่างมากต่อความซับซ้อนในการคำนวณ ดังนั้นค่าที่นำไปใช้วัดความซับซ้อนมี ดังนี้ ค่าจำนวนจุดค้นหาเฉลี่ยในชุดภาพเคลื่อนที่แต่ละชุด, จำนวนจุดค้นหาน้อยสุดที่เป็นไปได้ (Best Case), จำนวนจุดค้นหามากสุดที่เป็นไปได้ (Worst Case) นอกจากนี้จะใช้จำนวนจุดค้นหาแล้ว บางครั้งก็ใช้จำนวนปฏิบัติการจริงๆ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงวิธีเปรียบเทียบบล็อกในหนึ่งจุดค้นหา เช่นวิธีการลดจำนวนจุดสี่ วิธี Successive Elimination Algorithm เป็นต้น สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ จะใช้จำนวนจุดค้นหาเป็นตัวบ่งบอกความซับซ้อนของระเบียบวิธี เนื่องจากว่าเทคนิคการค้นหาที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบ ใช้จำนวนปฏิบัติการเท่ากันที่ทุกจุดการค้นหาแต่ต่างกันที่รูปแบบการค้นหา ทั้งนี้จะละเลยปฏิบัติการที่ไม่ถูกใช้สำหรับจุดการค้นหาแต่ละจุด เนื่องจากว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ ปฏิบัติการที่ใช้ต่อจุดการค้นหา

### บทที่ 3

#### การค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง

#### Hybrid Adaptive Search Algorithm Using Adaptive Search Center ( HASA using ASC )

จากที่กล่าวในบทที่แล้วว่ามีเทคนิคการค้นหาอย่างรวดเร็วหลายชนิด เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางที่นำเสนอขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีแนวโน้มในการลดความซับซ้อนในการคำนวณ โดยที่ยังรักษาความถูกต้องในการประมาณอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เทคนิคที่นำเสนอนี้เป็นการรวม 3 แนวความคิด เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณการเคลื่อนที่ ได้แก่ เทคนิคไฮบริดแบบปรับตัวได้, เทคนิคการประมาณขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ และการคาดคะเนเวกเตอร์การเคลื่อนที่จากค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในอดีต

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอสมมติฐานพื้นฐานของเทคนิค กระบวนการค้นหาของเทคนิคนี้ ผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อใช้เทคนิคนี้กับการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ ในวิทยานิพนธ์

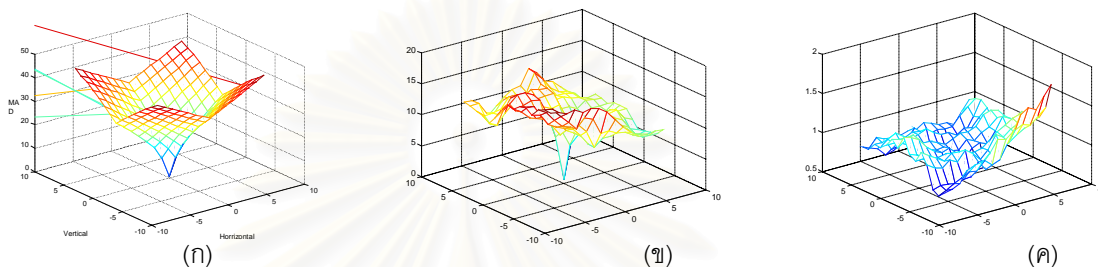
#### 3.1 สมมติฐานพื้นฐาน ( The Basic Assumptions )

แนวความคิด ของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ได้มาจากการตั้งสมมติฐานพื้นฐาน สำหรับคุณสมบัติของชุดภาพเคลื่อนที่ตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

1. ความเพี้ยนต่อบล็อก (Block Distortion Measurement : BDM) ของจุด(0,0) สามารถแยกแยะบล็อกเคลื่อนที่ และบล็อกไม่เคลื่อนที่ได้
  2. ค่าความเพี้ยนต่อบล็อก (Block Distortion Measurement : BDM) ของจุดศูนย์กลางการค้นหาใหม่ ( จุดที่ถูกคาดคะเน และมีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่) สามารถแยกแยะว่าเป็นบล็อกที่ตรงกับค่าจุดศูนย์กลางการค้นหา หรือ ค่าอื่นได้
  3. พื้นผิวความเพี้ยนสามารถจำแนกได้สามประเภทใหญ่ [Pickering, M. R. ; Arnold, J. F. and Frater, M. R.,1997 ] ดังนี้
- 3.1 แบบ Unimodal Error Surface ดังรูป 2.21 (ก) ซึ่งแบบนี้การค้นหา ไม่จำเป็นต้องใช้ จุดการค้นหาจำนวนมาก ก็สามารถที่จะได้ จุดต่ำสุดรวมได้ จะเห็นได้จากอัลกอริทึมอย่างรวดเร็ว (Fast Search Algorithm ) ที่ใช้สมมติฐาน UESA จะใช้จำนวนจุดค้นหาไม่มาก



- 3.2 พื้นผิวความผิดพลาด ดังในรูป 2.21(ข) แบบที่มีจุดต่ำสุดท้องถิ่นหลายจุด หากจะหาจุดต่ำสุดรวมให้ได้จำเป็นต้องใช้ จุดค้นหาจำนวนมาก เพราะถ้าใช้น้อยเกินไปจะทำให้ การค้นหาติดกับในจุดต่ำสุดท้องถิ่น
- 3.3 พื้นผิวความผิดพลาด ดังในรูป 2.21 (ค) มีจุดต่ำสุดจำนวนมาก และแต่ละจุดไม่ได้มีค่าความเพี้ยน ที่ต่างกันมากนัก พื้นผิวความผิดพลาด แบบนี้แม้จะเพิ่มจำนวนจุดการค้นหาก็ไม่ทำให้การค้นหาดีขึ้นมากนัก เพราะแต่ละจุดมีความใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 2.21 พื้นผิวนิตต่างๆ

4. ค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุดสองจุดที่น่าจะเป็นจุดต่ำสุด สามารถบ่งบอกขนาดของช่วงขนาดของการค้นหาได้
5. การค้นหาแบบเชิงฉากไปแอสจูดศูนย์กลาง เหมาะสำหรับการค้นหาที่ขนาดของเวกเตอร์ไม่เกิน  $3 \times 3$  โดยให้ผลตอบที่แม่นยำและไม่ใช้จำนวนจุดการค้นหา (Po, L.M.; Cheung, C.K. 1996)
6. การค้นหาแบบรูปเพชร เหมาะสำหรับการค้นหาอย่างกว้าง สามารถค้นหาได้ละเอียดแต่ใช้จำนวนจุดการค้นหาสูง (Zhu, S.; Ma, K., 1997)
7. เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกปัจจุบัน มีค่าใกล้เคียงกับ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง (บล็อกก่อนหน้า)

### 3.2 แนวคิดจากสมมติฐาน

จากสมมติฐานพื้นฐานในหัวข้อ 3.1 เป็นที่มาของ เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ดังต่อไปนี้

1. จากสมมติฐานข้อที่ 1 ในกรณีที่ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด(0,0) สามารถแยกแยะ บล็อกเคลื่อนที่ และบล็อกไม่เคลื่อนที่ได้จริง พิจารณาเพียงจุด(0,0) จุดแรกเพียงจุดเดียว ก็สามารถที่

จะให้คำตอบออกมาได้สองแบบคือ ตอบค่าเวกเตอร์  $(0,0)$  เป็นค่าเวกเตอร์ของบล็อกนี้ หรือค้นหาต่อไป

2. จากสมมติฐานพื้นฐาน ข้อที่ 7 ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง (บล็อกก่อนหน้านี้) มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าเวกเตอร์ของบล็อกปัจจุบัน ดังนั้น จึงเลือกเพื่อให้เป็นจุดศูนย์กลางการค้นหาก็คือจุดหนึ่ง นอกจากจุด  $(0,0)$
3. จากสมมติฐานพื้นฐาน ข้อที่ 2 การพิจารณา จุดศูนย์กลางใหม่นี้ สามารถให้คำตอบออกมาได้สองแบบ คือ ตอบค่าจุดศูนย์กลางใหม่เป็นค่าเวกเตอร์ของบล็อก หรือค้นหาต่อไป
4. จากสมมติฐาน ข้อที่ 3 ทำให้เกิดสมมติฐาน ข้อที่ 4 ซึ่งทำให้เกิดแนวความคิดที่ว่าจุด  $(0,0)$  และจุดศูนย์กลางใหม่ ซึ่งเป็นจุดสองจุดที่น่าจะเป็นจุดต่ำสุด ค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุดสองจุดนี้ สามารถบ่งบอกขนาดของช่วงกว้างของการค้นหาได้
5. จากสมมติฐานข้อที่ 4 ข้อที่ 5 และ ข้อที่ 6 ในกรณีที่ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุดสองจุดนี้ สามารถบ่งบอกขนาดช่วงกว้างของการค้นหาได้ การใช้เทคนิคการค้นหาที่เหมาะสมต่อช่วงกว้างการค้นหาเป็นการใช้จุดการค้นหาได้คุ้มค่ากว่าการค้นหาแบบกระจาย การค้นหาแบบเชิงฉากไปแอสจุดศูนย์กลางถูกเลือกมาเพื่อค้นหาสำหรับช่วงการขนาดการเคลื่อนที่น้อย เนื่องจากคุณสมบัติที่ไปแอสจุดศูนย์กลางการค้นหา และการค้นหารูปเพชร ถูกเลือกมาเพื่อค้นหาสำหรับช่วงการขนาดที่อาจจะไม่ใช่การเคลื่อนที่น้อย ด้วยคุณสมบัติที่มีการค้นหาแบบกระจาย

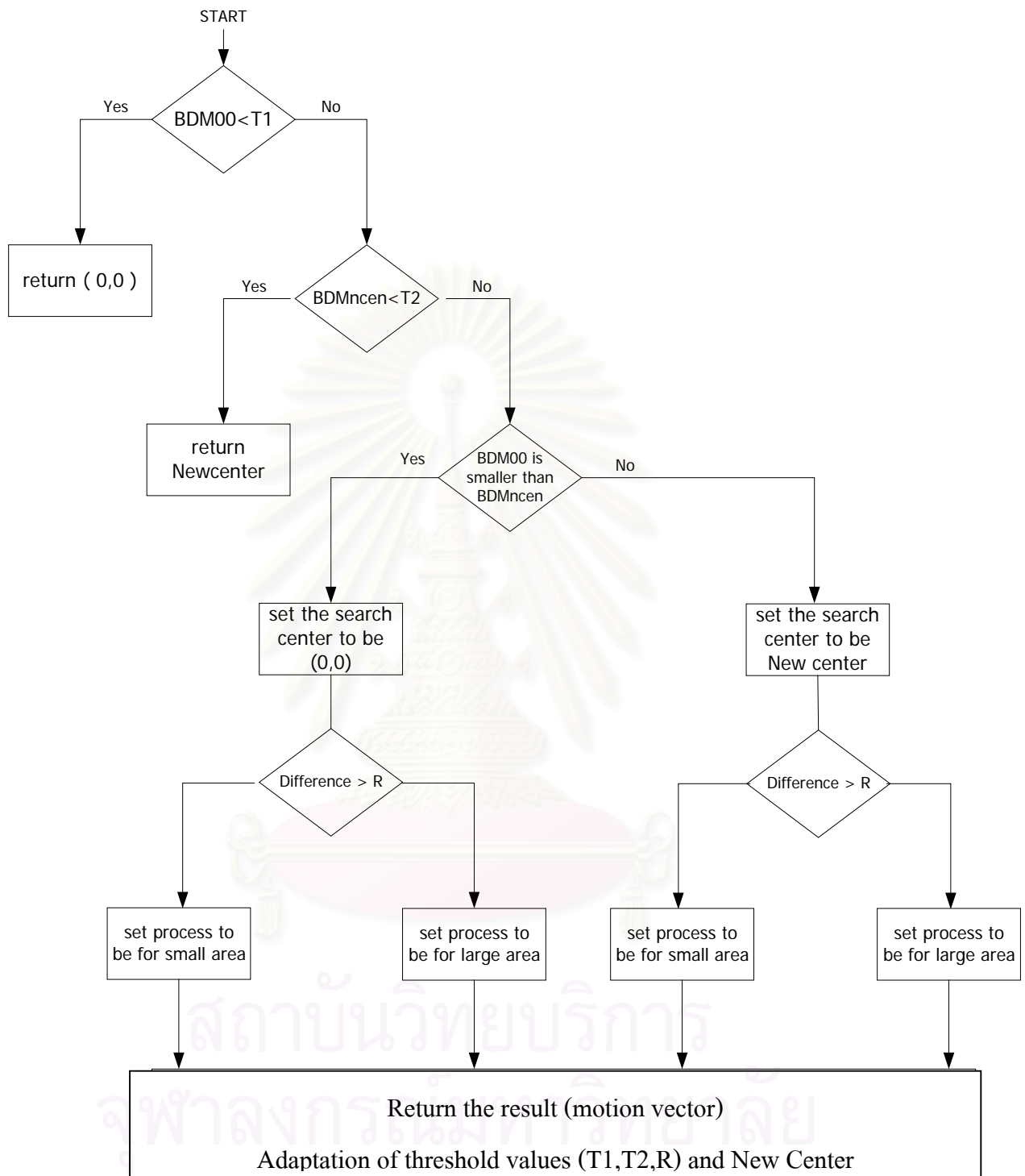
### 3.3 ขั้นตอนการค้นหา

ขั้นตอนของการค้นหาโดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

**ขั้นที่ 1 :** คำนวณค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด  $(0,0)$  (Block Distortion Measurement : BDM00) จากนั้นเปรียบเทียบ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด  $(0,0)$  กับค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 ( $T1$ )

ในกรณีที่ความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด  $(0,0)$  น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 ( $BDM00 \leq T1$ ) ให้ส่งกลับค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  เป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อก และหยุดค้นหา

ในกรณีอื่นๆให้ค้นหาต่อไปยังขั้นที่ 2



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้  
แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง

**ขั้นที่ 2 :** คำนวณค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุดศูนย์กลางใหม่ (New Center Block Distortion Measurement : BDMncen) จากนั้นเปรียบเทียบ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุดศูนย์กลางใหม่ กับค่าจุดเปลี่ยนที่ 2 ( T2)

ในกรณีที่ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุดศูนย์กลางใหม่น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าจุดเปลี่ยนที่ 2 ( $BDMncen \leq T2$ ) ให้ส่งกลับค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางใหม่เป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อก และหยุดค้นหา

ในกรณีอื่นๆให้ ค้นหาต่อไปยังขั้นที่ 3

**ขั้นที่ 3 :** พิจารณาเปรียบเทียบค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด (0,0) (BDM00) และของจุดศูนย์กลางใหม่ (BDMncen) หลังจากนั้นจุดที่ให้ค่า ความเพี้ยนต่อบล็อกต่ำกว่า จะถูกพิจารณาถูกเลือกให้เป็นจุดศูนย์กลางการค้นหาในขั้นต่อไป

**ขั้นที่ 4 :** คำนวณค่าสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด(0,0) และของจุดศูนย์กลางใหม่ BDMdiff หลังจากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบ BDMdiff กับค่าจุดเปลี่ยน R

ในกรณีที่ค่าสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเพี้ยนต่อบล็อกน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าจุดเปลี่ยน R ( $BDMdiff \leq R$ ) ให้ใช้การค้นหาแบบเชิงสุ่มในการค้นหา

ในกรณีอื่นๆให้ใช้การค้นหาแบบเชิงจากไบแอสจุดศูนย์กลางในการค้นหา

**ขั้นที่ 5 :** ปรับค่า จุดเปลี่ยนที่ 1, จุดเปลี่ยนที่ 2, ค่าจุดเปลี่ยน R , และค่าจุดศูนย์กลางใหม่

### 3.4 การปรับค่า (Adaptation)

การปรับค่าของค่าต่างๆ ได้มาจากสมมติฐานพื้นฐานที่กล่าวมาแล้ว

#### การปรับค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 (T1)

เนื่องจากจุดเปลี่ยนที่ 1 (T1) ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด(0,0) เพื่อพิจารณาว่าจะส่งค่ากลับเป็นจุด (0,0) หรือไม่ การปรับค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 จึงเป็นค่าเฉลี่ยค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (0,0) ของทุกบล็อก ที่มีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็น (0,0) นอกจากนี้จะมีการถ่วงค่าเฉลี่ยของจุดเปลี่ยนด้วยค่าเริ่มต้น การกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าถ่วงที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 นี้ได้ทดลองในบทต่อไป

## การปรับค่าจุดเปลี่ยนที่ 2 (T2)

เนื่องจากจุดเปลี่ยนที่ 2 (T2) ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุดศูนย์กลางใหม่ เพื่อพิจารณาว่าจะส่งค่ากลับเป็นจุดศูนย์กลางใหม่ หรือไม่ การปรับค่าจุดเปลี่ยนที่ 2 จึงเป็นค่าเฉลี่ยค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุดศูนย์กลางใหม่ของทุกบล็อก ที่มีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็นจุดศูนย์กลางใหม่ นอกจากนี้จะมีการถ่วงค่าเฉลี่ยของจุดเปลี่ยนด้วยค่าเริ่มต้น การกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าถ่วงที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยนที่ 2 นี้ได้ทดลองในบทต่อไป

## การปรับค่าจุดเปลี่ยน R (R)

เนื่องจากจุดเปลี่ยน R (R) ใช้ในการเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด (0,0) และของจุดศูนย์กลางใหม่ (BDMdiff : difference) เพื่อพิจารณาว่าน่าจะใช้ การค้นหาสำหรับเวกเตอร์ช่วงการเคลื่อนที่มาก (การค้นหาหรูปเพชร) หรือ ช่วงการเคลื่อนที่น้อย (การค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง) การปรับค่าจุดเปลี่ยน R เป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด (0,0) และของจุดศูนย์กลางใหม่ (BDMdiff : difference) ของบล็อกทุกบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่น้อยกว่า  $3 \times 3$  และค่า นอกจากนี้จะมีการถ่วงค่าเฉลี่ยของจุดเปลี่ยนด้วยค่าเริ่มต้น การกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าถ่วงที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยนที่ R นี้ได้ทดลองในบทต่อไป

## ค่าจุดศูนย์กลางใหม่

จากสมมติฐานข้างต้นจุดศูนย์กลางใหม่จะเป็นค่าของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง (บล็อกก่อนหน้านี้) และมีค่าเริ่มต้นที่ (0,0)

## 3.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. จากกระบวนการเปรียบเทียบค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด(0,0) และ จุดศูนย์กลางใหม่กับค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ตามลำดับ (ขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 2) คาดว่าจะมีบล็อกประมาณร้อยละ 50 ของจำนวนบล็อกทั้งหมด ที่จะไม่ผ่านการเปรียบเทียบและ ถูกส่ง ไปค้นหาต่อยังขั้นตอนที่ 3 สำหรับอีกร้อยละ 50 ที่ผ่านการเปรียบเทียบ เป็นบล็อกที่ใช้จำนวนจุดการค้นหา 1 ถึง 2 จุด การค้นหาต่อบล็อก และมีค่าเพี้ยนต่อบล็อกต่ำเป็นที่น่าพอใจ (บล็อกประเภทนี้ เป็นบล็อกประเภทที่ถูกตัดสินใจให้มีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็น (0,0) หรือ ค่าจุดศูนย์กลางใหม่ และมีค่า

ความเพี้ยนต่อบล็อกน้อยกว่าค่า  $T1$  และ  $T2$ ) ดังที่กล่าวมากระบวนการนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยลดจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ในการค้นหา และในขณะที่เดียวกันยังรักษาความเพี้ยนต่อบล็อกให้ต่ำเป็นที่น่าพอใจ แม้ว่าค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้จะเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่จริง (True Motion) หรือไม่ก็ตาม

2. จากกระบวนการเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของจุด(0,0) และของจุดศูนย์กลางใหม่ กับค่าจุดเปลี่ยน  $R$  คาดว่าค่าจุดเปลี่ยน  $R$  จะสามารถแบ่งประเภทของบล็อกได้แม่นยำ เพื่อที่จะสามารถใช้ชนิดของการค้นหาให้เหมาะสมกับชนิดของบล็อก ทำให้สามารถใช้จุดการค้นหาได้เหมาะสมคุ่มค่า และไม่ใช้จุดการค้นหามากหรือน้อยเกินไป นอกจากนี้ยังได้ความถูกต้องในการประมาณที่น่าพอใจ
3. จากเทคนิคที่มีการปรับจุดศูนย์กลางการค้นหาโดยใช้ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง และเทคนิคที่ให้ความสำคัญกับจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ไม่ว่าจะเป็นจุด (0,0) หรือ จุดศูนย์กลางใหม่ คาดว่าค่าเวกเตอร์ที่ได้ แม้ว่าจะไม่ใช่ค่าการเคลื่อนที่จริง (True Motion) แต่ก็น่าจะให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกต่ำเป็นที่น่าพอใจ และค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกปัจจุบันที่ได้และค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียงจะมีความคล้ายกันสูงมาก เนื่องจากการค้นหารอบจุด (0,0) และ/หรือ จุดศูนย์กลางใหม่ ส่งผลให้การเข้ารหัสเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่สามารถใช้จำนวนบิตที่ต่ำลงดังที่แสดงไว้ในในตารางที่ 2.3 ในหัวข้อที่ 2.4.3 นอกจากนี้ยังส่งผลให้เวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้มีความเป็นกลุ่มเป็นก้อนสูงทำให้ง่ายต่อการแบ่งวัตถุ (Object Segmentaiton)



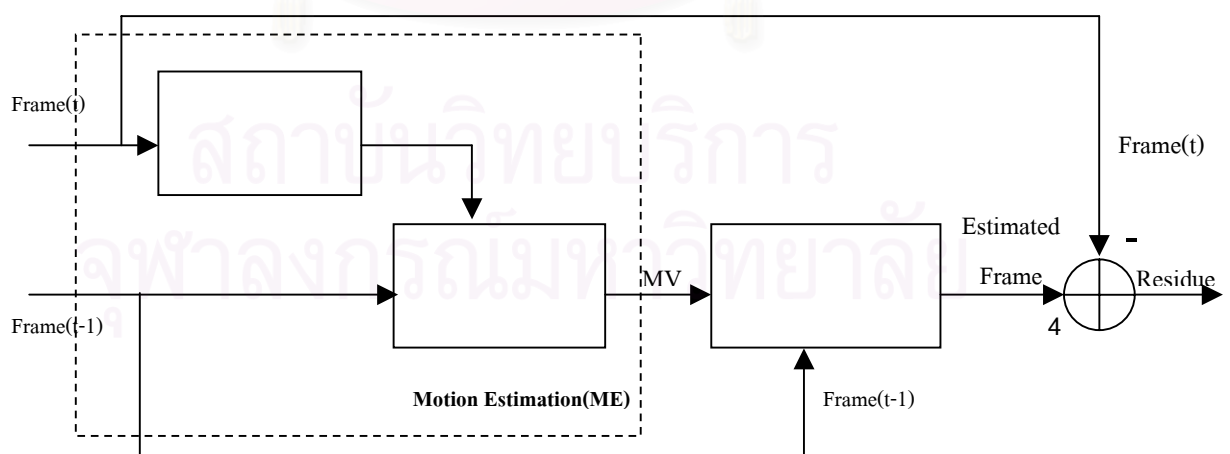
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นส่วนของการทดลองวิจัย วิเคราะห์ และวิจารณ์ เกี่ยวกับเทคนิคการค้นหาแบบเร็ว เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ ในบทนี้จะนำเสนอการทดลองวิจัย โดยจะแบ่งการทดลองทั้งหมดเป็น 4 ส่วนใหญ่ ดังนี้ ระบบที่ใช้ในการทดสอบ และชุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ การทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน การทดลองเพื่อการวิเคราะห์อัลกอริทึมเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง และส่วนสุดท้าย จะเป็นส่วนการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางที่นำเสนอ กับอัลกอริทึมการค้นหาแบบค้นหาทั้งหมด และ แบบเร็วชนิดต่างๆ ได้แก่ อัลกอริทึมการค้นหาแบบ 3 ชั้น (Three Step Search : TSS) อัลกอริทึมการค้นหาแบบลอการิทึม (Logarithmic Search : LOG) อัลกอริทึมการค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง (Center Biased Orthogonal Search : CBOS) อัลกอริทึมการค้นหาแบบรูปเพชร (Diamond Search : DS)

#### 4.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ และชุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอเพื่อทำการทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมการค้นหาแบบปรับตัวได้ในกระบวนการประมวลผลเคลื่อนที่ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบการทดสอบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

จำลองระบบการทำงานของอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อกในกระบวนการประมาณการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.1 มีขั้นตอนดังนี้

1. แบ่งเฟรมภาพปัจจุบันเป็นบล็อก
2. ทำการเข้าคู่บล็อกเปรียบเทียบเฟรมปัจจุบันและเฟรมในอดีต เพื่อทำการหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่
3. นำเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้จากขั้นที่สองมาสร้างเฟรมประมาณ
4. นำเฟรมที่ได้จากการประมาณเปรียบเทียบกับเฟรมในอดีตเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความเพี้ยนจากการประมาณ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงรายละเอียดของระบบที่ใช้ในการทดสอบ โดยระบบที่จำลองจะเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.1 และกล่าวถึงลักษณะของชุดภาพที่นำมาใช้ในการทดสอบ

#### 4.1.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ

ระบบที่ใช้ในการทดสอบมีข้อกำหนดของค่าต่างๆที่ใช้ และลักษณะการทดสอบเบื้องต้นดังที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ สำหรับรายละเอียดในการทดลองและค่าที่ต้องการวัดเป็นพิเศษจะกล่าวถึงในแต่ละหัวข้อที่จะทำการทดลองต่อไป

##### 4.1.1.1 ข้อกำหนดคุณลักษณะของสัญญาณภาพที่ใช้

สัญญาณภาพที่ใช้ในการทดสอบเป็นสัญญาณภาพตามมาตรฐาน QCIF ขนาด 144x176 จุดสี โดยเลือกใช้เฉพาะค่าความเข้มแสง (luminance value) 256 ระดับ หรือ 8 บิต ทำการทดสอบตั้งแต่เฟรมที่ 1 ถึงเฟรมที่ 40 เป็นจำนวน 39 เฟรม แต่ละเฟรมที่ใช้เปรียบเทียบถูกแบ่งเป็นบล็อกที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8x8 จุดสี เป็นจำนวนทั้งสิ้น 18x22 หรือ 396 บล็อกต่อเฟรม

##### 4.1.1.2 อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก

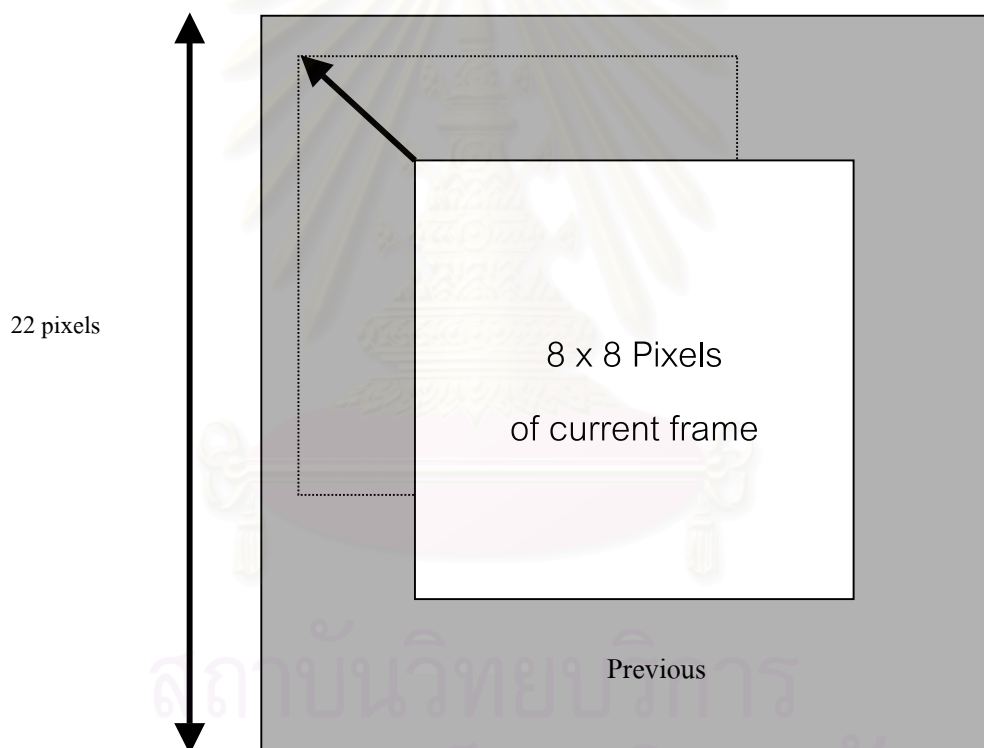
จากรูปที่ 4.1 บล็อกที่ 2 เป็นกระบวนการอัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก โดยทำการเปรียบเทียบบล็อกปัจจุบันที่ถูกแบ่งเป็นบล็อก กับเฟรมอ้างอิงในอดีต เพื่อทำการค้นหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกปัจจุบัน

ในการทดสอบสมรรถนะของอัลกอริทึมการค้นหาที่แตกต่างกันจะ เปลี่ยนอัลกอริทึมการค้นหาที่บล็อกนี้ และใช้ในการค้นหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่

#### 4.1.1.3 การวัดค่าความเพี้ยนต่อบล็อก และขนาดหน้าต่างการค้นหา

การวัดค่าความเพี้ยนต่อบล็อกของอัลกอริทึมการเข้ารหัสบล็อกที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error) และใช้ขนาดหน้าต่างการค้นหาเท่ากับ  $\pm 7$  จุดสี หรือ เท่ากับ 7 แบบเต็มจุดสี (Full pel) โดยมีจำนวนจุดการค้นหาทั้งหมด 225 จุดการค้นหา แต่ละจุดการค้นหาใช้ตัวปฏิบัติการเท่ากับ  $8 \times 8$  หรือ 64 ตัวปฏิบัติการเครื่องหมายลบ (-),  $8 \times 8$  หรือ 64 ตัวปฏิบัติการค่าสัมบูรณ์,  $8 \times 8$  หรือ 64 ตัวปฏิบัติการเครื่องหมายบวก (+), 1 ตัวปฏิบัติการเครื่องหมายหาร และ 1 ตัวปฏิบัติการเปรียบเทียบ

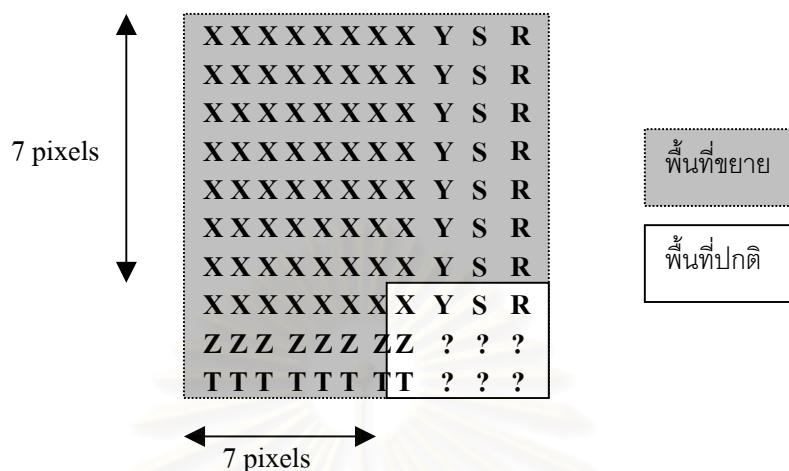
ในการทำการเข้ารหัสบล็อกพื้นที่การค้นหาในเฟรมอดีตจะมีขนาดเท่ากับ  $22 \times 22$  จุดสี โดยมีจุดศูนย์กลางเดียวกับ บล็อก ปัจจุบัน ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเข้ารหัสบล็อกระหว่างบล็อกปัจจุบันและเฟรม

สำหรับบล็อกปัจจุบันที่มีตำแหน่งอยู่ตรงขอบของเฟรมภาพ จะมีปัญหาเรื่องพื้นที่การค้นหาในเฟรมอดีต เพราะจะไม่มีข้อมูลอยู่ ตามมาตรฐานทั่วไปกำหนดให้ขยายพื้นที่ออกไปด้านละ 7 จุดสีและให้มีค่าเท่ากับจุดสีที่ขอบดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงการขยายพื้นที่ช่วงขอบบนของเฟรมภาพ

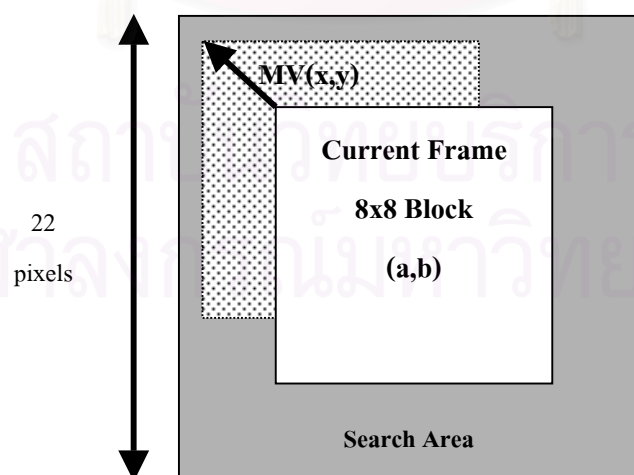
พื้นที่แรกจะเป็นพื้นที่ส่วนขอบที่ทำการขยาย และพื้นที่ขาวเป็นพื้นที่ภาพปกติ โดยค่า T Z X Y S R เป็นค่าความเข้มแสงที่จุดขอบ



รูปที่ 4.3 การขยายพื้นที่ในการค้นหาพื้นที่ส่วนขอบ

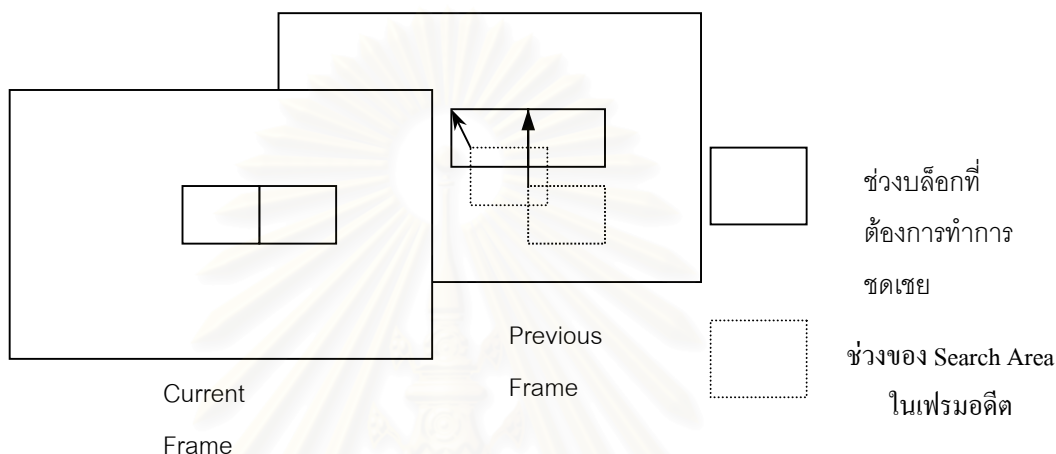
#### 4.1.1.4 การชดเชยการเคลื่อนที่(Motion Compensation)

กระบวนการชดเชยการเคลื่อนที่ที่เป็นกระบวนการที่มีหน้าที่สร้างภาพประมาณจาก เวกเตอร์การเคลื่อนที่และเฟรมในอดีต กระบวนการเคลื่อนที่มีเทคนิคมากมายเพื่อสร้างภาพให้แม่นยำที่สุดโดยใช้เทคนิคให้สอดคล้องกับการประมาณการเคลื่อนที่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การชดเชยการเคลื่อนที่แบบพื้นฐานทั่วไปดังนี้ ภาพที่ได้จากการประมาณถูกสร้างโดยเลือกพื้นที่จากเฟรมใน



รูปที่ 4.4 การเลือกบล็อกเพื่อทำการชดเชยการเคลื่อนที่

อดีตด้วยเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (x,y) ของบล็อกปัจจุบัน ดังที่แสดงในรูปที่ 4.4 พื้นที่ที่เราในสี่เหลี่ยมขอบเป็นจุดประในเฟรมอดีต หรือพื้นที่การค้นหา (Search Area) เป็นบล็อกที่เลือกมาเพื่อสร้างในเฟรมประมาณ ที่ตำแหน่งของบล็อกปัจจุบัน (a,b) ดังนั้นบล็อกที่เลือกจากเฟรมในอดีตมีความเป็นไปได้ที่จะมีพื้นที่ซ้อนกัน แต่บล็อกในเฟรมปัจจุบัน และบล็อกในเฟรมที่ถูกประมาณจะไม่มีพื้นที่ซ้อนกันดังที่แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การสร้างเฟรมประมาณ

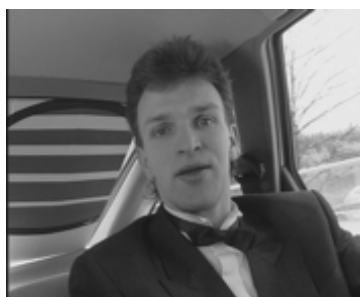
#### 4.1.1.5 การวัดสมรรถนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ค่าสัดส่วนสัญญาณยอดต่อสัญญาณรบกวน (PSNR) และค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยในการวัดสมรรถนะความแม่นยำในการประมาณ (MSE) และใช้จำนวนจุดการค้นหาในการวัดความซับซ้อนในการคำนวณ

#### 4.1.2 ชุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้ชุดลำดับภาพมาตรฐาน 10 ชุดในรูปที่ 4.6 ซึ่งได้รับการเอื้อเฟื้อจาก ดร. วุฒิพงษ์ อารีกุล เพื่อการทดสอบสมรรถนะของอัลกอริทึม ซึ่งแต่ละชุดภาพจะมีลักษณะการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน เช่น การซูม การเลื่อนกล้อง เคลื่อนไหวช้า เคลื่อนไหวเร็ว โดยชุดภาพเหล่านี้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานของ QCIF ขนาด 144x176 จุดสี ที่ 256 ระดับความเข้มแสง หรือ 8 บิตเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ในการทดลองไม่มากนัก ในหัวข้อนี้ได้วัดค่าทางสถิติของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของชุดภาพทดสอบแต่ละชุดภาพ โดยค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่นำมาใช้ในการหาค่า ได้มาจากอัลกอริทึมการค้นหาแบบทั้งหมด โดยทดสอบตั้งแต่ เฟรมที่ 1 ถึงเฟรมที่ 40

เป็นจำนวน 39 เฟรม แต่ละเฟรมที่ใช้เปรียบเทียบถูกแบ่งเป็นบล็อกที่ไม่ซ้อนทับกันขนาด 8x8 จุดสี เป็นจำนวนทั้งสิ้น 18x22 หรือ 396 บล็อกต่อเฟรม ดังนั้นแต่ละชุดลำดับภาพจะมีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เท่ากับจำนวนบล็อกที่ค้นหาทั้งหมดคือ 15,444 บล็อก



(1) Carphone (carphn)



(๑) Claire (claire)



(ค) Foreman (forema)



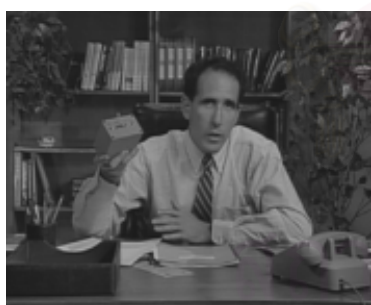
(ง) Grandmother (grandm)



(จ) Miss America (missam)



(ฉ) Mother daughter(mthrdo)



(ช) Salesman (salesm)



(ซ) Suzie (suziee)



(ฎ) Trevor (trevor)



(ฏ) Table Tennis (tablet)

รูปที่ 4.6 ชุดลำดับภาพทดสอบมาตรฐาน



### 1. Carphone (ชื่อย่อ : carphn รูปที่ 4.6 (ก))

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของวัตถุเร็ว และมีการเคลื่อนที่ของวัตถุพื้นหน้า(ตัวคน)

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : -0.0084

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0.1466

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 1.4199

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 1.951

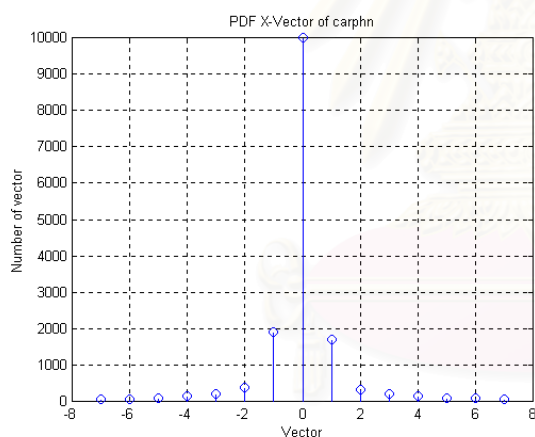
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

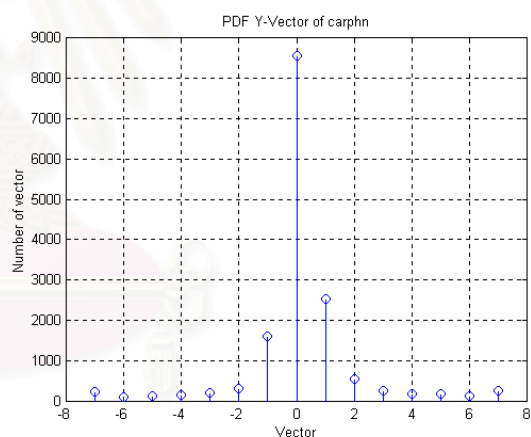
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

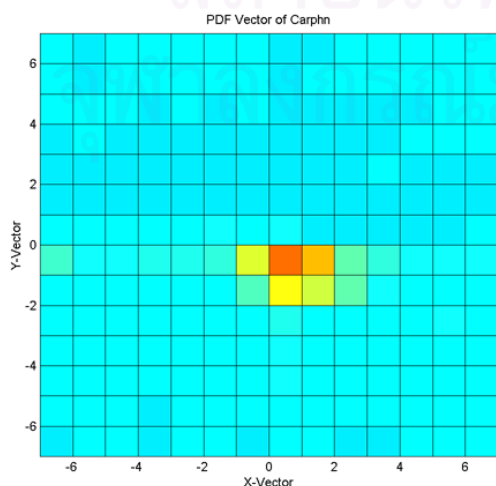
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



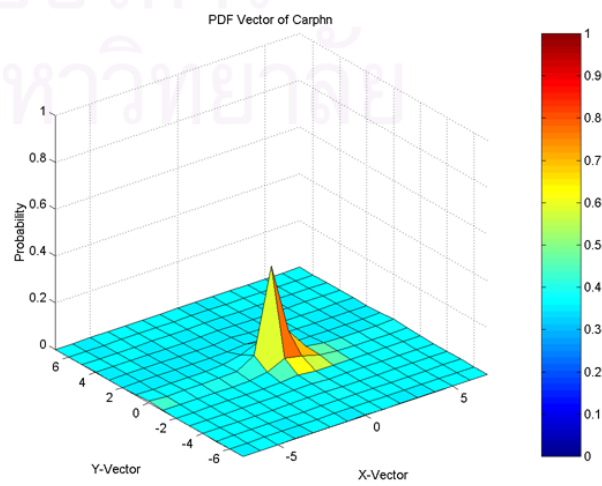
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ carphone

## 2. Claire (ชื่อย่อ : claire รูปที่ 4.6 (ข) )

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของวัตถุช้า

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0.5941

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0.3357

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 2.0248

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 1.6484

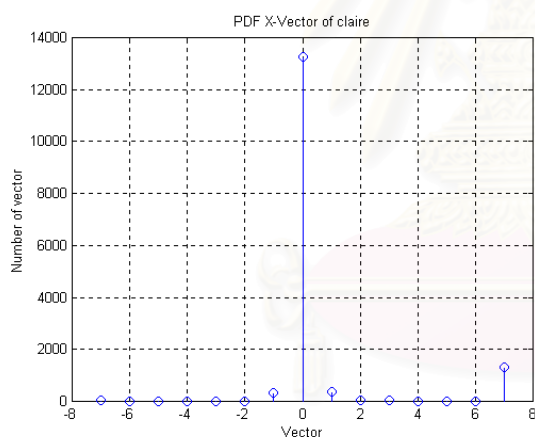
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

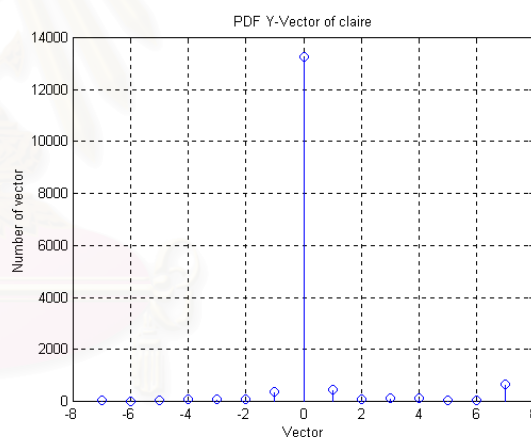
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

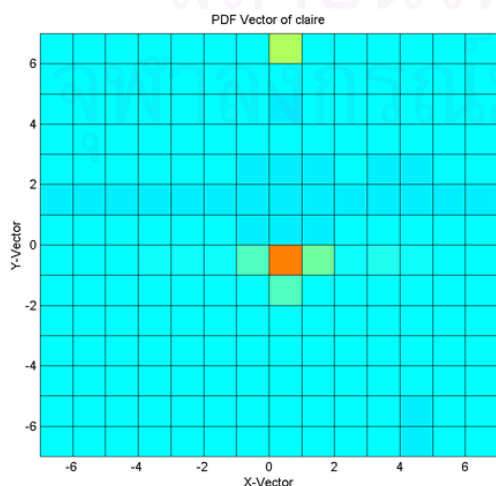
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.8 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



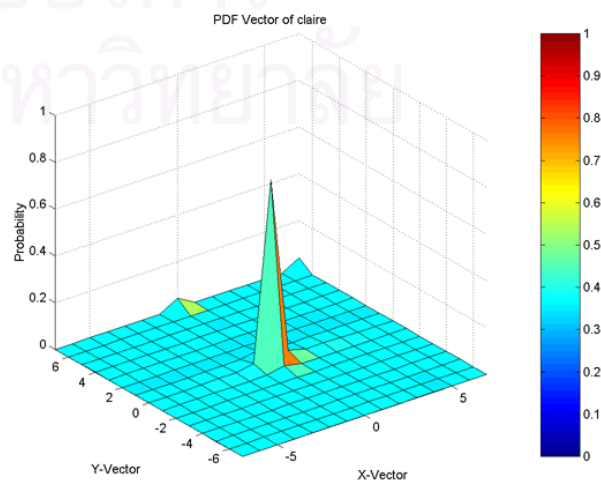
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.8 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ claire

### 3. Foreman (ชื่อย่อ : forema รูปที่ 4.6 (ค))

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของวัตถุความเร็วปานกลาง และการเลื่อนของกล้อง

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (x) : 0.0879

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (y) : 0.2382

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (x) : 1.2675

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (y) : 1.5139

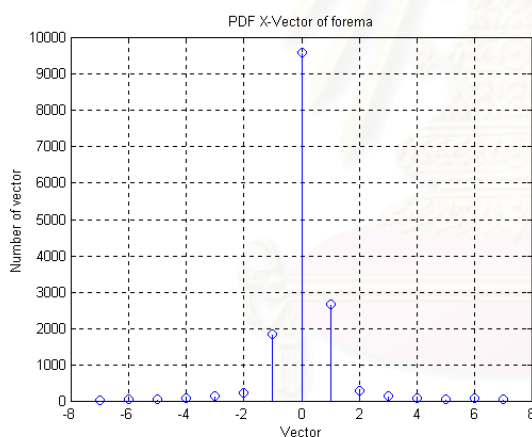
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (x) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (y) : 0

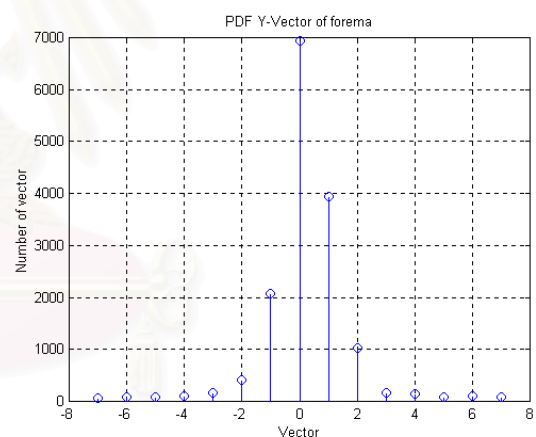
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (x) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (y) : 0

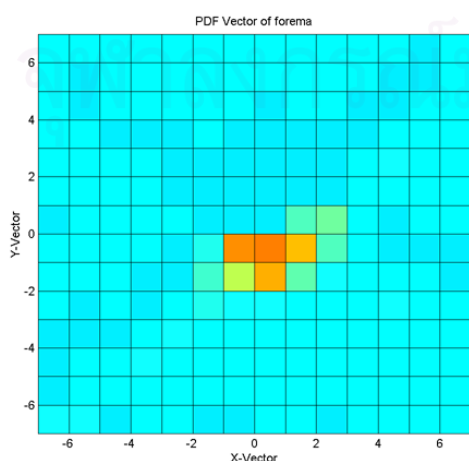
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.9 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



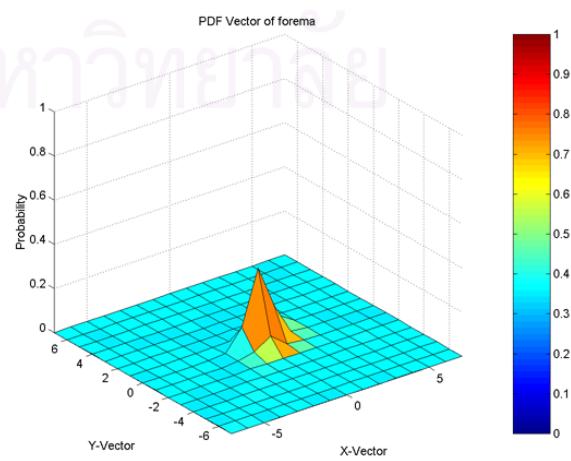
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ foreman

#### 4. Grandmother (ชื่อย่อ : grandm รูปที่ 4.6 (ง))

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของวัตถุน้อย

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : -0.0154

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : -0.0054

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 1.7299

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 1.1926

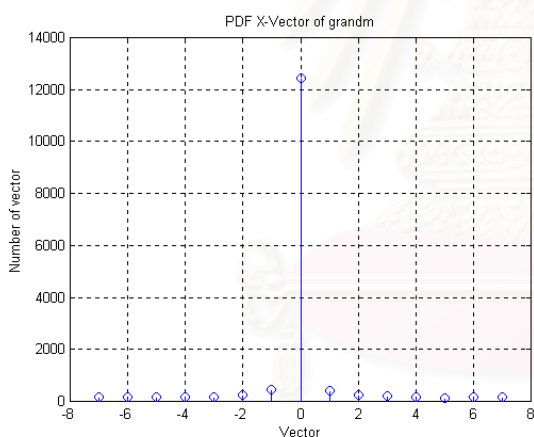
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

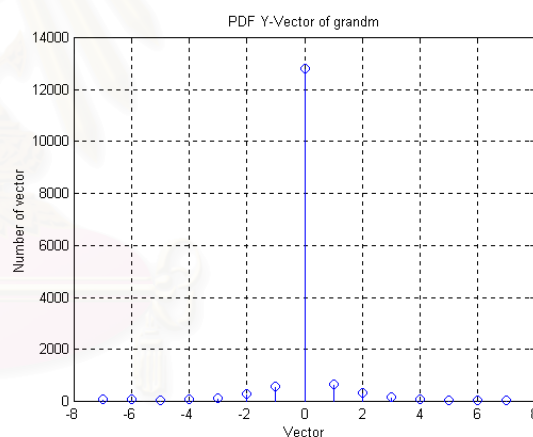
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

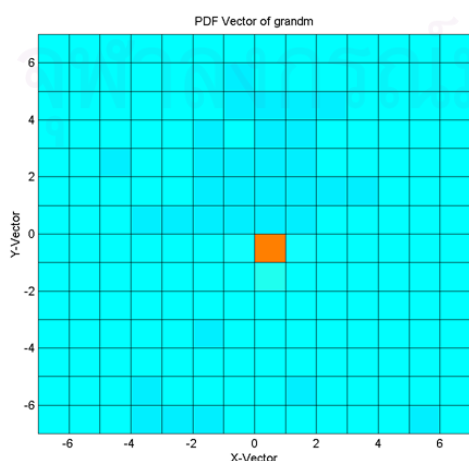
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



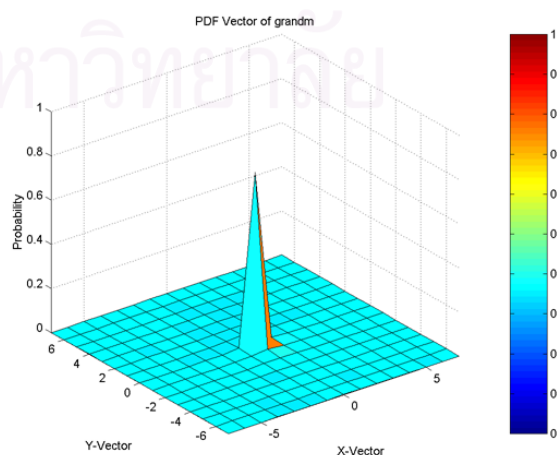
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ grandmother

### 5. Miss America (ชื่อย่อ : missam รูปที่ 4.6 (จ))

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของวัตถุปานกลาง มีการเคลื่อนไหวของหัวคน

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (  $x$  ) : 0.0253

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (  $y$  ) : 0.1203

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (  $x$  ) : 2.1079

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (  $y$  ) : 1.8218

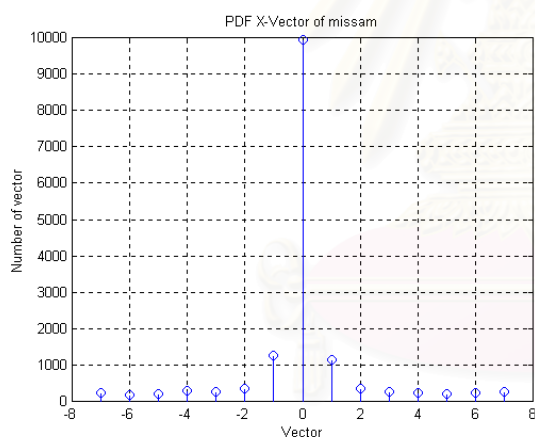
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (  $x$  ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (  $y$  ) : 0

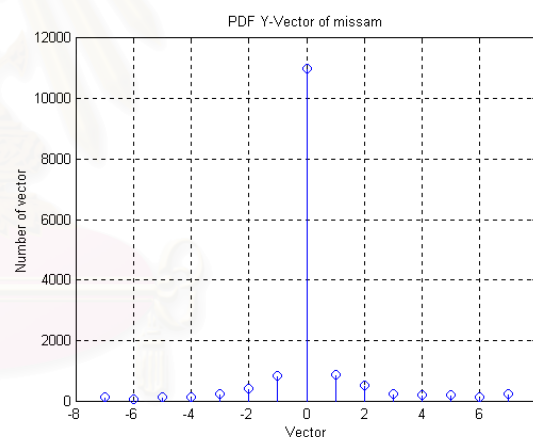
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน (  $x$  ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (  $y$  ) : 0

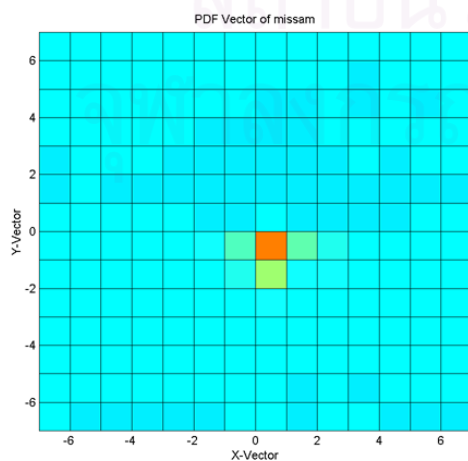
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



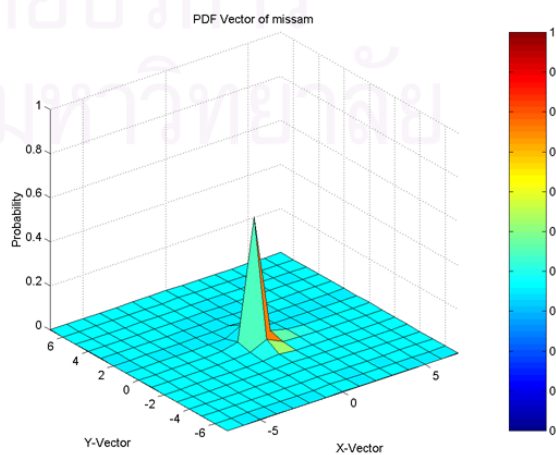
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ miss america

## 6. Mother daughter (ชื่อย่อ : mthrdo รูปที่ 4.6 (ฉ) )

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของวัตถุปานกลาง มีการเคลื่อนไหวหลายวัตถุ

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0.012

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : -0.0095

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 1.638

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 1.4207

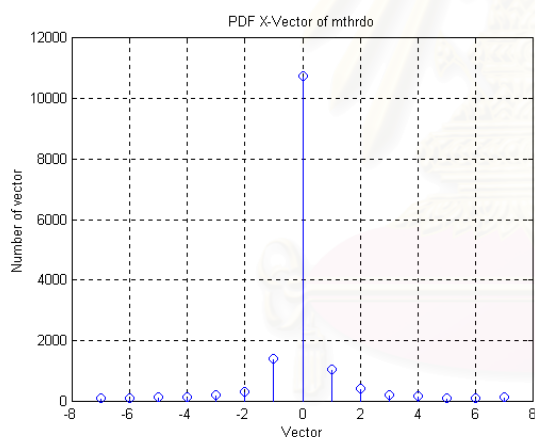
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

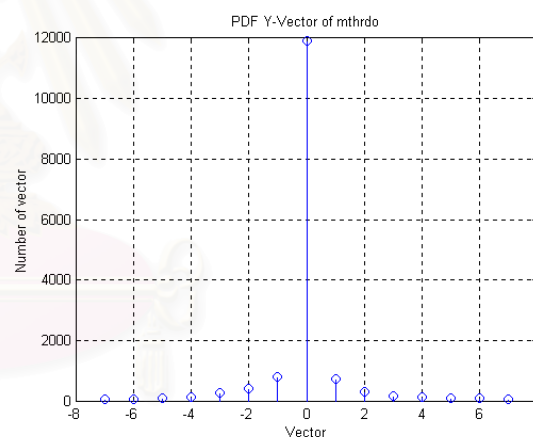
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

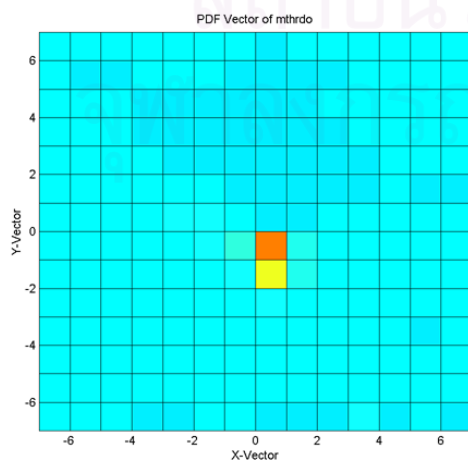
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.12 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



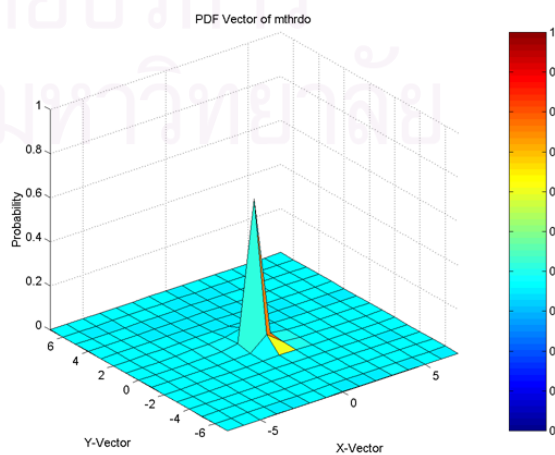
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ mother daughter



## 7. Salesman ( ชื่อย่อ : salesm รูปที่ 4.6 (ข) )

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของวัตถุปานกลาง มีการเคลื่อนไหวหลายวัตถุและซับซ้อน โดยเฉพาะเมื่อค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0.0168

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : -0.0227

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0.2853

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0.2807

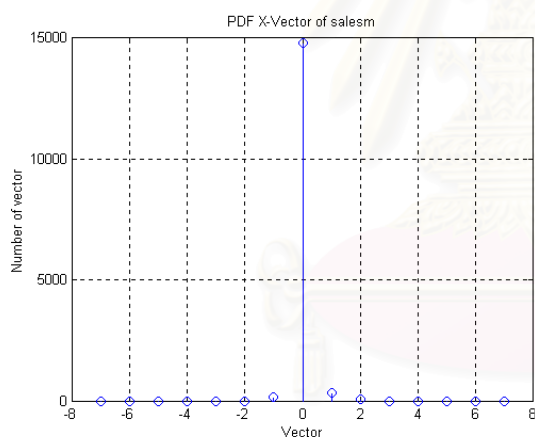
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

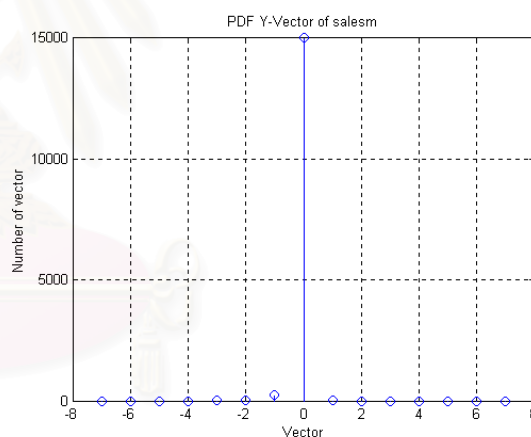
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

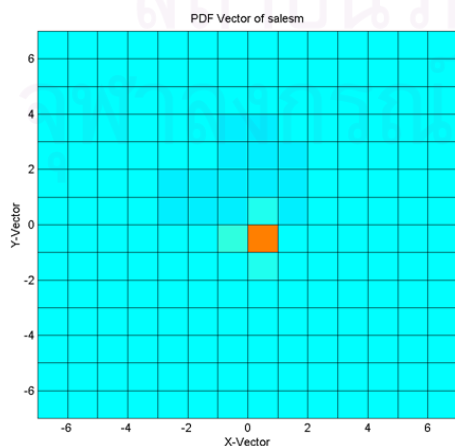
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.13 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



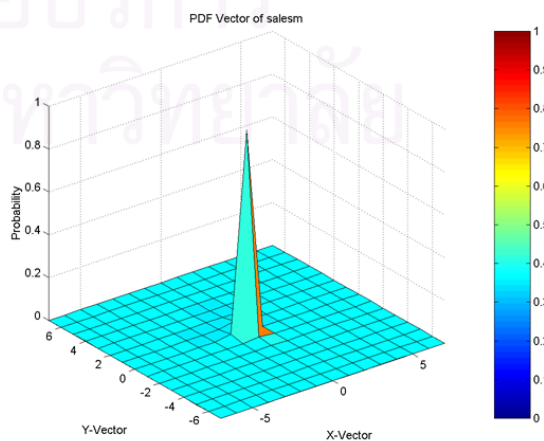
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ salesman

### 8. Suzie (ชื่อย่อ : suziee รูปที่ 4.6 (ซ))

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่แบบหัวและไหล่(head and shoulder) บางช่วง หัวเคลื่อนที่มากและเร็ว

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : -0.1049

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0.1089

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0.4412

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0.372

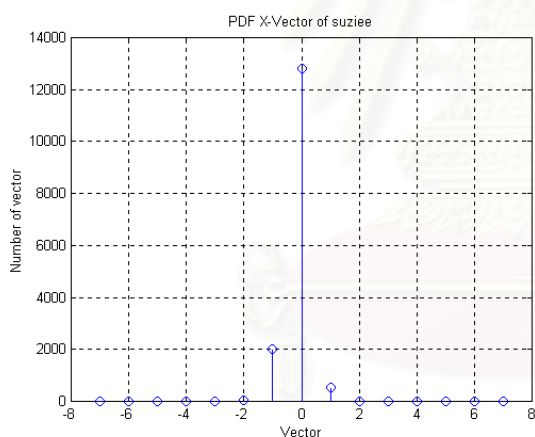
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

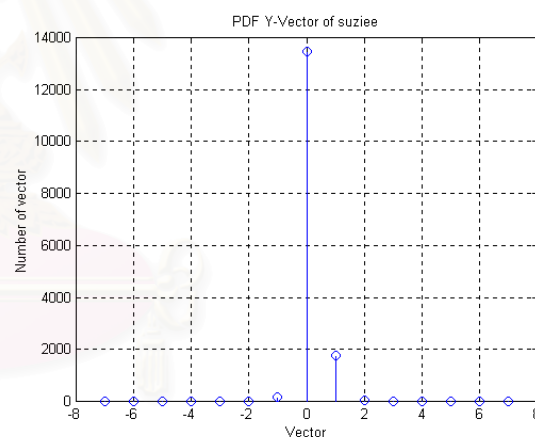
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

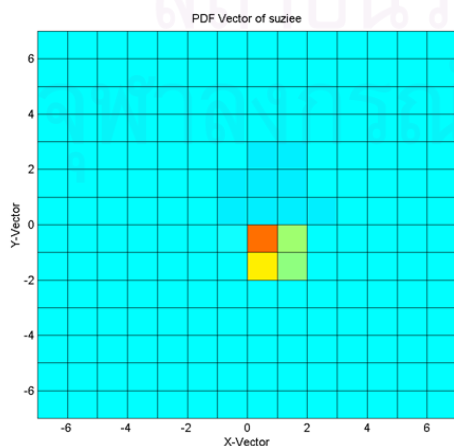
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.14 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



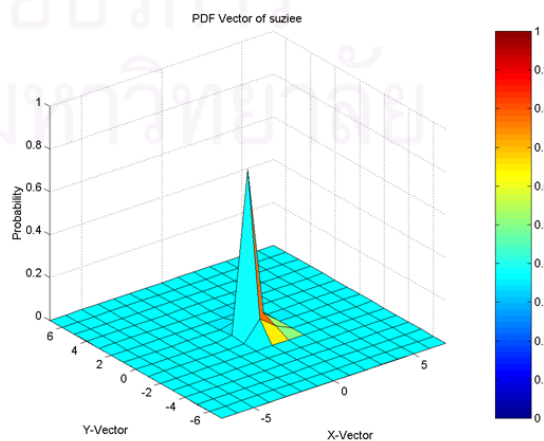
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.14 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ suzie

## 9. Trevor (ชื่อย่อ : trevor รูปที่ 4.6 (ก) )

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่หลายวัตถุ และมีการตัดภาพ

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0.3998

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0.3479

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 1.6525

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 1.5497

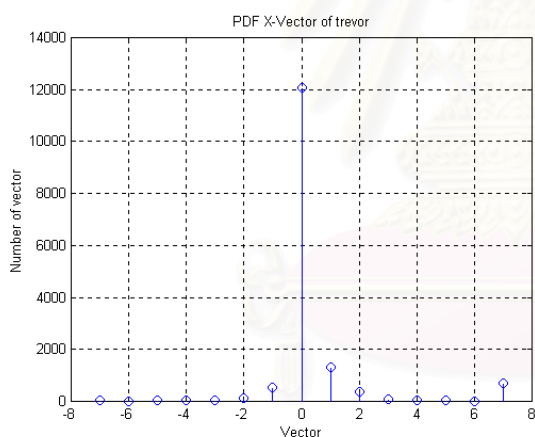
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

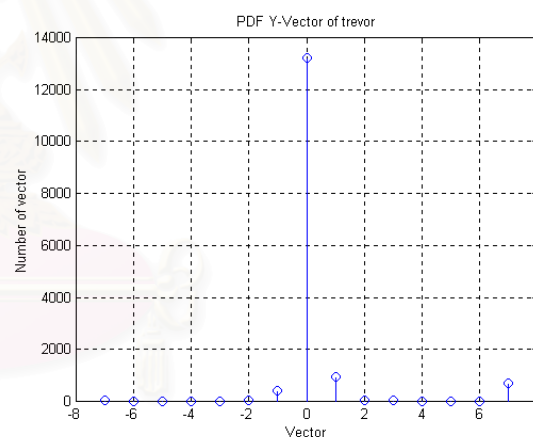
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

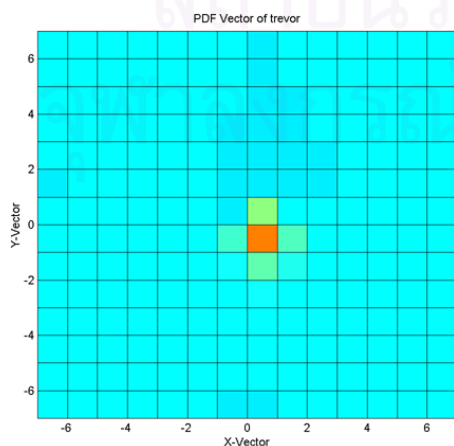
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.15 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



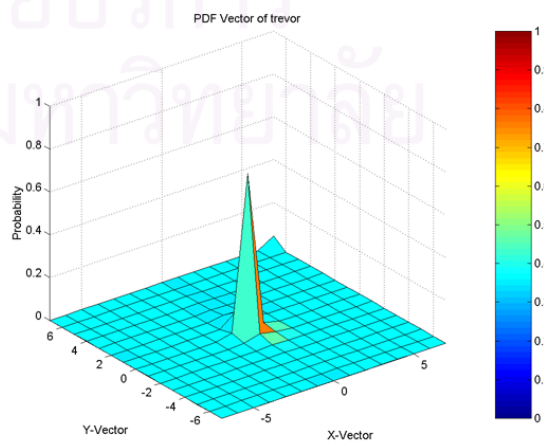
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.15 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ trevor

### 10. Table Tennis (ชื่อย่อ : tablet รูปที่ 4.6 (ก))

ลักษณะ : มีการเคลื่อนที่ของสองวัตถุ การสั้นของกล้อง ช่วงท้ายมีการซูมภาพออก

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : -0.03

ค่าเฉลี่ยของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : -0.0417

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 1.0804

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0.9562

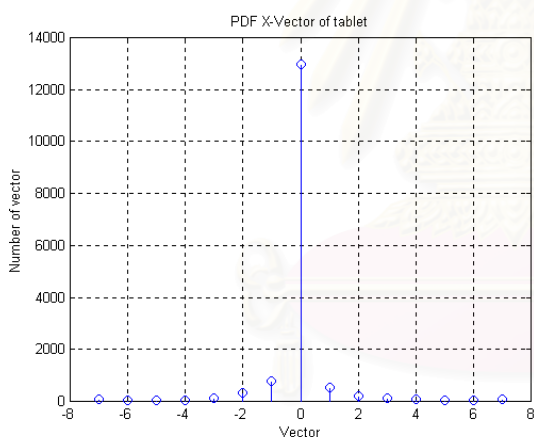
ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่ามัธยฐานของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

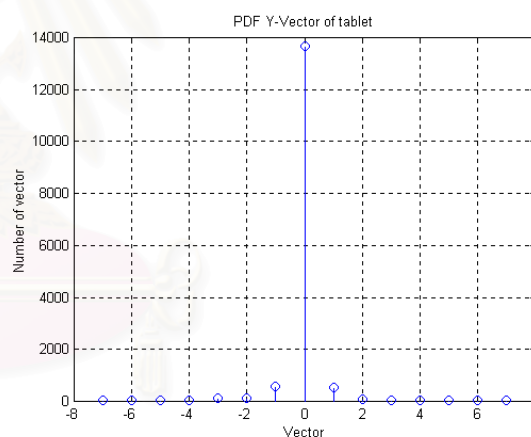
ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอน ( x ) : 0

ค่าฐานนิยมของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ( y ) : 0

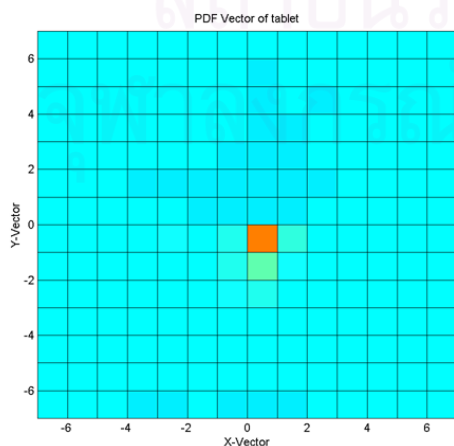
กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.16 (ก) และ (ข) ตามลำดับ และภาพสองมิติ และ สามมิติของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวกเตอร์การเคลื่อนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.16 (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยมีแถบสีบอกระดับด้วย



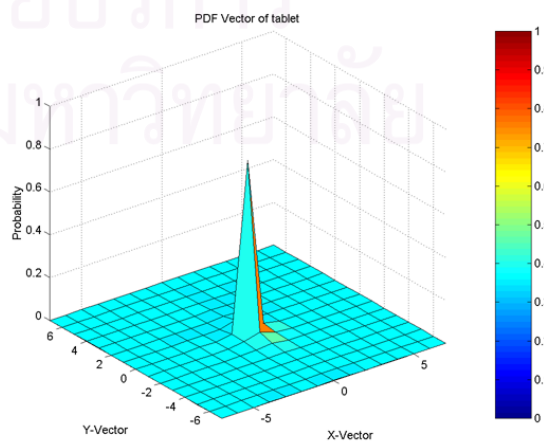
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.16 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของชุดลำดับภาพ table tennis

## 4.2 การทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน

จากบทที่ 3 เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ยืนอยู่บนสมมติฐาน 7 ข้อ สมมติฐานบางส่วนได้รับการทดสอบมาจากบทความที่ได้มีการนำเสนอ แล้ว ได้แก่ สมมติฐานที่ 3, 5 และ 6 และในหัวข้อนี้นำเสนอการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานที่เหลือที่ยังไม่ได้รับการทดสอบจากบทความอื่น ได้แก่ สมมติฐานที่ 1, 2, 4 และ 7 ซึ่งมีการทดลองเพื่อทดสอบในหัวข้อ 4.21 หัวข้อ 4.22 หัวข้อ 4.24 หัวข้อ 4.25 ตามลำดับ และในหัวข้อ 4.2.3 ทดสอบสมมติฐานที่ 1 และ 2

### 4.2.1 การทดสอบความสามารถของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ $(0,0)$ ในการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ $(0,0)$

#### วัตถุประสงค์

การทดสอบนี้มุ่งเน้นเพื่อทดสอบความสามารถในการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  ให้กับบล็อก โดยใช้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  เป็นค่าในการพิจารณา นอกจากนี้การทดสอบในหัวข้อนี้ยังมุ่งเน้นเพื่อหาค่าจุดเปลี่ยนที่เหมาะสมและบ่งชี้ความสามารถในการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  ของค่าจุดเปลี่ยนต่างๆ

#### วิธีการทำการทดสอบ

1. เก็บค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด  $(0,0)$  และ ขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ของทุกบล็อกในชุดภาพ
2. กำหนดค่าเปรียบเทียบตั้งแต่ 0 ถึง 20 ระยะห่างขั้นละ 0.1 เป็นจำนวนทั้งหมด 201 ค่าเปรียบเทียบ
3. เปรียบเทียบค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด  $(0,0)$  ของแต่ละบล็อกกับ ค่าเปรียบเทียบทุกขั้น สังเกตและเขียนกราฟของ จำนวนบล็อกแต่ละประเภท พร้อมทั้ง วิเคราะห์ตารางกราฟที่ได้เพื่อทำการทดลองต่อไปและทำการกำหนดช่วงขอบเขตของค่าจุดเปลี่ยนที่เหมาะสม โดยกำหนดให้แกนนอนเป็นค่าเปรียบเทียบ และแกนตั้งเป็นจำนวนบล็อก บล็อกแต่ละประเภท รายละเอียดของบล็อกแต่ละประเภทและค่าช่วงขอบเขตของค่าจุดเปลี่ยน มีดังนี้

#### ประเภทที่ 1 บล็อกที่ถูกระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ $(0,0)$ และได้รับการระบุที่ถูกต้อง

บล็อกประเภทที่ 1 นี้เป็นบล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น  $(0,0)$  ซึ่ง

บล็อกประเภทนี้จะได้รับการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) ซึ่งเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ถูกต้องในกระบวนการเทคนิคที่นำเสนอ

#### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกประเภทที่ 1

ค่าขอบเขตล่าง ถือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกประมาณร้อยละ 50 ของจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) ทั้งหมด เพื่อให้ค่าเปรียบเทียบที่ได้สามารถตัดสินใจได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 50 ของบล็อกที่ตอบ เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) ทั้งหมด

ค่าขอบเขตบน จะไม่นำมาหา เนื่องจากเราต้องการจำกัดความผิดพลาด แต่ขอบเขตบนของบล็อกชนิดนี้ยิ่งมากจะยิ่งมีความถูกต้องสูง การทดสอบในหัวข้อนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงแผนภาพกราฟในรูปที่ 4.17-4.26(ก)

#### ประเภทที่ 2 จำนวนบล็อกที่ถูกระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) แต่ไม่ได้รับการระบุที่ถูกต้อง

บล็อกประเภทที่ 2 นี้เป็นบล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบแต่ละค่า และ เวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบไม่ใช่ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) ดังนั้นบล็อกประเภทนี้คือบล็อกที่ไม่ได้รับการระบุที่ถูกต้องในกระบวนการเทคนิคที่นำเสนอ

#### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกประเภทที่ 2

ค่าขอบเขตล่าง ถือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 0 เพื่อให้ค่าที่ได้ไม่ต่ำเกินความต้องการ

ค่าขอบเขตบน ถือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกประมาณร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกที่ไม่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) ทั้งหมด เพื่อให้ค่าเปรียบเทียบที่ได้สามารถตัดสินใจผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 60 ของบล็อกที่ไม่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) ทั้งหมด

การทดสอบในหัวข้อนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงแผนภาพกราฟในรูปที่ 4.17-4.26(ข)



**ประเภทที่ 3** บล็อกที่ไม่ได้ถูกระบุเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) แต่ค่าจริงเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0)

บล็อกประเภทที่ 3 นี้เป็นบล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) มากกว่าค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น (0,0) ซึ่งบล็อกประเภทนี้จะไม่ได้รับการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0)แต่ถูกตัดสินให้ทำการค้นหาต่อไป จึงเป็นบล็อกประเภทที่ต้องให้จุดการค้นหามากกว่า 1 จุดเพื่อค้นหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในกระบวนการเทคนิคที่นำเสนอ

### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกประเภทที่ 3

ค่าขอบเขตล่าง คือใช้ ค่าเปรียบเทียบเริ่มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกสูง หรือ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น (0,0) เพื่อให้ค่าที่มีไม่ลดต่ำจนมีผลต่อจำนวนบล็อกมากเกินไปและเพื่อให้จำนวนบล็อกที่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 1 จุด ไม่มากไปกว่าร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น (0,0)

ค่าขอบเขตบน คือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่เริ่มให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกคงที่หรือ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกประมาณร้อยละ 10 ของจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) ทั้งหมด เพื่อให้ค่าเปรียบเทียบที่ได้สามารถตัดสินได้ผิดพลาดไม่น้อยกว่าประมาณร้อยละ 10 ของบล็อกที่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) ทั้งหมด ซึ่งเป็นจำนวนบล็อกที่ความผิดพลาดน้อยเพียงพอ และไม่ให้ค่าเปรียบเทียบสูงเกินไป จะเป็นการเพิ่มค่าเปรียบเทียบโดยเกินความจำเป็น

การทดสอบในหัวข้อนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงแผนภาพกราฟในรูปที่ 4.17-4.26(ค)

**ประเภทที่ 4** บล็อกที่ไม่ได้ถูกระบุเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) หรือ จำนวนบล็อกที่ต้องทำการค้นหาต่อไป

บล็อกประเภทที่ 4 เป็น บล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  มากกว่าค่าเปรียบเทียบแต่ละค่า บล็อกประเภทนี้เป็นบล็อกที่ต้องใช้จุดการค้นหามากกว่า 1 จุด บล็อกชนิดนี้รวมบล็อกประเภทที่ 3 ไว้ด้วย

#### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกประเภทที่ 4

ค่าขอบเขตล่าง ถือใช้ ค่าเปรียบเทียบเริ่มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกสูง หรือ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกทั้งหมด เพื่อให้ค่าที่มีไม่ลดต่ำจนมีผลต่อจำนวนบล็อกมากเกินไปและเพื่อให้จำนวนบล็อกที่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 1 จุดไม่มากไปกว่าร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกทั้งหมด

สำหรับบล็อกประเภทนี้จะไม่นำมาใช้หาค่าขอบเขตบน เนื่องจากไม่มีนัยสำคัญ

การทดสอบนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงแผนภาพกราฟในรูปที่ 4.17-4.26(ง)

4. หาค่าขอบเขตที่เหมาะสมจากค่าขอบเขตในขั้นที่ 3
5. หาค่าทางสถิติของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด  $(0,0)$  ของบล็อกที่ตอบค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  ดังนี้ ค่าเฉลี่ย และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
6. วิจัยและสรุปผลพร้อมทั้งเลือกค่าเปรียบเทียบ 5 ค่าที่มีนัยสำคัญจากค่าช่วงขอบเขต และค่าทางสถิติ เพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะต่อไป

#### 4.2.1.1 ผลการทดลองเมื่อใช้กับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพ

ผลการทดลองที่แสดงไว้ในหัวข้อนี้ แสดงในรูปแบบของแผนรูปกราฟ เพื่อให้สังเกตเห็นได้ง่ายถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกแต่ละประเภท ที่ค่าเปรียบเทียบต่างกันออกไป สำหรับตารางค่าที่นำมาพล็อตในแผนรูปกราฟ แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.

แผนรูปกราฟในหัวข้อนี้แสดงผลจำนวนบล็อก 4 ประเภท ที่ได้จากการทดสอบกับชุดภาพทดสอบ 10 ชุดภาพ แสดงไว้ใน รูปที่ 4.17-4.26 และเรียงตามประเภทของบล็อก จาก (ก) ถึง (ง) ตามลำดับ

ผลการทดลองของบล็อกประเภทเดียวกันในแต่ละชุดภาพ จะมีรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน ต่างกันที่ค่าตัวเลขจำนวนบล็อกที่วัดได้เท่านั้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรูป

แบบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงโดยรวม และทำการวิจารณ์เฉพาะลักษณะของแต่ละชุดภาพ พร้อมวิจารณ์และสรุปผลที่ได้จากการทดลองนี้ ตามลำดับ

#### 4.2.1.1.1 รูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกแต่ละประเภท

จากผลการทดลองหัวข้อนี้ มีช่วงค่าที่น่าสนใจคือช่วงค่าที่สามารถช่วยในการตัดสินใจได้ดี และให้การตัดสินใจที่แม่นยำ และค่าความผิดพลาดต่ำ ถึงแม้จะตัดสินใจผิดพลาด ดังนั้นค่าที่เหมาะสมน่าจะอยู่ในช่วง ค่าเปรียบเทียบต่ำ (ช่วงค่าเปรียบเทียบประมาณ 2 ถึง 4 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำ ถึงแม้จะตัดสินใจผิดพลาด)

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.17-4.26 (ก) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 (บล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น (0,0) ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผนกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้นจำนวนบล็อกก็มากขึ้นด้วย ในช่วงที่ค่าจุดเปลี่ยนใกล้ศูนย์ อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกจะมีค่าสูงเทียบกับการเพิ่มค่าเปรียบเทียบ และอัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าเปรียบเทียบช่วงหนึ่ง อัตราการเพิ่มจะเข้าใกล้ศูนย์มาก ซึ่งหมายความว่า จำนวนบล็อกเริ่มใกล้จะมีค่าคงที่ จากลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของจำนวนบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์คำตอบเป็น (0,0) มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) สูง และมีความหนาแน่นลดลงในช่วงความเปรียบเทียบที่สูงขึ้น นอกจากแผนกราฟนี้จะแสดงถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 แล้ว ค่าจำนวนบล็อกที่เริ่มจะมีค่าคงที่ซึ่งช่วยในการประมาณค่าโดยคร่าวของจำนวนบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์คำตอบเป็น (0,0) ทั้งหมด ทั้งนี้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทนี้จะมีลักษณะเหมือนกันในทุกชุดภาพ แตกต่างกันที่ค่าตัวเลขจำนวน เพราะค่าเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนไหวของแต่ละชุดภาพ

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.17-4.26 (ข) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 2 (บล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบที่ไม่ใช่ (0,0) ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผนกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้นจำนวนบล็อกก็มากขึ้นด้วย แต่ลักษณะการเพิ่มจะไม่เหมือนดังเช่นบล็อกประเภทที่ 1 แผนกราฟจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละชุดภาพ บล็อกที่อยู่ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ เป็นบล็อกที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะถูกตัดสินใจให้เป็นบล็อกที่มีเวกเตอร์คำตอบเป็นค่า (0,0) ดังนั้นยิ่งบล็อกประเภทนี้ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำมีจำนวนน้อยลง การตัดสินใจผิดพลาดก็จะน้อยลง

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.17-4.26 (ค) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 3 (บล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) มากกว่าค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่ค่า-

ตอบที่เป็นค่า  $(0,0)$  ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผนกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้น จำนวนบล็อกก็น้อยลงด้วย ในช่วงที่ค่าจุดเปลี่ยนใกล้ศูนย์อัตราการลดของจำนวนบล็อกจะมีค่าสูง เทียบกับการเพิ่มค่าเปรียบเทียบ สังเกตได้ว่าลักษณะแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทนี้ จะตรงกันข้ามกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทที่ 1 เนื่องจากบล็อกประเภทนี้เป็น บล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็นค่า  $(0,0)$  ที่เหลือจากบล็อกประเภทที่ 1 ของบล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็นค่า  $(0,0)$  ทั้งหมด นอกจากนี้แผนรูปกราฟของบล็อกประเภทนี้ ยังช่วย ในการแสดงค่าจำนวนบล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็นค่า  $(0,0)$  ทั้งหมดให้เห็นอีกด้วย (เนื่องจากในแผนรูปกราฟของบล็อกประเภทที่ 1 ไม่แสดงค่าที่จำนวนคงที่ออกมา ในช่วงค่าเปรียบเทียบที่เลือกไว้)

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.17-4.26 (ง) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 4 ( บล็อกที่มีค่าความ เพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  มากกว่าค่าเปรียบเทียบ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผน กราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้นจำนวนบล็อกก็น้อยลงด้วย ในช่วงที่ค่าจุดเปลี่ยนใกล้ ศูนย์อัตราการลดของจำนวนบล็อกจะมีค่าสูงเทียบกับการเพิ่มค่าเปรียบเทียบ สังเกตได้ว่าลักษณะ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทนี้คล้ายกับบล็อกประเภทที่ 3 แต่ต่างกันที่ค่าตัวเลข แผนรูปกราฟของบล็อกประเภทนี้แสดงถึงลักษณะการกระจายจำนวนบล็อกตามค่าความผิดพลาด ของเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(0,0)$  ของแต่ละชุดภาพ

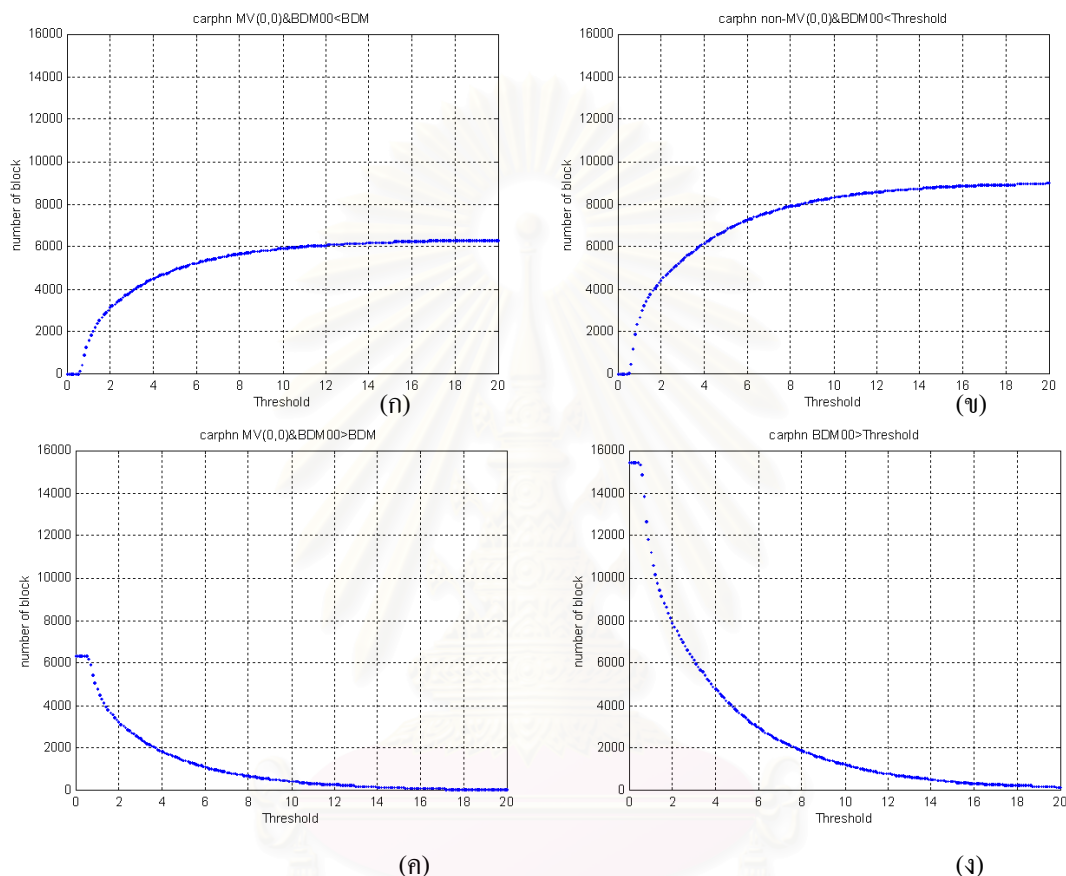
#### 4.2.1.1.2 การวิจารณ์ผลการทดสอบกับชุดภาพ 10 ชุดภาพ

##### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Carphone

จากรูปที่ 4.17 (ก) ชุดภาพ Carphone มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(0,0)$  ประมาณสามพัน ถึง ประมาณห้าพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะ เป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวน บล็อกไม่มากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่ที่ไม่มีการ เคลื่อนไหว

จากรูปที่ 4.17 (ข) ชุดภาพ Carphone ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับ ของบล็อกประเภทที่ 1 สังเกตที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ(ค่าเปรียบเทียบ 2 ถึง 4) และมีจำนวนบล็อกที่ ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(0,0)$  ประมาณสี่พัน ถึง ประมาณหกพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ค่อนข้างน้อยที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.17 (ก) ชุดภาพ Carphone มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมดประมาณหกพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกไม่มากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณสามพัน ถึง ประมาณห้าพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ



รูปที่ 4.17 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1  
(ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Carphone

แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณ สามพัน ถึง ประมาณหนึ่งพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.17 (ง) ชุดภาพ Carphone แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเฟี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเฟี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณสี่พัน ถึง ประมาณแปดพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็บบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1



## ผลการทดสอบกับชุดภาพ Claire

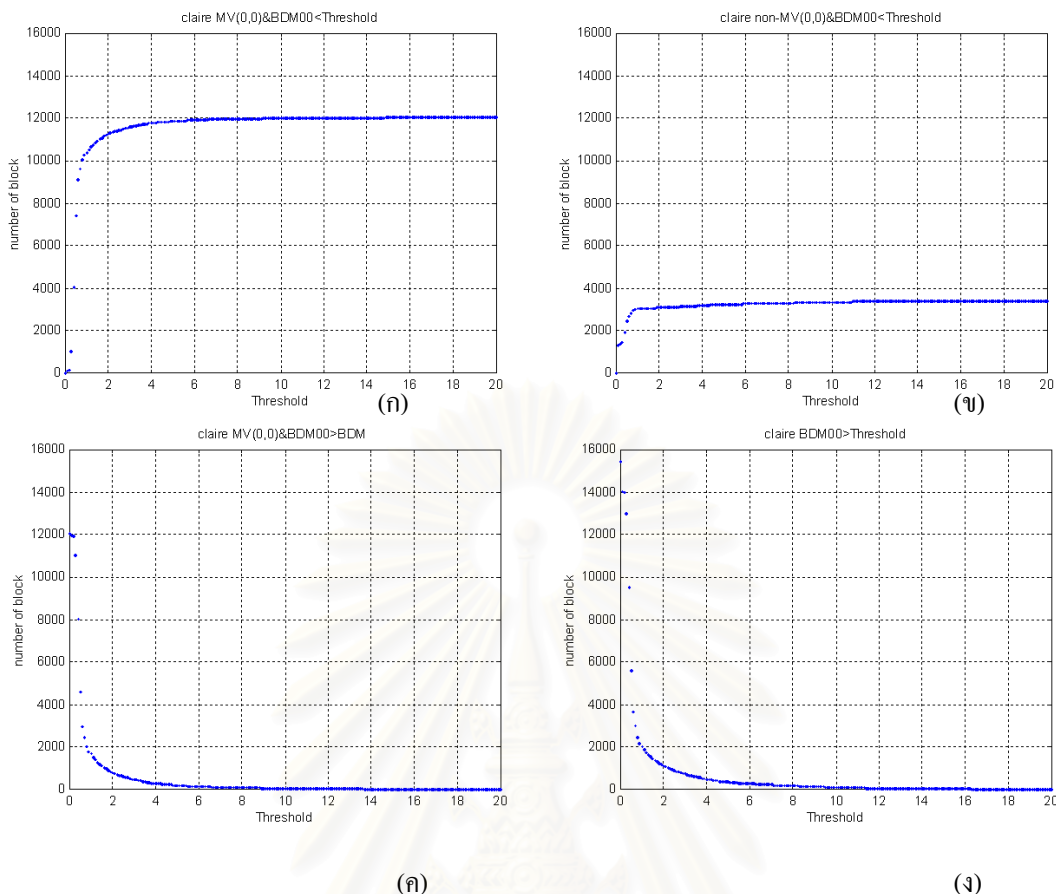
จากรูปที่ 4.18 (ก) ชุดภาพ Claire มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(0,0)$  ประมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสองพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว ซึ่งแสดงถึงลักษณะของชุดภาพที่มีการตัดสินที่ถูกต้องมาก

จากรูปที่ 4.18 (ข) ชุดภาพ Claire ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.18 (ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก(จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(0,0)$  ประมาณสามพัน ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากนักที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.18 (ค) ชุดภาพ Claire มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(0,0)$  ทั้งหมดประมาณหมื่นสองพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(0,0)$  ประมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพัน ถึง หนึ่งหมื่นสองพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(0,0)$  เป็นจำนวนน้อยที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.18 (ง) ชุดภาพ Claire แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างต่ำ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณห้าร้อย ถึง ประมาณหนึ่งพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็บบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้น่าจะมีจำนวนจุดการค้นหาต่ำอีกด้วย เนื่องจากมีจำนวนบล็อกไม่มากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนหลัง



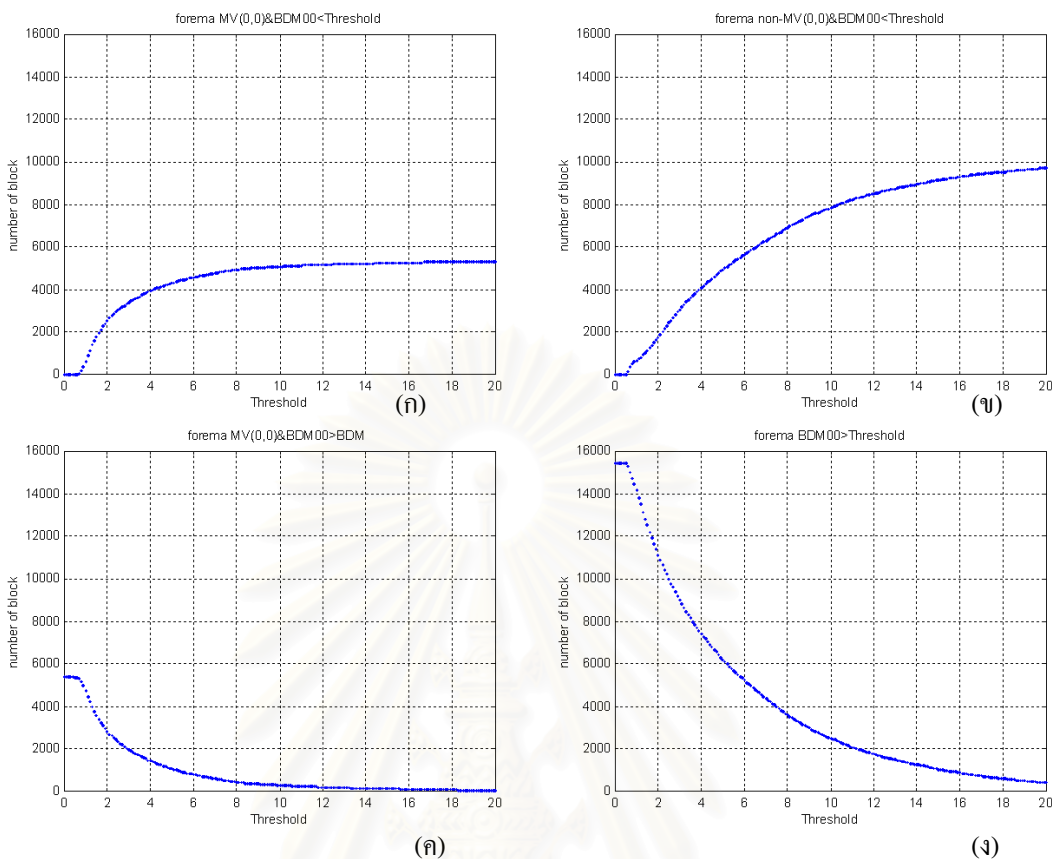


รูปที่ 4.18 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Claire

#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Foreman

จากรูปที่ 4.19 (ก) ชุดภาพ Foreman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณสามพันถึงประมาณสี่พันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดพลาดหรือถูก) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกไม่มากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 4.19 (ข) ชุดภาพ Foreman ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 แต่ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนบล็อกที่เกือบจะคงที่ หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มเริ่มลดลงจนกระทั่งจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณสองพันถึงประมาณสี่พันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดพลาดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากนักที่จะตัดสินผิดพลาด

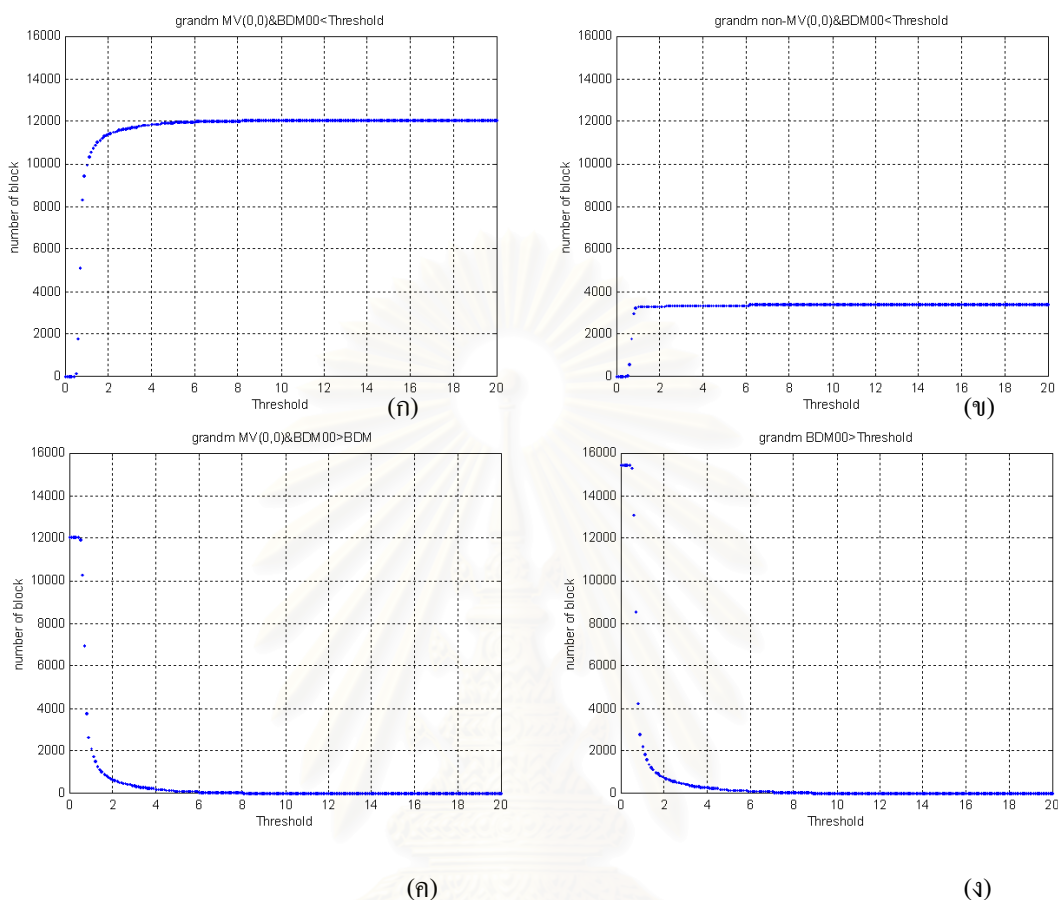


รูปที่ 4.19 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Foreman

จากรูปที่ 4.19 (ก) ชุดภาพ Foreman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมดประมาณห้าพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกไม่มากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณสามพัน ถึง สี่พันพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสองพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.19 (ง) ชุดภาพ Foreman แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณเจ็ดพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1

## ผลการทดสอบกับชุดภาพ Grandmother



รูปที่ 4.20 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Grandmother

จากรูปที่ 4.20 (ก) ชุดภาพ Grandmother มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสองพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งแสดงถึงลักษณะของชุดภาพที่มีการตัดสินที่ถูกต้องมาก

จากรูปที่ 4.20 (ข) ชุดภาพ Grandmother ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.20 (ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก(จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณสามพัน ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 –

4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดพลาด หรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากนักที่จะตัดสินใจผิดพลาด

จากรูปที่ 4.20 (ค) ชุดภาพ Grandmother มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมด ประมาณหมื่นสองพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพัน ถึง หนึ่งหมื่นสองพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) เป็นจำนวนน้อยที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.20 (ง) ชุดภาพ Grandmother แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างต่ำ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณห้าร้อย ถึง ประมาณหนึ่งพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดพลาดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้จะมีจำนวนจุดการค้นหาต่ำอีกด้วย เนื่องจากมีจำนวนบล็อกไม่มากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนนี้

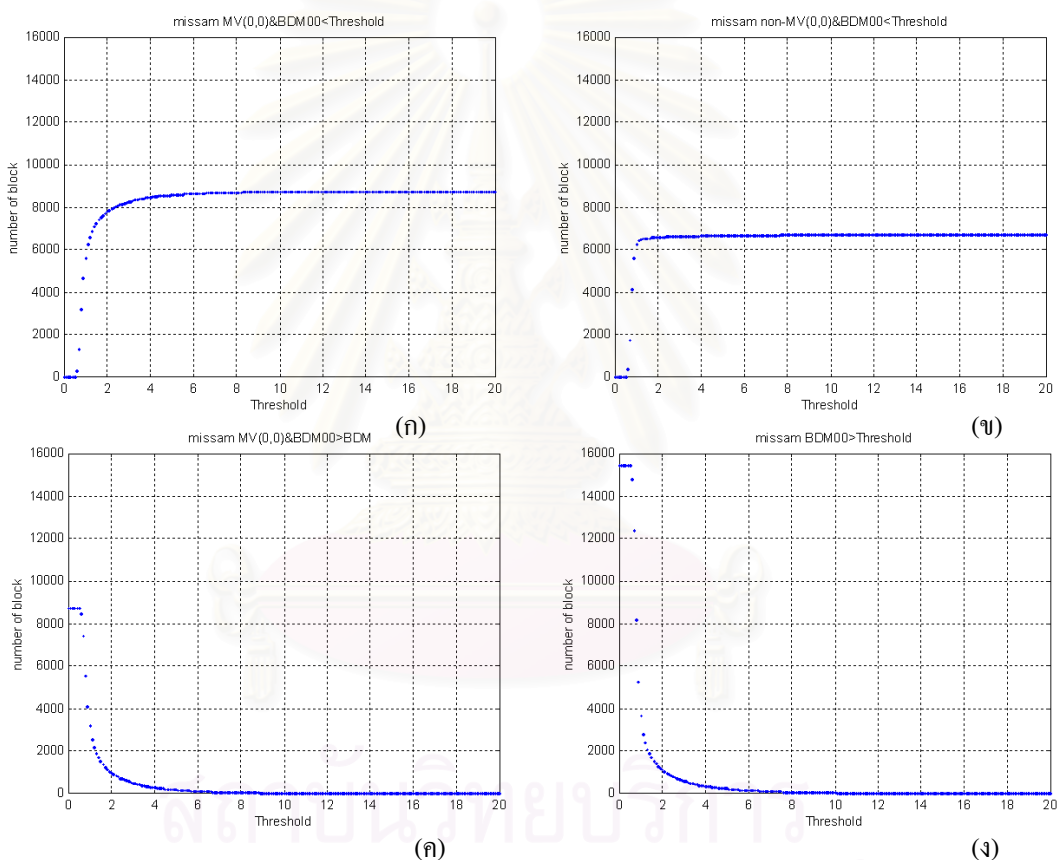
#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Miss America

จากรูปที่ 4.21 (ก) ชุดภาพ Miss America มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณแปดพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดพลาดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 4.21 (ข) ชุดภาพ Miss America ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.21 (ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก (จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณหกพันกว่า ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดพลาดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่มากที่จะตัดสินใจผิดพลาด

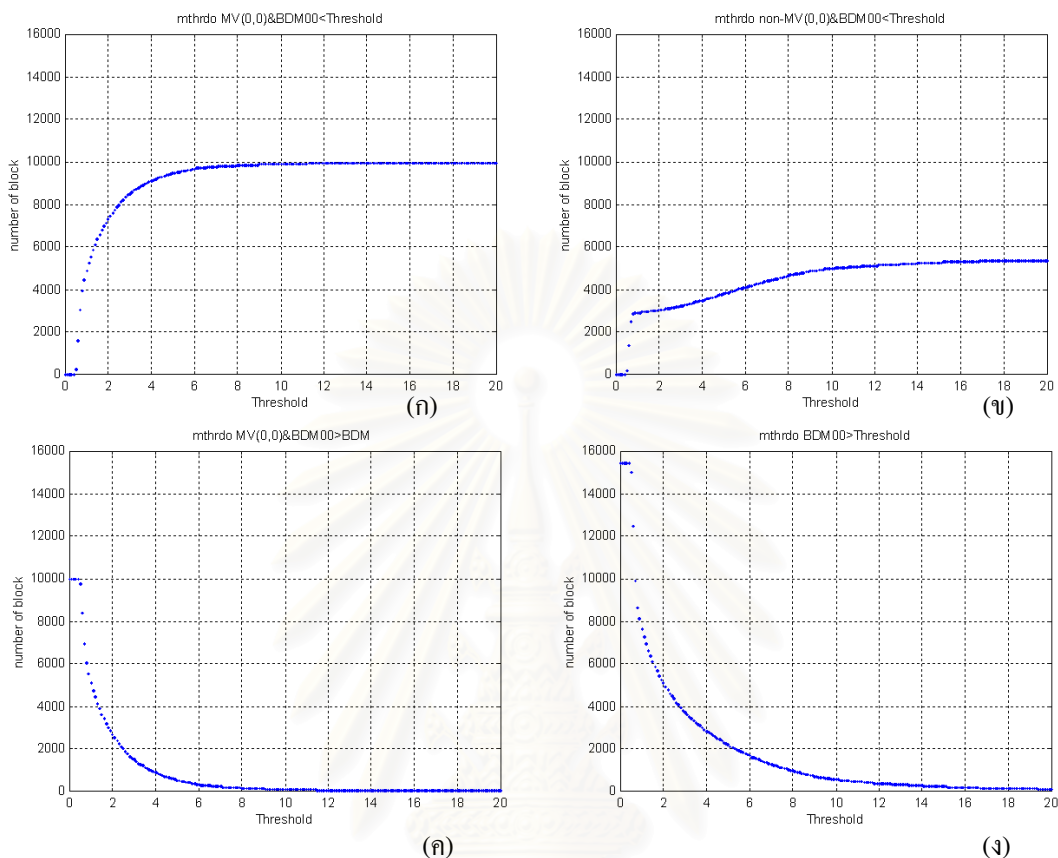
จากรูปที่ 4.21 (ค) ชุดภาพ Miss America มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมด ประมาณแปดพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณแปดพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) เป็นจำนวนน้อยที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.21 (ง) ชุดภาพ Miss America แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างต่ำ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณห้าร้อย ถึง ประมาณหนึ่งพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 ชุดภาพน่าจะใช้จำนวนจุดการค้นหาไม่มากเพราะมีบล็อกจำนวน ไม่มากที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป



รูปที่ 4.21 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Miss America

## ผลการทดสอบกับชุดภาพ Mother and Daughter



รูปที่ 4.22 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Mother&Daughter

จากรูปที่ 4.22 (ก) ชุดภาพ Mother&Daughter มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณเก้าพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 4.22 (ข) ชุดภาพ Mother&Daughter ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.22 (ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก (จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มอีกช่วง แต่ไม่ฉับพลันเช่นเดียวกับการเปลี่ยนอัตราการเพิ่มในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ ก่อนที่จะเข้าสู่ค่าจำนวนบล็อกที่คงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณสามพันกว่า ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะ



เป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากที่จะตัดสินใจผิดพลาด

จากรูปที่ 4.22 (ค) ชุดภาพ Mother&Daughter มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมดประมาณหนึ่งหมื่นกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณเก้าพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสองพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

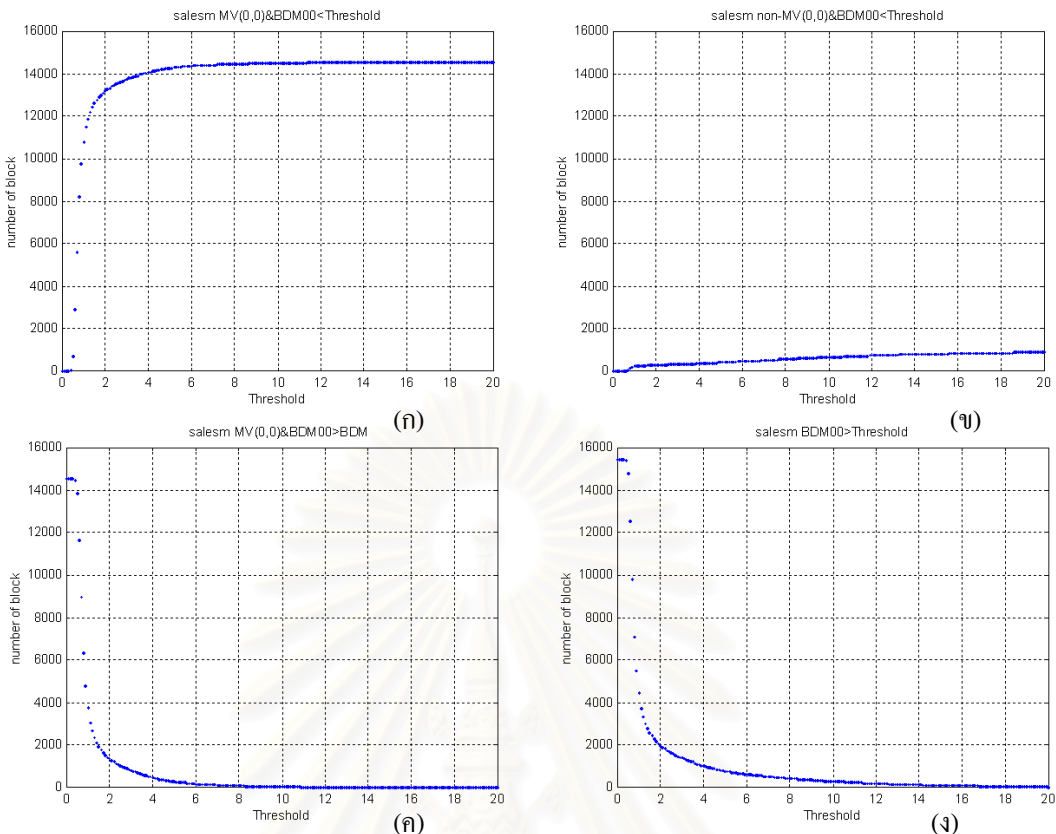
จากรูปที่ 4.22 (ง) ชุดภาพ Mother&Daughter แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณห้าร้อย ถึง ประมาณหนึ่งพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 ชุดภาพน่าจะใช้เวลาในการค้นหาไม่มากเพราะมีบล็อกจำนวนไม่มากที่ต้องคำนวณในขั้นต่อไป

#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Salesman

จากรูปที่ 4.23 (ก) ชุดภาพ Salesman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณหนึ่งหมื่นสามพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสี่พันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งแสดงถึงลักษณะของชุดภาพที่มีการตัดสินใจถูกต้องมาก

จากรูปที่ 4.23 (ข) ชุดภาพ Salesman ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 มีอัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณห้าร้อยบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ต่ำที่จะตัดสินใจผิดพลาด

จากรูปที่ 4.23 (ค) ชุดภาพ Salesman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมดประมาณหนึ่งหมื่นสี่พันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณหนึ่งหมื่นสามพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสี่พันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) เป็นจำนวนน้อยมากที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป



รูปที่ 4.23 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Salesman

จากรูปที่ 4.23 (ง) ชุดภาพ Salesman แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างต่ำ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสองพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็บบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้น่าจะมีจำนวนจุดการค้นหาอีกด้วย เนื่องจากมีจำนวนบล็อกไม่มากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนหลังจากรูปที่ 4.23 (ก) และ (ข) ชุดภาพ Salesman น่าจะเป็นชุดภาพที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำมาก เนื่องจากมีจำนวนที่ตัดสินใจผิดต่ำ และมีจำนวนบล็อกที่มากตัดสินถูก

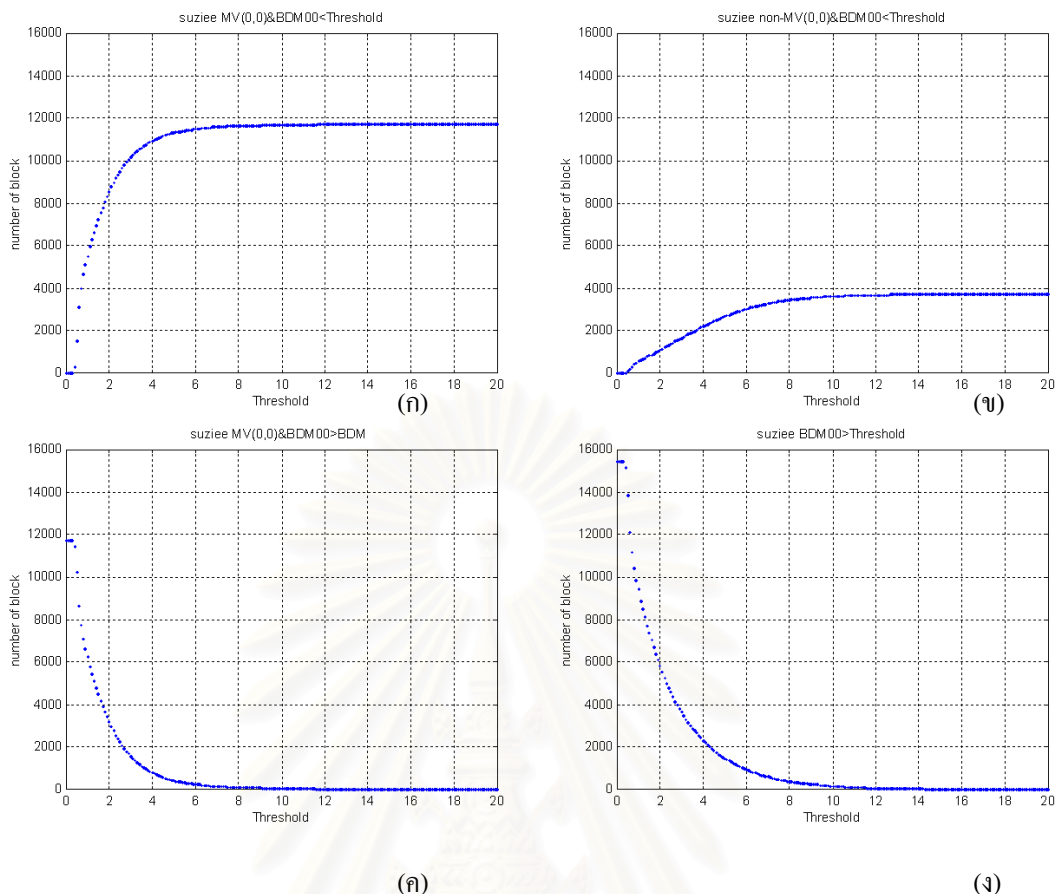
## ผลการทดสอบกับชุดภาพ Suzie

จากรูปที่ 4.24 (ก) ชุดภาพ Suzie มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณหมื่นหนึ่งพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวน บล็อกปานกลางก่อนมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อก เคลื่อนที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 4.24 (ข) ชุดภาพ Suzie ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของ บล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.24 (ข) ในช่วงค่า เปรียบเทียบต่ำจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนบล็อกที่เกือบจะคงที่ หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มเริ่มลดลงจน กระทั่งจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณหนึ่ง พัน ถึง ประมาณสองพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึง โอกาสที่ไม่มากที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.24 (ค) ชุดภาพ Suzie มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมดประมาณหนึ่ง หมื่นสองพันบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว มีจำนวน บล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ) ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณหมื่นหนึ่งพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสี่พันบล็อก ที่ ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.24 (ง) ชุดภาพ Suzie แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มี ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณสองพัน ถึง ประมาณห้าพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาส สูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1

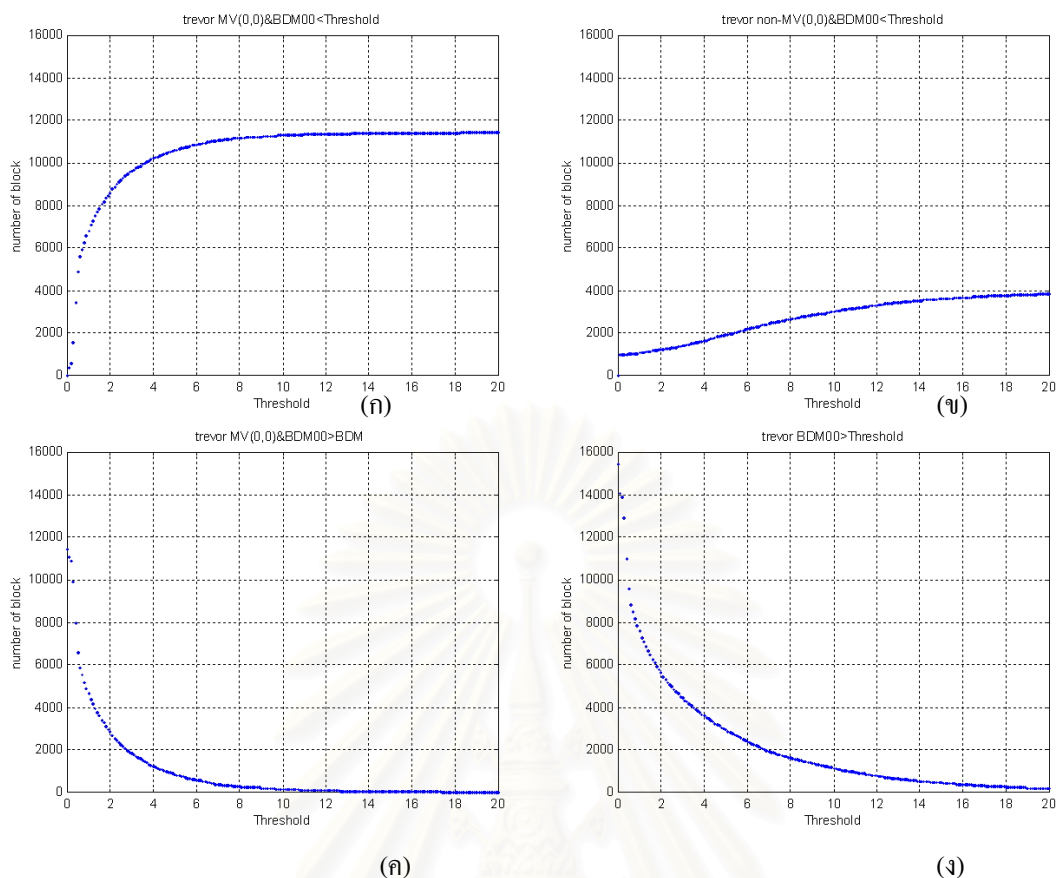


รูปที่ 4.24 รุปรกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Suziee

#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Trevor

จากรูปที่ 4.25 (ก) ชุดภาพ Trevor มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณแปดพันถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางค่อนข้างมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 4.25 (ข) ชุดภาพ Trevor ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.25 (ข) ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำมีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก (จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มอีกช่วง แต่ไม่ฉับพลันเช่นเดียวกับการเปลี่ยนอัตราการเพิ่มในช่วงค่า



รูปที่ 4.25 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1  
(ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Trevor

เปรียบเทียบค่า ก่อนที่จะเข้าสู่ค่าจำนวนบล็อกที่คงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสองพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ค่อนข้างน้อยที่จะตัดสินผิดพลาด

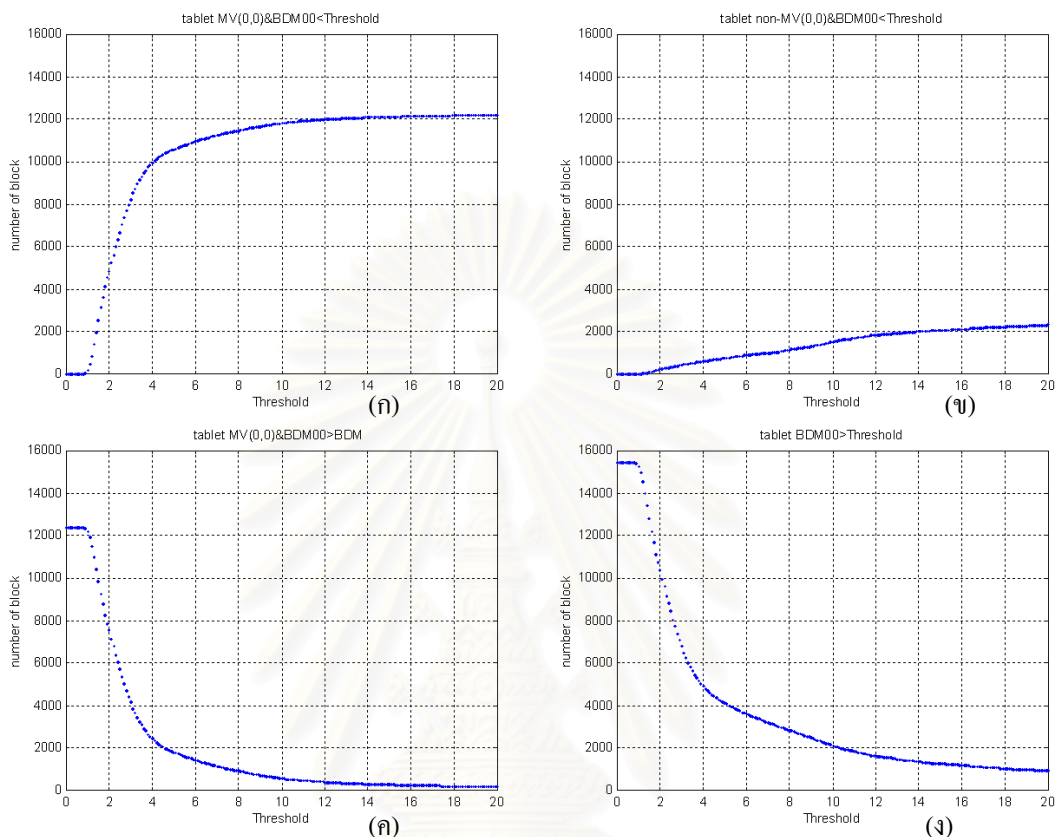
จากรูปที่ 4.25 (ก) ชุดภาพ Trevor มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมดประมาณหนึ่งหมื่นสองพันบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณสองพัน ถึง ประมาณสี่พันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.25 (ง) ชุดภาพ Trevor แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความถี่ต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความถี่ต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะเป็นสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณสี่พัน ถึง ประมาณหกพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำ



ไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1

### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Table Tennis



รูปที่ 4.26 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Table Tennis

จากรูปที่ 4.26 (ก) ชุดภาพ Table Tennis มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณสี่พัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว

จากรูปที่ 4.26 (ข) ชุดภาพ Table Tennis ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 มีอัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (0,0) ประมาณห้าร้อยบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ต่ำที่จะตัดสินผิดพลาด



จากรูปที่ 4.26 (ค) ชุดภาพ Table Tennis มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ทั้งหมดประมาณหมื่นสองพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหว จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณสี่พัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (0,0) ประมาณสองพัน ถึง ประมาณแปดพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.26 (ง) ชุดภาพ Table Tennis แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความถี่ของบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความถี่ของบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณห้าพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ที่จะบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้น่าจะมีจำนวนจุดการค้นหาสูงอีกด้วย เนื่องจากมีจำนวนบล็อกเป็นจำนวนมากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนการค้นหาขั้นต่อไป

จากผลการทดลองข้างต้นในกรณีที่ชุดภาพมีลักษณะที่มีบล็อกแบบไม่มีการเคลื่อนไหว (บล็อกที่มีลักษณะ ความเป็นพื้นภาพ background) เป็นจำนวนมาก และมีบล็อกประเภทที่ 1 มาก เช่น Claire Grandmother Salesman Suziee และ Table Tennis สำหรับชุดภาพ Table Tennis ในช่วงแรกมีภาพที่เป็น Background มาก และช่วงเฟรมที่ 35-40 มีการซูมออก ทำให้ลักษณะภาพโดยรวมไม่เหมือนชุดภาพอื่น ซึ่งมีความคล้ายกันตลอด 40 เฟรม สำหรับชุดภาพที่มีการกระจายของการเคลื่อนที่มาก (ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกประเภทที่สอง ในช่วงค่าเปรียบเทียบ 2-4 มากกว่าเมื่อเทียบกับชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 ใกล้เคียงกัน ในกรณีที่มีการกระจายเท่ากัน แต่มีจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 มากกว่า จำนวนบล็อกประเภทที่ 2 ก็จะมีจำนวนน้อยกว่าตามไปด้วย เช่น ระหว่าง ชุดภาพ Trevor และชุดภาพ Carphone นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าบล็อกที่มีค่าความถี่ของบล็อกต่ำมักจะอยู่ในช่วงการเคลื่อนที่ขนาดเล็ก และยังสังเกตได้อีกว่าบล็อกที่มีจำนวนบล็อกประเภทที่ 4 มากและมีค่าเปรียบเทียบโดยรวมสูง เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 น้อย ถือเป็นชุดภาพที่มีการเคลื่อนไหวสูง เช่น Carphone Foreman Trevor ดังที่กล่าวมาข้างต้น ชุดภาพ Table Tennis จะมีลักษณะแปลกไปด้วยเหตุผลดังกล่าว โดยเป็นชุดภาพที่มีลักษณะสอดคล้อง ทั้งในกรณีของบล็อกประเภทที่ 1 และ บล็อกประเภทที่ 4 และยังมีชุดภาพที่มี จำนวนบล็อกประเภทที่ 1 น้อย แต่มีจำนวนบล็อกประเภทที่ 4 น้อยด้วย นั่นคือ Miss America เนื่องจากว่าเป็นชุดภาพที่มีภาพพื้นมากพอสมควร ส่งผลให้บล็อกประเภทที่ 4 น้อย และการเคลื่อนไหวส่วนหัวมีจำนวนมากแต่เคลื่อนไหวด้วยขนาดเล็ก จึงส่งผลให้บล็อกประเภทที่ 1 น้อยแต่บล็อกประเภทที่ 2 มากด้วย สังเกตได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดภาพ Miss America มีค่ามาก

#### 4.2.1.2 การเลือกช่วงที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยน T1

ในหัวข้อนี้ นำค่าขอบเขตที่ได้จากการทดลองให้หัวข้อที่ 4.2.1.1 มาเพื่อคำนวณหาช่วงที่ควรจะใช้เป็นค่าจุดเปลี่ยน T1 โดยใช้การเฉลี่ยค่าขอบเขตทั้งหมดที่ได้ดังกล่าว เหตุผลของการเลือกค่าขอบเขตอธิบายไว้ในวิธีทำการทดลองข้อที่ 3

ค่าขอบเขตแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ได้มาจากตารางค่าของผลการทดลองกับชุดภาพทั้งสิบที่แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.

ค่าเฉลี่ยของค่าขอบเขตล่างเท่ากับ 0.965

ค่าเฉลี่ยของค่าขอบเขตบนเท่ากับ 4.015

ดังนั้นค่า T1 ที่จะใช้สำหรับเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางจะอยู่ในช่วง 0.965 ถึง 4.015 เพื่อให้ค่า T1 สามารถตัดสินประเภทของบล็อกได้ถูกต้องเป็นที่น่าพอใจและไม่ใช้การคำนวณมากเกินไปจนความจำเป็น

ตารางที่ 4.1 ค่าขอบเขตของชุดภาพทั้งสิบที่ได้จากการทดลอง

ชนิดบล็อก	ประเภทที่ 1		ประเภทที่ 2		ประเภทที่ 3		ประเภทที่ 4
	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง	ล่าง	
Carphone	2.1	3	0.3	8.2	1.6	1.5	
Claire	0.5	0.5	0	1.3	0.5	0.5	
Forema	2.2	6.1	0.4	7.2	1.8	2.9	
Grandm	0.8	0.7	0.3	1.5	0.7	0.7	
Missam	1	0.7	0.4	2.1	0.9	0.8	
Mthrdo	1.1	2.9	0.3	3.6	0.9	0.8	
Salesm	0.8	7.4	0.5	1.8	0.8	0.8	
Suzie	1.1	3.9	0.2	3.3	0.9	1.1	
Trevor	0.7	6.3	0	4.1	0.5	0.6	
Tablet	2.4	9.3	0.8	6.4	0.1	2.3	

### 4.2.1.3 ค่าทางสถิติของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (0,0)

ในหัวข้อนี้ จะทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (0,0) ของบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์เป็นค่า (0,0) ซึ่งถือเป็นค่าตัวแทนของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (0,0) ของบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์เป็นค่า (0,0) เนื่องจากว่าค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ทำให้ระยะทางเฉลี่ยยกกำลังสองต่ำสุด วัดจากค่าเฉลี่ยไปยังทุกค่า

ด้วยเหตุผลดังกล่าวค่าเฉลี่ยจึงเป็นค่าที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นค่ากลางของการหาค่าจุดเปลี่ยน T1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 จากตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของBDM00 แสดงถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชุดภาพ ซึ่งแปรผันตามค่าเฉลี่ยของ BDM00 ค่าเฉลี่ยของ BDM00 สูงแสดงว่าชุดภาพมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนมาก เนื่องจากว่าเป็นค่าเฉลี่ยของบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของ BDM00 สูงยังแสดงถึงจำนวนบล็อกที่จะมีโอกาสผ่านการตัดสินใจด้วย T1 มีจำนวนน้อย เนื่องจากว่าค่า T1 มีค่าค่อนข้างต่ำ ( จากค่าขอบเขตที่หาได้ในหัวข้อ 4.2.1.2 ) จึงไม่สามารถครอบคลุมบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวที่มีค่า BDM00 สูงได้

สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพแสดงถึงการกระจายของค่า BDM00 ในกรณีที่ค่าการกระจายสูง หมายถึง ชุดภาพนั้นๆ มีบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวที่มีค่า BDM00 หลากหลายเป็นจำนวนมากหรือมีความเป็นกลุ่มก้อนของค่า BDM00 ต่ำ การใช้ค่า T1 และปรับตัวด้วยค่าเฉลี่ยจึงไม่สามารถมีการตัดสินใจครอบคลุมบล็อกได้มาก

จากค่าเฉลี่ยที่หาได้คือ 2.013

จากค่าขอบเขตที่ได้ในหัวข้อ 4.2.1.2 คือ 0.965 ถึง 4.015

ค่าตัวเลขจำนวน 5 ค่า ที่จะนำไปทดสอบเพื่อหาค่า T1 ที่เหมาะสม

จะเลือกค่าดังนี้

2.013 เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (0,0) ของบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์เป็นค่า (0,0)ซึ่งถือเป็นค่าหลักในการหาค่า T1

0.965 และ 4.015 เนื่องจากเป็นค่าขอบเขตที่หาได้

1.489 และ 3.014 เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าหลักในการหาค่า T1 กับค่าขอบเขตล่าง และขอบเขตบนที่หาได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพ

	ค่าเฉลี่ยของBDM00	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของBDM00
Carphone	3.5110	3.7732
Claire	0.7812	1.2817
Forema	3.5155	3.9629
Grandm	0.9370	0.7982
Missam	1.8171	2.8343
Mthrdo	1.2340	1.1135
Salesm	1.8171	2.8343
Suzie	1.6173	1.5515
Trevor	1.6183	2.2981
Tablet	3.5856	5.1072
ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	2.01341	

#### 4.2.1.4 สรุปและวิจารณ์ผล

ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด(0,0) มีนัยสำคัญต่อบล็อกที่ตอบค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) โดยส่วนใหญ่บล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว (non-motion block) หรือบล็อกที่ตอบค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด(0,0) ต่ำกว่า บล็อกที่มีการเคลื่อนไหว (motion block) ดังนั้นค่าจุดเปลี่ยนมีนัยสำคัญในการระบุชนิดของบล็อกว่ามีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็น (0,0) ถึงแม้จะมีความผิดพลาดมากในการระบุของบางชุดภาพ แต่ก็มีค่าความต่ำของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ยอมรับได้เมื่อพิจารณากับจำนวนบล็อกที่ตัดสินได้ถูกและจำนวนจุดการค้นหาที่ลดลง ค่าที่เลือกจากการทดลองนี้เพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่า T1 ที่เหมาะสมมีดังนี้ 0.965 1.489 2.013 3.014 4.015

4.2.2 การทดสอบความสามารถของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ซึ่งเป็นค่าจุดศูนย์กลางการค้นหาใหม่ หรือ ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบของบล็อกก่อนหน้านี้ ในการตัดสินใจเพื่อระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  หรือทำการค้นหาต่อไป

### วัตถุประสงค์

การทดสอบนี้มุ่งเน้นเพื่อทดสอบความสามารถในการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ให้ตอบค่าจุดศูนย์กลางใหม่หรือทำการค้นหาต่อไป ให้กับบล็อก โดยใช้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ซึ่งเป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่ เป็นค่าในการพิจารณา นอกจากนี้การทดสอบในหัวข้อนี้ยังมุ่งเน้นเพื่อหาค่าจุดเปลี่ยนที่เหมาะสมและบ่งชี้ความสามารถในการระบุค่าดังกล่าวในแต่ละค่าจุดเปลี่ยน ในการทดลองหัวข้อนี้ค่าจุด  $(x,y)$  ที่กล่าวถึง โดยไม่มีคำพูดกำกับถือว่าเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้านี้ ค่าต่างๆในการทดลองนี้ได้มาด้วยวิธีการค้นหาแบบค้นหาทั้งหมด

### วิธีการทดสอบ

1. เก็บค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด  $(x,y)$  ซึ่งเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้านี้ และขนาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่เทียบกับจุด  $(x,y)$  ของทุกบล็อกในชุดภาพ
2. กำหนดค่าเปรียบเทียบตั้งแต่ 0 ถึง 20 ระยะห่างขั้นละ 0.1 เป็นจำนวนทั้งหมด 201 ค่าเปรียบเทียบ
3. เปรียบเทียบค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด  $(x,y)$  ของแต่ละบล็อกกับ ค่าเปรียบเทียบทุกขั้น สังเกต และเขียนกราฟของ จำนวนบล็อกแต่ละประเภท พร้อมทั้ง วิเคราะห์ตารางกราฟที่ได้เพื่อทำการทดลองต่อไปและทำการกำหนดช่วงขอบเขตของค่าจุดเปลี่ยนที่เหมาะสม โดยกำหนดให้แกนนอนเป็นค่าเปรียบเทียบ และแกนตั้งเป็นจำนวนบล็อก บล็อกแต่ละประเภท รายละเอียดของบล็อกแต่ละประเภทและค่าช่วงขอบเขตของค่าจุดเปลี่ยน มีดังนี้

### ประเภทที่ 1 บล็อกที่ถูกระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ $(x,y)$ และได้รับการระบุที่ถูกต้อง

บล็อกประเภทที่ 1 นี้เป็นบล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น  $(x,y)$  ซึ่งบล็อกประเภทนี้จะได้รับการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ซึ่งเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่ถูกต้องในกระบวนการเทคนิคที่นำเสนอ และเป็นบล็อกที่ใช้จุดค้นหาเพียง 2 จุด

### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกระเภทที่ 1

ค่าขอบเขตล่าง คือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 50 ของจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ทั้งหมด เพื่อให้ค่าเปรียบเทียบที่ได้สามารถตัดสินใจได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 50 ของบล็อกที่ตอบ เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ทั้งหมด

ค่าขอบเขตบน จะไม่นำมาหา เนื่องจากเราต้องการจำกัดความผิดพลาด แต่ขอบเขตบนของบล็อกชนิดนี้ยิ่งมากจะยิ่งมีความถูกต้องสูง

การทดสอบในหัวข้อนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงแผนกราฟในรูปที่ 4.26-4.35 (ก)

### ประเภทที่ 2 จำนวนบล็อกที่ถูกระบุเวกเตอร์การเคลื่อนที่ $(x,y)$ แต่ไม่ได้รับการระบุที่ถูกต้อง

บล็อกระเภทที่ 2 นี้เป็นบล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบแต่ละค่า และ เวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบไม่ใช่ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ดังนั้นบล็อกระเภทนี้คือบล็อกที่ไม่ได้รับการระบุที่ถูกต้องในกระบวนการเทคนิคที่นำเสนอ

### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกระเภทที่ 2

ค่าขอบเขตล่าง คือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 0 เพื่อให้ค่าที่ได้ไม่ต่ำเกินความต้องการ

ค่าขอบเขตบน คือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกที่ไม่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ทั้งหมด เพื่อให้ค่าเปรียบเทียบที่ได้สามารถตัดสินใจได้ผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 60 ของบล็อกที่ไม่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ทั้งหมด

การทดสอบในหัวข้อนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงรูปกราฟในรูปที่ 4.26-4.35 (ข)

### ประเภทที่ 3 บล็อกที่ไม่ได้ถูกระบุเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่ $(x,y)$ แต่ค่าจริงเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่ $(x,y)$

บล็อกระเภทที่ 3 นี้เป็นบล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  มากกว่าค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น  $(x,y)$  ซึ่งบล็อกระเภทนี้จะไม่ได้รับการระบุค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  แต่ถูกตัดสินใจให้ค้นหาต่อไป จึงเป็น



บล็อกประเภทที่ต้องให้จุดการค้นหามากกว่า 2 จุดเพื่อค้นหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในกระบวนการเทคนิคที่นำเสนอ

### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกประเภทที่ 3

ค่าขอบเขตล่าง คือใช้ ค่าเปรียบเทียบเริ่มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกสูง หรือ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 60 ของบล็อกที่มีเวกเตอร์คำตอบเป็นค่า  $(x,y)$  ทั้งหมด เพื่อให้ค่าที่มีไม่ลดต่ำจนมีผลต่อจำนวนบล็อกมากเกินไปและเพื่อให้จำนวนบล็อกที่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 2 จุดไม่มากไปกว่าร้อยละ 60 บล็อกที่มีเวกเตอร์คำตอบเป็นค่า  $(x,y)$  ทั้งหมด

ค่าขอบเขตบน คือใช้ ค่าเปรียบเทียบที่เริ่มให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกคงที่ หรือ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกประมาณร้อยละ 10 ของจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ทั้งหมด เพื่อให้ค่าเปรียบเทียบที่ได้สามารถตัดสินใจผิดพลาดไม่น้อยกว่าประมาณร้อยละ 10 ของบล็อกที่ตอบเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ทั้งหมด ซึ่งเป็นจำนวนบล็อกที่ความผิดพลาดน้อยเพียงพอ และไม่ให้ค่าเปรียบเทียบสูงเกินไป จะเป็นการเพิ่มค่าเปรียบเทียบโดยเกินความจำเป็น

การทดสอบในหัวข้อนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงรูปภาพในรูปแบบ ที่ 4.26-4.35 (ค)

**ประเภทที่ 4** บล็อกที่ไม่ได้ถูกระบุเป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  หรือ จำนวนบล็อกที่ต้องทำการค้นหาต่อไป

บล็อกประเภทที่ 4 เป็น บล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  มากกว่าค่าเปรียบเทียบแต่ละค่า บล็อกประเภทนี้เป็นบล็อกที่ต้องใช้จุดการค้นหามากกว่า 2 จุด บล็อกชนิดนี้รวมบล็อกประเภทที่ 3 ไว้ด้วย

### การหาช่วงขอบเขตจากแผนภาพกราฟของบล็อกประเภทที่ 4

ค่าขอบเขตล่าง คือใช้ ค่าเปรียบเทียบเริ่มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกสูง หรือ ค่าเปรียบเทียบที่ให้จำนวนบล็อกร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกทั้งหมด เพื่อให้ค่าที่มีไม่ลดต่ำจนมีผลต่อจำนวนบล็อกมากเกินไปและเพื่อให้จำนวนบล็อกที่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 2 จุดไม่มากไปกว่าร้อยละ 60 ของจำนวนบล็อกทั้งหมด

สำหรับบล็อกประเภทนี้จะไม่นำมาใช้หาค่าขอบเขตบน เนื่องจากไม่มีนัยสำคัญ

การทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพและแสดงรูปภาพในรูปแบบที่ 4.26-4.35 (ง)

4. หาค่าขอบเขตที่เหมาะสมจากค่าขอบเขตในขั้นที่ 3
5. หาค่าทางสถิติของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด  $(x,y)$  ของบล็อกที่ตอบค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  ดังนี้ ค่าเฉลี่ย และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
6. วิเคราะห์และสรุปผลพร้อมทั้งเลือกค่าเปรียบเทียบ 5 ค่าที่มีนัยสำคัญจากค่าช่วงขอบเขต และค่าทางสถิติ เพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะต่อไป

#### 4.2.2.1 ผลการทดลองเมื่อใช้กับชุดภาพทดสอบทั้งสิบชุดภาพ

ผลการทดลองที่แสดงไว้ในหัวข้อนี้ แสดงในรูปแบบของแผนรูปภาพเพื่อให้ สังเกตได้ง่ายถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกแต่ละประเภท ที่ค่าเปรียบเทียบต่างกันออกไป สำหรับตารางค่าที่นำมาพล็อตในแผนรูปภาพ แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.

แผนรูปภาพในหัวข้อนี้แสดงผลจำนวนบล็อก 4 ประเภท ที่ได้จากการทดสอบกับชุดภาพทดสอบ 10 ชุดภาพ แสดงไว้ใน รูปที่ 4.26-4.35 และเรียงตามประเภทของบล็อก จาก (ก) ถึง (ง) ตามลำดับ

ผลการทดลองของบล็อกประเภทเดียวกันในแต่ละชุดภาพ จะมีรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน ต่างกันที่ค่าตัวเลขจำนวนบล็อกที่วัดได้เท่านั้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรูปแบบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงโดยรวม และทำการวิเคราะห์เฉพาะลักษณะของแต่ละชุดภาพ พร้อมวิเคราะห์และสรุปผลที่เ้าจากการทดลองนี้ ตามลำดับ

##### 4.2.2.1.1 รูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกแต่ละประเภท

จากผลการทดลองหัวข้อนี้ มีช่วงค่าที่น่าสนใจคือช่วงค่าที่สามารถช่วยในการตัดสินใจได้ดี และให้การตัดสินใจที่แม่นยำ และค่าความผิดพลาดต่ำ ถึงแม้จะตัดสินใจผิดพลาด ดังนั้นค่าที่เหมาะสมน่าจะอยู่ในช่วง ค่าเปรียบเทียบต่ำ (ช่วงค่าเปรียบเทียบประมาณ 2 ถึง 4 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำ ถึงแม้จะตัดสินใจผิดพลาด)

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.27-4.36 (ก) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 ( บล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็น  $(x,y)$  ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผนกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้นจำนวนบล็อกก็มากขึ้นด้วย ในช่วงที่ค่าจุดเปลี่ยนใกล้ศูนย์ อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกจะมี

ค่าสูงเทียบกับการเพิ่มค่าเปรียบเทียบ และอัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าเปรียบเทียบช่วงหนึ่ง อัตราการเพิ่มจะเข้าใกล้ศูนย์มาก ซึ่งหมายความว่า จำนวนบล็อกเริ่มใกล้จะมีค่าคงที่ จากลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของจำนวนบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์คำตอบเป็น  $(x,y)$  มีค่าความพียงต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  สูง และมีความหนาแน่นลดลงในช่วงความเปรียบเทียบที่สูงขึ้น นอกจากแผนกราฟนี้จะแสดงถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 แล้ว ค่าจำนวนบล็อกที่เริ่มจะมีค่าคงที่ซึ่งช่วยในการประมาณค่าคร่าวๆของจำนวนบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์คำตอบเป็น  $(x,y)$  ทั้งหมด ทั้งนี้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทนี้จะมีลักษณะเหมือนกันในทุกชุดภาพ แตกต่างกันที่ค่าตัวเลขจำนวน เพราะค่าเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนไหวของแต่ละชุดภาพ

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.27-4.36 (ข) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 2 ( บล็อกที่มีค่าความพียงต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบที่ไม่ใช่  $(x,y)$ ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผนกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้นจำนวนบล็อกก็มากขึ้นด้วย แต่ลักษณะการเพิ่มจะไม่เหมือนดังเช่นบล็อกประเภทที่ 1 แผนกราฟจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละชุดภาพ บล็อกที่อยู่ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ เป็นบล็อกที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะถูกตัดสินคิดให้เป็นบล็อกที่มีเวกเตอร์คำตอบเป็นค่า  $(x,y)$  ดังนั้นยิ่งบล็อกประเภทนี้ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำมีจำนวนน้อยลง การตัดสินผิดพลาดก็จะน้อยลง

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.27-4.36 (ค) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 3 ( บล็อกที่มีค่าความพียงต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  มากกว่าค่าเปรียบเทียบและมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบที่เป็นค่า  $(x,y)$  ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผนกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้นจำนวนบล็อกก็น้อยลงด้วย ในช่วงที่ค่าจุดเปลี่ยนใกล้ศูนย์อัตราการลดของจำนวนบล็อกจะมีค่าสูงเทียบกับการเพิ่มค่าเปรียบเทียบ สังเกตได้ว่าลักษณะแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทนี้จะตรงกันข้ามกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทที่ 1 เนื่องจากบล็อกประเภทนี้เป็นบล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็นค่า  $(x,y)$  ที่เหลือจากบล็อกประเภทที่ 1 ของบล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็นค่า  $(x,y)$  ทั้งหมด นอกจากนี้แผนกราฟของบล็อกประเภทนี้ ยังช่วยในการแสดงค่าจำนวนบล็อกที่มีเวกเตอร์การเคลื่อนที่คำตอบเป็นค่า  $(x,y)$  ทั้งหมดให้เห็นอีกด้วย (เนื่องจากในแผนกราฟของบล็อกประเภทที่ 1 ไม่แสดงค่าที่จำนวนคงที่ออกมา ในช่วงค่าเปรียบเทียบที่เลือกไว้)

จากแผนกราฟในรูปที่ 4.27-4.36 (ง) แสดงจำนวนบล็อกประเภทที่ 4 ( บล็อกที่มีค่าความพียงต่อบล็อกที่เวกเตอร์การเคลื่อนที่  $(x,y)$  มากกว่าค่าเปรียบเทียบ) เทียบกับค่าเปรียบเทียบ แผนกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเปรียบเทียบสูงขึ้นจำนวนบล็อกก็น้อยลงด้วย ในช่วงที่ค่าจุดเปลี่ยนใกล้ศูนย์อัตราการลดของจำนวนบล็อกจะมีค่าสูงเทียบกับการเพิ่มค่าเปรียบเทียบ สังเกตได้ว่าลักษณะ

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของบล็อกประเภทนี้คล้ายกับบล็อกประเภทที่ 3 แต่ต่างกันที่ค่าตัวเลขแผนรูปกราฟของบล็อกประเภทนี้แสดงถึงลักษณะการกระจายจำนวนบล็อกตามค่าความผิดพลาดของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) ของแต่ละชุดภาพ

ลักษณะของผลการทดลองที่ได้จะมีค่าตัวเลขและลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายและใกล้เคียงกับผลที่ได้ในหัวข้อ 4.2.1 เนื่องจาก มีความเป็นไปได้ที่ค่าเวกเตอร์บล็อกข้างเคียงจะเป็นค่า (0,0) เนื่องจากค่าทางสถิติในหัวข้อที่ 4.1.2 ระบุว่าบล็อกส่วนใหญ่จะมีค่าตอบเป็นค่า (0,0)

#### 4.2.2.1.2 การวิจารณ์ผลการทดสอบกับชุดภาพ 10 ชุดภาพ

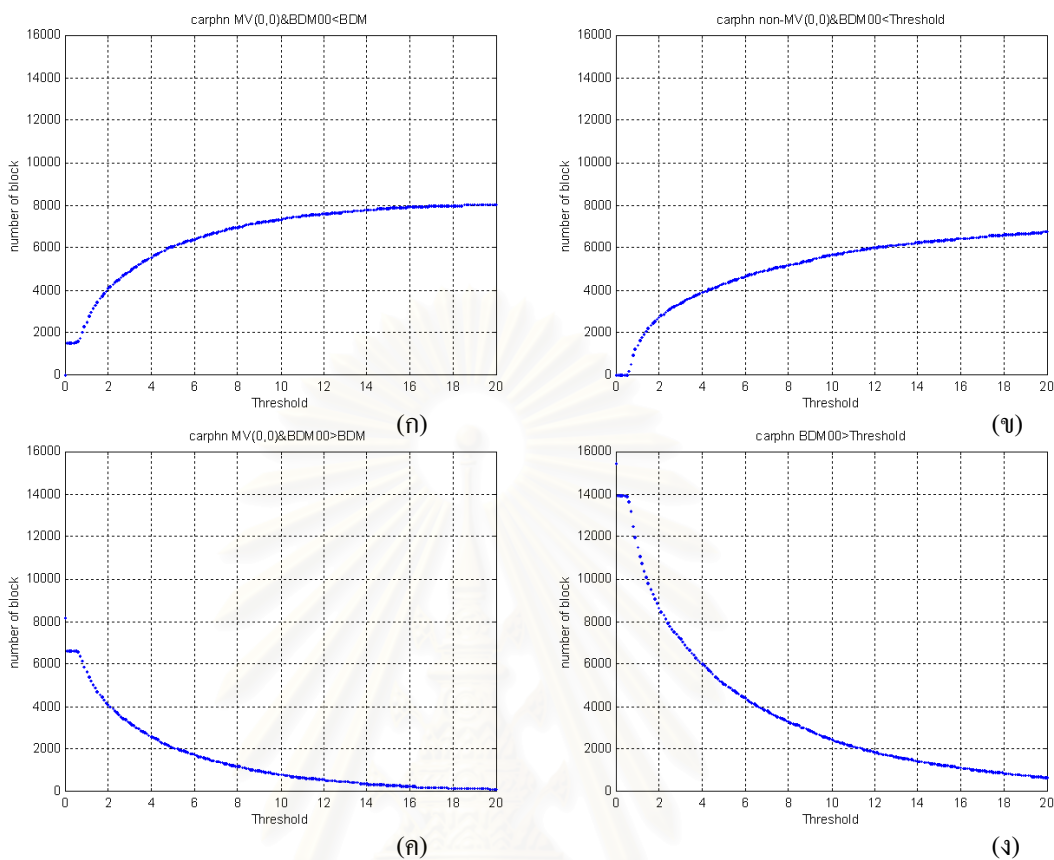
##### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Carphone

จากรูปที่ 4.27 (ก) ชุดภาพ Carphone มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ประมาณสี่พันถึง ประมาณเกือบหกพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกไม่มากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด (x,y) และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด (x,y)

จากรูปที่ 4.27 (ข) ชุดภาพ Carphone ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 สังเกตที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ(ค่าเปรียบเทียบ 2 ถึง 4) และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ที่ไม่ใช่ (x,y) ประมาณสองพันห้าร้อย ถึง ประมาณสี่พันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ปานกลางที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.27 (ค) ชุดภาพ Carphone มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ทั้งหมดประมาณหกพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกไม่มากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด (x,y) จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ประมาณสี่พัน ถึง ประมาณเกือบหกพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ประมาณ หนึ่งพัน ถึง ประมาณสองพันกว่าบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.27 (ง) ชุดภาพ Carphone แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะเป็นสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณหกพัน ถึง ประมาณแปดพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1



รูปที่ 4.27 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่  
ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3  
(ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Carphone

#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Claire

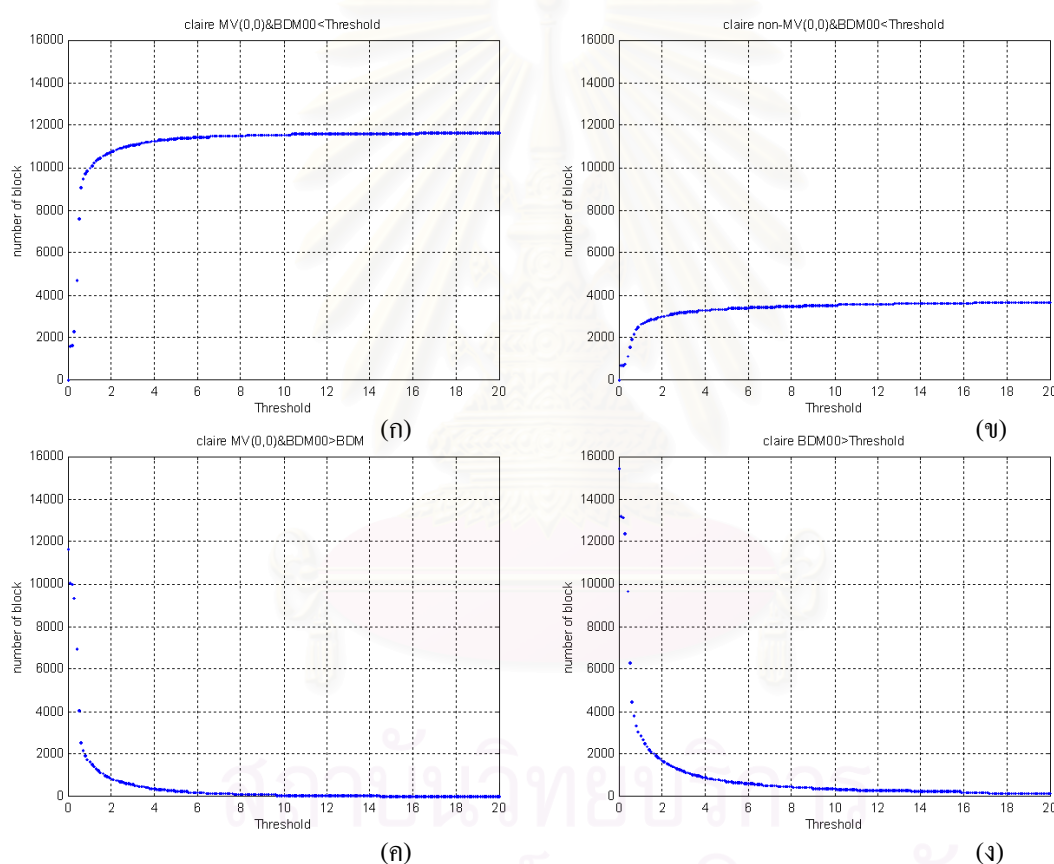
จากรูปที่ 4.28 (ก) ชุดภาพ Claire มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่ไม่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  ซึ่งแสดงถึงลักษณะของชุดภาพที่มีการตัดสินที่ถูกต้องมาก

จากรูปที่ 4.28 (ข) ชุดภาพ Claire ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.28 (ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราการเพิ่มเร็วมาก ( จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่ ) และมี



จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(x,y)$  ประมาณสามพัน ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดพลาดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากนักที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.28 (ค) ชุดภาพ Claire มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณเกือบหนึ่งหมื่นสองพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  เป็นจำนวนประมาณเกือบพันบล็อกที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป ซึ่งเป็นจำนวนน้อย



รูปที่ 4.28 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่  
ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3  
(ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Claire



จากรูปที่ 4.28 (ง) ชุดภาพ Claire แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างต่ำ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณเกือบสองพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบกับค่า (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็บบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้น่าจะมีจำนวนจุดการค้นหาต่ำอีกด้วย เนื่องจากมีจำนวนบล็อกไม่มากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนหลัง

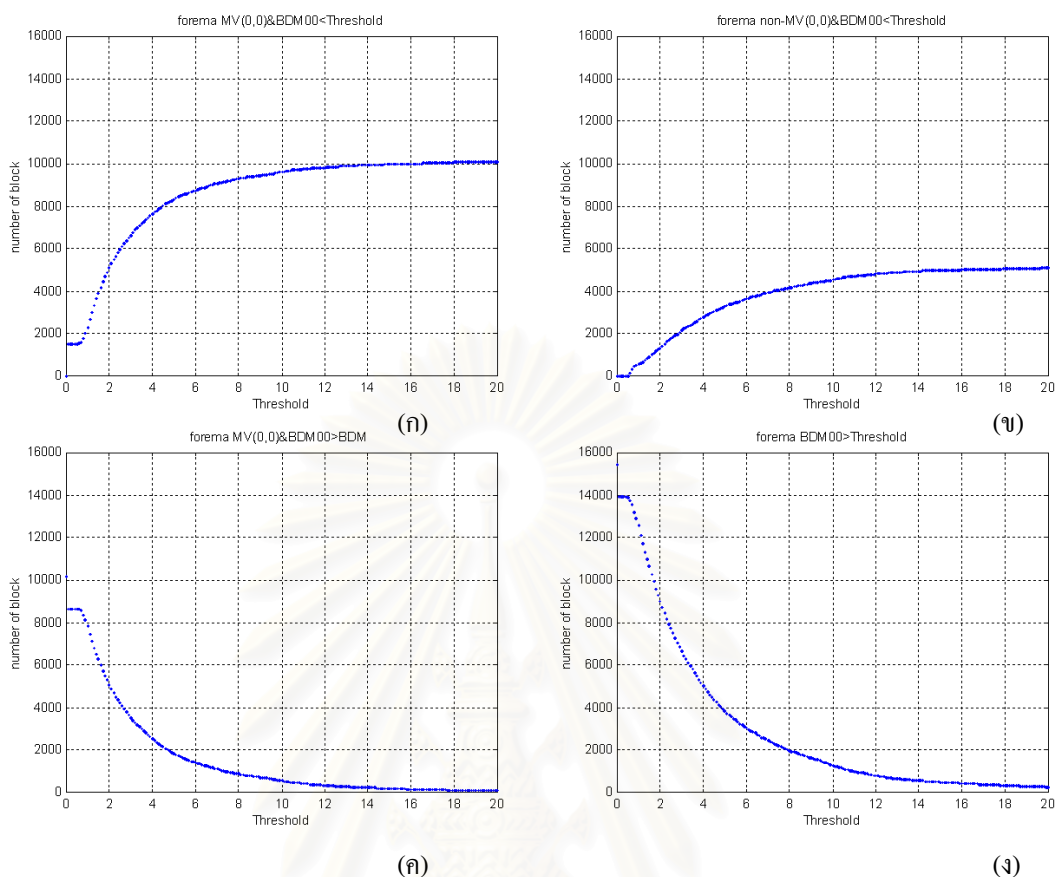
### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Foreman

จากรูปที่ 4.29 (ก) ชุดภาพ Foreman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณห้าพัน ถึง ประมาณเกือบแปดพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบกับค่า (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางค่อนข้างน้อยที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$

จากรูปที่ 4.29 (ข) ชุดภาพ Foreman ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 แต่ในช่วงค่าเปรียบเทียบกับค่าจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนบล็อกที่เกือบจะคงที่ หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มเริ่มลดลงจนกระทั่งจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสามพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบกับค่า (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากนักที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.29 (ค) ชุดภาพ Foreman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณแปดพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางเป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณห้าพัน ถึง ประมาณเกือบแปดพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบกับค่า แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสามพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.29 (ง) ชุดภาพ Foreman แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณห้าพัน ถึง ประมาณเก้าพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบกับค่า (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็บบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1



รูปที่ 4.29 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่  
ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3  
(ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Foreman

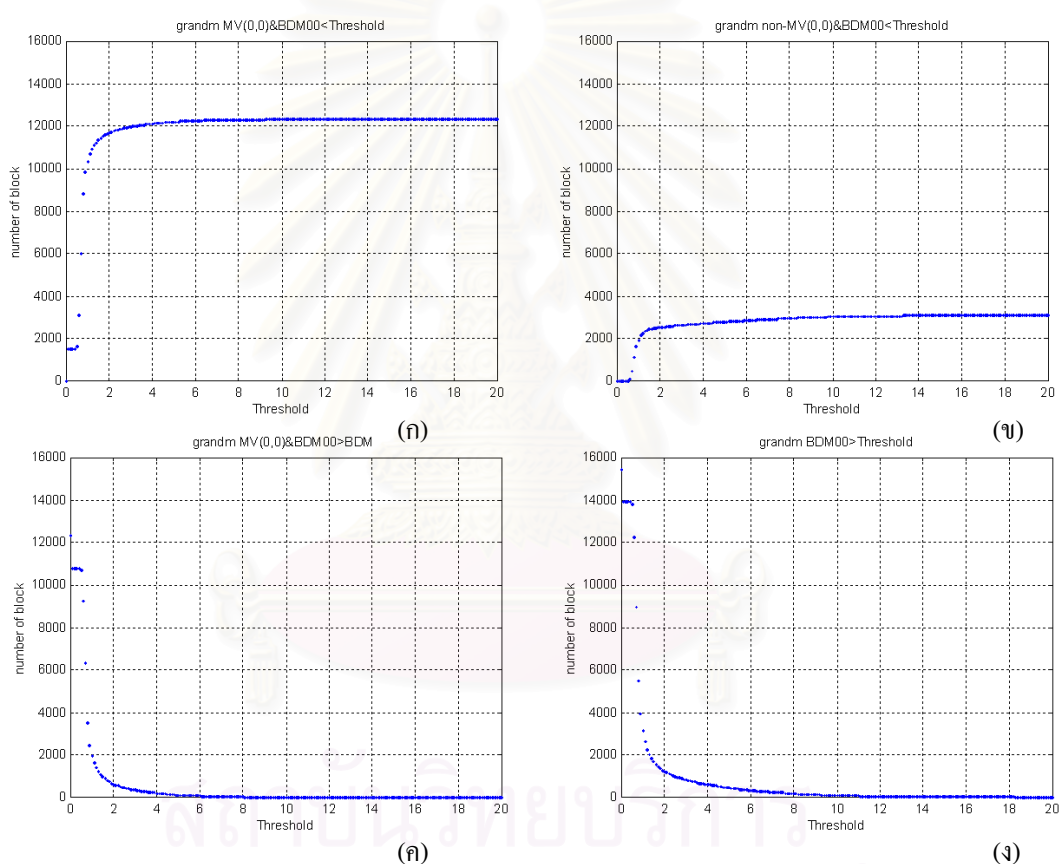
#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Grandmother

จากรูปที่ 4.30 (ก) ชุดภาพ Grandmother มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งหมื่นสองพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสองพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  ซึ่งแสดงถึงลักษณะของชุดภาพที่มีการตัดสินใจที่ถูกต้องมาก

จากรูปที่ 4.30 (ข) ชุดภาพ Grandmother ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.30 (ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก(จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) และมี

จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(x,y)$  ประมาณสามพัน ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดพลาดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากนักที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.30 (ค) ชุดภาพ Grandmother มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณหมื่นสองพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งหมื่นสองพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสองพันกว่าบล็อกในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  เป็นจำนวนน้อยมากที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป



รูปที่ 4.30 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่  
ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3  
(ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Grandmother

จากรูปที่ 4.30 (ง) ชุดภาพ Grandmother แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความถี่ขึ้นต่อบล็อกก่อนข้างต่ำ ค่าความถี่ขึ้นต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณห้าร้อย ถึง ประมาณหนึ่งพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้น่าจะมีจำนวนจุดการค้นหาต่ำอีกด้วย เนื่องจากมีจำนวนบล็อกไม่มากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนหลัง

### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Miss America

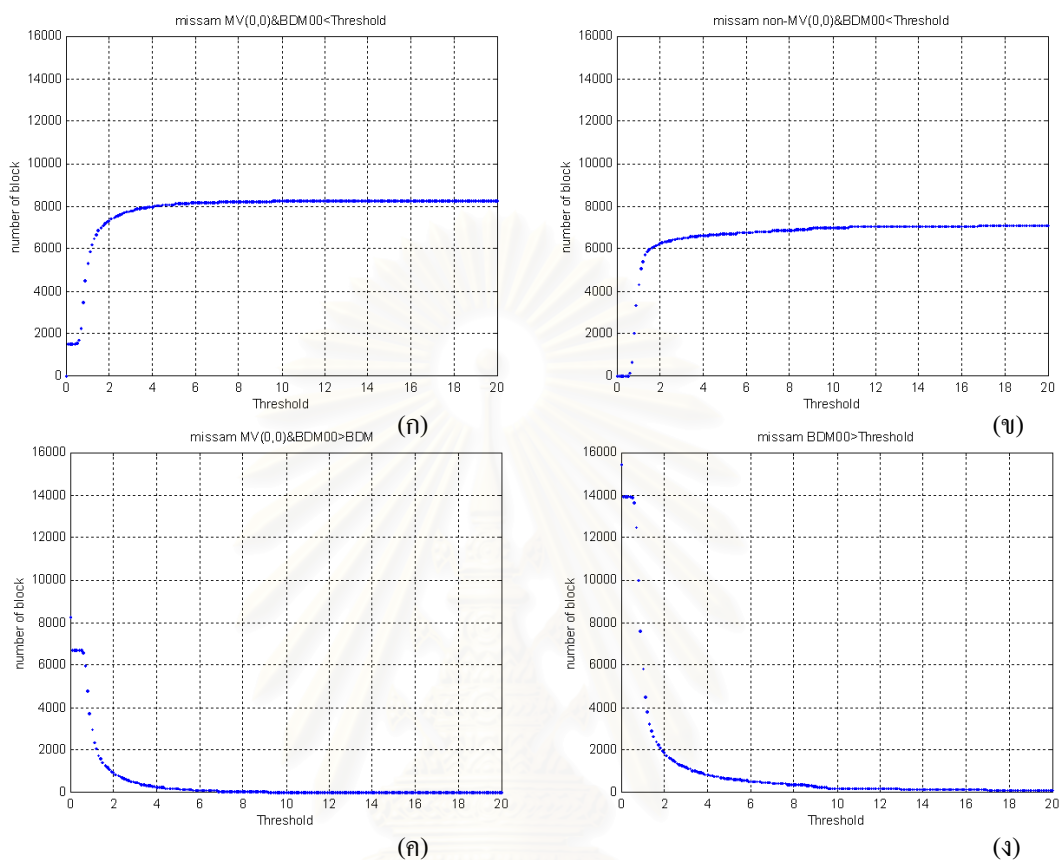
จากรูปที่ 4.31 (ก) ชุดภาพ Miss America มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณเจ็ดพัน ถึง ประมาณแปดพันกว่าบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$

จากรูปที่ 4.31 (ข) ชุดภาพ Miss America ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.31 (ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก (จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(x,y)$  ประมาณหกพันกว่า ถึง ประมาณเกือบเจ็ดพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่มากที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.31 (ค) ชุดภาพ Miss America มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณแปดพันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณเจ็ดพัน ถึง ประมาณแปดพันกว่าบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  เป็นจำนวนน้อยประมาณหนึ่งพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.31 (ง) ชุดภาพ Miss America แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความถี่ขึ้นต่อบล็อกก่อนข้างต่ำ ค่าความถี่ขึ้นต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณเกือบสองพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมี

โอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 ชุดภาพน่าจะใช้จำนวนจุดการค้นหามากเพราะมีบล็อกจำนวนไม่มากที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป



รูปที่ 4.31 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Miss America

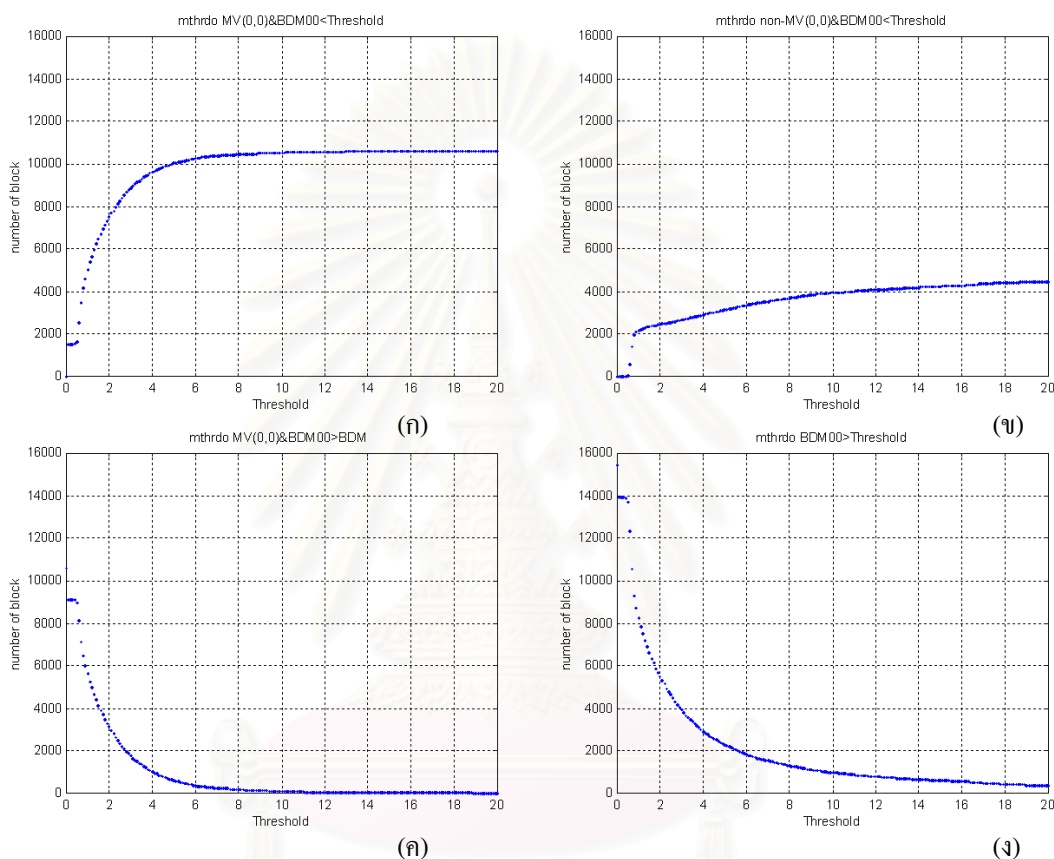
#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Mother&Daughter

จากรูปที่ 4.32 (ก) ชุดภาพ Mother&Daughter มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณเกือบหนึ่งหมื่นบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางค่อนข้างมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$

จากรูปที่ 4.32 (ข) ชุดภาพ Mother&Daughter ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.32



(ข) จะมีช่วงที่มีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก (จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มอีกช่วง แต่ไม่ฉับพลันเช่นเดียวกับการเปลี่ยนอัตราการเพิ่มในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ ก่อนที่จะเข้าสู่ค่าจำนวนบล็อกที่คงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(x,y)$  ประมาณสองพันห้าร้อยกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดพลาดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากที่จะตัดสินผิดพลาด



รูปที่ 4.32 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Mother&Daughter

จากรูปที่ 4.32 (ค) ชุดภาพ Mother&Daughter มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณเกือบหนึ่งหมื่นหนึ่งพันบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณเกือบหนึ่งหมื่นบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสามพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป



จากรูปที่ 4.32 (ง) ชุดภาพ Mother&Daughter แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณสองพันห้าร้อย ถึง ประมาณหกพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 ชุดภาพน่าจะใช้งานจุดการค้นหากลางเพราะมีบล็อกจำนวนปานกลางที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป

### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Salesman

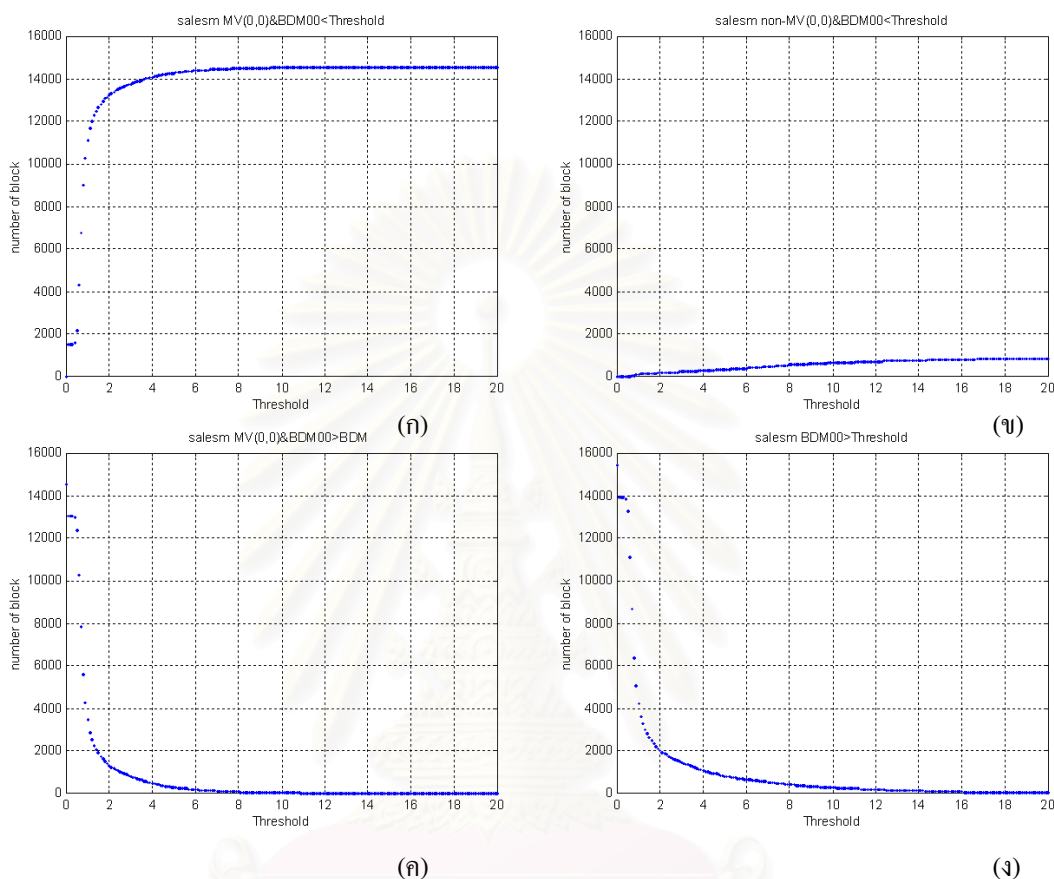
จากรูปที่ 4.33 (ก) ชุดภาพ Salesman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ประมาณหนึ่งหมื่นสามพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสี่พันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด (x,y) และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด (x,y) ซึ่งแสดงถึงลักษณะของชุดภาพที่มีการตัดสินใจที่ถูกต้องมาก

จากรูปที่ 4.33 (ข) ชุดภาพ Salesman ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 มีอัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่ (x,y) ประมาณห้าร้อยบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ต่ำมากที่จะตัดสินใจผิดพลาด

จากรูปที่ 4.33 (ค) ชุดภาพ Salesman มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ทั้งหมดประมาณหมื่นสี่พันกว่าบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด (x,y) จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ประมาณหนึ่งหมื่นสามพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นสี่พันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) เป็นจำนวนน้อยมากที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.33 (ง) ชุดภาพ Salesman แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างต่ำ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะต่ำเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสองพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้น่าจะมีจำนวนจุดการค้นหาค่อนข้างต่ำอีกด้วย เนื่อง

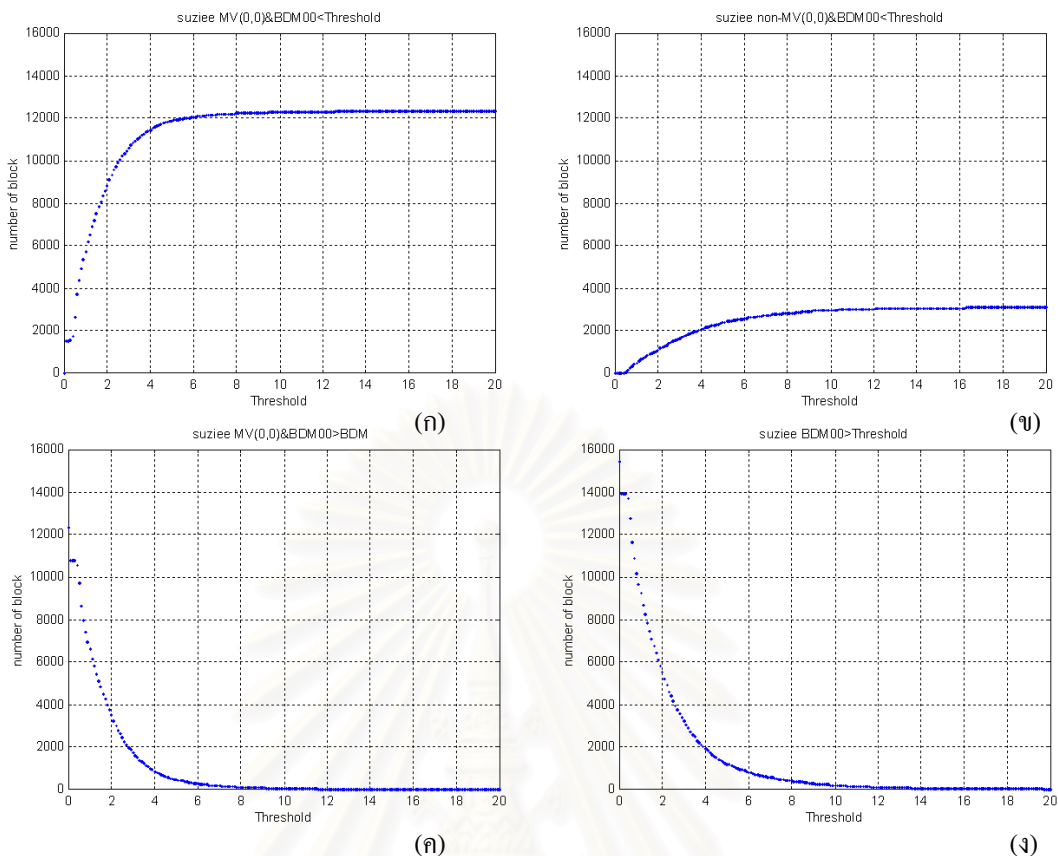
จากมีจำนวนบล็อกไม่มากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนหลังจากรูปที่ 4.23 (ก) และ (ข) ชุดภาพ Salesman น่าจะเป็นชุดภาพที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำมาก เนื่องจากมีจำนวนที่ทำการตัดสินใจผิดพลาด และมีจำนวนบล็อกมากตัดสินใจ



รูปที่ 4.33 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่ ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Salesman

#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Suzie

จากรูปที่ 4.34 (ก) ชุดภาพ Suzie มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณหมื่นหนึ่งพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดพลาดหรือถูก) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางค่อนข้างมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$



รูปที่ 4.34 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่  
 ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3  
 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Suzie

จากรูปที่ 4.34 (ข) ชุดภาพ Suzie ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.34 (ข) ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำจะมีอัตราการเพิ่มจำนวนบล็อกที่เกือบจะคงที่ หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มเริ่มลดลงจนกระทั่งจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสองพันกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดพลาดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ไม่มากที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.34 (ค) ชุดภาพ Suzie มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณหนึ่งหมื่นสองพันบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่ไม่มีมีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณหมื่นหนึ่งพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสี่พันบล็อก ที่ต้องใช้ในการค้นหาในขั้นถัดไป

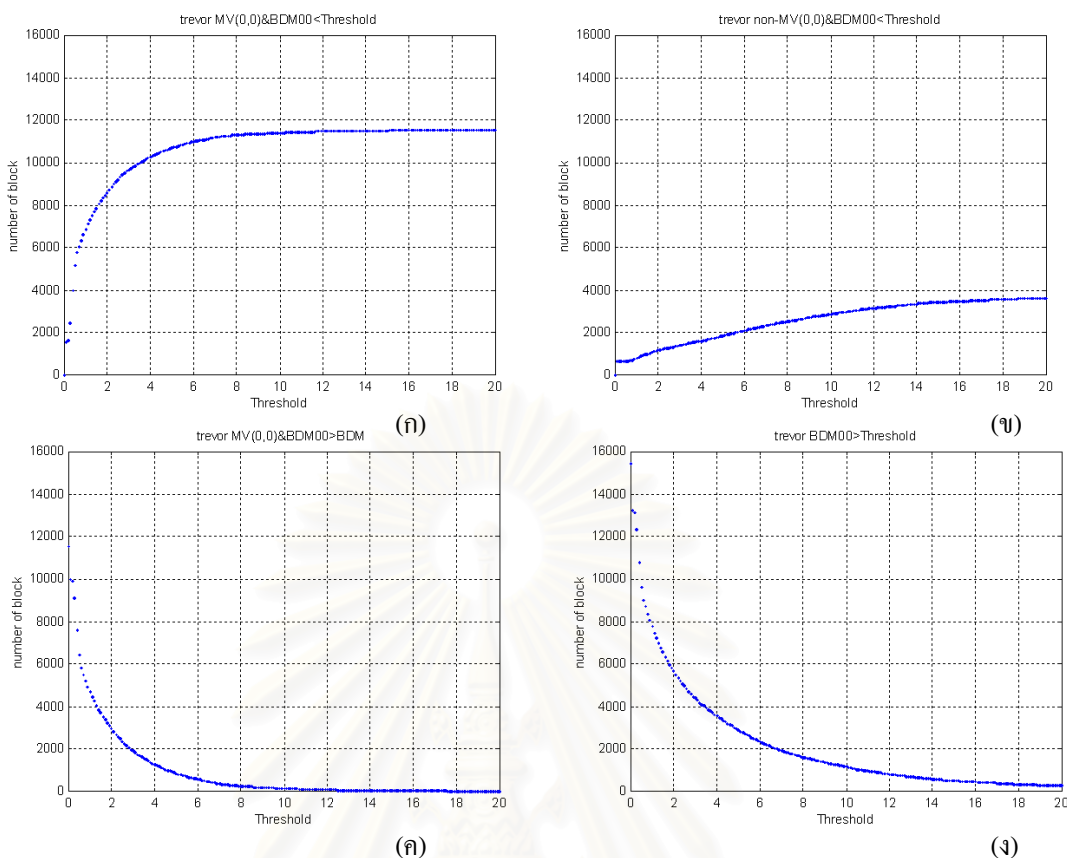
จากรูปที่ 4.34 (ง) ชุดภาพ Suzie แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณสองพัน ถึง ประมาณหกพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ที่จะเป็นบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1

### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Trevor

จากรูปที่ 4.35 (ก) ชุดภาพ Trevor มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณแปดพันกว่า ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกปานกลางก่อนมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$

จากรูปที่ 4.35 (ข) ชุดภาพ Trevor ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 คล้ายกับของบล็อกประเภทที่ 1 ต่างกันที่อัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อก สังเกตได้ว่าในรูปที่ 4.35 (ข) ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำมีอัตราการเพิ่มสูงและมีการลดของอัตราเพิ่มเร็วมาก (จำนวนบล็อกที่ค่อนข้างจะคงที่) หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มอีกช่วง แต่ไม่จับปล้นเช่นเดียวกับการเปลี่ยนอัตราการเพิ่มในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ ก่อนที่จะเข้าสู่ค่าจำนวนบล็อกที่คงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณเกือบสองพันบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินผิดหรือถูก ) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ค่อนข้างน้อยที่จะตัดสินผิดพลาด

จากรูปที่ 4.35 (ค) ชุดภาพ Trevor มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณหนึ่งหมื่นสองพันบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณแปดพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นกว่าบล็อก ที่ช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหนึ่งพัน ถึง ประมาณสี่พันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป



รูปที่ 4.35 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่  
ค่าจุดศูนย์กลางใหม่ (x,y) (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3  
(ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Trevor

จากรูปที่ 4.35 (ง) ชุดภาพ Trevor แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณสามพัน ถึง ประมาณหกพันบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ที่จะเป็บบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1

#### ผลการทดสอบกับชุดภาพ Table Tennis

จากรูปที่ 4.36 (ก) ชุดภาพ Table Tennis มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ (x,y) ประมาณหกพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) เป็นชุดภาพที่มี



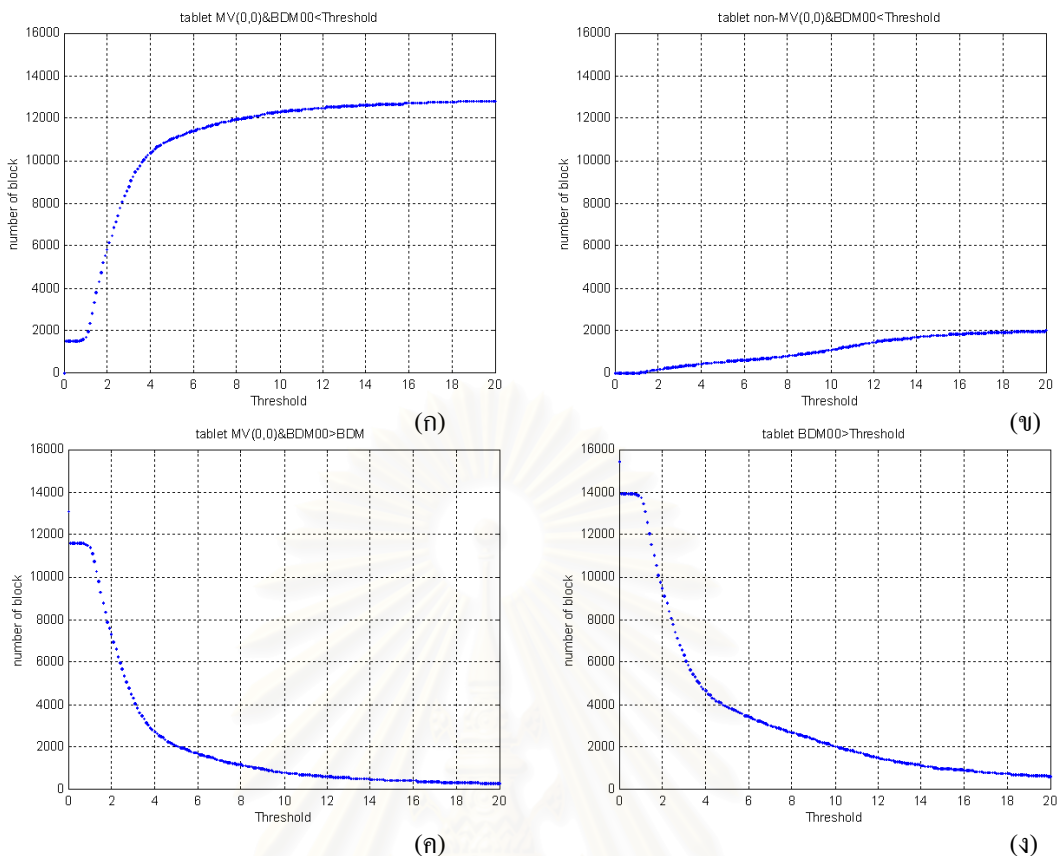
จำนวนบล็อกปานกลางที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหวเทียบกับจุด  $(x,y)$  และผ่านการตัดสินใจให้เป็นบล็อกเคลื่อนไหวที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว เทียบกับจุด  $(x,y)$

จากรูปที่ 4.36 (ข) ชุดภาพ Table Tennis ลักษณะแนวโน้มของบล็อกประเภทที่ 2 มีอัตราการเพิ่มของจำนวนบล็อกค่อนข้างคงที่ และมีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์ ที่ไม่ใช่  $(x,y)$  ประมาณห้าร้อยบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่ต่ำมากที่จะตัดสินใจผิดพลาด

จากรูปที่ 4.36 (ค) ชุดภาพ Table Tennis มีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ทั้งหมดประมาณหมื่นสามพันบล็อก เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกมากที่เป็นบล็อกที่มีไม่มีการเคลื่อนไหว เทียบกับจุด  $(x,y)$  จำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณหกพัน ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ แสดงว่ามีจำนวนบล็อกที่ตอบเวกเตอร์  $(x,y)$  ประมาณสองพัน ถึง ประมาณเจ็ดพันบล็อก ที่ต้องใช้การค้นหาในขั้นถัดไป

จากรูปที่ 4.36 (ง) ชุดภาพ Table Tennis แสดงถึงลักษณะของชุดภาพ ได้ชัดเจนว่าเป็นชุดภาพที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกค่อนข้างสูง ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ได้จากการประมาณน่าจะสูงเมื่อเทียบกับชุดภาพอื่นๆ และมีจำนวนบล็อกประมาณสี่พันกว่า ถึง ประมาณหนึ่งหมื่นบล็อก ในช่วงค่าเปรียบเทียบต่ำ (ประมาณ 2 – 4 : ช่วงที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะเป็นค่าจุดเปลี่ยน เพราะให้ค่าความผิดพลาดต่ำไม่ว่าจะตัดสินใจผิดหรือถูก) ที่จะบล็อกที่ต้องทำการคำนวณในขั้นต่อไป เพราะมีโอกาสสูงที่จะไม่ต่ำกว่าค่าจุดเปลี่ยนที่ 1 และชุดภาพนี้น่าจะมีจำนวนจุดการค้นหาสูงอีกด้วย เนื่องจากมีจำนวนบล็อกเป็นจำนวนมากที่ทำการค้นหาในขั้นตอนการค้นหาขั้นต่อไป





รูปที่ 4.36 รูปกราฟแสดงจำนวนบล็อกเทียบกับค่าเปรียบเทียบ สำหรับกรณีพิจารณาที่  
 ค่าจุดศูนย์กลางใหม่  $(x,y)$  (ก) ประเภทที่ 1 (ข) ประเภทที่ 2 (ค) ประเภทที่ 3  
 (ง) ประเภทที่ 4 สำหรับชุดภาพ Table Tennis

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้นในกรณีที่ชุดภาพมีลักษณะที่มีบล็อกแบบไม่มีการเคลื่อนไหว  
 เทียบกับจุดศูนย์กลางใหม่เป็นจำนวนมาก และมีลักษณะแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับผลการ  
 ทดลอง ในการทดลองที่ 4.2.1 เนื่องจากบล็อกส่วนใหญ่จะมีค่าตอบเป็น  $(0,0)$  ดังนั้น จุดศูนย์กลาง  
 ใหม่ส่วนใหญ่จะมีค่า  $(0,0)$  ผลที่ได้จึงมีลักษณะคล้ายกับการทดลองที่ 4.2.1 แต่มีจำนวนบล็อกมาก  
 กว่าเนื่องจากได้รวมบล็อกที่เป็นกรณีที่ไม่ใช่  $(0,0)$  ไว้ด้วย โดยมีบล็อกประเภทที่ 1 มาก เช่น Claire  
 Grandmother Salesman Suziee และ Table Tennis สำหรับ Table Tennis ในช่วงแรกจะมีภาพที่เป็น  
 Background มาก หลังจากนั้นประมาณ เฟรมที่ 35-40 จะมีการซูมออก ทำให้ลักษณะภาพโดยรวม  
 ไม่เหมือนชุดภาพอื่น ซึ่งมีความคล้ายกันตลอด 40 เฟรม สำหรับชุดภาพที่มีการกระจายมาก (ค่า  
 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก) เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกประเภทที่สอง ในช่วงค่าเปรียบเทียบ 2-  
 4 มากกว่าเมื่อเทียบกับชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 ใกล้เคียงกัน ในกรณีที่มีการกระจายเท่า  
 กัน แต่มีจำนวนบล็อกประเภทที่ 1 มากกว่า จำนวนบล็อกประเภทที่ 2 ก็จะมีจำนวนน้อยกว่าตามไป

ด้วย เช่น ระหว่าง ชุดภาพ Trevor และชุดภาพ Carphone นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าบล็อกรูปที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกรูปค่ามักจะอยู่ในช่วงการเคลื่อนที่ขนาดเล็ก และยังสังเกตได้อีกว่าบล็อกรูปที่มีจำนวนบล็อกรูปประเภทที่ 4 มากและมีค่าเปรียบเทียบโดยรวมสูง เป็นชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกรูปประเภทที่ 1 น้อย ถือเป็นชุดภาพที่มีการเคลื่อนไหวสูง เช่น Carphone Foreman Trevor ดังที่กล่าวมาข้างต้น ชุดภาพ Table Tennis จะมีลักษณะแปลกไปด้วยเหตุผลดังกล่าว โดยเป็นชุดภาพที่มีลักษณะสอดคล้อง ทั้งในกรณีของบล็อกรูปประเภทที่ 1 และ บล็อกรูปประเภทที่ 4 และยังมีชุดภาพที่มีจำนวนบล็อกรูปประเภทที่ 1 น้อย แต่มีจำนวนบล็อกรูปประเภทที่ 4 น้อยด้วย นั่นคือ Miss America เนื่องจากว่าเป็นชุดภาพที่มีภาพพื้นมากพอสมควร ส่งผลให้บล็อกรูปประเภทที่ 4 น้อย และการเคลื่อนไหวส่วนหัวมีจำนวนมากแต่เคลื่อนไหวด้วยขนาดเล็ก จึงส่งผลให้บล็อกรูปประเภทที่ 1 น้อยแต่บล็อกรูปประเภทที่ 2 มากด้วย สังเกตได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดภาพ Miss America มีค่ามาก และเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าจำนวนบล็อกรูปประเภทที่ 2 ซึ่งเป็นบล็อกรูปที่ตัดสนใจผิคนั้นของชุดภาพ Foreman และ Suzie มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับผลการทดลองในการทดลองที่ 4.2.1 แสดงให้เห็นว่า สองชุดภาพนี้มีจำนวนบล็อกรูปที่มีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เหมือนกับจุดศูนย์กลางใหม่ที่ไม่ใช่จุด (0,0) เป็นจำนวนมากทำให้การตัดสนใจเป็น จุดศูนย์กลางใหม่มีความผิดพลาดน้อยลงเมื่อเทียบกับผลการทดลองในการทดลองที่ 4.2.1

#### 4.2.2.2 การเลือกช่วงที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยน T2

ในหัวข้อนี้ นำค่าขอบเขตที่ได้จากการทดลองให้หัวข้อที่ 4.2.2.1 มาเพื่อคำนวณหาช่วงที่ควรจะใช้เป็นค่าจุดเปลี่ยน T3 โดยใช้การเฉลี่ยค่าขอบเขตทั้งหมดที่ได้ดังกล่าว เหตุผลของการเลือกค่าขอบเขตอธิบายไว้ในวิธีทำการทดลองข้อที่ 3

ค่าขอบเขตแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ได้มาจากตารางค่าของผลการทดลองกับชุดภาพทั้งสิบที่แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.

ค่าเฉลี่ยของค่าขอบเขตล่างเท่ากับ 0.910

ค่าเฉลี่ยของค่าขอบเขตบนเท่ากับ 4.165

ดังนั้นค่า T2 ที่จะใช้สำหรับเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางจะอยู่ในช่วง 0.910 ถึง 4.165 เพื่อให้ค่า T2 สามารถตัดสนใจประเภทของบล็อกรูปได้ถูกต้อง เป็นที่น่าพอใจและไม่ใช้การคำนวณมากเกินไปจนความจำเป็น

ตารางที่ 4.3 ค่าขอบเขตของชุดภาพทั้งสิบที่ได้จากการทดลอง กรณีพิจารณาด้วยจุดศูนย์กลางใหม่

ชนิดบล็อก ขอบเขต	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2		ประเภทที่ 3		ประเภทที่ 4
	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง	ล่าง
Carphone	2	4.2	0.3	9.7	1.4	1.8
Claire	0.5	0.7	0	1.4	0.4	0.5
Forema	2	4.4	0.4	7.2	1.6	2
Grandm	0.8	0.9	0.4	1.2	0.7	0.7
Missam	0.9	0.9	0.4	2.1	0.8	0.9
Mthrdo	1.1	3	0.3	3.8	0.9	0.9
Salesm	0.8	7.5	0.5	1.8	0.7	0.7
Suzie	1.1	3.3	0.2	3.3	0.9	1
Trevor	0.7	6.2	0	4.1	0.5	0.6
Tablet	2.3	10.5	0.7	7.1	1.9	2.1

#### 4.2.2.3 ค่าทางสถิติของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (x,y)

ในหัวข้อนี้ จะทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (x,y) ของบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์เป็นค่า (x,y) ซึ่งถือเป็นค่าตัวแทนของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (x,y) ของบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์เป็นค่า (x,y) เนื่องจากว่าค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ให้ระยะทางเฉลี่ยยกกำลังสองต่ำสุด วัดจากค่าเฉลี่ยไปยังทุกค่า

ด้วยเหตุผลดังกล่าวค่าเฉลี่ยจึงเป็นค่าที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นค่ากลางของการหาค่าจุดเปลี่ยน T2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 จากตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของBDMncen แสดงถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชุดภาพ ซึ่งแปรผันตามค่าเฉลี่ยของ BDM00 ค่าเฉลี่ยของ BDMncen สูงแสดงว่าชุดภาพมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนมาก เนื่องจากว่าเป็นค่าเฉลี่ยของบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของ BDMncen สูงยังแสดงถึงจำนวนบล็อกที่จะมีโอกาสผ่านการตัดสินใจด้วย T2 มีจำนวนน้อย เนื่องจากว่าค่า T2 มีค่าค่อนข้างต่ำ (จากค่าขอบเขตที่หาได้ในหัวข้อ 4.2.2.2) จึงไม่สามารถครอบคลุมบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวที่มีค่า BDMncen สูงได้

สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพแสดงถึงการกระจายของค่า BDMncen ในกรณีที่ค่าการกระจายสูง หมายถึง ชุดภาพนั้นๆ มีบล็อกที่ไม่มีเคลื่อนไหวเทียบกับจุด (x,y) ที่มีค่า BDMncen หลากหลายเป็นจำนวนมากหรือมีความเป็นกลุ่มก้อนของค่า BDMncen ต่ำ การใช้ค่า T2 และปรับตัวด้วยค่าเฉลี่ยจึงไม่สามารถมีการตัดสินครอบคลุบบล็อกได้มาก

จากค่าเฉลี่ยที่หาได้คือ 2.06942

จากค่าขอบเขตที่ได้ในหัวข้อ 4.2.2.2 คือ 0.910 ถึง 4.165

ค่าตัวเลขจำนวน 5 ค่า ที่จะนำไปทดสอบเพื่อหาค่า T1 ที่เหมาะสม

จะเลือกค่าดังนี้

2.069 เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (x,y) ของบล็อกที่มีค่าเวกเตอร์เป็นค่า (x,y) ซึ่งถือเป็นค่าหลักในการหาค่า T2

0.910 และ 4.165 เนื่องจากเป็นค่าขอบเขตที่หาได้

1.490 และ 3.117 เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าหลักในการหาค่า T2 กับค่าขอบเขตล่าง และขอบเขตบนที่หาได้ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดภาพ กรณีสำหรับค่า T2

	ค่าเฉลี่ยของBDM00	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของBDM00
Carphone	3.7726	4.6874
Claire	0.7716	1.4617
Forema	3.1670	3.785
Grandm	0.8443	0.8375
Missam	2.5018	1.7675
Mthrdo	1.1036	1.2431
Salesm	1.7675	2.5018
Suzie	1.5764	1.6308
Trevor	1.5862	2.3219
Tablet	3.6032	5.6586
ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	2.06942	

## สรุปและวิจารณ์ผล

ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด(x,y) มีนัยสำคัญต่อบล็อกที่ตอบค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (x,y) โดยส่วนใหญ่บล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหว (non-motion block) เมื่อเทียบกับจุด (x,y) หรือบล็อกที่ตอบค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (x,y) มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (x,y) ต่ำกว่า บล็อกที่มีการเคลื่อนไหว (motion block) เทียบกับจุด (x,y) ดังนั้นค่าจุดเปลี่ยนมีนัยสำคัญในการระบุชนิดของบล็อกกว่ามีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เป็น (x,y) ถึงแม้จะมีความผิดพลาดมากในการระบุของบางชุดภาพ แต่ก็มีความต่ำของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ยอมรับได้เมื่อพิจารณาทั้งจำนวนบล็อกที่ตัดสินได้ถูกและจำนวนจุดการค้นหาที่ลดลง ค่าที่เลือกจากการทดลองนี้เพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่า T2 ที่เหมาะสมมีดังนี้ 0.910 1.490 2.069 3.117 4.165

### 4.2.3 การทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการระบุ ด้วยค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ได้จากหัวข้อ 4.2.1 และ หัวข้อ 4.2.2

#### วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการระบุที่ค่าจุดเปลี่ยนต่างๆ พร้อมทั้งหาค่าจุดเปลี่ยนที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยใช้ช่วงค่าที่ได้มาจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2

#### วิธีการทดลอง

1. เก็บค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ค่าเวกเตอร์(0,0) และที่ค่า(x,y) ที่เป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่ พร้อมทั้งค่าเวกเตอร์ของบล็อกปัจจุบันและ บล็อกก่อนหน้านี้
2. นำค่า T1 และ T2 ที่ได้จากหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 มาใช้ทดสอบ
3. เก็บค่าจำนวนบล็อกที่ได้จากการตัดสินด้วย T1 และ T2
4. วิเคราะห์พร้อมทั้งสรุปความสามารถของค่า T1 และ T2

#### 4.2.3.1 ผลการทดลองด้วยค่า T1

ค่าที่เลือกเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่า T1 ที่เหมาะสมมีดังนี้ 0.965 1.489 2.013 3.014

4.015

ตารางที่ 4.5 แสดงร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเทียบกับจำนวนบล็อกทั้งหมด 15,444 บล็อก จำนวนบล็อกเหล่านี้ได้จากการตัดสินใจด้วย T1 ที่ค่า 0.965 1.489 2.013 3.014 4.015

Type 1 ร้อยละของบล็อกที่ตัดสินใจได้ถูกต้องด้วย T1

Type 2 ร้อยละของบล็อกที่ตัดสินใจผิดพลาดด้วย T1

Type 3 ร้อยละของบล็อกที่ตอบเวกเตอร์(0,0) แต่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 1 จุด

Type 4 ร้อยละของบล็อกที่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 1 จุด

ตารางที่ 4.5 จำนวนบล็อกที่ได้จากการตัดสินใจด้วย T1 เท่ากับ 0.965 1.489 2.013 3.014 4.015

T1=0.965	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	10.185	17.314	30.873	72.501
Claire	67.243	19.665	10.800	13.093
Forema	4.040	4.3253	30.7498	91.6343
Grandm	64.433	21.309	13.598	14.258
Missam	36.046	40.262	20.513	23.692
Mthrdo	31.501	18.875	33.223	49.624
Salesm	69.742	1.476	24.391	28.781
Suzie	35.503	3.522	40.436	60.975
Trevor	44.017	6.889	30.064	49.094
Tablet	1.159	0.052	79.028	98.789
ค่าเฉลี่ย	36.387	13.369	31.368	50.244

T1=1.489	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	16.388	24.314	24.670	59.298
Claire	70.804	19.762	7.239	9.434
Forema	11.584	7.427	23.206	80.989
Grandm	71.290	21.374	6.741	7.336
Missam	46.847	42.295	9.713	10.859
Mthrdo	41.304	19.218	23.420	39.478
Salesm	81.611	1.638	12.523	16.751
Suzie	46.886	5.368	29.053	47.747
Trevor	50.790	7.349	23.291	41.861
Tablet	16.369	0.589	63.818	83.042
ค่าเฉลี่ย	45.387	14.933	22.367	39.680



ตารางที่ 4.5 (ต่อ)จำนวนบล็อกรู้ที่ได้จากการตัดสินใจด้วย T1 เท่ากับ 0.965 1.489 2.013 3.014 4.015

T1=2.013	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	20.215	28.620	20.843	51.166
Claire	72.805	19.950	5.238	7.246
Forema	16.550	11.364	18.240	72.086
Grandm	73.796	21.400	4.235	4.8045
Missam	50.304	42.521	6.255	7.174
Mthrdo	47.384	19.619	17.340	32.997
Salesm	85.431	1.800	8.702	12.769
Suzie	55.264	7.012	20.675	37.723
Trevor	55.653	7.945	18.428	36.403
Tablet	31.384	1.373	48.802	67.243
ค่าเฉลี่ย	50.879	16.160	16.876	32.961

T1=3.014	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	25.259	34.920	15.800	39.821
Claire	74.974	20.215	3.069	4.811
Forema	21.976	19.710	12.814	58.314
Grandm	75.686	21.465	2.344	2.849
Missam	53.406	42.819	3.153	3.775
Mthrdo	55.051	20.901	9.674	24.048
Salesm	88.947	2.079	5.187	8.974
Suzie	65.812	10.632	10.127	23.556
Trevor	62.173	9.039	11.908	28.788
Tablet	53.166	2.7648	27.020	44.069
ค่าเฉลี่ย	57.654	18.454	10.110	23.901

T1=4.015	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	29.060	39.906	11.998	31.035
Claire	76.230	20.662	1.813	3.108
Forema	25.427	26.476	9.363	48.096
Grandm	76.729	21.542	1.302	1.729
Missam	54.817	42.994	1.742	2.189
Mthrdo	59.046	22.6107	5.6786	18.3437
Salesm	91.052	2.338	3.082	6.611
Suzie	70.811	14.180	5.128	15.009
Trevor	66.116	10.580	7.964	23.3035
Tablet	64.388	3.814	15.799	31.799
ค่าเฉลี่ย	61.368	20.510	6.387	18.122

#### 4.2.3.2 ผลการทดลองด้วยค่า T2

ค่าที่เลือกเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่า T2 ที่เหมาะสมมีดังนี้ 0.910 1.490 2.069 3.117

4.165

ตารางที่ 4.6 แสดงร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเทียบกับจำนวนบล็อกทั้งหมด 15,444 บล็อก จำนวนบล็อกเหล่านี้ได้จากการตัดสินด้วย T2 ที่ค่า 0.910 1.490 2.069 3.117 4.165

Type 1 ร้อยละของบล็อกที่ตัดสินได้ถูกต้องด้วย T2

Type 2 ร้อยละของบล็อกที่ตัดสินได้ผิดด้วย T2

Type 3 ร้อยละของบล็อกที่ตอบเวกเตอร์(x,y) แต่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 2 จุด

Type 4 ร้อยละของบล็อกที่ใช้จุดการค้นหามากกว่า 2 จุด

ตารางที่ 4.6 จำนวนบล็อกที่ได้จากการตัดสินด้วย T2 เท่ากับ 0.910 1.490 2.069 3.117 4.165

T2=0.910	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	14.815	7.835	37.918	77.350
Claire	63.889	16.213	11.370	19.898
Forema	13.177	3.322	52.661	83.502
Grandm	63.941	10.554	15.857	25.505
Missam	29.312	21.549	24.119	49.139
Mthrdo	29.908	13.585	38.902	56.507
Salesm	66.583	0.505	27.713	32.913
Suzie	34.771	2.655	45.073	62.575
Trevor	42.910	4.934	31.922	52.156
Tablet	10.269	0.007	74.579	89.724
ค่าเฉลี่ย	36.958	8.116	36.011	54.927

T2=1.490	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	22.300	14.141	30.433	63.559
Claire	67.832	18.467	7.427	13.701
Forema	25.091	5.892	40.747	69.017
Grandm	73.381	15.754	6.417	10.865
Missam	44.231	38.623	9.201	17.146
Mthrdo	42.010	15.197	26.800	42.793
Salesm	81.980	0.932	12.316	17.088
Suzie	48.595	5.439	31.248	45.966
Trevor	50.861	6.494	23.971	42.644
Tablet	24.670	0.512	60.179	74.819
ค่าเฉลี่ย	48.065	12.145	24.874	39.760

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) จำนวนบล็อกที่ได้จากการตัดสินด้วย T2 เท่ากับ 0.910 1.490 2.069 3.117 4.165

T2=2.069	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	27.046	18.292	25.686	54.662
Claire	69.988	19.477	5.271	10.535
Forema	34.305	9.233	31.533	56.462
Grandm	76.055	16.440	3.743	7.505
Missam	47.947	40.728	5.484	11.325
Mthrdo	49.709	16.013	19.101	34.279
Salesm	86.280	1.133	8.016	12.587
Suzie	58.845	7.485	20.998	33.670
Trevor	56.643	7.686	18.188	35.671
Tablet	39.931	1.185	44.917	58.884
ค่าเฉลี่ย	54.675	13.767	18.297	31.558

T2=3.117	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	32.278	22.268	20.455	45.455
Claire	71.795	20.785	3.464	7.420
Forema	43.836	14.439	22.002	41.725
Grandm	77.655	17.113	2.143	5.232
Missam	50.537	42.101	2.894	7.362
Mthrdo	58.068	17.411	10.742	24.521
Salesm	89.213	2.104	4.921	8.683
Suzie	69.438	10.872	10.405	19.691
Trevor	62.976	9.208	11.856	27.817
Tablet	58.644	2.163	26.204	39.193
ค่าเฉลี่ย	61.444	15.846	11.509	22.710

T2=4.165	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Carphone	36.733	25.635	16.000	37.633
Claire	73.090	21.393	2.169	5.517
Forema	50.570	18.765	15.268	30.666
Grandm	78.607	17.664	1.191	3.730
Missam	51.917	42.981	1.5152	5.1023
Mthrdo	62.885	19.198	5.925	17.916
Salesm	91.511	1.865	2.784	6.624
Suzie	75.000	13.824	4.843	11.176
Trevor	67.262	10.677	7.569	22.060
Tablet	68.311	2.940	16.537	28.749
ค่าเฉลี่ย	65.589	17.494	7.380	16.917

#### 4.2.3.3 วิจัยและสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6 แสดงจำนวนบล็อกราคาจุดเปลี่ยน T1 และ ค่า จุดเปลี่ยน T2 สามารถจำแนกได้ ตามลำดับ สังเกตได้ว่า ที่ค่าจุดเปลี่ยนต่ำ จำนวนบล็อก Type 1 จะมีค่าน้อย และจำนวนของบล็อก Type 2 จะยังมีค่าต่ำอยู่ แต่สำหรับบางชุดภาพจะมีค่าจำนวนบล็อก Type 2 มาก แสดงถึงมีการตัดสินที่ผิดพลาดจำนวนมาก อย่างไรก็ตามที่ค่าจุดเปลี่ยนต่ำ ยังส่งผลไปถึงโอกาสที่จะมีค่าความเพี้ยนต่ำด้วย เพราะจำนวนบล็อกที่ผ่านการตัดสิน (น้อยกว่าค่าจุดเปลี่ยน) ไม่ว่าจะถูกต้องหรือผิด ยังให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกต่ำ เนื่องจากค่าจุดเปลี่ยนมีค่าต่ำ ซึ่งในขณะเดียวกัน จำนวนบล็อก Type 3 และ Type 4 มีจำนวนค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นถึงจำนวนบล็อกที่ต้องทำการค้นหาในขั้นต่อไป ซึ่งจะใช้จำนวนจุดการค้นหามากกว่าเมื่อเทียบกับการเปรียบเทียบกับค่าจุดเปลี่ยน และเป็นที่น่าสนใจสำหรับจำนวนบล็อก Type 3 แสดงถึงจำนวนบล็อกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวที่ถูกตัดสินให้ใช้เทคนิคการค้นหาในขั้นต่อไป ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนจุดการค้นหาที่ดังนั้นก็ค่าจุดเปลี่ยนต่ำ ถึงแม้จะมีโอกาสให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกต่ำ ในขณะเดียวกันก็ใช้จำนวนจุดการค้นหาสูงด้วย

ในขณะที่เมื่อค่าจุดเปลี่ยนมีค่าเพิ่มขึ้นจำนวนบล็อก Type 1 ก็จะเพิ่มมากขึ้น และจำนวนบล็อก Type 2 ก็เพิ่มขึ้นในอัตราการเพิ่มที่ต่ำกว่าจำนวนบล็อก Type 1 แสดงถึงจำนวนการตัดสินที่ถูกมากขึ้นแต่ก็มีจำนวนการตัดสินที่ผิดมากขึ้นด้วย ทำให้มีโอกาสมากขึ้นที่ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกจะมีค่ามากขึ้น เพราะบล็อกที่ผ่านการตัดสิน (น้อยกว่าค่าจุดเปลี่ยน) ไม่ว่าจะถูกต้องหรือผิด ให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่สูงขึ้น เนื่องจากค่าจุดเปลี่ยนมีค่าสูงขึ้น ในขณะเดียวกันที่ จำนวนบล็อก Type 3 และ Type 4 มีจำนวนลดลงทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะใช้จำนวนจุดการค้นหาลดลง และในกรณีที่ค่าจุดเปลี่ยนมีค่าสูงมากขึ้นอีกถึงแม้จะทำให้ใช้จำนวนจุดการค้นหาลดลงก็ตาม แต่จำนวนบล็อกที่ตัดสินผิดก็มากขึ้นด้วยทำให้มีโอกาสที่ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกจะมีค่าสูงมากกว่าเดิม เพราะบล็อกที่ผ่านการตัดสิน (น้อยกว่าค่าจุดเปลี่ยน) ไม่ว่าจะถูกต้องหรือผิด ให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่สูงมากขึ้น เนื่องจากค่าจุดเปลี่ยนมีค่าสูงมากขึ้นกว่าเดิม

ดังนั้นค่าจุดเปลี่ยนที่ควรเลือก ควรเป็นค่าจุดเปลี่ยนที่สามารถตัดสินได้ถูกต้องมากพอสมควร และมีจำนวนบล็อกที่ใช้ในการตัดสินขั้นต่อไปไม่มากเกินไป นอกจากนี้ ค่าจุดเปลี่ยนไม่ควรจะมีค่าสูงเกินไป ดังที่กล่าวมา ในตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6 มีค่าที่น่าสนใจอยู่และสอดคล้องน่าจะเป็นค่า T1 และ T2 ที่ดี ตารางละ 2 ค่า ดังนี้ ค่า 2.013 3.014 สำหรับค่าจุดเปลี่ยน T1 และ ค่า 2.069 3.117 สำหรับค่าจุดเปลี่ยน T2

#### 4.2.4 การทดสอบความสามารถในการระบุช่วงค่าขนาด เวกเตอร์ที่ห่างจากจุดศูนย์กลางการค้นหา ด้วยค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกระหว่างจุดเวกเตอร์การเคลื่อนที่(0,0) และ(x,y)

##### วัตถุประสงค์

การทดสอบนี้มุ่งเน้นเพื่อทดสอบความสามารถในการทำนายช่วงค่าขนาด เวกเตอร์ที่ห่างจากจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ให้กับบล็อก โดยใช้ค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกระหว่างจุดเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0) และ (x,y) ซึ่งเป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่ เป็นค่าในการทำนาย นอกจากนี้การทดสอบในหัวข้อนี้ยังมุ่งเน้นเพื่อหาค่าจุดเปลี่ยนที่เหมาะสมและบ่งชี้ความสามารถในการทำนายดังกล่าวที่แต่ละค่าจุดเปลี่ยน ในการทดลองหัวข้อนี้ค่าจุด(x,y)ที่กล่าวถึงโดยไม่มีคำพูดกำกับถือว่าเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้านี้

##### วิธีทำการทดลอง

- 1.ทำการประมาณการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการค้นหาแบบค้นหาทั้งหมด เก็บค่าดังนี้ ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (0,0), ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ (x,y) ซึ่งเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้านี้, ค่าขนาดของระยะห่างระหว่างเวกเตอร์การเคลื่อนที่ค่าตอบและจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ (ค่า (0,0) หรือ (x,y) ที่ให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อกต่ำกว่า)
2. หาค่าทางสถิติของค่าความต่างความเพี้ยนต่อบล็อกระหว่างจุดสองจุดของบล็อกทั้งหมด ดังนี้ ค่าเฉลี่ย และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. เลือกล็อกที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (0,0) มากกว่าค่า T1 และมีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกที่จุด (x,y) มากกว่าค่า T2 เพื่อใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป
- 3.สังเกตและเขียนตารางกราฟระหว่างค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเทียบกับขนาดระยะห่างระหว่างเวกเตอร์คำตอบกับจุดศูนย์กลางการค้นหา โดยให้แนวแกนตั้งเป็นค่าความต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกและแกนนอนเป็นค่าขนาดระยะห่างดังกล่าว วิเคราะห์ตารางกราฟที่ได้เพื่อทำการทดลองต่อไป
4. หาค่าทางสถิติของค่าความต่างความเพี้ยนต่อบล็อกระหว่างจุดสองจุดของบล็อกที่ผ่านการเลือกจากข้อที่ 3 ทั้งหมด ดังนี้ ค่าเฉลี่ย และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5. หาค่าทางสถิติของค่าความต่างความเพี้ยนต่อบล็อกระหว่างจุดสองจุดของบล็อกที่ผ่านการเลือกจากข้อที่ 3 ทั้งหมดที่ตอบค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่อยู่ในช่วงมากกว่า 3x3 ดังนี้ ค่าเฉลี่ย และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6. วิเคราะห์และสรุปผลพร้อมทั้ง เลือกค่าเปรียบเทียบที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะต่อไป

#### 4.2.4.1 ผลการทดลอง

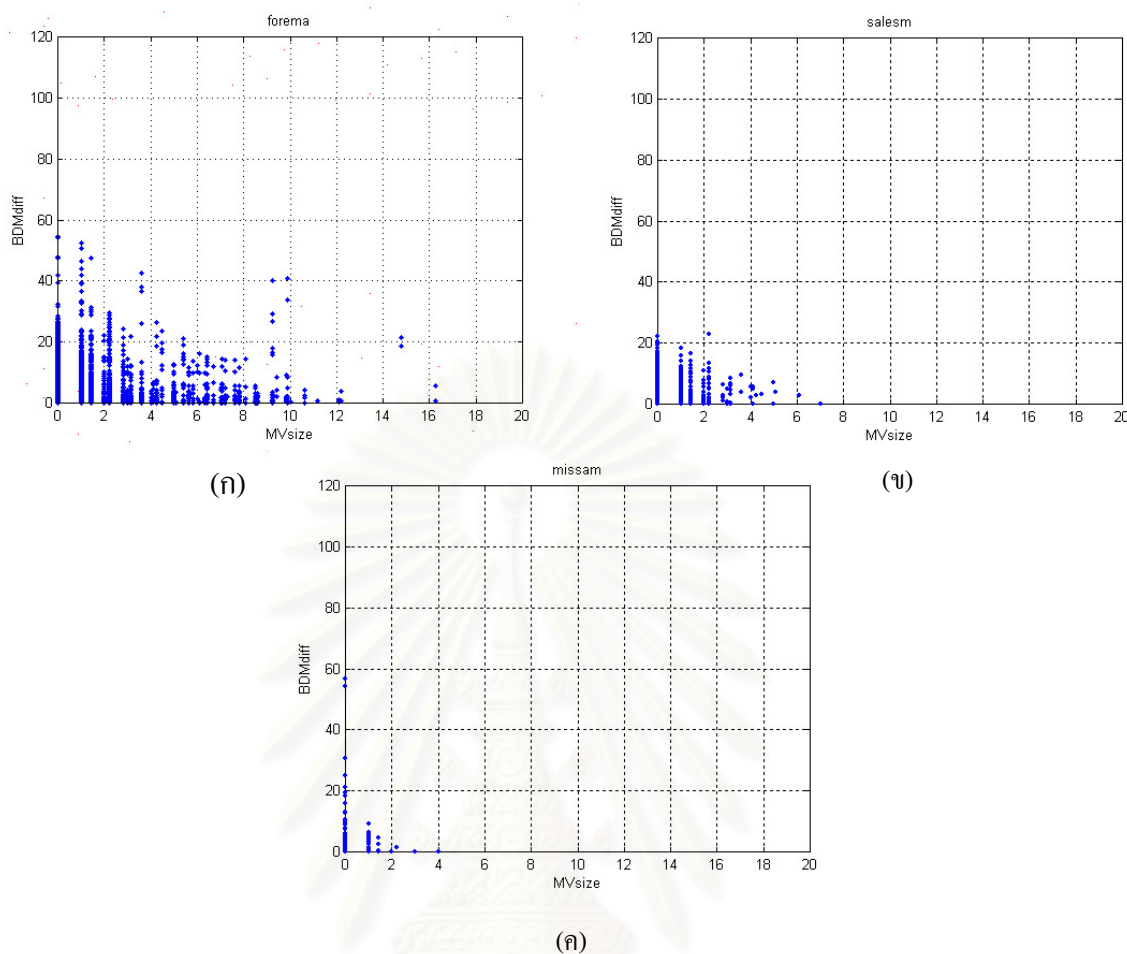
เนื่องจากการใช้ค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ในระบบจะใช้กับบล็อกที่เหลือจากการตัดสินใจด้วยค่าจุดเปลี่ยน  $T1$  และ  $T2$  ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองส่วนนี้จะทดลองด้วยบล็อกที่ผ่านค่า  $T1$  และ  $T2$  มาแล้ว แต่เนื่องจาก  $T1$  และ  $T2$  มีความเป็นไปได้ในหลายค่าแล้วแต่วัตถุประสงค์ที่ต้องการจะได้ใน การประมาณการเคลื่อนที่ ดังนั้น  $T1$  และ  $T2$  ที่ใช้ในส่วนนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยของ  $T1$  และ  $T2$  ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 หัวข้อ 4.2.2 และ หัวข้อ 4.2.3 คือค่า 2.013 2.069 ตามลำดับ

##### 4.2.4.1.1 ลักษณะโดยรวมของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเทียบกับขนาดระยะห่างระหว่างเวกเตอร์คำตอบกับจุดศูนย์กลางการค้นหา

ในส่วนหัวข้อนี้กล่าวถึงผลจากการทดลองนับจำนวนบล็อกที่สอดคล้องกับเงื่อนไข ด้วยรูปแบบกราฟระหว่างค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเทียบกับขนาดระยะห่างระหว่างเวกเตอร์คำตอบกับจุดศูนย์กลางการค้นหา เพื่อแสดงให้เห็นลักษณะโดยรวมของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเทียบกับขนาดระยะห่างระหว่างเวกเตอร์คำตอบกับจุดศูนย์กลางการค้นหา รูปแผนกราฟผลจากการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.37 (ก) ถึง (ค) ในรูปแผนภาพนี้ จะแสดงชุดภาพผลของชุดภาพ 3 ชุดภาพ ซึ่งเป็นตัวแทนของลักษณะขนาดการกระจายของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ดังนี้ รูปที่ 4.37 (ก) แสดงผลการทดลองของชุดภาพ Foreman มีลักษณะการกระจายมาก คล้ายกับ Carphone Table Tennis Trevor และ Mother&Daughter สำหรับลักษณะการกระจายขนาดปานกลาง แสดงด้วยชุดภาพ Salesman ในรูปที่ 4.37 (ข) มีลักษณะการกระจายคล้ายกับ Suzie และ ลักษณะการกระจายน้อย แสดงด้วยชุดภาพ Miss America ในรูปที่ 4.37 (ค) ซึ่งมีลักษณะการกระจายคล้ายกับ Claire และ Grandmother สำหรับการกระจายของชุดภาพที่เหลือแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.

จากรูปที่ 4.37 สังเกตได้ว่า ในลักษณะการกระจายจะเป็นลักษณะคล้ายกัน ดังนี้ ยิ่งค่าขนาดเวกเตอร์มากขึ้น ( มากทางแกนอน ) ค่า  $BDM_{diff}$  ( ค่าความแตกต่างของค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเทียบกับขนาดระยะห่างระหว่างเวกเตอร์คำตอบกับจุดศูนย์กลางการค้นหา ) จะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าในช่วงค่า  $BDM_{diff}$  สูงค่าเวกเตอร์ส่วนใหญ่ จะเป็นค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่น้อย เทียบกับจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ และสำหรับช่วงค่า  $BDM_{diff}$  ต่ำ ค่าเวกเตอร์ที่ได้จะมีทั้งค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่น้อยและ การเคลื่อนที่มาก





รูปที่ 4.37 รูปแผนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง BDMdiff และขนาดของเวกเตอร์เทียบกับจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่

(ก) ของชุดภาพ Foreman (ข) ของชุดภาพ Salesman (ค) ของชุดภาพ Miss America

#### 4.2.4.1.2 ค่าสถิติของค่า BDMdiff

เพื่อคุณลักษณะของค่า BDMdiff ในหัวข้อนี้ทำการหาค่าทางสถิติ ของค่า BDMdiff ในหลายลักษณะของบล็อก หลังจากนั้นจะทำการประมาณค่าจุดเปลี่ยน R ที่น่าสนใจเพื่อใช้ทำงานในระบบต่อไป ชนิดของบล็อกที่จะทำการหาค่าสถิติ มีดังนี้

ประเภทที่ 1 บล็อกทั้งหมด

ประเภทที่ 2 บล็อกทั้งหมดที่หลีกเลี่ยงการตัดสินด้วยค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ 2.013 และ 2.069

ประเภทที่ 3 บล็อกที่หลีกเลี่ยงการตัดสินด้วยค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 และมีเวกเตอร์คำตอบขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $3 \times 3$  เทียบกับจุดศูนย์กลางการค้นหา

ประเภทที่ 4 บล็อกที่เหลือจากการตัดสินด้วยค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 และมีเวกเตอร์ค่า  
ตอบขนาดมากกว่า 3 x 3 เทียบกับจุดศูนย์กลางการค้นหา

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของ BMDdiff ของบล็อกแต่ละประเภท

ประเภทที่ 1	Mean	SD	N	ประเภทที่ 2	Mean	SD	N
Carphone	2.5152	5.2096	15444	Carphone	3.6157	6.2312	7094
Calire	0.7496	5.0819	15444	Calire	1.1913	4.9222	1077
Foreman	3.0500	4.8532	15444	Foreman	3.4733	5.1962	8203
Grandm	0.3026	1.3254	15444	Grandm	0.5419	1.9693	708
Missam	0.6326	3.3992	15444	Missam	0.5957	3.2698	1028
Mthrdo	1.4489	4.7126	15444	Mthrdo	0.9053	5.5126	4665
Salesman	0.3144	1.4267	15444	Salesman	1.5975	3.3583	1894
Suzie	0.6181	1.6618	15444	Suzie	0.8587	2.1038	4823
Trevor	1.1936	4.5832	15444	Trevor	2.6308	6.9699	5184
Tablet	1.7466	5.0794	15444	Tablet	2.1762	6.1059	9063
ค่ารวม	1.2572	4.1422	154440	ค่ารวม	2.4726	5.6072	43739

ประเภทที่ 3	Mean	SD	N	ประเภทที่ 4	Mean	SD	N
Carphone	3.5395	3.2107	6418	Carphone	4.3393	6.3822	676
Calire	1.1913	4.9222	1077	Calire	-	-	0
Foreman	3.4933	5.1731	7760	Foreman	3.1215	5.5811	443
Grandm	0.5419	1.9693	708	Grandm	-	-	0
Missam	0.5999	3.2729	1026	Missam	-	-	0
Mthrdo	2.1157	4.7157	4518	Mthrdo	11.3056	14.1568	147
Salesman	1.5898	3.3624	1881	Salesman	2.7031	2.5549	13
Suzie	0.8542	2.1044	4820	Suzie	0.0469	0.0812	3
Trevor	2.5829	6.7999	5048	Trevor	4.4088	11.5403	136
Tablet	2.0391	5.8774	8555	Tablet	4.4847	8.8260	508
ค่ารวม	2.3739	4.9784	41811	ค่ารวม	4.6164	7.3658	1926

จากข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า มีบล็อกจำนวนไม่มากที่เหลือจากการตัด-สินด้วย T1 และ T2 เพื่อนำมาทำการค้นหาจากบล็อกประเภทที่ 4 และแสดงให้เห็นอีกว่ามีบล็อกจำนวนน้อยมากที่มีขนาดเวกเตอร์การเคลื่อนที่ มากกว่า  $3 \times 3$  เทียบกับจุดศูนย์กลางการค้นหาจำนวนบล็อกประเภทที่ 4 มีจำนวนน้อย เนื่องจากมีการใช้เทคนิคปรับย้ายจุดศูนย์กลางก่อนที่จะเข้าสู่ระบบการตัดสินใจด้วยค่าจุดเปลี่ยน R อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ค่า T1 และ T2 ที่เปลี่ยนไปค่าตัวเลขดังกล่าวก็จะเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้การค้นหาค่าเวกเตอร์ที่ใช้พื้นที่การค้นหามากกว่า  $3 \times 3$  ถ้าใช้เทคนิคการค้นหาที่เหมาะสม ก็จะสามารถใช้จำนวนจุดการค้นหาไม่มากหรือน้อยเกินไป บล็อกประเภทที่ 4 นี้ ถ้าใช้การค้นหาชนิดที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่น้อยก็จะมีคามผิดพลาดมากในการประมาณ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคนี้เพื่อรักษาระดับความน่าพอใจของความถูกต้องในการประมาณ

ค่าที่น่าสนใจจากตารางจะเป็นค่าที่สามารถตัดสินบล็อกประเภทที่ 4 ให้ได้ถูกต้องเป็นจำนวนมาก แต่ไม่ควรจะมีค่าสูงเกินไปเนื่องจากจะส่งผลให้ เกิดการใช้เทคนิคการค้นหาสำหรับการเคลื่อนที่มาก กับบล็อกที่มีการเคลื่อนที่น้อย เป็นจำนวนมากขึ้น ทำให้บล็อกที่มีการเคลื่อนที่น้อยใช้ค่าจำนวนจุดการค้นหาเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ค่าที่น่าสนใจ และเป็นค่าที่มีนัยสำคัญ เป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ของบล็อกประเภทที่ 3 มีค่า 2.3739 สังเกตได้ว่า ในกรณีของชุดภาพที่มีค่า BDMdiff เฉลี่ยของบล็อกประเภทที่ 3 สูง จะมีจำนวนบล็อกประเภทที่ 4 สูงไปด้วย ในขณะที่ชุดภาพที่มีค่า BDMdiff เฉลี่ยของบล็อกประเภทที่ 3 ต่ำ จะมีจำนวนบล็อกประเภทที่ 4 ต่ำไปด้วย นอกจากนี้การปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน R ยังใช้ค่า BDMdiff ของบล็อกชนิดที่ 3 ในการปรับตัว โดยค่าจุดเปลี่ยน R จะปรับตัวต่ำลงในกรณีที่ มีบล็อกประเภทที่ 3 จำนวนมากที่มีค่า BDMdiff ต่ำ เพื่อไม่ให้ใช้เทคนิคการค้นหาสำหรับการเคลื่อนที่มากกับบล็อกเหล่านี้มากเกินไป และจะปรับตัวสูงขึ้นเมื่อค่า BDMdiff ของบล็อกประเภทที่ 3 มีค่าสูง ซึ่งมีความหมายว่า เป็นชุดภาพที่มีการเคลื่อนไหวมากและมีบล็อกประเภทที่ 4 ที่ต้องการการตัดสินใจมากขึ้น

#### 4.2.4.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อที่ 4.2.4.1.1 แสดงให้เห็นว่า ค่า BDMdiff มีนัยสำคัญต่อขนาดระยะห่างของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เทียบกับจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ ที่ขนาดขนาดระยะห่างมาก มีบล็อกจำนวนน้อยมากที่มีค่า BDMdiff สูง และที่ขนาดระยะห่างน้อย บล็อกมีช่วงการกระจายของค่า BDMdiff ค่อนข้างมาก จากแผนรูปกราฟในรูปที่ 4.37 และผลการทดลองแสดงให้เห็นแนวโน้มของค่าขอบที่ช่วยในการหาช่วงค่าที่เป็นไปได้จากค่า BDMdiff แต่ในการทดลองนี้ยังไม่หาค่าความสัมพันธ์ดังกล่าว เพื่อความสะดวกค่าที่มีนัยสำคัญ จึงถูกเลือกมาเพื่อใช้เป็นค่าทดสอบสมรรถนะของระบบ ด้วยค่า 2.3739

#### 4.2.5 การทดสอบความใกล้เคียงกันระหว่างเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกปัจจุบัน และเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง ( บล็อกก่อนหน้า )

##### วัตถุประสงค์

การทดลองในหัวข้อนี้มุ่งเน้นเพื่อทดสอบความใกล้เคียงกันระหว่างค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกปัจจุบันและเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง (บล็อกก่อนหน้า)

##### วิธีการทดสอบ

1. ทำการประมาณการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการค้นหาแบบค้นหาทั้งหมด
2. สังเกตและบันทึกจำนวนบล็อกที่สอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆดังนี้
  - ประเภทที่ 1 บล็อกที่มีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เท่ากับค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้า (Num0x0)
  - ประเภทที่ 2 บล็อกที่ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ห่างขนาดไม่เกินช่วง 1x1 จากค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้า (Num1x1)
  - ประเภทที่ 3 บล็อกที่ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ห่างขนาดไม่เกินช่วง 2x2 จากค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้า (Num2x2)
  - ประเภทที่ 4 บล็อกที่ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ห่างขนาดไม่เกินช่วง 3x3 จากค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกก่อนหน้า (Num3x3)
3. วิเคราะห์ผล พร้อมทั้งสรุปความใกล้เคียงกัน

##### 4.2.5.1 ผลการทดลอง

ผลจากการทดลองวัดจำนวนบล็อกแต่ละประเภทในวิธีการทดลองข้อที่ 2 จากสลิปชุดภาพตัวอย่าง แสดงให้เห็นถึงลักษณะความคล้ายของค่าเวกเตอร์ระหว่างบล็อกที่อยู่ติดกัน ในหัวข้อนี้จะวัดความคล้าย ที่ช่วงห่างกันไม่เกิน 3x3 จุดสี

จากตารางที่ 4.8 ร้อยละของจำนวนคู่บล็อกที่มีค่าเท่ากัน (Num0x0) มีค่าต่ำสุดประมาณร้อยละ 60 และมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณร้อยละ 70 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคู่บล็อกข้างเคียงกันมีโอกาสสูงมากที่จะมีค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เหมือนกัน จากร้อยละของจำนวนคู่บล็อกที่มีค่าต่างกัน 1x1 2x2 และ 3x3 จุดสี ( Num1x1 Num2x2 และ Num 3x3 ) แสดงให้เห็นว่า มีบล็อกประมาณกว่าร้อยละ

80 ที่มีความใกล้เคียงกันในช่วงค่าความต่างไม่เกิน 3x3 จุดสี มีจำนวนบล็อกเพิ่มขึ้น ประมาณร้อยละ 10 จากจำนวนคู่บล็อกที่มีค่าเหมือนกัน แสดงให้เห็นถึงลักษณะของชุดภาพโดยทั่วไปว่าเวกเตอร์ของบล็อกข้างเคียงกันมีความคล้ายกันสูงมากและมีโอกาสเหมือนกันสูงมากด้วย

#### 4.2.5.2 สรุปผลการทดลอง

ชุดภาพตัวอย่างมีลักษณะความเหมือนกันของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของคู่บล็อกที่อยู่ข้างเคียงกันสูงมาก และมีลักษณะความคล้ายกันของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของคู่บล็อกที่อยู่ข้างเคียงกันสูงด้วยเช่นกัน (รวมจำนวนคู่บล็อกที่เหมือนกันไว้ด้วย) เพราะฉะนั้นการใช้เทคนิคปรับจุดศูนย์กลางการค้นหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของบล็อกข้างเคียง (บล็อกก่อนหน้า) จึงเป็นการช่วยให้การค้นหามีโอกาสเข้าถึงค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่เป็นคำตอบได้เร็วขึ้น

ตารางที่ 4.8 จำนวนคู่บล็อกที่อยู่ติดกันที่มีค่าความต่างของค่าเวกเตอร์ ในช่วง 0x0 1x1 2x2 และ 3x3 จุดสี

ชนิดของชุดภาพ	Num0x0	Num1x1	Num2x2	Num3x3
Carphone	62.10	76.95	81.24	83.49
Claire	76.84	82.51	83.31	84.19
Foreman	70.74	82.16	84.63	86.06
Grand mother	77.56	81.11	83.33	84.87
Miss America	60.70	70.57	75.18	78.26
Mother & daughter	68.73	77.36	80.65	83.23
Salesman	87.22	89.39	89.81	90.02
Suzie	78.36	89.08	89.91	90.09
Trevor	74.62	83.10	84.30	84.93
Table Tennis	81.23	85.50	86.53	87.27
ค่าเฉลี่ย	73.80	81.77	83.89	85.24

### 4.3 การทดสอบเทคนิคที่นำเสนอ

การทดสอบในหัวข้อนี้แบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ได้แก่ การทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของเทคนิคในหัวข้อที่ 4.3.1 และการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิคต่างๆที่มีการนำเสนออยู่ก่อนแล้ว ในหัวข้อที่ 4.3.2 ในการทดสอบสมรรถนะ เลือกผลการทดลองกับชุดภาพตัวอย่าง 5 ชุดภาพ จากทั้งหมด 10 ชุดภาพ มานำเสนอ เนื่องจากเป็นกลุ่มชุดภาพที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่มีนัยสำคัญและครอบคลุมทั้ง 10 ชุดภาพ ได้แก่ Carphone ( Carphn ) Miss America ( Missam ) Mother&Daughter ( Mthrd ) Salesman ( Salesm ) Table Tennis ( Tablet )

#### 4.3.1 การทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบเมื่อใช้เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง

ในส่วนนี้กล่าวถึงการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบเมื่อใช้เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง และทำการหาผลของค่าจุดเปลี่ยนต่างๆที่มีต่อสมรรถนะของระบบ ในส่วนนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองใหญ่ ได้แก่ การทดลองผลเนื่องจากค่าจุดเปลี่ยน R และ จากค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2

โดยค่าจุดเปลี่ยนที่ใช้ เป็นค่าจุดเปลี่ยน R T1 และ T2 ที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการทดลองให้หัวข้อที่ 4.2.3 และ 4.2.4

##### 4.3.1.1 การทดลองเพื่อทดสอบผลของค่าจุดเปลี่ยน R ที่มีต่อสมรรถนะระบบ

#### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบเนื่องจากการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน R และ ทดสอบสมรรถนะเนื่องจากการถ่วงน้ำหนักค่าจุดเปลี่ยน R

#### วิธีการทดลอง

1.กำหนดให้ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 คงที่ไม่มีการปรับตัวที่ค่า 2.013 และ 2.069 ตามลำดับ

2.ทำการทดสอบระบบ ดังต่อไปนี้

2.1 แบบไม่มีการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน R ที่ค่าจุดเปลี่ยน R 2.3739



2.2 แบบมีการปรับตัวที่ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น 1 10 50 100 500 ของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ที่ค่าจุดเปลี่ยน 2.3739

3. เก็บค่าความผิดพลาดในการประมาณและความซับซ้อนในการคำนวณของทุกระบบ

4. วิเคราะห์ พร้อมทั้งสรุปผลการทดลอง

#### ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.9 สังเกตได้ว่า ในขณะที่เพิ่มค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับการถ่วงน้ำหนักค่าเริ่มต้นของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ให้กับระบบ ส่งผลให้ความถูกต้องในการประมาณมีค่าเพิ่มมากขึ้นแค่เพียงเล็กน้อย แต่ในขณะเดียวกันจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ก็มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากว่าเมื่อมีการถ่วงน้ำหนักมากขึ้น ระบบจะมีผลที่ได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้เมื่อค่าถ่วงน้ำหนักเสมือนเป็นค่าอนันต์ หรือ ใกล้เคียงกับระบบที่มีค่าจุดเปลี่ยน  $R$  คงที่ สังเกตได้จากรูปที่ 4.38 (ก) - (จ) และสำหรับระบบที่มีค่าเริ่มต้นที่ ค่า 2.3739 เป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่สถานะคงที่ของค่าจุดเปลี่ยน ทำให้ลักษณะการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  เมื่อมีค่าถ่วงน้ำหนักมาก มีระดับค่าจุดเปลี่ยน  $R$  สูงกว่าที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่ำ ส่งผลให้มีการใช้เทคนิคการค้นหารูปเพชรมากขึ้น ซึ่งทำให้ต้องใช้จำนวนจุดการค้นหามากขึ้น และมีการประมาณที่ถูกต้องมากขึ้นด้วย และผลที่ให้ความถูกต้องในการประมาณสูงที่สุด และใช้จำนวนจุดการค้นหาสูงสุด ก็ต่อเมื่อไม่มีการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน

จากกระบวนการของระบบและผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.4 พิจารณาเมื่อค่าจุดเปลี่ยน  $R$  มีค่าสูงขึ้นจำนวนบล็อกที่ใช้การค้นหารูปเพชร จะมีจำนวนมากขึ้นด้วย ทำให้ต้องใช้จำนวนจุดการค้นหามากขึ้น และในขณะเดียวกันจะมีความถูกต้องมากขึ้น จากผลการทดลองเมื่อระบบมีค่าจุดเปลี่ยน  $R$  คงที่ จะให้ค่าความถูกต้องในการประมาณสูงกว่า ด้วยจำนวนจุดการค้นหาที่มากขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับระบบที่มีการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  เนื่องจากค่าจุดเปลี่ยน  $R$  โดยรวมมีค่าสูงกว่า ทำให้สามารถคิดไปได้ว่า การปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ไม่มีความจำเป็นต่อระบบที่ใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้ เมื่อพิจารณาในกรณีที่ใช้เทคนิคนี้กับชุดภาพอื่นๆ ด้วยระบบที่ใช้เทคนิคที่ไม่มีการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน จะส่งผลให้มีความยืดหยุ่นน้อยลงเมื่อนำไปใช้งานเมื่อเทียบกับเทคนิคที่มีการปรับตัว และยังไปกว่านั้นค่าเริ่มต้นของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นค่าที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการทดลองและหาค่าทางสถิติของชุดภาพตัวอย่าง ทำให้เกิดความเหมาะสมกับชุดภาพไปด้วย อย่างไรก็ตามค่าเริ่มต้นของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ที่ดีจะช่วยให้มีการปรับตัวเข้าสู่ค่าสถานะคงตัวได้ดีดังเช่นระบบการปรับตัวทั่วไป

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  จำนวนจุดการค้นหาที่ใช้จะมีจำนวนน้อยลงและจากรูปที่ 4.38 (ก)-(จ) แสดงให้เห็นถึงค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ที่โดยรวมมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการปรับตัว ค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ที่ต่ำกว่านี้แสดงให้เห็นถึง

จำนวนบล็อกที่มากขึ้นที่ใช้เทคนิคการค้นหาสำหรับการเคลื่อนที่น้อย จึงส่งผลให้ใช้จำนวนจุดการค้นหาที่น้อยลง จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตัดสินใจระหว่างการค้นหาได้ของค่าจุดเปลี่ยน R เมื่อมีการปรับตัว แต่ในขณะเดียวกันก็ให้ค่าความถูกต้องน้อยลงด้วย เนื่องจากข้อดีของเทคนิคการค้นหาสำหรับการเคลื่อนที่น้อย ( เทคนิคการค้นหาเชิงฉากไปแอสจูดศูนย์กลาง ) ที่มีความสามารถในการค้นหาในช่วงการเคลื่อนที่น้อยได้ไม่ดีเท่ากับการค้นหาแบบเพอร์ แต่ข้อเด่นคือจำนวนจุดการค้นหาที่ไม่มากและให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.9 PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ ที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างกันของค่าจุดเปลี่ยน R

PSNR	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
w=1	76.68818	98.5118	83.88014	91.40108	65.87105	83.27045
w=10	76.68729	98.5118	83.88014	91.40108	65.87116	83.2703
w=50	76.69099	98.5118	83.88014	91.40108	65.87155	83.27111
w=100	76.69542	98.5118	83.87455	91.40108	65.87167	83.27091
w=500	76.78486	98.51272	83.92874	91.42041	65.88337	83.30602
fix	76.88475	98.57081	84.33811	91.54806	66.03947	83.47624

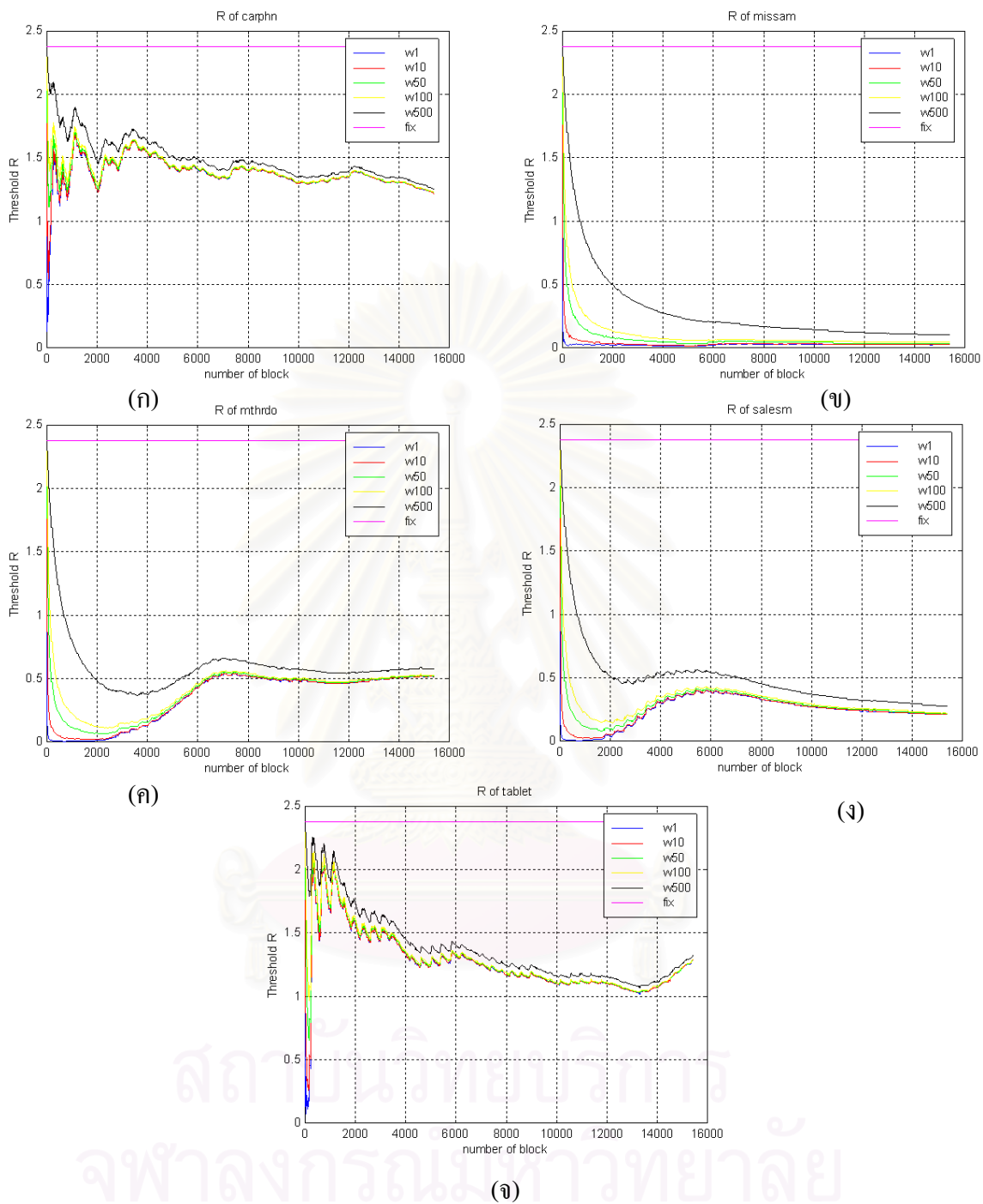
MSE	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
w=1	33.5214	3.709438	20.064	8.771697	97.87855	32.78902
w=10	33.52361	3.709438	20.064	8.771697	97.87771	32.78929
w=50	33.50272	3.709438	20.064	8.771697	97.87267	32.78411
w=100	33.48823	3.709438	20.1051	8.771697	97.86964	32.78882
w=500	33.10709	3.709141	19.98083	8.740597	97.79726	32.66698
fix	32.74235	3.675151	18.89264	8.510933	96.06634	31.97748

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ ที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างกันของค่าจุดเปลี่ยน R

Searchpoint	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
w=1	2555.333	729.1026	1817.846	975.4872	3504.949	1916.544
w=10	2555.769	729.1026	1817.949	975.4872	3505.026	1916.667
w=50	2556.308	729.3077	1818.128	975.5897	3505.051	1916.877
w=100	2557	729.4103	1818.231	975.5897	3505.41	1917.128
w=500	2560.513	729.8718	1821.718	976.5128	3506.59	1919.041
fix	2594.795	735.3333	1860.923	990.641	3530.154	1942.369

### สรุปผลการทดลอง

ระบบที่ใช้เทคนิคที่นำเสนอในการประมาณการเคลื่อนที่ โดยใช้ค่าจุดเปลี่ยน R แบบมีการถ่วงน้ำหนักในการปรับตัวจะให้ความถูกต้องในการประมาณต่ำกว่าแต่ใช้จำนวนจุดการค้นหาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบที่มีค่าจุดเปลี่ยน R คงที่ ในขณะที่เดียวกันระบบที่มีการปรับตัวจะมีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานมากกว่าเมื่อนำไปใช้กับชุดภาพทั่วไป ค่าจุดเปลี่ยน R โดยรวม ที่มีค่าสูง ส่งผลให้มีบล็อกเป็นจำนวนมากที่ถูกตัดสินใจให้ใช้เทคนิคการค้นหาสำหรับการเคลื่อนที่มาก จึงทำให้ใช้จำนวนจุดการค้นหาตามไปด้วย ที่ค่าจุดเปลี่ยน R ต่ำลงบล็อกที่ใช้เทคนิคสำหรับการเคลื่อนที่ขนาดเล็กจะมีจำนวนมากขึ้น จึงทำให้ใช้จำนวนจุดการค้นหาที่น้อยลง แต่ค่าความถูกต้องก็จะลดลงด้วย ทั้งนี้ไม่ใช่สาเหตุจากตัวเทคนิคที่ใช้ค่าจุดเปลี่ยน R ในการตัดสินใจระหว่างการค้นหา แต่เป็นลักษณะที่ไม่เหมาะสมของเทคนิคการค้นหาสำหรับการเคลื่อนที่ขนาดเล็ก ซึ่งถ้ามีการเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมกว่านี้ จะช่วยให้ใช้จำนวนจุดการค้นหาที่น้อยลงและมีความถูกต้องสูงกว่านี้



รูปที่ 4.38 การปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  ที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ ของชุดภาพ (ก) Carphone (ข) Miss America (ค) Mother & Daughter (ง) Salesman (จ) Talbe Tennis

#### 4.3.1.2 การทดลองเพื่อทดสอบผลของค่าจุดเปลี่ยน T1, T2 ที่มีต่อระบบ

##### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบเนื่องจากการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน T1 T2 ผลเนื่องจากค่าเริ่มต้นที่ต่างกันของค่า T1 T2

##### วิธีการทดลอง

1. กำหนดให้ค่าจุดเปลี่ยน R คงที่ไม่มีการปรับตัวที่ค่า 2.3739
2. ทำการทดสอบระบบ ดังต่อไปนี้
  - 2.1 แบบไม่มีการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 4 คู่ ดังนี้ คู่ที่หนึ่ง (Set 1) 2.013 และ 2.069 คู่ที่สอง (Set 2) 2.013 และ 3.117 คู่ที่สาม (Set 3) 3.014 และ 2.069 คู่ที่สี่ (Set 4) 3.014 และ 3.117
  - 2.2 แบบมีการปรับตัวที่ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น 50 ของค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 4 คู่ ดังนี้ คู่ที่ 1 2.013 และ 2.069 คู่ที่สอง 2.013 และ 3.117 คู่ที่สาม 3.014 และ 2.069 คู่ที่สี่ 3.014 และ 3.117
3. เก็บค่าความผิดพลาดในการประมาณและความซับซ้อนในการคำนวณของทุกระบบ
4. วิเคราะห์ พร้อมทั้งสรุปผลการทดลอง

##### ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ของระบบการประมาณการเคลื่อนที่ที่ใช้เทคนิคที่นำเสนอแบบไม่มีการปรับตัวของค่า T1 และ T2 ที่ค่า T1 และ T2 ที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ จากตารางที่ 4.10 สังเกตได้จากค่า PSNR ว่า เมื่อค่า T1 มีค่าเพิ่มขึ้น ( Set 2 ) ความถูกต้องที่ได้จะลดลงมากกว่า การลดลงที่เกิดขึ้นเมื่อค่า T2 มีค่าเพิ่มขึ้น ( Set 3 ) และเมื่อค่าทั้งสองเพิ่มขึ้นพร้อมกัน ( Set 4 ) จะมีค่าความถูกต้องลดลงมากที่สุด เนื่องมาจาก เมื่อค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 มีค่าสูงขึ้น บล็อกจำนวนมากขึ้นที่มีค่าความเพี้ยนต่อบล็อกสูงขึ้น จะถูกตัดสินให้ตอบเป็นค่าเวกเตอร์ (0,0) หรือ ค่าจุดศูนย์กลางใหม่ ส่งผลให้จำนวนจุดการค้นหาลดลง เนื่องจากมีบล็อกจำนวนน้อยลงที่ถูกส่งผ่านไปยังการค้นหาแบบไฮบริด นอกจากนี้ที่ค่าความถูกต้องลดต่ำลงมีผลมาจากจำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินถูกต้องเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับการเพิ่มของจำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินผิดพลาดเมื่อค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 เพิ่มขึ้น ลักษณะการเพิ่มดังกล่าวสังเกตได้จากผลการ

ทดลองในหัวข้อที่ 4.2.1 และ ในหัวข้อที่ 4.2.2 ผลของชุดภาพ Table Tennis ในขณะที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 มีค่าสูงขึ้น ค่าความถูกต้องกลับมามีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยที่ค่าจำนวนจุดการค้นหาลดลงก็สามารถอธิบายโดยใช้ลักษณะของการเพิ่มจำนวนบล็อกในการทดลองที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ได้เช่นกัน ในช่วงค่าจุดเปลี่ยนที่ใช้สำหรับชุดภาพ Table Tennis เมื่อเพิ่มค่าจุดเปลี่ยน จะมีจำนวนบล็อกที่ตัดสินใจได้ถูกต้องเพิ่มขึ้นมาก เมื่อเทียบกับการเพิ่มจำนวนของบล็อกที่ตัดสินใจ

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาค่าที่ใช้ของระบบการประมวลผลเคลื่อนที่ที่ใช้เทคนิคที่นำเสนอแบบมีการปรับตัวของค่า T1 และ T2 ที่ค่า T1 และ T2 ที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ ลักษณะผลของระบบเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับผลที่แสดงในตารางที่ 4.10 ประกอบกับลักษณะการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยนที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.39

เมื่อเปรียบเทียบค่าของผลในตารางที่ 4.11 กับผลการทดลองในตารางที่ 4.10 แล้วสังเกตได้ว่าการปรับตัวส่งผลให้บางชุดภาพใช้จำนวนจุดการค้นหาน้อยลง และค่าความถูกต้องลดลง ซึ่งเป็นชุดภาพที่มีการเคลื่อนไหวมากและหลากหลายเมื่อดูจากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1.2 และบางชุดภาพใช้จำนวนจุดการค้นหามากขึ้น และมีค่าความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งเป็นชุดภาพที่มีการเคลื่อนไหวขนาดกลางและขนาดเล็ก จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงการใช้จุดการค้นหาค่าที่คุ้มค่า เนื่องจากค่าเฉลี่ยจำนวนจุดการค้นหาค่าที่ใช้โดยรวมลดลงมากพอสมควร เมื่อเทียบกับค่าความถูกต้องที่มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังเป็นเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับการตัดสินใจด้วยค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ด้วย

ตารางที่ 4.10 ค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ แบบไม่มีการปรับตัว

PSNR	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
set1	76.88475	98.57081	84.33811	91.54806	66.03947	83.47624
set2	76.79788	98.54571	84.27857	91.52768	66.04928	83.43983
set3	76.81534	98.54815	84.32704	91.52978	66.04529	83.45312
set4	76.75717	98.54485	84.27558	91.52655	66.04902	83.43064



ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาเฉลี่ยที่ใช้ ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ แบบไม่มีการปรับตัว

MSE	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
set1	32.74235	3.675151	18.89264	8.510933	96.06634	31.97748
set2	32.95193	3.687749	19.00367	8.528972	95.88019	32.0105
set3	32.90471	3.686477	18.90743	8.525421	95.94656	31.99412
set4	33.07891	3.688215	19.01472	8.530836	95.88992	32.04052

Searchpoint	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
set1	2594.795	735.3333	1860.923	990.641	3530.154	1942.369
set2	2170.256	584.7949	1467.872	820.0256	2444.487	1497.487
set3	2079.026	592.0256	1405.026	824.4615	2433.077	1466.723
set4	2027.692	574.5385	1360.231	803.3846	2328.974	1418.964

ตารางที่ 4.11 ค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ แบบมีการปรับตัว

PSNR	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
set1	76.73556	98.58687	84.38173	91.54336	66.04121	83.45775
set2	76.72196	98.58421	84.37442	91.54293	66.03876	83.45245
set3	76.73803	98.58559	84.38173	91.54294	66.04005	83.45767
set4	76.71823	98.58015	84.3731	91.54293	66.03835	83.45055

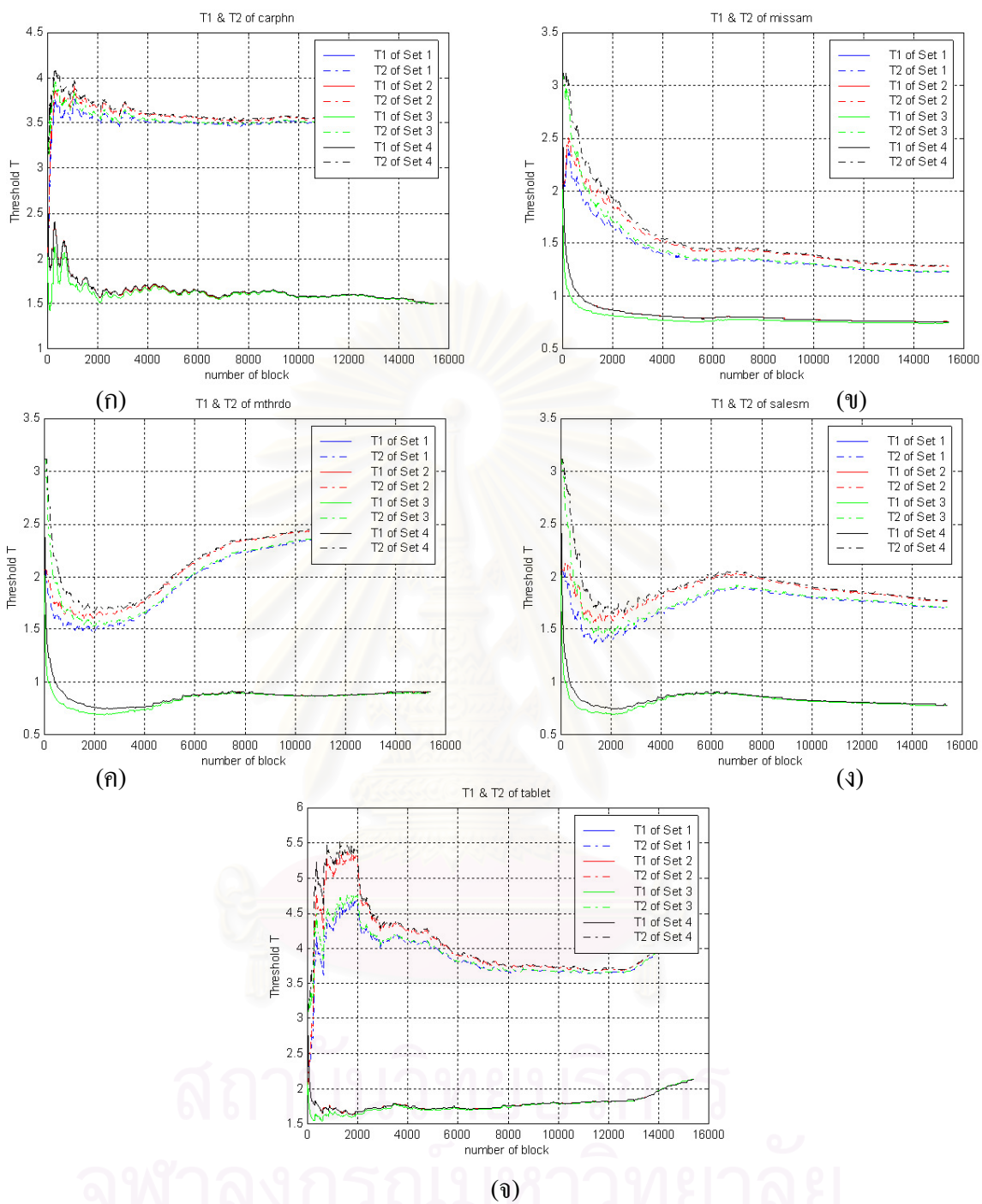
ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ ที่ค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มีนัยสำคัญต่างกัน 4 คู่ แบบมีการปรับตัว

MSE	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
set1	33.15411	3.667685	18.83297	8.515231	95.92211	32.01842
set2	33.20666	3.6688	18.83998	8.515428	95.94065	32.0343
set3	33.13521	3.668264	18.83297	8.515392	95.93064	32.01649
set4	33.21472	3.670523	18.84139	8.515428	95.94498	32.03741

Searchpoint	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	TableT	Average
set1	1962.205	1203.179	2007.641	1238	2073.026	1696.81
set2	1936.795	1114.359	1933.128	1178.897	2027.282	1638.092
set3	1949.179	1186.564	1988.282	1227.615	2065.872	1683.503
set4	1923.308	1097.692	1907.385	1167.513	2019.282	1623.036

### สรุปผลการทดลอง

ระบบที่ใช้เทคนิคที่นำเสนอโดยใช้ค่าเริ่มต้นของค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ต่างกัน ส่งผลให้จำนวนจุดการค้นหาแตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าความถูกต้องในการประมาณแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยเมื่อค่าเริ่มต้นมีค่าสูง จำนวนจุดการค้นหาที่ใช้จะมีจำนวนน้อยกว่า เมื่อค่าเริ่มต้นมีค่าต่ำ เพราะมีบล็อกเป็นจำนวนมากกว่าที่ใช้จำนวนจุดการค้นหาประมาณ 1-2 จุด ในขณะที่เดียวกับจำนวนบล็อกที่ตัดสินใจผิดพลาดก็มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นผลที่ได้ไม่จำเป็นเสมอไปที่จะต้องมิลักษณะของค่าความถูกต้องดังที่ได้จากการทดลองกับชุดภาพตัวอย่าง แต่จะมีลักษณะการลดของจำนวนจุดการค้นหาที่คล้ายกัน เนื่องมาจากลักษณะของความสัมพันธ์ที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ทั้งนี้ค่าเริ่มต้นมีผลต่อค่าจุดเปลี่ยนโดยรวม ทำให้มีผลต่อจำนวนจุดการค้นหาโดยรวมเช่นกัน สำหรับระบบที่มีการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน ช่วยทำให้เทคนิคที่ทำการค้นหามีความยืดหยุ่นสูง สามารถนำไปใช้กับชุดภาพทั่วไปได้ และยังช่วยให้ใช้จำนวนจุดการค้นหาได้คุ้มค่า พร้อมรักษาระดับความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 4.39 การปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ที่ค่าที่มีนัยสำคัญ 4 คู่ต่างกัน ของชุดภาพ

(ก) Carphone (ข) Miss America (ค) Mother & Daughter (ง) Salesman (จ) Table Tennis

#### 4.3.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง กับอัลกอริทึมต่างๆ

ในหัวข้อการทดลองนี้จะแสดงผลที่ได้จากการประมาณการเคลื่อนที่ด้วยเทคนิคต่างๆ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง โดยผลที่ใช้เปรียบเทียบจะมีดังนี้

- ค่าความผิดพลาดในการประมาณการเคลื่อนที่
- ค่าความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย
- ค่าอัตราส่วนสัญญาณขอต่อสัญญาณรบกวน
- ค่าความซับซ้อนในการคำนวณ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองพร้อมทั้งวิจารณ์ผลไปที่ละชุดภาพทดสอบมาตรฐาน หลังจากที่ได้แสดงผลครบทั้งสี่ชุดภาพแล้วจะวิจารณ์วิเคราะห์สรุปรวมอีกทีหนึ่ง สำหรับในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบความถูกต้องสูงสุดด้วย เทคนิคการค้นหาแบบทั้งหมด ความซับซ้อนในการคำนวณ จะพิจารณาค่าจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ ด้วยถือว่าการคำนวณนอกเหนือจากการค้นหาใช้ตัวปฏิบัติการน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวปฏิบัติการที่ใช้กับการค้นหา

#### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง กับเทคนิคการค้นหาแบบอื่นๆ

#### วิธีการทดลอง

1. ทำการประมาณการเคลื่อนที่ของชุดภาพด้วย เทคนิคดังต่อไปนี้

- 1.1 การค้นหาแบบทั้งหมด (Full Search )
- 1.2 การค้นหาแบบสามขั้น ( Three Steps Search : TSSA)
- 1.3 การค้นหาแบบลอการิทึมิก ( Logarithmic Search :LOGA)
- 1.4 การค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง ( Center-Biased Orthogonal Search : CBO SA)
- 1.5 การค้นหาแบบรูปเพชร ( Diamond Search : DIamond)

1.6 การค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ( Hybrid Adaptive Search using Adaptive Search Center : HAS-ASC)

2. เก็บค่าความผิดพลาดในการประมาณและความซับซ้อนในการคำนวณของทุกระบบ

3.วิเคราะห์ พร้อมทั้งสรุปผลการทดลอง

### ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยของค่า PSNR MSE และ จำนวนจุดการค้นหา ที่ได้จากการประมาณการเคลื่อนที่ด้วย การค้นหาชนิดต่างๆ สังเกตได้ว่าค่าที่มีความถูกต้องใกล้เคียงผลของการประมาณด้วยการค้นหาแบบทั้งหมด ได้แก่ ผลของการค้นหาแบบรูปเพชร ยกเว้นผลของชุดภาพ Table Tennis ซึ่งการค้นหาแบบรูปเพชรมีความผิดพลาดมาก ทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้น้อยกว่าผลของการค้นหาแบบอื่น การค้นหาที่มีความถูกต้องรองจากการค้นหาแบบรูปเพชร ได้แก่ การค้นหาแบบ 3 ชั้น และการค้นหาแบบลอการิทึมมิก ซึ่งมีค่า PSNR และ MSE ใกล้เคียงกัน และการค้นหาแบบเชิงฉากไป-แอสจุดศูนย์กลางก็มีความถูกต้องใกล้เคียงกับการค้นหาอื่นๆมาก ในขณะที่การค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ที่นำเสนอให้ความผิดพลาดสูง ( PSNR ต่ำ MSE สูง) อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดนี้แตกต่างจากเทคนิคอื่นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเทียบกับผลของการค้นหาแบบทั้งหมดแล้ว มีความแตกต่างมากโดยเฉพาะ ชุดภาพ Craphone และ ชุดภาพ Table Tennis ซึ่งมีการเคลื่อนไหวมาก เร็ว และซับซ้อน

พิจารณาในมุมมองของความซับซ้อนในการคำนวณซึ่งวัดด้วยจำนวนจุดการค้นหา การค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ใช้จำนวนจุดการค้นหาน้อยกว่าเทคนิคอื่นอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับจำนวนจุดการค้นหาของการค้นหาแบบทั้งหมด จำนวนจุดการค้นหาที่ใช้การค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ใช้จำนวนจุดการค้นหาเฉลี่ยประมาณ 3.86 จุดการค้นหาต่อบล็อก น้อยกว่าการค้นหาแบบเชิงฉากไปแอสจุดศูนย์กลางซึ่งมีจำนวนจุดการค้นหาประมาณ 9.43 จุดการค้นหาต่อบล็อก ต่างกันประมาณ 5.57 จุดการค้นหาต่อบล็อก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ใช้เทคนิคแบบ การค้นหาแบบ 1 จุดการค้นหา และ การค้นหาแบบ 2 จุดการค้นหา ทำให้มีจำนวนจุดการค้นหาต่อบล็อกเฉลี่ยน้อยกว่า ในขณะที่เทคนิคการค้นหาแบบรูปเพชรที่นำมาไฮบริดกับการค้นหาแบบเชิงฉากไปแอสจุดศูนย์กลาง ใช้จำนวนจุดการค้นหาเฉลี่ยประมาณ 13.42 จุดการค้นหาต่อบล็อก ซึ่งใกล้เคียงกับจำนวนจุดการค้นหา ของการค้นหาแบบลอการิทึมมิก นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสนใจว่า เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง มีจำนวนจุดการค้นหามากและน้อยตามลักษณะของชุดภาพอย่างเห็นได้ชัด จากรูปที่ 4.40 – รูปที่ 4.42(ก) และ (ข) แสดงให้เห็นค่า MSE และจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ของเทคนิคการค้นหาต่างๆ

ในแต่ละเฟรม สังเกตได้ว่าผลที่ได้จากเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง (HAS-ASC) สามารถติดตามและมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเทคนิคอื่น ยิ่งไปกว่านั้นลักษณะการเหวี่ยงของจำนวนจุดการค้นหาที่ใช้ในแต่ละเฟรมนั้นมีลักษณะการปรับเปลี่ยนขึ้นลงคล้ายมากกับค่าลักษณะของ MSE เมื่อค่า MSE มีค่ามากแสดงว่าเฟรมภาพนั้นมีการเปลี่ยนแปลง หรือ เคลื่อนไหวมาก จำเป็นที่ต้องใช้จำนวนจุดการค้นหาเป็นจำนวนมาก และในขณะที่ค่า MSE มีค่าน้อยแสดงว่าเฟรมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือเคลื่อนไหวน้อย จึงไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนจุดการค้นหาเท่ากับเพียงพอที่จะหาเวกเตอร์คำตอบที่ให้ค่าความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจได้ ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการค้นหาแบบอื่นๆ ที่มีจำนวนจุดการค้นหาที่ใกล้เคียงกันไม่ว่าภาพจะมีลักษณะใด ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้จำนวนจุดการค้นหาได้เหมาะสมกับลักษณะของภาพ

สำหรับค่าผลการทดลองกับชุดภาพทั้ง 10 ชุดภาพแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข.

### สรุปผลการทดลอง

สมรรถนะของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางเมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะของเทคนิคการค้นหาชนิดต่างๆ แล้ว มีค่า PSNR และค่า MSE ต่ำกว่า และสูงกว่า ตามลำดับ เพียงเล็กน้อย ซึ่งหมายถึงมีความถูกต้องในการประมาณต่ำกว่า แต่ในขณะเดียวกัน เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางมีความยืดหยุ่นและมีการจัดสรรจุดการค้นหาเพื่อทำการประมาณการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าเทคนิคการค้นหาอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่ช่วยในการลดจำนวนจุดการค้นหาอย่างมากด้วยนั่นคือ เทคนิคการค้นหาแบบ 1 จุดการค้นหา และ แบบ 2 จุดการค้นหา ทำให้เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางใช้จุดการค้นหาน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับเทคนิคการค้นหาชนิดอื่นๆ ซึ่งนับเป็นข้อดีของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง



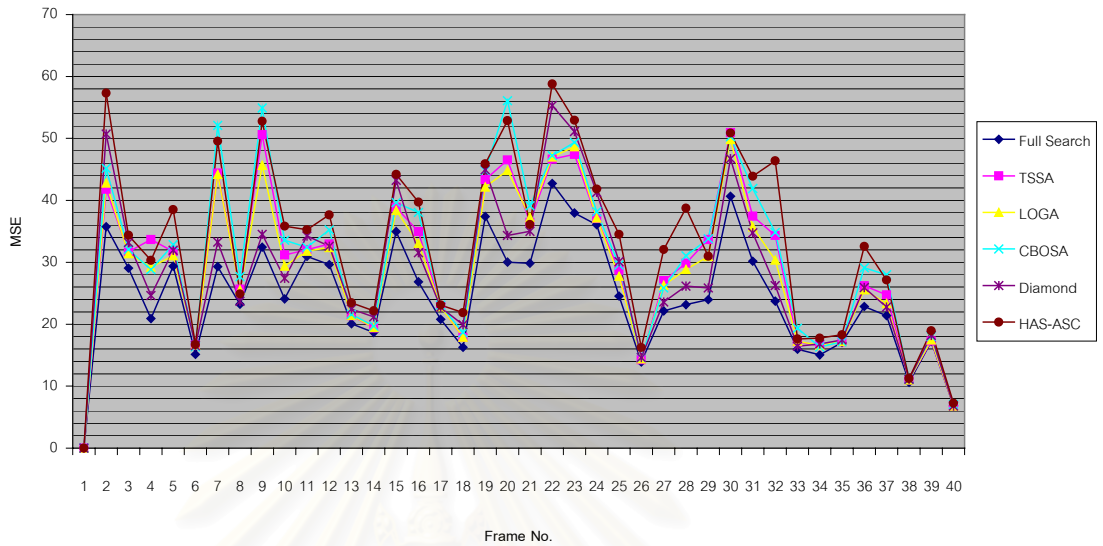
ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า PSNR MSE และจำนวนจุดการค้นหาเฉลี่ยของการค้นหาชนิดต่างๆ

PSNR	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	Tablet	Average
Full Search	79.22395	98.922	85.91806	92.02974	70.74917	85.36859
TSSA	77.60343	98.66928	84.97191	91.53553	69.05259	84.36655
LOGA	77.82069	98.75896	85.2966	91.69572	69.35907	84.58621
CBOSA	77.2018	98.66086	84.47468	91.47883	68.7352	84.11027
Diamond	77.99783	98.80648	84.65216	91.81591	66.41218	83.93691
HAS-ASC	76.55789	98.52415	83.92452	91.42127	65.87719	83.261

MSE	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	Tablet	Average
Full Search	25.14903	3.561264	14.77982	7.814254	61.12544	22.48596
TSSA	30.21755	3.669754	16.59081	8.291903	72.33352	26.22071
LOGA	29.47621	3.6225	16.26983	8.1693	69.97851	25.50327
CBOSA	31.66441	3.67119	18.16572	8.433985	74.09269	27.2056
Diamond	28.96351	3.597508	19.56851	8.112482	92.10245	30.46889
HAS-ASC	33.86675	3.703533	19.99874	8.740372	97.72317	32.80651

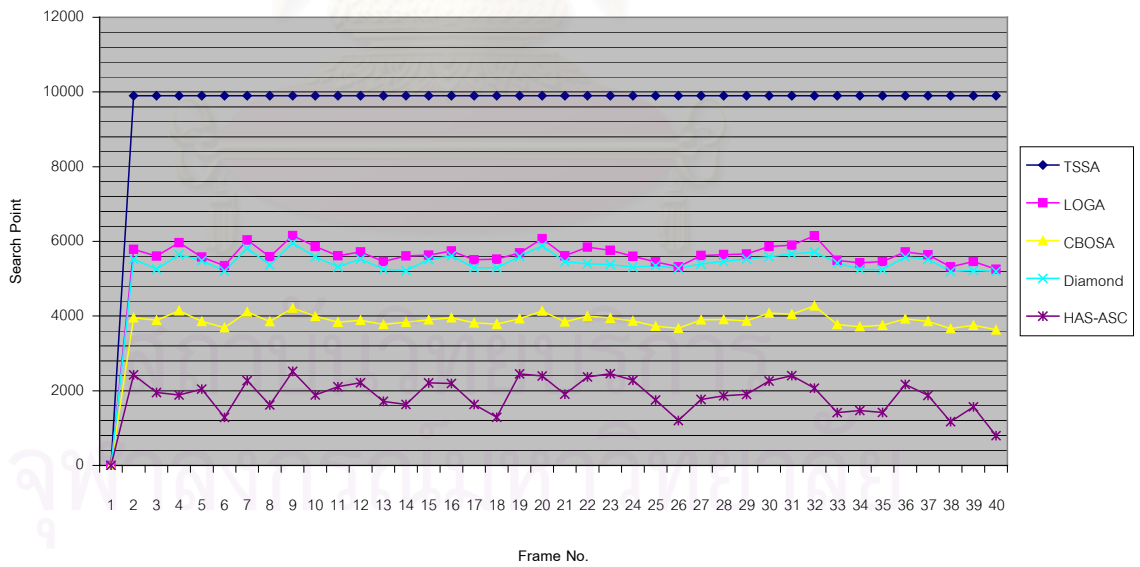
Search Point	Carphn	Missam	Mthrdo	Salesm	Tablet	Average
Full Search	89100	89100	89100	89100	89100	89100
TSSA	9900	9900	9900	9900	9900	9900
LOGA	5658.795	5506.513	5447.487	5178.513	5374.769	5433.215
CBOSA	3891.487	3770.462	3737.821	3585.256	3694.59	3735.923
Diamond	5447.872	5342.538	5355.769	5170.231	5257.154	5314.713
HAS-ASC	1893.154	989.1538	1780.436	1087.282	1969.795	1543.964

MSE of Carphn



(ก) MSE

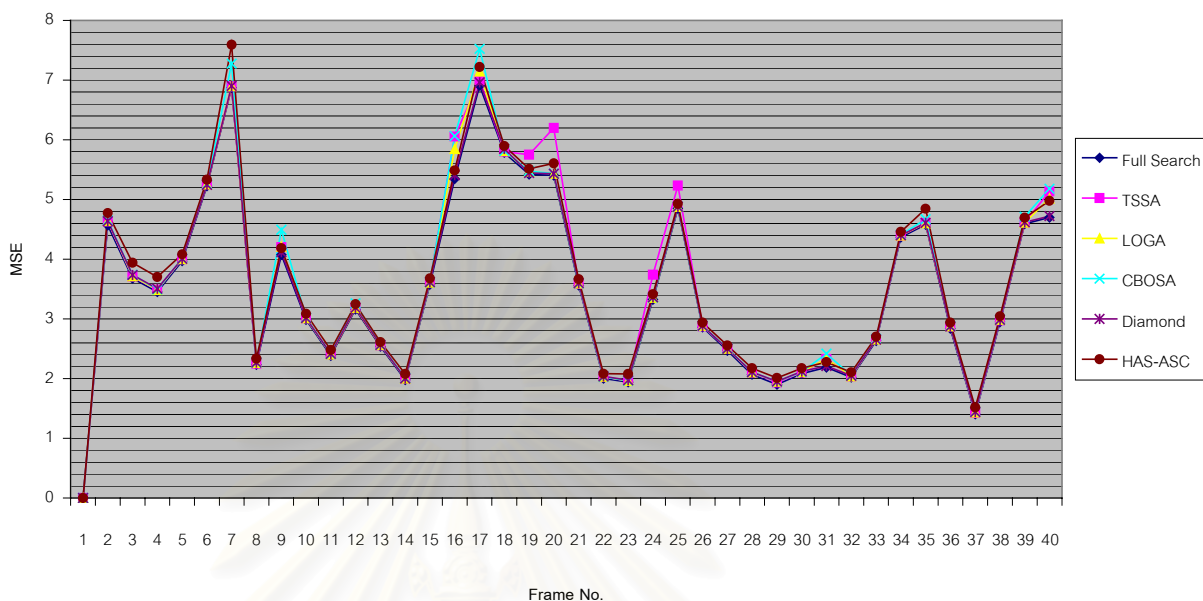
SearchPint of Carphn



(ข) จำนวนจุดการค้นหา

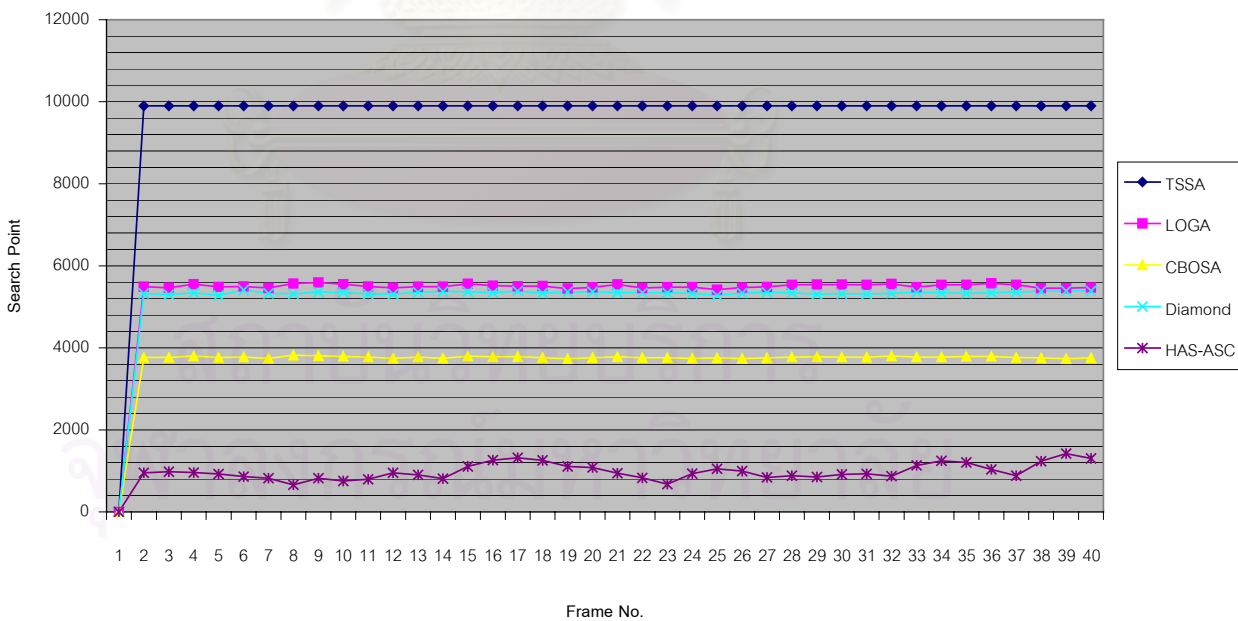
รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบสมรรถนะของชุดภาพ Carphone (ก) MSE (ข) จำนวนจุดการค้นหา

MSE of Miss America



(ก) MSE

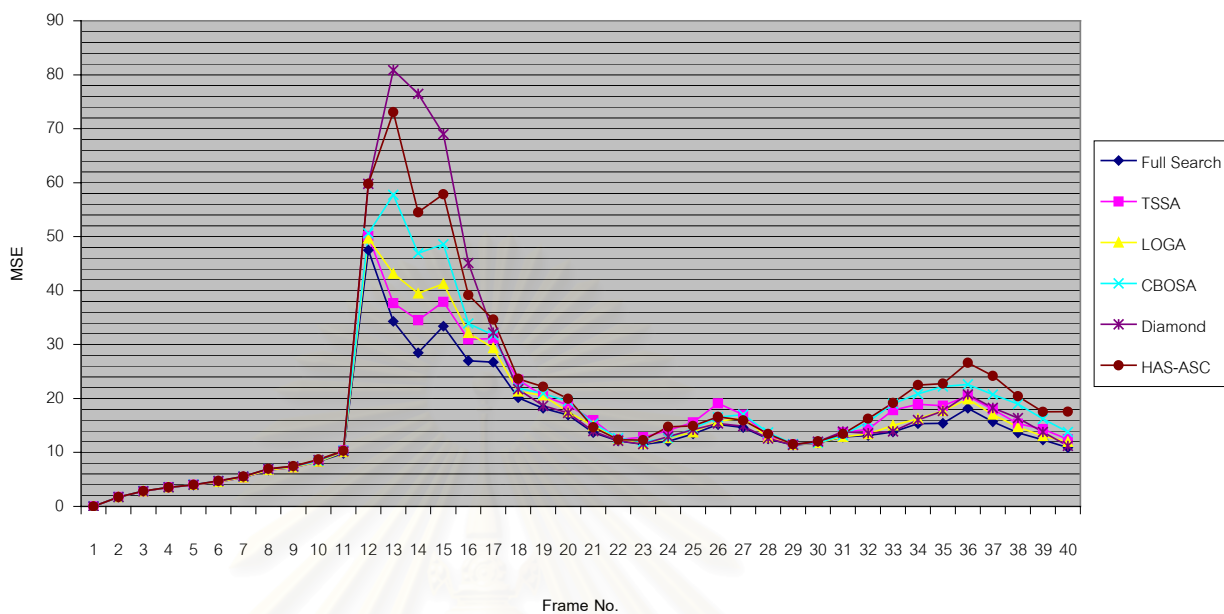
Search Point of Miss America



(ข) จำนวนจุดการค้นหา

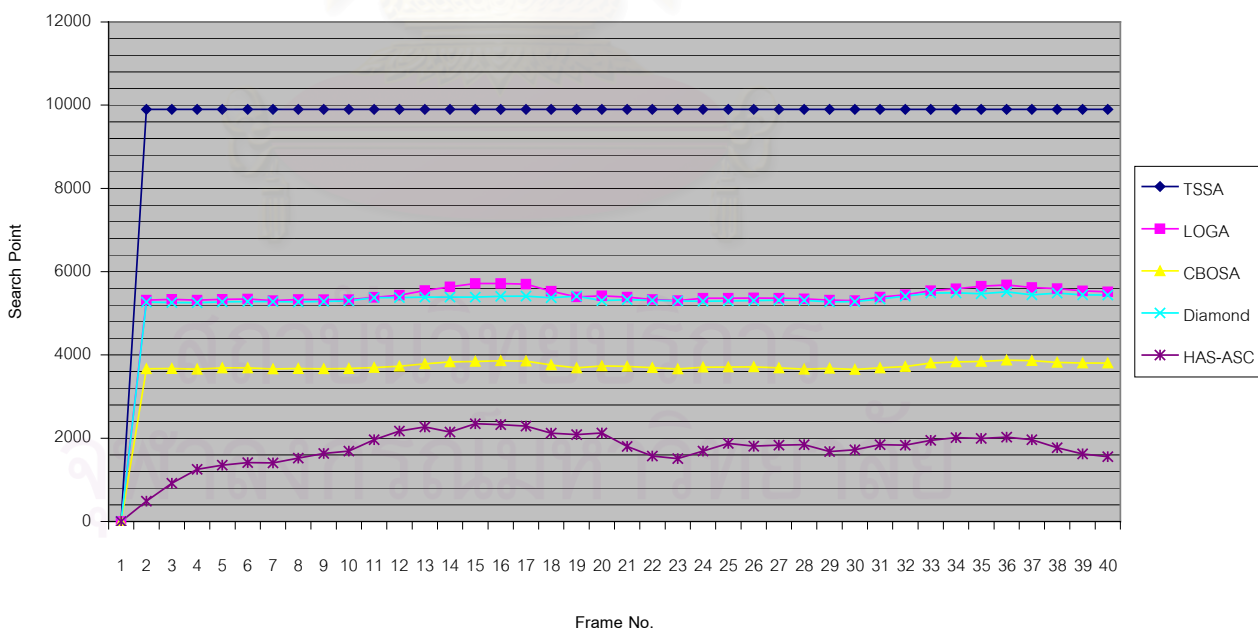
รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบสมรรถนะของชุดภาพ Miss America (ก) MSE (ข) จำนวนจุดการค้นหา

MSE of Mother & Daughter



(ก) MSE

Search Point of Mother & Daughter



(ข) จำนวนจุดการค้นหา

รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบสมรรถนะของชุดภาพ Mother & Daughter (ก) MSE (ข) จำนวนจุดการค้นหา

#### 4.4 การวิเคราะห์ผลของเทคนิคที่นำเสนอ

การวิเคราะห์ในหัวข้อนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ดังนี้

- สมการการวิเคราะห์ความถูกต้องในการประมาณการเคลื่อนที่
- สมการการวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณ

##### 4.4.1 สมการการวิเคราะห์ความถูกต้องในการประมาณการเคลื่อนที่

การประมาณค่าความผิดพลาดต่อบล็อกใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญและผลจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อความถูกต้องในการประมาณของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ค่าประมาณค่าความผิดพลาดต่อบล็อกด้วยเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง จะคำนวณตามสมการที่ 4.1

$$\text{Est\_Err} = \{(N_{T1} \times T1) + (N_{T2} \times T2) + (N_{\text{small}} \times \text{Err\_CBOSA}) + (N_{\text{large}} \times \text{Err\_diamond})\} / 15444$$

( สมการ 4.1 )

Est\_Err = ค่าประมาณค่าความผิดพลาดต่อบล็อก

T1 = ค่าจุดเปลี่ยน T1

T2 = ค่าจุดเปลี่ยน T2

N<sub>T1</sub> = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ตอบ(0,0)

N<sub>T2</sub> = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ตอบค่าจุดศูนย์กลางใหม่

N<sub>small</sub> = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ใช้การค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง

N<sub>large</sub> = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ใช้การค้นหาแบบรูปเพชร

Err\_CBOSA = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดต่อบล็อกของชุดภาพนั้นๆ ด้วยเทคนิคการค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง

Err\_diamond = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดต่อบล็อกของชุดภาพนั้นๆ ด้วยเทคนิคการค้นหาแบบรูปเพชร

N<sub>T1</sub>+N<sub>T2</sub>+N<sub>small</sub>+N<sub>large</sub> = จำนวนบล็อกทั้งหมด

#### 4.4.2 สมการวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณ

การประมาณค่าจำนวนจุดการค้นหาต่อบล็อก เพื่อแสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญและผลจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อความซับซ้อนในการประมาณของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ค่าประมาณจำนวนจุดการค้นหาต่อบล็อกด้วยเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง จะคำนวณตามสมการที่ 4.2

$$\text{Est\_computation} = \{ [(N_{T1} \times 1) + (N_{T2} \times 2) + (N_{\text{small}} \times \text{CBOSA\_computation}) + (N_{\text{large}} \times \text{diamond\_computation})] / 15444 \} + \text{extended\_operations} \quad \text{สมการ(4.2)}$$

Est\_computation = ค่าประมาณจำนวนจุดการค้นหาต่อบล็อก

$N_{T1}$  = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ตอบ(0,0)

$N_{T2}$  = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ตอบค่าจุดศูนย์กลางใหม่

$N_{\text{small}}$  = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ใช้การค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง

$N_{\text{large}}$  = จำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ใช้การค้นหาแบบรูปเพชร

CBOSA\_computation = ค่าเฉลี่ยจำนวนจุดการค้นหาต่อบล็อกของชุดภาพนั้นๆด้วยเทคนิคการค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง

diamond\_computation = ค่าเฉลี่ยจำนวนจุดการค้นหาต่อบล็อกของชุดภาพนั้นๆด้วยเทคนิคการค้นหาแบบรูปเพชร

$N_{T1} + N_{T2} + N_{\text{small}} + N_{\text{large}}$  = จำนวนบล็อกทั้งหมด

extended\_operations = จำนวนตัวปฏิบัติการที่ใช้กับการตัดสินใจในขั้นตอนต่างๆ

$$\text{extended\_operations} = \{ (N_{T1} \times \text{operations of 1 step}) + (N_{T2} \times \text{operations of 2 steps}) + (15444 - N_{T1} - N_{T2}) \times \text{operations of 3 steps} + \text{Adaptation operations} \} / 15444$$

#### 4.4.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์

ด้วยผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ประกอบกับ สมการที่ 4.1 และ สมการที่ 4.2 สามารถช่วยในการอธิบายและวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ในกรณีต่างๆ ได้ เช่น เมื่อค่าจุดเปลี่ยน  $T1$  มีค่ามากขึ้น  $N_{T1}$  ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกัน  $N_{T2}$   $N_{\text{small}}$  และ  $N_{\text{large}}$  ก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วยเพราะ  $N_{T1} + N_{T2} + N_{\text{small}} + N_{\text{large}} =$  จำนวนบล็อกทั้งหมดซึ่งเป็นค่าคงที่ เมื่อจำนวน  $N_{T1}$  ที่เพิ่ม



ขึ้นในจำนวน  $N_{T1}$  นี้มีทั้งจำนวนบล็อกที่ตัดสินใจถูกและผิดพลาดรวมกัน เมื่อจำนวนบล็อกที่ตัดสินใจผิดมีค่ามากขึ้น ความผิดพลาดในการประมาณก็จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากบล็อกนั้นมีโอกาสที่จะให้ค่าความเพี้ยนต่อบล็อก ของบล็อกที่ตัดสินใจผิดนั้นต่ำกว่าที่ตัดสินใจด้วยเทคนิคการใช้ 1 จุดการค้นหา แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสมการที่ 4.2 เมื่อ  $N_{T1}$  เพิ่มมากขึ้น หมายถึงจำนวนจุดการค้นหาลดลงอย่างมาก เพราะเป็นจำนวนบล็อกที่ใช้เพียง 1 จุดการค้นหา

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของค่าจุดเปลี่ยน  $R$  จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 เมื่อค่า  $R$  เพิ่มมากขึ้นจำนวนบล็อกที่ถูกตัดสินใจให้ใช้การค้นหาสำหรับการเคลื่อนมากก็เพิ่มมากขึ้นด้วยส่งผลให้  $N_{large}$  มีค่ามากขึ้น และเนื่องจาก  $N_{T1}$  และ  $N_{T2}$  อยู่ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ค่า  $N_{large}$  จึงไม่มีผลต่อค่า  $N_{T1}$  และ  $N_{T2}$  แต่จะมีผลกับค่า  $N_{small}$  ซึ่งส่งผลให้  $N_{small}$  มีค่าน้อยลง นั่นหมายถึง ความถูกต้องที่ได้จากการประมาณการเคลื่อนที่จะมีแนวโน้มเอนเอียงไปทางค่าความเพี้ยนต่อบล็อกเมื่อใช้การค้นหาแบบเชิงจากรูปเพชร แต่ในขณะเดียวกันก็หมายถึงจำนวนจุดการค้นหาก็เพิ่มมากขึ้นไปด้วย และในทางกลับกันเมื่อค่าจุดเปลี่ยน  $R$  มีค่าลดลง  $N_{small}$  จะมีค่ามากขึ้น และลักษณะของผลที่ได้จะมีแนวโน้มเอนเอียงไปทางผลของการค้นหาแบบเชิงจากไบแอสจุดศูนย์กลาง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อสรุปของการทดลองในหัวข้อที่ 4.3.1.1 ว่าผลที่มีความถูกต้องต่ำนั้นเป็นผลเนื่องมาจากเทคนิคการค้นหาแบบเชิงจากไบแอสจุดศูนย์กลาง ถ้าสังเกตให้ละเอียดขึ้นจะพบว่าผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 นั้นสามารถอธิบายได้ด้วยผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ประกอบกับ สมการที่ 4.1 และ สมการที่ 4.2 ดังที่ได้กล่าวมา

#### 4.4.4 การวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นของเทคนิคที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับความซับซ้อนในการการคำนวณที่ลดลง

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ความซับซ้อนในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นที่ใช้ในเทคนิคที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับความซับซ้อนในการคำนวณที่ลดลงด้วยเทคนิคที่นำเสนอ โดยจะพิจารณาด้วยค่าจำนวนปฏิบัติการที่ใช้ โดย Cheung, C.K.,1998 ทำการนับจำนวนปฏิบัติการของการประมาณการเคลื่อนที่ไว้ โดยแบ่งเป็น 3 ปฏิบัติการใหญ่ๆที่ใช้ในการประมาณการเคลื่อนที่ นั่นคือ ปฏิบัติการบวก (Addition) ซึ่งรวมถึง การลบ (Substraction) ด้วย ปฏิบัติการสัมบูรณ์ (Absolution) และปฏิบัติการเปรียบเทียบ (Comparison) และให้ทั้ง 3 ชนิดของปฏิบัติการใช้ความซับซ้อนเท่ากัน

สำหรับ 1 จุดการค้นหาในกรณีที่ใช้ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย บล็อกขนาด  $8 \times 8$  จุดสีจากสมการที่ 2.8 ใช้จำนวนปฏิบัติการดังต่อไปนี้

$$MAE(i, j) = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |X(m, n) - X^R(m + i, n + j)| \quad (2.8)$$

จำนวนปฏิบัติการเท่ากับ  $64\text{additions} + 64\text{absolutions} + 63\text{additions} + 1\text{multiplication}$

สำหรับความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของเทคนิค มีดังนี้

1. การเปรียบเทียบกับ T1 ใช้ไป 1 comparison
2. การเปรียบเทียบกับ T2 ใช้ไป 1 comparison
3. การเปรียบเทียบกับ R ใช้ไป 1 addition 1 absolution และ 1 comparison
4. การปรับตัว สำหรับแต่ละค่าจุดเปลี่ยน

จะปรับตัวตามสมการ ที่ 4.3

$$New = ((old * N) + bdm) / (N + 1) \quad (4.3)$$

ใช้จำนวนปฏิบัติการ 2 multiplications + 2 additions x 3 ค่าจุดเปลี่ยน = 6 multiplications + 6Additions

รวมทั้งหมดได้เท่ากับ 6 multiplications + 7 addition 3 comparions และ 1 absolution

จากการประมาณค่าความซับซ้อนในข้างต้นสังเกตได้ว่าค่าความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของเทคนิคที่น่าเสนอ 6 multiplications + 7 addition 3 comparions และ 1 absolution ต่อ บล็อก ในขณะที่สามารถลดจำนวนจุดการค้นหาได้ประมาณ 5 จุดการค้นหา หรือคิดเป็นค่าปฏิบัติการได้ดังนี้  $5 \times (64\text{additions} + 64\text{absolutions} + 63\text{additions} + 1\text{multiplication})$  แสดงว่า ด้วยเทคนิคที่น่าเสนอ สามารถลดความซับซ้อนในการประมาณการเคลื่อนที่ได้ประมาณ  $(5 \times 64) - 7 + (5 \times 63)\text{ additions} + (5 \times 64) - 1\text{ absolution} - 3\text{ comparison}$ . หรือประมาณ 900 operations ต่อบล็อก ในขณะที่ให้ค่าความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ

### สรุปผลการทดลอง

การประมาณการเคลื่อนที่แบบใช้เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง สามารถวิเคราะห์ และ อธิบายได้ด้วยลักษณะของชุดภาพประกอบสมการความซับซ้อนและ สมการประมาณค่าความถูกต้อง สำหรับค่าความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของเทคนิคที่น่าเสนอ ถือเป็นค่าน้อยมากเทียบกับความซับซ้อนที่เทคนิคสามารถลดได้ด้วยการลดจำนวนจุดการ ค้นหา ซึ่งระบบที่ใช้เทคนิคที่น่าเสนอ ลดจำนวนปฏิบัติการได้ประมาณ 900 ปฏิบัติการต่อบล็อก

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอ อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก ด้วยเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง เพื่อลดความซับซ้อน ของกระบวนการประมาณการเคลื่อนที่ในระบบการเข้ารหัสสัญญาณวีดิทัศน์ ในขณะที่รักษาความถูกต้องในการประมาณเวกเตอร์การเคลื่อนที่ในระดับที่น่าพึงพอใจ เทคนิคการค้นหาที่น่าเสนอนี้ประกอบด้วย 5 เทคนิค ดังนี้ การค้นหาแบบ 1 จุดการค้นหา การค้นหาแบบ 2 จุดการค้นหา การคาดเดาช่วงค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ การไฮบริดระหว่างการค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลางและการค้นหารูปเพชร และการปรับค่าจุดศูนย์กลางการค้นหา

ผลการจำลองระบบการประมาณการเคลื่อนที่ในส่วนของการทดลองเพื่อทดสอบข้อสมมติฐานพื้นฐานของเทคนิค ให้ผลการทดลองที่ยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อสมมติฐานได้ ระดับหนึ่ง ซึ่งส่งผลให้มีความคาดหวังว่า ระบบที่ใช้เทคนิคที่น่าเสนอนี้จะมีสมรรถนะที่ดีขึ้น ตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ การทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานยังให้ผลการทดลองซึ่งสามารถนำไปใช้หาค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมของค่าจุดเปลี่ยนต่างๆ และยังช่วยเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ช่วยในการวิเคราะห์ระบบที่ใช้เทคนิคที่น่าเสนอนี้ได้อีกด้วย

ผลการจำลองระบบเพื่อทดสอบผลกระทบของค่าจุดเปลี่ยนต่างๆที่มีต่อระบบ แสดงให้เห็นว่าค่าเริ่มต้นของค่าจุดเปลี่ยนที่ดีมีผลต่อสมรรถนะของระบบเนื่องจากการปรับตัวในสถานะคงตัวยังคงมีผลของค่าเริ่มต้นอยู่ด้วย ผลจากการจำลองระบบเพื่อทดสอบผลกระทบของค่าจุดเปลี่ยน R ที่ใช้ในการตัดสินใจช่วงการค้นหา ค่าจุดเปลี่ยน T1 ที่ใช้ในการตัดสินใจชนิดของบล็อกที่มีการเคลื่อนที่ และ แบบไม่มีการเคลื่อนไหว และ ค่าจุดเปลี่ยน T2 ที่ใช้ในการตัดสินใจชนิดของบล็อกที่มีการเคลื่อนที่ และ แบบไม่มีการเคลื่อนไหว เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางใหม่ แสดงให้เห็นว่าการปรับตัวของค่าจุดเปลี่ยน ช่วยให้เทคนิคมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่าเทคนิคที่ไม่มีการปรับตัว และผลเนื่องจากค่าจุดเปลี่ยน R ยังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตัดสินใจขนาดของช่วงเวกเตอร์ได้จริง จากค่าจำนวนจุดการค้นหาที่ลดลง และแสดงให้เห็นถึงจุดด้อยของเทคนิคการค้นหาแบบเชิงฉากไบแอสจุดศูนย์กลาง ที่ไม่สามารถรองรับหน้าที่ตรงนี้ได้ดี เมื่อเทียบกับเทคนิคการค้นหาแบบรูปเพชร สำหรับผลเนื่องจากค่าจุดเปลี่ยน T1 และ T2 ให้ผลที่สอดคล้องกับผลการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน และแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนของความสามารถในการลดจำนวนจุดการ

ค้นหา ผลการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ ของเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิคการค้นหาอื่นๆ แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางเมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะของเทคนิคการค้นหาชนิดต่างๆ แล้ว ว่า มีค่า PSNR และค่า MSE ต่ำกว่า และสูงกว่า ตามลำดับ เพียงเล็กน้อย ซึ่งหมายถึงมีความถูกต้องในการประมาณต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย แต่ในขณะเดียวกัน เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางมีความยืดหยุ่นและมีการจัดสรรจุดการค้นหาเพื่อทำการประมาณการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าเทคนิคการค้นหาอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่ช่วยในการลดจำนวนจุดการค้นหาอย่างมากด้วยนั่นคือ เทคนิคการค้นหาแบบ 1 จุดการค้นหา และ แบบ 2 จุดการค้นหา ทำให้เทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลางใช้จุดการค้นหาน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับเทคนิคการค้นหาชนิดอื่นๆ ซึ่งนับเป็นข้อดีของเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง ผลจากการวิเคราะห์การคำนวณที่เพิ่มขึ้นของเทคนิคที่นำเสนอแสดงให้เห็นว่าการคำนวณที่เพิ่มขึ้นนี้มีจำนวนปฏิบัติการ โดยประมาณเพียงเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนจุดการค้นหา หรือ ความซับซ้อนในการคำนวณ ที่ลดลงด้วยเทคนิคนี้

อัลกอริทึมการเข้าคู่บล็อก ด้วยเทคนิคการค้นหาแบบไฮบริดชนิดปรับตัวได้แบบใช้การปรับย้ายจุดศูนย์กลาง มีสมรรถนะที่โดดเด่นทางด้านที่มีความซับซ้อนในการคำนวณต่ำในการประมาณการเคลื่อนที่เพราะใช้จำนวนจุดการค้นหาต่ำ และให้ความถูกต้องในการประมาณไม่ต่ำมาก นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นต่อลักษณะของภาพที่ทำการประมาณการเคลื่อนที่ด้วย ทั้งนี้จึงส่งผลให้กระบวนการประมาณการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ปฏิบัติการสูงที่สุดในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ มีความเร็วสูงขึ้นในการทำงานพร้อมทั้งมีความถูกต้องที่น่าพอใจ ทำให้มีความสามารถที่จะรองรับกับงานแบบเวลาจริง (Real Time)

## 5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานวิจัย

1. เอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ ยังมีอยู่น้อยมากในประเทศไทย โดยเฉพาะข้อมูลที่ชัดเจนของมาตรฐาน ควรจะมีแผนงานในการจัดหาเอกสารและเข้าร่วมในการประชุมสัมมนาขององค์กรที่กำหนดมาตรฐาน เช่น MPEG หรือ ITU-T
2. บุคคลากรที่สนใจในการทำงานต่อเนื่องมีอยู่น้อยทำให้มีการขาดช่วงในการทำงานวิจัย
3. การร่วมวิจัย (Co-Research) ระหว่างสถาบันต่างๆ มีน้อย รวมไปถึงเงินทุนในงานวิจัย

งานที่ควรได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไปในอนาคต คือ

1. เลือกเทคนิคที่เหมาะสมกับช่วงการค้นหามากกว่าเทคนิคที่นำเสนอ (การค้นหาแบบไบแอสจุดศูนย์กลาง และ การค้นหาแบบไฮบริด) มาทำการไฮบริด เพื่อให้ได้ความถูกต้องที่สูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันยังคงรักษา คุณลักษณะของจำนวนจุดการค้นหาที่ต่ำเอาไว้
2. การพัฒนาความสามารถในการคาดเดาช่วงการค้นหาของค่า BDMdiff เพื่อนำไปใช้กับเทคนิคการปรับขนาดหน้าต่างการค้นหา หรือเทคนิคอื่นๆ เนื่องจากว่า ค่า BDMdiff มีนัยสำคัญต่อขนาดของค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่
3. ปรับเปลี่ยนวัตถุประสงค์ในการประมาณการเคลื่อนที่ จากวัตถุประสงค์ที่มุ่งเน้นการเข้ารหัสให้เร็วขึ้นและรักษาความถูกต้องให้ สูงด้วยไป เป็นวัตถุประสงค์อื่น เช่น การประมาณการเคลื่อนที่เพื่อการแบ่งวัตถุภาพ ( Motion Estimation for Object Segmentation ) หรืออาจจะเป็นวัตถุประสงค์อื่น ที่เป็นการวิจัยการประมาณการเคลื่อนที่ในแง่อุปกรณ์ของการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ไหว



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

- Chen ,M., Chen,L. and Chiuch,T. One Dimensional Full Search Motion Estimation Algorithm for Video Coding ,IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Volume: 4 5 , Oct. 1994 , Page(s): 504 –509 .
- Chen,M., Chen, L. and Chiuch, T.,A New Block Matching Criterion for Motion Estimation IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Volume: 53, June 1995, Page(s): 231 –236.
- Cheung, C. K. and Po, L. M., A hybrid adaptive search algorithm for fast block motion estimation, Proc.IEEE Int.Symp.Signal Proc. And its Appl, Vol. 1, Aug. 1996, pp.365-368.
- Cheung, C.K. and Po,L.M., Hybrid Search algorithm for block motion estimation, Proc.IEEE Int.Symp.Circuit and System,Vol. 4, May 1998, pp. 297-300.
- Cheung,C.K. Fast Motion Estimation Techniques for Video Compression, Doctoral Thesis from City University of Hong Kong, May 1998.
- Chow,H.K ; Liou, M.L.,Genetic motion search algorithm for video compression , IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology Volume: 36, Dec. 1993, Page(s): 440 -445 .
- Dixon, E.; Markhauser, C.P.; Rao, K.R. , A new vide oobject motion estimation strategy using a multipopulation modified coevolution genetic algorithm , . Proceedings of the 1998 Second IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems, 1998 , Page(s): 159 -165 .
- Dixon, E.L.; Markhauser, C.P.; Rao, K.R. , A new object motion estimation technique for video images, based on genetic algorithm , IEEE Transactions on Consumer Electronics Volume: 43, Aug. 1997 , Page(s): 886 –895.
- Feng, J., Lo, K.T., Adaptive Block Matching Motion Estimation Algorithm for Video Coding Proceedings., International Conference on , Image Processing, 1995. Volume: 3 , 1995 , Page(s): 496 –499.
- Furht, B., Greenberg J., and Westwater R, Motion Estimation Algorithm for video compression , Kluwer Academic Publishers 1997.
- Ghanbari,M. The Cross-Search Algorithm for Motion Estimation, IEEE Transactions on Communications, Vol .38 No.7, July 1990.
- Jain,J. and Jain,A. Displacement Measurement and its Application in Interframe Coding for Video Conferencing ,Proceedings of the National Telecommunications Conference, 1981, pp. G5.3.1-5.3.5.
- Koga,J., Iiunuma,K., Harani,A., Iijima, Y. and Ishiguro,T. Motion Compensated Interframe Image Coding, IEEE Transactions on Communications ,Vol.29 ,No.12 ,December 1981, pp.1799-1808.
- Kumar, S. et al., A simple FPGA-based conjugate search motion estimation , IEEE Asia-Pacific Conf. On Circuits and Systems, pp. 109-114, Taipei,Taiwan, Dec. 1994.
- Li ,R., Zeng,B., A New Three Step Search Algorithm for Block Motion Estimation , IEEE Transactions on



- Circuits and Systems for Video Technology, Volume: 4 4 , Aug. 1994 , Page(s): 438 -442 .
- Li, W and Salari,F. , Successive Elimination Algorithm for Motion Estimation, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 4, No 1, January 1995, pp.105-107.
- Li,S. ; Xu, W.P.; Wang,H. and Zheng,N.N., A novel fast motion estimation method based on genetic algorithm, Image Processing, 1999. ICIP 99. Proceedings. 1999 International Conference on Volume: 1 , 1999 , Page(s): 66 –69.
- Lin,C.H. ; Wu,J.L., Genetic block matching algorithm for video coding., Proceedings of the Third IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, 1996, Page(s): 544 -547 .
- Liu, B. and Zaccarin, A., Fast Algorithm for Block Motion Estimation, IEEE Conference 1992, pp.III-449-III-452.
- Liu, B. and Zaccarin, A., New Fast Algorithms for the Estimation of Block Motion Vectors , IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 3 No. 2 April 1993, pp 148-156.
- Marichal, X. Motion Estimation and Compensation for very low bit rate video coding, Doctoral Dissertation from Universite' catholique de Louvain, May 1998.
- Natarajan, B.; Bhaskaran, V.; Konstantinides, K , Low-complexity Block-based Motion Estimation via One-bit Transform, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Volume: 7 4 , Aug. 1997 , Page(s): 702 –706.
- Oh, H.S., Lee, C.H., Lee,H.K. and Jeon ,J.H., A New Block Matching Algorithm Based on Adaptive Search Area Adjustment using Spatio-Temporal Correlation, IEEE Transaction on Consumer electronics, Vol. 45, NO.3, August 1999, pp.745-752.
- Pickering,M. R., Arnold,J.F., and Frater,M.R., An Adaptive Search Length Algorithm for Block matching Motion Estimation, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 7 No. 6, December 1997, pp. 906-912.
- Po, L.M. and Jain,A.K , A Novel four step search algorithm for fast block motion estimation, IEEE Transactions on Circuit, System, and video Technology, Vol.6, June 1996, pp.313-317.
- Po,L.M. and Cheung,C. K., A New Center-Biased orthogonal Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation , IEEE TENCON Digital Signal Processing Applications, 1996, pp. 874-877.
- Puri, A., Hang,H.M. and Schilling,H.L., An efficient block matching algorithm for motion compensated coding, ICASSP'87, pp.1063-1066, Dallas, Texas, April 1987.
- Qiu, G.H.; Hou, C.H., A new fast algorithm for estimation of block motion vectors., 3rd International Conference on Signal Processing, 1996 Volume: 2 , 1996 , Page(s): 1233 -1236 .
- Rao , K.R. and Hwang ,J.J., Techniques and Standards for Image, Video , and Audio Coding Prentice Hall 1996.
- Zhu, S., Ma, K., "A New Diamond Search Algorithm for Fast Block Matching Motion Estimation", ICICS'97 IEEE Conference, September 1997 , pp. 292-296.
- So, M.F.; Wu, A., Four-step genetic search for block motion estimation , Proceedings of the 1998 IEEE

International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1998. Volume: 3 , 1998 ,  
Page(s): 1393 –1396.

Yue, Y. , Jian Z., Wang ,Y.L., Li, F.T. and Ge, C.H., A Fast Effective Block Motion Estimation Algorithm,  
Proceedings of ICSP'98, pp. 827-830.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

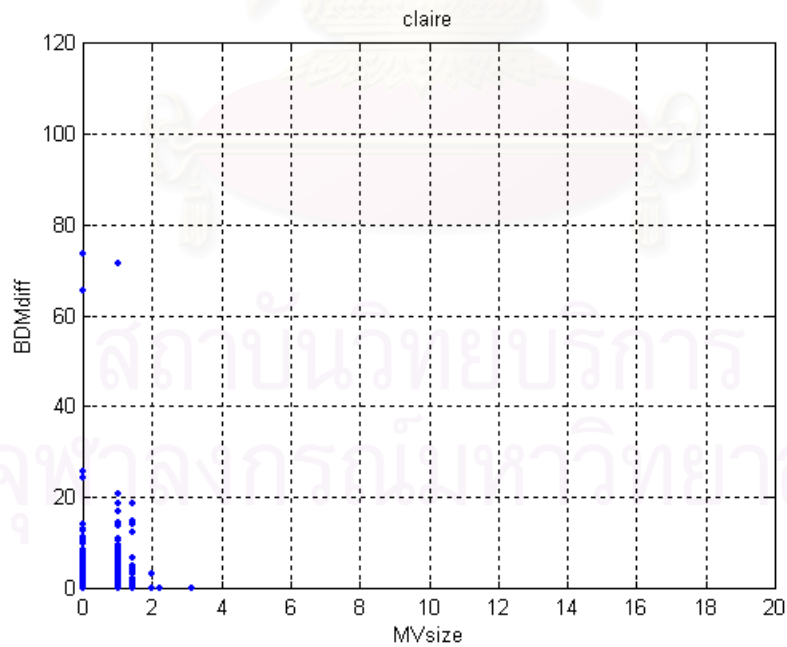
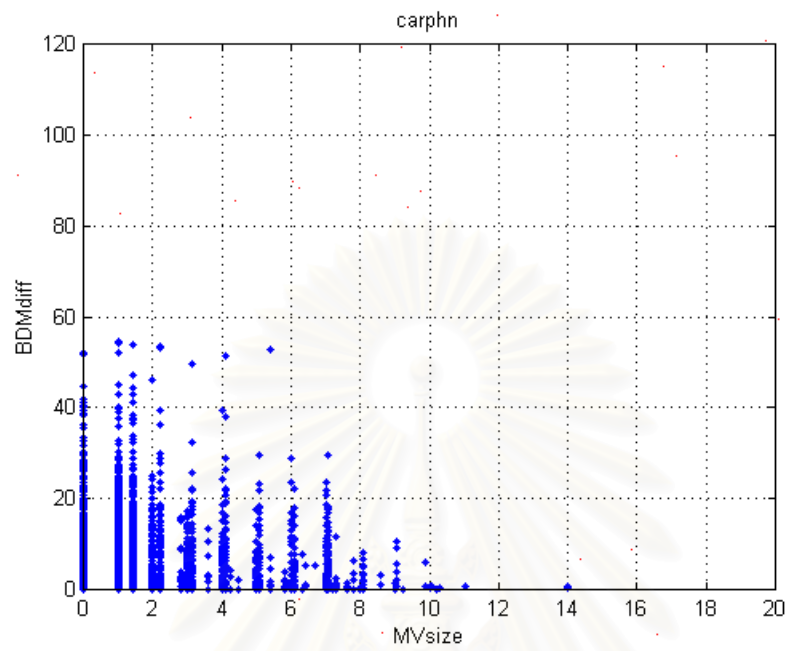
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

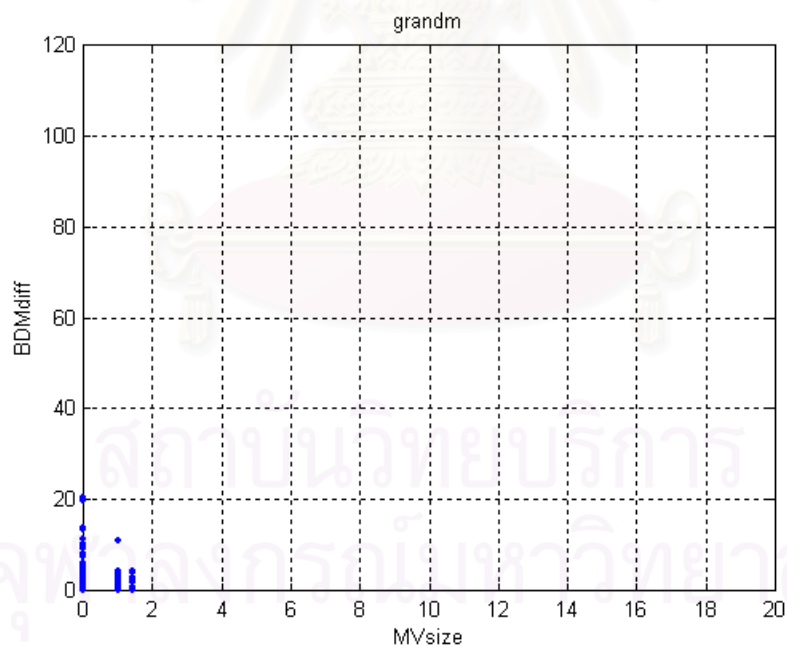
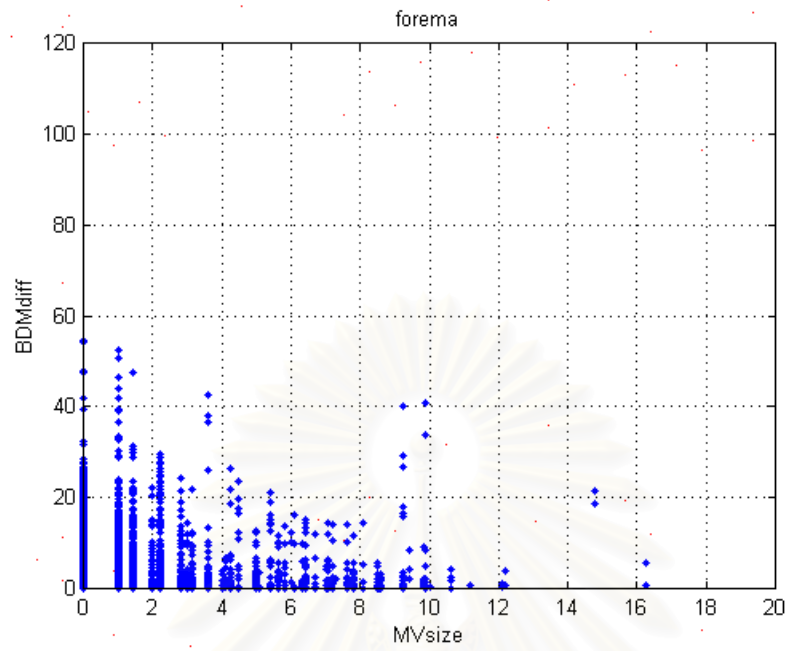


ภาคผนวก ก.

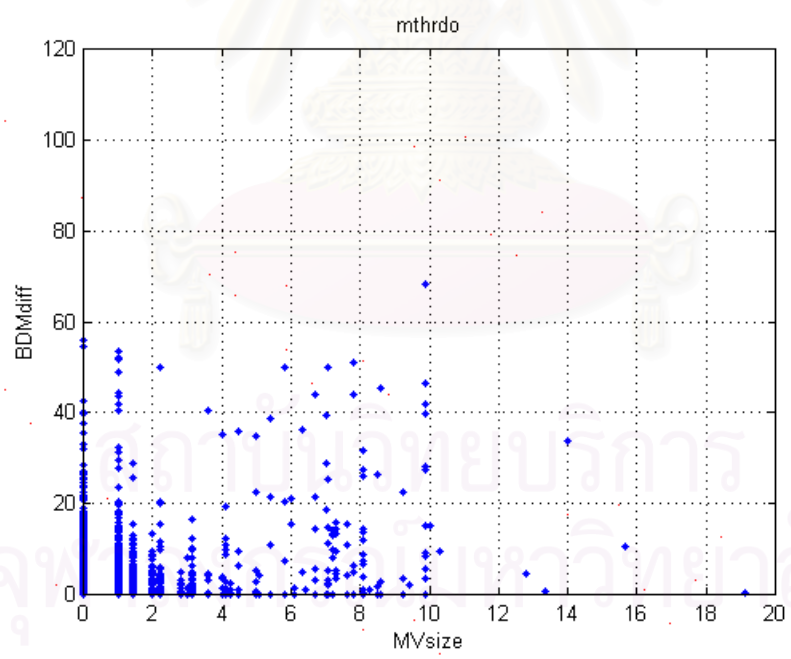
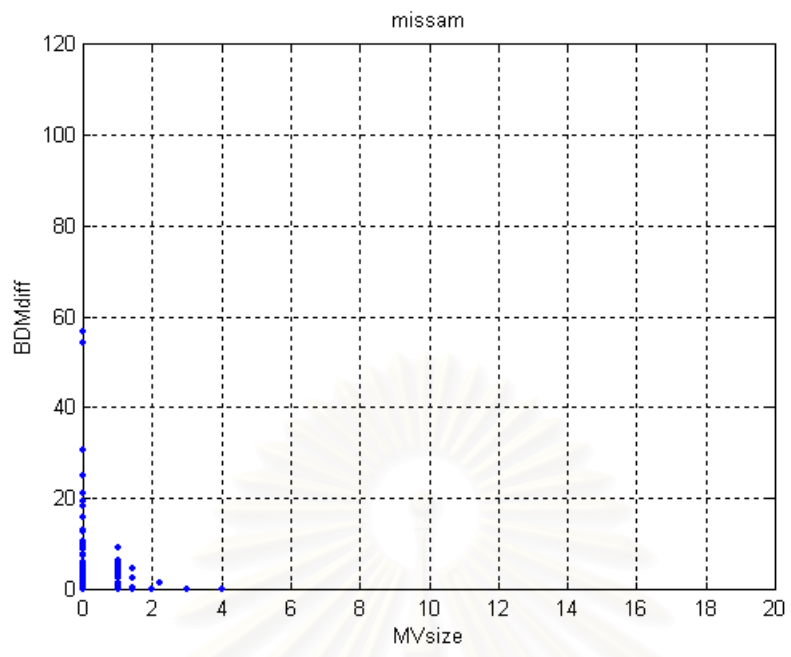
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

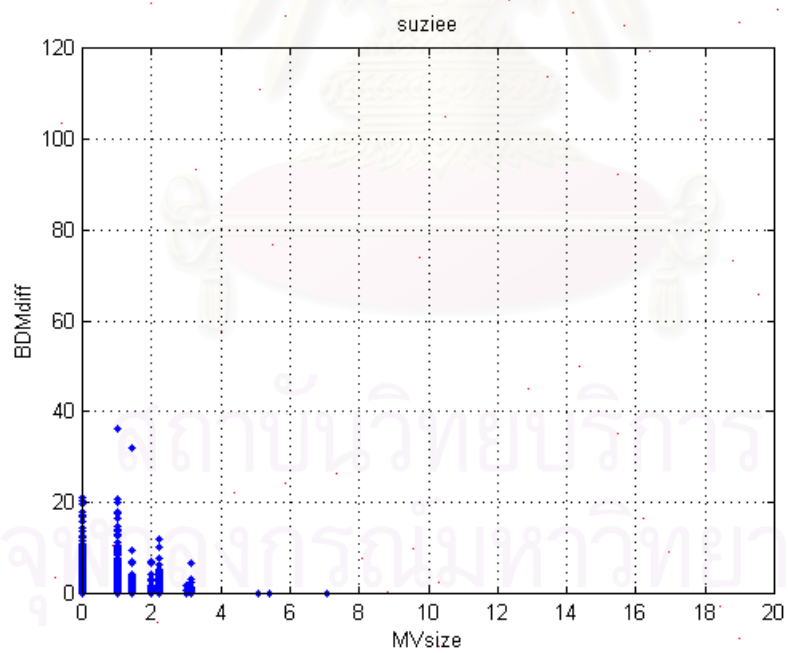
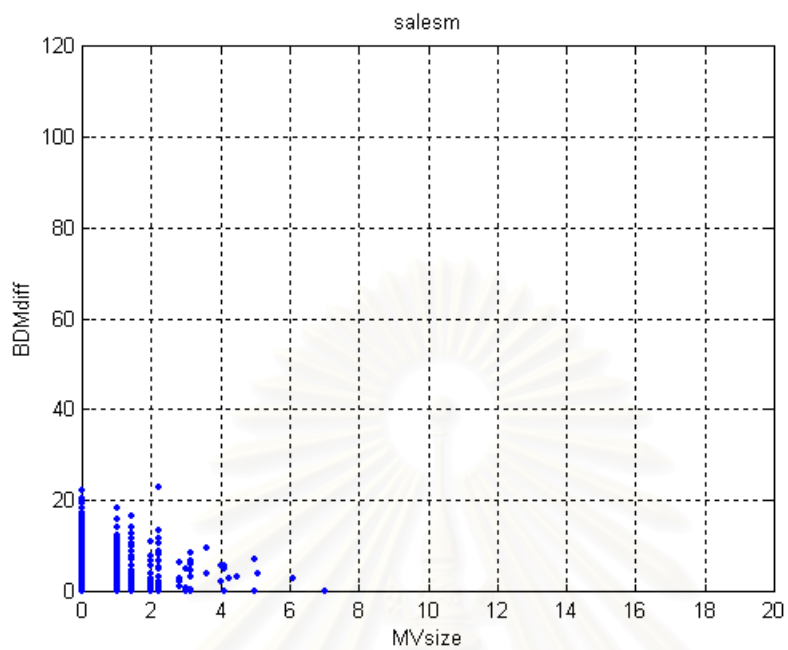
ก.1 รูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง BDMdiff และ ขนาดของเวกเตอร์เทียบกับจุดศูนย์กลาง การค้นหา ของชุดภาพ ทั้ง 10 ชุดภาพ

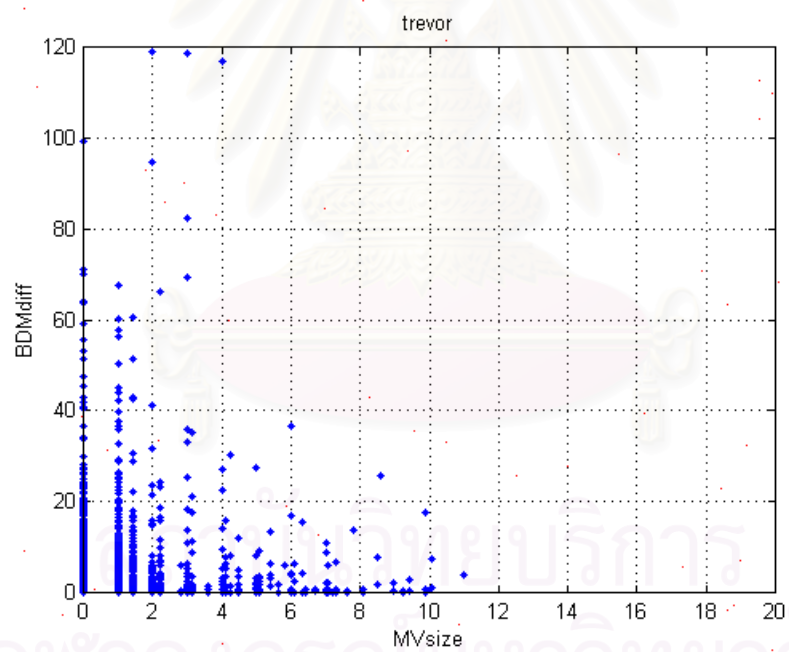
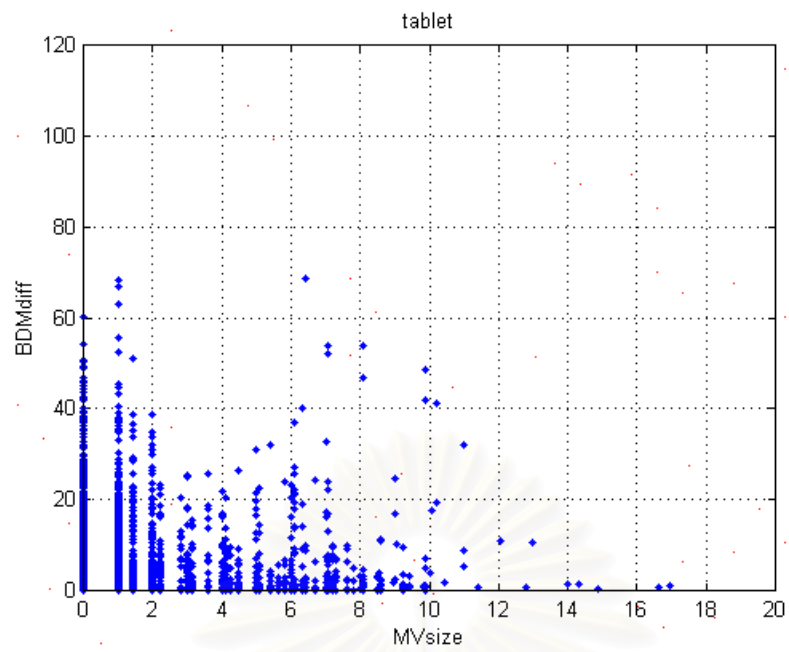












จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	41.058	100	4.1	29.4289	40.3069	11.6291	30.2642	8.2	36.8557	51.4634	4.2023	11.6809
0.1	0	0	41.058	100	4.2	29.7203	40.7537	11.3377	29.526	8.3	36.9464	51.5929	4.1116	11.4608
0.2	0	0	41.058	100	4.3	30.0052	41.2069	11.0528	28.7879	8.4	37.0694	51.7353	3.9886	11.1953
0.3	0	0	41.058	100	4.4	30.2642	41.5631	10.7938	28.1728	8.5	37.1795	51.8324	3.8785	10.9881
0.4	0.0065	0.0065	41.0515	99.987	4.5	30.5232	42.0552	10.5348	27.4217	8.6	37.3025	51.9749	3.7555	10.7226
0.5	0.123	0.4468	40.935	99.4302	4.6	30.8146	42.4955	10.2435	26.69	8.7	37.3932	52.195	3.6649	10.4118
0.6	0.8029	3.0238	40.2551	96.1733	4.7	31.0995	42.8192	9.9586	26.0813	8.8	37.445	52.3763	3.6131	10.1787
0.7	2.8814	7.4981	38.1766	89.6206	4.8	31.3649	43.1818	9.6931	25.4533	8.9	37.5032	52.5058	3.5548	9.9909
0.8	5.8469	12.2378	35.2111	81.9153	4.9	31.6175	43.5768	9.4406	24.8057	9	37.5809	52.6353	3.4771	9.7837
0.9	8.2556	15.0803	32.8024	76.6641	5	31.8247	43.9005	9.2334	24.2748	9.1	37.6457	52.7843	3.4123	9.5701
1	10.1852	17.3142	30.8728	72.5006	5.1	32.0772	44.2113	8.9808	23.7115	9.2	37.7169	52.9073	3.3411	9.3758
1.1	11.9075	19.4185	29.1505	68.6739	5.2	32.2779	44.548	8.7801	23.174	9.3	37.7817	53.0692	3.2764	9.1492
1.2	13.1637	20.9402	27.8943	65.8961	5.3	32.4657	44.8977	8.5923	22.6366	9.4	37.8205	53.1792	3.2375	9.0003
1.3	14.3357	22.3258	26.7224	63.3385	5.4	32.6923	45.1696	8.3657	22.138	9.5	37.8982	53.2764	3.1598	8.8254
1.4	15.417	23.4266	25.641	61.1564	5.5	32.9384	45.474	8.1197	21.5877	9.6	37.9953	53.4059	3.0627	8.5988
1.5	16.3882	24.3136	24.6698	59.2981	5.6	33.1715	45.843	7.8866	20.9855	9.7	38.0666	53.4771	2.9915	8.4564
1.6	17.353	25.4468	23.705	57.2002	5.7	33.3851	46.115	7.6729	20.4999	9.8	38.1572	53.5742	2.9008	8.2686
1.7	18.0912	26.1526	22.9668	55.7563	5.8	33.5794	46.4905	7.4786	19.9301	9.9	38.2025	53.7296	2.8555	8.0679
1.8	18.907	27.0979	22.151	53.9951	5.9	33.7218	46.7172	7.3362	19.561	10	38.2673	53.8332	2.7907	7.8995
1.9	19.4768	27.8361	21.5812	52.6871	6	33.8384	46.9762	7.2196	19.1854	10.1	38.3385	53.9562	2.7195	7.7053
2	20.215	28.6195	20.843	51.1655	6.1	34.0456	47.2481	7.0124	18.7063	10.2	38.4033	54.0534	2.6548	7.5434
2.1	20.8625	29.4419	20.1955	49.6957	6.2	34.2269	47.533	6.8311	18.2401	10.3	38.468	54.1699	2.59	7.3621
2.2	21.3222	30.1606	19.7358	48.5172	6.3	34.4535	47.8568	6.6045	17.6897	10.4	38.5263	54.2347	2.5317	7.2391
2.3	21.8985	30.7822	19.1595	47.3193	6.4	34.6283	48.0899	6.4297	17.2818	10.5	38.5846	54.3253	2.4735	7.0901
2.4	22.3906	31.3326	18.6674	46.2769	6.5	34.7967	48.2582	6.2613	16.9451	10.6	38.6687	54.4354	2.3893	6.8959
2.5	22.8114	31.9606	18.2466	45.2279	6.6	34.9262	48.4848	6.1318	16.589	10.7	38.7335	54.526	2.3245	6.7405
2.6	23.3553	32.6081	17.7027	44.0365	6.7	35.0686	48.7115	5.9894	16.2199	10.8	38.8177	54.6232	2.2404	6.5592
2.7	23.8669	33.1779	17.1911	42.9552	6.8	35.2564	48.9251	5.8016	15.8184	10.9	38.863	54.7203	2.195	6.4167
2.8	24.4043	33.8513	16.6537	41.7444	6.9	35.3924	49.1194	5.6656	15.4882	11	38.9407	54.8045	2.1173	6.2549
2.9	24.8381	34.3758	16.2199	40.7861	7	35.5348	49.3136	5.5232	15.1515	11.1	39.0184	54.921	2.0396	6.0606
3	25.259	34.9197	15.799	39.8213	7.1	35.6579	49.5079	5.4002	14.8342	11.2	39.0443	54.9793	2.0137	5.9764
3.1	25.7835	35.5348	15.2745	38.6817	7.2	35.755	49.7021	5.303	14.5429	11.3	39.0831	55.0635	1.9749	5.8534
3.2	26.172	36.0528	14.886	37.7752	7.3	35.8651	49.9223	5.193	14.2126	11.4	39.1414	55.1476	1.9166	5.711
3.3	26.6317	36.6032	14.4263	36.7651	7.4	35.9881	50.0971	5.0699	13.9148	11.5	39.1608	55.2512	1.8972	5.5879
3.4	26.949	37.0111	14.109	36.0399	7.5	36.0787	50.3108	4.9793	13.6105	11.6	39.1932	55.316	1.8648	5.4908
3.5	27.3958	37.5097	13.6623	35.0945	7.6	36.2212	50.5439	4.8368	13.3249	11.7	39.2126	55.3548	1.8454	5.4325
3.6	27.7648	38.1119	13.2932	34.1233	7.7	36.3377	50.6864	4.7203	12.9759	11.8	39.245	55.4455	1.813	5.3095
3.7	28.1404	38.5716	12.9176	33.288	7.8	36.4219	50.9259	4.6361	12.6522	11.9	39.2968	55.5038	1.7612	5.1994
3.8	28.4706	39.0896	12.5874	32.4398	7.9	36.5514	51.036	4.5066	12.4126	12	39.3421	55.575	1.7159	5.0829
3.9	28.762	39.5429	12.296	31.6952	8	36.6162	51.1979	4.4419	12.186	12.1	39.3745	55.6074	1.6835	5.0181
4	29.0598	39.9055	11.9982	31.0347	8.1	36.7198	51.3144	4.3383	11.9658	12.2	39.381	55.6915	1.677	4.9275

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ carphone

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	78.0433	100	4.1	76.3144	20.7071	1.7288	2.9785	8.2	77.5188	21.4128	0.5245	1.0684
0.1	0.5115	3.6377	77.5317	90.8508	4.2	76.3598	20.7524	1.6835	2.8879	8.3	77.5253	21.4258	0.518	1.049
0.2	0.8936	8.67	77.1497	90.4364	4.3	76.4375	20.7912	1.6058	2.7713	8.4	77.5253	21.4387	0.518	1.036
0.3	6.598	9.3499	71.4452	84.0521	4.4	76.4698	20.8236	1.5734	2.7066	8.5	77.5253	21.4582	0.518	1.0166
0.4	26.0619	12.3802	51.9814	61.5579	4.5	76.4828	20.8366	1.5605	2.6807	8.6	77.5382	21.4646	0.5051	0.9972
0.5	48.1352	15.6825	29.9081	36.1823	4.6	76.554	20.8754	1.4893	2.5706	8.7	77.5576	21.4776	0.4856	0.9648
0.6	58.8902	17.3271	19.1531	23.7827	4.7	76.6058	20.8948	1.4375	2.4994	8.8	77.5771	21.4776	0.4662	0.9454
0.7	62.309	18.2336	15.7343	19.4574	4.8	76.677	20.9337	1.3662	2.3893	8.9	77.5965	21.4905	0.4468	0.913
0.8	65.022	19.2178	13.0212	15.7602	4.9	76.7483	20.9466	1.295	2.3051	9	77.603	21.51	0.4403	0.8871
0.9	66.4141	19.5416	11.6291	14.0443	5	76.7612	20.9596	1.2821	2.2792	9.1	77.6224	21.5294	0.4209	0.8482
1	67.2429	19.6646	10.8003	13.0925	5.1	76.8324	21.0179	1.2108	2.1497	9.2	77.6483	21.5359	0.395	0.8159
1.1	68.1948	19.6775	9.8485	12.1277	5.2	76.8519	21.0308	1.1914	2.1173	9.3	77.6677	21.5488	0.3756	0.7835
1.2	68.9459	19.697	9.0974	11.3572	5.3	76.8842	21.0567	1.159	2.0591	9.4	77.6677	21.5682	0.3756	0.7641
1.3	69.697	19.7229	8.3463	10.5802	5.4	76.9296	21.0697	1.1137	2.0008	9.5	77.7001	21.5747	0.3432	0.7252
1.4	70.3056	19.7358	7.7376	9.9586	5.5	76.9878	21.0761	1.0554	1.936	9.6	77.7001	21.5812	0.3432	0.7187
1.5	70.8042	19.7617	7.2391	9.4341	5.6	77.0073	21.0826	1.036	1.9101	9.7	77.7066	21.6006	0.3367	0.6928
1.6	71.3157	19.7876	6.7275	8.8967	5.7	77.0267	21.0891	1.0166	1.8842	9.8	77.713	21.6071	0.3302	0.6799
1.7	71.8143	19.82	6.229	8.3657	5.8	77.0785	21.1085	0.9648	1.813	9.9	77.713	21.633	0.3302	0.654
1.8	72.2028	19.8847	5.8405	7.9125	5.9	77.1044	21.1215	0.9389	1.7742	10	77.7195	21.633	0.3238	0.6475
1.9	72.4618	19.9042	5.5815	7.634	6	77.1368	21.1279	0.9065	1.7353	10.1	77.7325	21.6395	0.3108	0.6281
2	72.805	19.9495	5.2383	7.2455	6.1	77.1497	21.1409	0.8936	1.7094	10.2	77.7454	21.6459	0.2979	0.6087
2.1	73.1546	19.9689	4.8886	6.8765	6.2	77.1756	21.1474	0.8677	1.677	10.3	77.7584	21.6589	0.2849	0.5828
2.2	73.4395	20.0013	4.6037	6.5592	6.3	77.208	21.1797	0.8353	1.6123	10.4	77.7584	21.6589	0.2849	0.5828
2.3	73.7374	20.0207	4.3059	6.2419	6.4	77.2339	21.1797	0.8094	1.5864	10.5	77.7584	21.6718	0.2849	0.5698
2.4	73.8992	20.0401	4.144	6.0606	6.5	77.2598	21.1797	0.7835	1.5605	10.6	77.7584	21.6977	0.2849	0.5439
2.5	74.0546	20.0531	3.9886	5.8923	6.6	77.2857	21.1927	0.7576	1.5216	10.7	77.7648	21.7042	0.2784	0.531
2.6	74.2554	20.1243	3.7879	5.6203	6.7	77.3245	21.2056	0.7187	1.4698	10.8	77.7648	21.7042	0.2784	0.531
2.7	74.4237	20.1632	3.6195	5.4131	6.8	77.3504	21.2186	0.6928	1.431	10.9	77.7713	21.7107	0.272	0.518
2.8	74.6439	20.1826	3.3994	5.1735	6.9	77.3634	21.2315	0.6799	1.4051	11	77.7843	21.7366	0.259	0.4792
2.9	74.877	20.202	3.1663	4.921	7	77.3699	21.238	0.6734	1.3921	11.1	77.7907	21.7366	0.2525	0.4727
3	74.9741	20.215	3.0692	4.8109	7.1	77.3893	21.2704	0.654	1.3403	11.2	77.7972	21.7366	0.2461	0.4662
3.1	75.1036	20.2862	2.9397	4.6102	7.2	77.4087	21.2898	0.6346	1.3015	11.3	77.7972	21.7366	0.2461	0.4662
3.2	75.2655	20.3445	2.7778	4.3901	7.3	77.4152	21.2963	0.6281	1.2885	11.4	77.8037	21.7495	0.2396	0.4468
3.3	75.4079	20.3704	2.6353	4.2217	7.4	77.4281	21.3028	0.6151	1.2691	11.5	77.8102	21.7495	0.2331	0.4403
3.4	75.5633	20.3963	2.4799	4.0404	7.5	77.4346	21.3092	0.6087	1.2562	11.6	77.8102	21.756	0.2331	0.4338
3.5	75.6799	20.4286	2.3634	3.8915	7.6	77.4476	21.3351	0.5957	1.2173	11.7	77.8231	21.7625	0.2202	0.4144
3.6	75.8418	20.474	2.2015	3.6843	7.7	77.467	21.3416	0.5763	1.1914	11.8	77.8231	21.7819	0.2202	0.395
3.7	75.9454	20.5063	2.0979	3.5483	7.8	77.4929	21.3481	0.5504	1.159	11.9	77.8296	21.7819	0.2137	0.3885
3.8	76.0878	20.6099	1.9555	3.3023	7.9	77.4994	21.3675	0.5439	1.1331	12	77.8296	21.7819	0.2137	0.3885
3.9	76.1914	20.6164	1.8519	3.1922	8	77.4994	21.3675	0.5439	1.1331	12.1	77.8361	21.7884	0.2072	0.3756
4	76.2303	20.6617	1.813	3.108	8.1	77.5123	21.3999	0.531	1.0878	12.2	77.8425	21.7884	0.2007	0.3691

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ claire

เปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	34.7902	100	4.1	25.7705	27.0396	9.0197	47.1898	8.2	32.0772	45.4351	2.713	22.4877
0.1	0	0	34.7902	100	4.2	26.049	27.5771	8.7413	46.374	8.3	32.1743	45.8042	2.6159	22.0215
0.2	0	0	34.7902	100	4.3	26.308	28.1533	8.4823	45.5387	8.4	32.2326	46.1733	2.5576	21.5941
0.3	0	0	34.7902	100	4.4	26.5346	28.6713	8.2556	44.7941	8.5	32.2455	46.5229	2.5447	21.2315
0.4	0	0	34.7902	100	4.5	26.7353	29.2217	8.0549	44.043	8.6	32.3168	46.8402	2.4735	20.843
0.5	0.0194	0.0907	34.7708	99.8899	4.6	27.0526	29.8174	7.7376	43.13	8.7	32.3686	47.2093	2.4217	20.4222
0.6	0.1101	0.9907	34.6801	98.8992	4.7	27.2274	30.3678	7.5628	42.4048	8.8	32.4333	47.6172	2.3569	19.9495
0.7	0.4144	2.3893	34.3758	97.1963	4.8	27.4929	30.9764	7.2973	41.5307	8.9	32.4786	47.9086	2.3116	19.6128
0.8	1.308	3.4253	33.4823	95.2668	4.9	27.6742	31.475	7.116	40.8508	9	32.4981	48.2064	2.2922	19.2955
0.9	2.5058	3.8721	32.2844	93.6221	5	27.8296	32.006	6.9606	40.1645	9.1	32.5563	48.4848	2.2339	18.9588
1	4.0404	4.3253	30.7498	91.6343	5.1	28.0821	32.4786	6.7081	39.4393	9.2	32.5758	48.8021	2.2145	18.6221
1.1	5.8081	4.8239	28.9821	89.368	5.2	28.2569	32.9125	6.5333	38.8306	9.3	32.6081	49.1777	2.1821	18.2142
1.2	7.3297	5.2966	27.4605	87.3737	5.3	28.5354	33.411	6.2549	38.0536	9.4	32.6664	49.3654	2.1238	17.9681
1.3	9.0585	6.0153	25.7317	84.9262	5.4	28.749	33.7931	6.0412	37.4579	9.5	32.6923	49.605	2.0979	17.7027
1.4	10.4636	6.7146	24.3266	82.8218	5.5	28.8915	34.2722	5.8987	36.8363	9.6	32.7182	49.864	2.072	17.4178
1.5	11.5838	7.4268	23.2064	80.9894	5.6	29.008	34.8032	5.7822	36.1888	9.7	32.7441	50.1554	2.0461	17.1005
1.6	12.8335	8.2945	21.9567	78.8721	5.7	29.1699	35.1399	5.6203	35.6902	9.8	32.8089	50.3756	1.9814	16.8156
1.7	13.7853	8.9355	21.0049	77.2792	5.8	29.3188	35.5931	5.4714	35.0881	9.9	32.893	50.5633	1.8972	16.5436
1.8	14.8342	9.7514	19.956	75.4144	5.9	29.4419	36.0658	5.3484	34.4924	10	32.9254	50.8547	1.8648	16.2199
1.9	15.6436	10.4895	19.1466	73.8669	6	29.5519	36.519	5.2383	33.929	10.1	32.9513	51.1785	1.8389	15.8702
2	16.5501	11.3636	18.2401	72.0862	6.1	29.7268	37.0694	5.0635	33.2038	10.2	32.9966	51.3468	1.7936	15.6566
2.1	17.353	12.2896	17.4372	70.3574	6.2	29.8304	37.4255	4.9599	32.7441	10.3	33.0355	51.6188	1.7547	15.3458
2.2	17.9228	13.0925	16.8674	68.9847	6.3	29.9987	37.9241	4.7915	32.0772	10.4	33.0679	51.8713	1.7224	15.0609
2.3	18.525	14.109	16.2652	67.366	6.4	30.0958	38.2997	4.6944	31.6045	10.5	33.1002	52.1238	1.69	14.776
2.4	19.043	14.8731	15.7472	66.0839	6.5	30.2253	38.6493	4.5649	31.1254	10.6	33.1261	52.3504	1.6641	14.5234
2.5	19.5998	15.7019	15.1904	64.6983	6.6	30.3743	39.1155	4.416	30.5102	10.7	33.165	52.6224	1.6252	14.2126
2.6	20.1308	16.5307	14.6594	63.3385	6.7	30.5102	39.504	4.28	29.9858	10.8	33.1715	52.8879	1.6188	13.9407
2.7	20.597	17.2494	14.1932	62.1536	6.8	30.6268	40.0414	4.1634	29.3318	10.9	33.2038	53.0692	1.5864	13.727
2.8	21.0891	18.143	13.7011	60.7679	6.9	30.7628	40.4494	4.0275	28.7879	11	33.2297	53.3023	1.5605	13.468
2.9	21.5747	18.9977	13.2155	59.4276	7	30.8793	40.7343	3.9109	28.3864	11.1	33.288	53.4836	1.5022	13.2284
3	21.9762	19.7099	12.814	58.3139	7.1	31.0541	41.1681	3.7361	27.7778	11.2	33.2945	53.6454	1.4957	13.0601
3.1	22.4424	20.5452	12.3478	57.0124	7.2	31.1772	41.5242	3.6131	27.2986	11.3	33.3139	53.8591	1.4763	12.827
3.2	22.805	21.2574	11.9852	55.9376	7.3	31.2937	41.9775	3.4965	26.7288	11.4	33.3398	54.0145	1.4504	12.6457
3.3	23.187	22.0992	11.6032	54.7138	7.4	31.3844	42.3271	3.4059	26.2885	11.5	33.3787	54.2023	1.4116	12.4191
3.4	23.5302	22.6949	11.26	53.7749	7.5	31.475	42.7868	3.3152	25.7382	11.6	33.3916	54.4483	1.3986	12.1601
3.5	23.841	23.4071	10.9492	52.7519	7.6	31.5721	43.2271	3.2181	25.2007	11.7	33.4046	54.6037	1.3857	11.9917
3.6	24.2618	24.1323	10.5284	51.6058	7.7	31.6757	43.5962	3.1145	24.728	11.8	33.4305	54.8174	1.3598	11.7521
3.7	24.5597	24.6892	10.2305	50.7511	7.8	31.7858	43.9847	3.0044	24.2295	11.9	33.4564	54.9599	1.3339	11.5838
3.8	24.877	25.3173	9.9132	49.8057	7.9	31.8635	44.4056	2.9267	23.7309	12	33.4758	55.1088	1.3144	11.4154
3.9	25.2202	25.8806	9.5701	48.8992	8	31.9477	44.7099	2.8425	23.3424	12.1	33.5146	55.2383	1.2756	11.2471
4	25.4274	26.4763	9.3629	48.0963	8.1	32.0319	45.1373	2.7584	22.8309	12.2	33.5211	55.4196	1.2691	11.0593

ค่าร้อยละของจำนวนลิกูแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ forema



เปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	78.0303	100	4.1	76.7871	21.5488	1.2432	1.6641	8.2	77.9332	21.8337	0.0971	0.2331
0.1	0	0	78.0303	100	4.2	76.826	21.5618	1.2044	1.6123	8.3	77.9461	21.8402	0.0842	0.2137
0.2	0	0	78.0303	100	4.3	76.8972	21.5618	1.1331	1.5411	8.4	77.9591	21.8531	0.0712	0.1878
0.3	0	0	78.0303	100	4.4	76.949	21.5682	1.0813	1.4828	8.5	77.9656	21.8596	0.0648	0.1748
0.4	0.0194	0.0065	78.0109	99.9741	4.5	77.0267	21.5877	1.0036	1.3857	8.6	77.9656	21.8596	0.0648	0.1748
0.5	0.8677	0.1748	77.1627	98.9575	4.6	77.0914	21.5941	0.9389	1.3144	8.7	77.9656	21.8596	0.0648	0.1748
0.6	11.6291	3.6195	66.4012	84.7514	4.7	77.1368	21.6071	0.8936	1.2562	8.8	77.972	21.8726	0.0583	0.1554
0.7	33.1585	11.5773	44.8718	55.2642	4.8	77.2015	21.6136	0.8288	1.1849	8.9	77.972	21.8855	0.0583	0.1425
0.8	53.6584	19.0236	24.3719	27.3181	4.9	77.2727	21.6265	0.7576	1.1008	9	77.972	21.892	0.0583	0.136
0.9	61.1629	20.992	16.8674	17.8451	5	77.2922	21.6459	0.7382	1.0619	9.1	77.9785	21.8985	0.0518	0.123
1	64.4328	21.3092	13.5975	14.258	5.1	77.3504	21.6524	0.6799	0.9972	9.2	77.9785	21.9049	0.0518	0.1166
1.1	66.7703	21.3416	11.26	11.8881	5.2	77.3699	21.6524	0.6605	0.9777	9.3	77.9915	21.9049	0.0389	0.1036
1.2	68.3955	21.3546	9.6348	10.2499	5.3	77.4087	21.6654	0.6216	0.9259	9.4	77.9979	21.9114	0.0324	0.0907
1.3	69.697	21.3546	8.3333	8.9485	5.4	77.4411	21.6783	0.5892	0.8806	9.5	77.9979	21.9179	0.0324	0.0842
1.4	70.6099	21.361	7.4204	8.029	5.5	77.4605	21.6848	0.5698	0.8547	9.6	78.0044	21.9244	0.0259	0.0712
1.5	71.2898	21.374	6.7405	7.3362	5.6	77.4994	21.6913	0.531	0.8094	9.7	78.0044	21.9244	0.0259	0.0712
1.6	72.1186	21.3805	5.9117	6.5009	5.7	77.5188	21.6913	0.5115	0.79	9.8	78.0109	21.9308	0.0194	0.0583
1.7	72.5783	21.3805	5.452	6.0412	5.8	77.5317	21.6913	0.4986	0.777	9.9	78.0109	21.9308	0.0194	0.0583
1.8	73.0704	21.3934	4.9599	5.5361	5.9	77.5576	21.6977	0.4727	0.7446	10	78.0174	21.9308	0.013	0.0518
1.9	73.4784	21.3934	4.5519	5.1282	6	77.5835	21.7172	0.4468	0.6993	10.1	78.0174	21.9373	0.013	0.0453
2	73.7956	21.3999	4.2347	4.8045	6.1	77.6418	21.7172	0.3885	0.641	10.2	78.0174	21.9373	0.013	0.0453
2.1	74.1064	21.4064	3.9239	4.4872	6.2	77.6418	21.7236	0.3885	0.6346	10.3	78.0238	21.9373	0.0065	0.0389
2.2	74.3395	21.4128	3.6908	4.2476	6.3	77.6612	21.7301	0.3691	0.6087	10.4	78.0238	21.9373	0.0065	0.0389
2.3	74.5597	21.4193	3.4706	4.021	6.4	77.6807	21.7301	0.3497	0.5892	10.5	78.0238	21.9373	0.0065	0.0389
2.4	74.8057	21.4258	3.2246	3.7685	6.5	77.7001	21.7366	0.3302	0.5633	10.6	78.0238	21.9503	0.0065	0.0259
2.5	74.9223	21.4323	3.108	3.6454	6.6	77.713	21.7431	0.3173	0.5439	10.7	78.0238	21.9567	0.0065	0.0194
2.6	75.1101	21.4387	2.9202	3.4512	6.7	77.713	21.7431	0.3173	0.5439	10.8	78.0238	21.9567	0.0065	0.0194
2.7	75.259	21.4517	2.7713	3.2893	6.8	77.7454	21.7431	0.2849	0.5115	10.9	78.0238	21.9567	0.0065	0.0194
2.8	75.4274	21.4517	2.603	3.121	6.9	77.7648	21.756	0.2655	0.4792	11	78.0303	21.9567	0	0.013
2.9	75.5763	21.4582	2.454	2.9656	7	77.7843	21.756	0.2461	0.4597	11.1	78.0303	21.9567	0	0.013
3	75.6864	21.4646	2.344	2.849	7.1	77.8037	21.7625	0.2266	0.4338	11.2	78.0303	21.9632	0	0.0065
3.1	75.8288	21.4841	2.2015	2.6871	7.2	77.8166	21.7884	0.2137	0.395	11.3	78.0303	21.9697	0	0
3.2	75.9648	21.51	2.0655	2.5253	7.3	77.8425	21.7949	0.1878	0.3626	11.4	78.0303	21.9697	0	0
3.3	76.0943	21.5359	1.936	2.3699	7.4	77.8425	21.8013	0.1878	0.3561	11.5	78.0303	21.9697	0	0
3.4	76.2108	21.5359	1.8195	2.2533	7.5	77.8684	21.8013	0.1619	0.3302	11.6	78.0303	21.9697	0	0
3.5	76.3144	21.5359	1.7159	2.1497	7.6	77.8684	21.8143	0.1619	0.3173	11.7	78.0303	21.9697	0	0
3.6	76.431	21.5359	1.5993	2.0332	7.7	77.8684	21.8208	0.1619	0.3108	11.8	78.0303	21.9697	0	0
3.7	76.5475	21.5359	1.4828	1.9166	7.8	77.8749	21.8272	0.1554	0.2979	11.9	78.0303	21.9697	0	0
3.8	76.5993	21.5359	1.431	1.8648	7.9	77.8749	21.8272	0.1554	0.2979	12	78.0303	21.9697	0	0
3.9	76.6447	21.5359	1.3857	1.8195	8	77.8749	21.8272	0.1554	0.2979	12.1	78.0303	21.9697	0	0
4	76.7288	21.5423	1.3015	1.7288	8.1	77.9202	21.8337	0.1101	0.2461	12.2	78.0303	21.9697	0	0

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ grandm

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	56.5592	100	4.1	54.8951	43.0199	1.6641	2.085	8.2	56.352	43.3178	0.2072	0.3302
0.1	0	0	56.5592	100	4.2	54.9858	43.0264	1.5734	1.9878	8.3	56.3714	43.3243	0.1878	0.3043
0.2	0	0	56.5592	100	4.3	55.0635	43.0394	1.4957	1.8972	8.4	56.3714	43.3307	0.1878	0.2979
0.3	0	0	56.5592	100	4.4	55.1671	43.0458	1.3921	1.7871	8.5	56.3714	43.3307	0.1878	0.2979
0.4	0	0	56.5592	100	4.5	55.2124	43.0458	1.3468	1.7418	8.6	56.3844	43.3307	0.1748	0.2849
0.5	0.0712	0.1036	56.488	99.8252	4.6	55.2901	43.0523	1.2691	1.6576	8.7	56.3844	43.3307	0.1748	0.2849
0.6	1.9684	2.467	54.5908	95.5646	4.7	55.3354	43.0847	1.2238	1.5799	8.8	56.3908	43.3307	0.1684	0.2784
0.7	8.5794	11.273	47.9798	80.1476	4.8	55.3937	43.0976	1.1655	1.5087	8.9	56.4103	43.3307	0.1489	0.259
0.8	20.5581	26.6706	36.001	52.7713	4.9	55.439	43.1041	1.1202	1.4569	9	56.4232	43.3372	0.136	0.2396
0.9	29.9987	36.1241	26.5605	33.8772	5	55.4714	43.1106	1.0878	1.418	9.1	56.4232	43.3372	0.136	0.2396
1	36.0464	40.2616	20.5128	23.692	5.1	55.5297	43.1171	1.0295	1.3533	9.2	56.4232	43.3502	0.136	0.2266
1.1	40.2681	41.6602	16.2911	18.0717	5.2	55.575	43.1171	0.9842	1.308	9.3	56.4297	43.3566	0.1295	0.2137
1.2	42.5084	41.9451	14.0508	15.5465	5.3	55.6397	43.13	0.9195	1.2303	9.4	56.4297	43.3631	0.1295	0.2072
1.3	44.4962	42.1264	12.0629	13.3774	5.4	55.6915	43.143	0.8677	1.1655	9.5	56.4426	43.3631	0.1166	0.1943
1.4	45.7394	42.2429	10.8197	12.0176	5.5	55.7369	43.1494	0.8223	1.1137	9.6	56.4491	43.3696	0.1101	0.1813
1.5	46.8467	42.2947	9.7125	10.8586	5.6	55.7951	43.1559	0.7641	1.049	9.7	56.4556	43.3761	0.1036	0.1684
1.6	47.8827	42.3595	8.6765	9.7578	5.7	55.821	43.1689	0.7382	1.0101	9.8	56.4621	43.3761	0.0971	0.1619
1.7	48.6273	42.4048	7.9319	8.9679	5.8	55.8599	43.1689	0.6993	0.9713	9.9	56.4621	43.3761	0.0971	0.1619
1.8	49.2942	42.4631	7.265	8.2427	5.9	55.8858	43.1689	0.6734	0.9454	10	56.4685	43.3761	0.0907	0.1554
1.9	49.7993	42.489	6.7599	7.7117	6	55.9246	43.1753	0.6346	0.9	10.1	56.4685	43.3825	0.0907	0.1489
2	50.3043	42.5214	6.2549	7.1743	6.1	55.9635	43.1818	0.5957	0.8547	10.2	56.4685	43.3825	0.0907	0.1489
2.1	50.8482	42.5537	5.711	6.598	6.2	55.9829	43.1818	0.5763	0.8353	10.3	56.475	43.3955	0.0842	0.1295
2.2	51.2173	42.5926	5.3419	6.1901	6.3	55.9959	43.1948	0.5633	0.8094	10.4	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
2.3	51.5281	42.6314	5.0311	5.8405	6.4	56.0153	43.2012	0.5439	0.7835	10.5	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
2.4	51.8713	42.6897	4.6879	5.439	6.5	56.0412	43.2142	0.518	0.7446	10.6	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
2.5	52.1303	42.7027	4.4289	5.1671	6.6	56.0736	43.2336	0.4856	0.6928	10.7	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
2.6	52.4281	42.7415	4.1311	4.8304	6.7	56.1124	43.2466	0.4468	0.641	10.8	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
2.7	52.6871	42.7415	3.8721	4.5714	6.8	56.1189	43.253	0.4403	0.6281	10.9	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
2.8	52.9656	42.7868	3.5936	4.2476	6.9	56.1577	43.2595	0.4015	0.5828	11	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
2.9	53.2051	42.7998	3.3541	3.9951	7	56.1707	43.2595	0.3885	0.5698	11.1	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
3	53.4059	42.8192	3.1533	3.7749	7.1	56.1901	43.2789	0.3691	0.531	11.2	56.4815	43.3955	0.0777	0.123
3.1	53.5289	42.8322	3.0303	3.639	7.2	56.1966	43.2919	0.3626	0.5115	11.3	56.488	43.3955	0.0712	0.1166
3.2	53.7102	42.8775	2.849	3.4123	7.3	56.216	43.2919	0.3432	0.4921	11.4	56.488	43.3955	0.0712	0.1166
3.3	53.9303	42.8904	2.6289	3.1792	7.4	56.229	43.2919	0.3302	0.4792	11.5	56.488	43.3955	0.0712	0.1166
3.4	54.0857	42.9099	2.4735	3.0044	7.5	56.2354	43.2919	0.3238	0.4727	11.6	56.488	43.3955	0.0712	0.1166
3.5	54.2347	42.9228	2.3245	2.8425	7.6	56.2808	43.2919	0.2784	0.4274	11.7	56.488	43.402	0.0712	0.1101
3.6	54.3965	42.9487	2.1627	2.6548	7.7	56.2808	43.2984	0.2784	0.4209	11.8	56.4944	43.402	0.0648	0.1036
3.7	54.4742	42.9681	2.085	2.5576	7.8	56.2872	43.3048	0.272	0.4079	11.9	56.4944	43.402	0.0648	0.1036
3.8	54.6102	42.9746	1.949	2.4152	7.9	56.2937	43.3113	0.2655	0.395	12	56.4944	43.402	0.0648	0.1036
3.9	54.7203	42.9876	1.8389	2.2922	8	56.3131	43.3178	0.2461	0.3691	12.1	56.4944	43.402	0.0648	0.1036
4	54.8174	42.994	1.7418	2.1886	8.1	56.3326	43.3178	0.2266	0.3497	12.2	56.4944	43.402	0.0648	0.1036

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ missam

เปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	64.7242	100	4.1	59.324	22.792	5.4002	17.884	8.2	63.727	30.4066	0.9972	5.8664
0.1	0	0	64.7242	100	4.2	59.5312	22.9992	5.193	17.4696	8.3	63.7594	30.5685	0.9648	5.6721
0.2	0	0	64.7242	100	4.3	59.842	23.174	4.8822	16.9839	8.4	63.7594	30.7045	0.9648	5.5361
0.3	0	0	64.7242	100	4.4	60.0427	23.3424	4.6814	16.6149	8.5	63.7659	30.821	0.9583	5.4131
0.4	0.1166	0.0453	64.6076	99.8381	4.5	60.237	23.5366	4.4872	16.2264	8.6	63.7982	30.9829	0.9259	5.2189
0.5	1.5734	1.1785	63.1507	97.2481	4.6	60.4636	23.7697	4.2606	15.7666	8.7	63.85	31.1189	0.8741	5.0311
0.6	10.3924	8.942	54.3318	80.6656	4.7	60.6773	23.9575	4.0469	15.3652	8.8	63.8759	31.2031	0.8482	4.921
0.7	19.6905	16.2328	45.0337	64.0767	4.8	60.878	24.1712	3.8462	14.9508	8.9	63.9148	31.3326	0.8094	4.7527
0.8	25.4662	18.6092	39.258	55.9246	4.9	61.0658	24.3978	3.6584	14.5364	9	63.9536	31.4491	0.7705	4.5973
0.9	28.7749	18.8099	35.9492	52.4152	5	61.2536	24.5985	3.4706	14.1479	9.1	63.9731	31.5592	0.7511	4.4678
1	31.5009	18.8746	33.2233	49.6244	5.1	61.3831	24.8057	3.3411	13.8112	9.2	63.986	31.6369	0.7382	4.3771
1.1	34.0585	18.9459	30.6656	46.9956	5.2	61.5773	24.9352	3.1469	13.4874	9.3	64.0054	31.7275	0.7187	4.267
1.2	35.9687	19.0171	28.7555	45.0142	5.3	61.7392	25.123	2.985	13.1378	9.4	64.0119	31.8247	0.7123	4.1634
1.3	38.073	19.1077	26.6511	42.8192	5.4	61.8622	25.2655	2.862	12.8723	9.5	64.0184	31.8959	0.7058	4.0857
1.4	39.6206	19.1531	25.1036	41.2264	5.5	61.9723	25.5051	2.7519	12.5227	9.6	64.0508	31.9995	0.6734	3.9498
1.5	41.3041	19.2178	23.4201	39.4781	5.6	62.1147	25.7511	2.6094	12.1342	9.7	64.0637	32.0578	0.6605	3.8785
1.6	42.6832	19.3085	22.0409	38.0083	5.7	62.2766	25.9777	2.4476	11.7457	9.8	64.0767	32.1355	0.6475	3.7879
1.7	44.0041	19.3732	20.72	36.6226	5.8	62.3996	26.1785	2.3245	11.4219	9.9	64.0831	32.2002	0.641	3.7167
1.8	45.2603	19.4768	19.4639	35.2629	5.9	62.5097	26.3662	2.2145	11.1241	10	64.1026	32.2779	0.6216	3.6195
1.9	46.3157	19.5157	18.4084	34.1686	6	62.6392	26.5734	2.085	10.7874	10.1	64.122	32.3491	0.6022	3.5289
2	47.3841	19.6193	17.3401	32.9966	6.1	62.7622	26.7871	1.9619	10.4507	10.2	64.1349	32.4009	0.5892	3.4641
2.1	48.3877	19.7164	16.3364	31.8959	6.2	62.827	26.9749	1.8972	10.1981	10.3	64.1414	32.4657	0.5828	3.3929
2.2	49.2036	19.8329	15.5206	30.9635	6.3	62.9176	27.1303	1.8065	9.9521	10.4	64.1479	32.524	0.5763	3.3282
2.3	50.259	19.9171	14.4652	29.8239	6.4	62.9824	27.344	1.7418	9.6737	10.5	64.1608	32.5693	0.5633	3.2699
2.4	51.0101	19.9689	13.7141	29.021	6.5	63.0277	27.5641	1.6965	9.4082	10.6	64.1738	32.6146	0.5504	3.2116
2.5	51.7094	20.1243	13.0148	28.1663	6.6	63.1119	27.726	1.6123	9.1621	10.7	64.1932	32.6405	0.531	3.1663
2.6	52.5576	20.3704	12.1665	27.072	6.7	63.1637	27.9073	1.5605	8.929	10.8	64.1997	32.6858	0.5245	3.1145
2.7	53.231	20.4675	11.4931	26.3015	6.8	63.222	28.1015	1.5022	8.6765	10.9	64.1997	32.7312	0.5245	3.0692
2.8	53.9627	20.6164	10.7615	25.4209	6.9	63.2738	28.2634	1.4504	8.4628	11	64.2321	32.7635	0.4921	3.0044
2.9	54.5519	20.7653	10.1722	24.6827	7	63.2997	28.4641	1.4245	8.2362	11.1	64.245	32.8153	0.4792	2.9397
3	55.0505	20.9013	9.6737	24.0482	7.1	63.3579	28.6454	1.3662	7.9966	11.2	64.245	32.8542	0.4792	2.9008
3.1	55.5944	21.1085	9.1298	23.2971	7.2	63.3903	28.8138	1.3339	7.7959	11.3	64.258	32.9189	0.4662	2.8231
3.2	56.08	21.238	8.6441	22.6819	7.3	63.4356	28.9886	1.2885	7.5758	11.4	64.2644	32.9837	0.4597	2.7519
3.3	56.5398	21.3869	8.1844	22.0733	7.4	63.4615	29.1311	1.2626	7.4074	11.5	64.2709	33.0031	0.4533	2.726
3.4	56.9412	21.5035	7.783	21.5553	7.5	63.4939	29.2411	1.2303	7.265	11.6	64.2839	33.042	0.4403	2.6742
3.5	57.3297	21.6524	7.3945	21.0179	7.6	63.5392	29.3963	1.1849	7.0642	11.7	64.2968	33.0743	0.4274	2.6289
3.6	57.7053	21.8855	7.0189	20.4092	7.7	63.5846	29.5519	1.1396	6.8635	11.8	64.3098	33.1261	0.4144	2.5641
3.7	58.0161	22.0539	6.7081	19.9301	7.8	63.6105	29.7527	1.1137	6.6369	11.9	64.3162	33.1585	0.4079	2.5253
3.8	58.3657	22.2675	6.3585	19.3667	7.9	63.6364	29.9016	1.0878	6.4621	12	64.3292	33.1909	0.395	2.4799
3.9	58.67	22.397	6.0541	18.9329	8	63.6817	30.0894	1.0425	6.229	12.1	64.3421	33.2297	0.382	2.4281
4	59.0456	22.6107	5.6786	18.3437	8.1	63.7205	30.2771	1.0036	6.0023	12.2	64.3421	33.2815	0.382	2.3763

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ mthrd0

เปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	94.1336	100	4.1	91.2523	2.3828	2.8814	6.3649	8.2	93.6674	3.6649	0.4662	2.6677
0.1	0	0	94.1336	100	4.2	91.4012	2.4022	2.7325	6.1966	8.3	93.6869	3.6908	0.4468	2.6224
0.2	0	0	94.1336	100	4.3	91.589	2.454	2.5447	5.957	8.4	93.7063	3.749	0.4274	2.5447
0.3	0.013	0	94.1207	99.987	4.4	91.6861	2.467	2.4476	5.8469	8.5	93.7128	3.7879	0.4209	2.4994
0.4	0.4338	0	93.6998	99.5662	4.5	91.8285	2.5058	2.3051	5.6656	8.6	93.7192	3.8332	0.4144	2.4476
0.5	4.416	0	89.7177	95.584	4.6	91.9516	2.5253	2.1821	5.5232	8.7	93.7387	3.8526	0.395	2.4087
0.6	18.9005	0.1036	75.2331	80.9959	4.7	92.107	2.5576	2.0267	5.3354	8.8	93.7516	3.8915	0.382	2.3569
0.7	36.2018	0.3432	57.9319	63.4551	4.8	92.2106	2.5771	1.9231	5.2124	8.9	93.7775	3.9174	0.3561	2.3051
0.8	53.2246	0.9	40.9091	45.8754	4.9	92.2818	2.5965	1.8519	5.1217	9	93.7775	3.9368	0.3561	2.2857
0.9	63.2414	1.2756	30.8923	35.483	5	92.4113	2.6159	1.7224	4.9728	9.1	93.784	3.9951	0.3497	2.2209
1	69.7423	1.4763	24.3913	28.7814	5.1	92.489	2.6353	1.6447	4.8757	9.2	93.7969	4.0404	0.3367	2.1627
1.1	74.3266	1.554	19.807	24.1194	5.2	92.5602	2.6677	1.5734	4.7721	9.3	93.8228	4.0469	0.3108	2.1303
1.2	76.8907	1.5734	17.2429	21.5359	5.3	92.6509	2.7389	1.4828	4.6102	9.4	93.8487	4.0663	0.2849	2.085
1.3	79.0598	1.5799	15.0738	19.3603	5.4	92.6962	2.7778	1.4375	4.526	9.5	93.8811	4.1052	0.2525	2.0137
1.4	80.4455	1.6058	13.6882	17.9487	5.5	92.7609	2.8102	1.3727	4.4289	9.6	93.8811	4.1505	0.2525	1.9684
1.5	81.611	1.6382	12.5227	16.7508	5.6	92.8451	2.8361	1.2885	4.3188	9.7	93.8811	4.1764	0.2525	1.9425
1.6	82.5628	1.677	11.5708	15.7602	5.7	92.9163	2.8749	1.2173	4.2088	9.8	93.8876	4.1893	0.2461	1.9231
1.7	83.4499	1.6965	10.6838	14.8537	5.8	92.9422	2.9138	1.1914	4.144	9.9	93.8941	4.2152	0.2396	1.8907
1.8	84.2787	1.7353	9.855	13.986	5.9	93.0523	2.9397	1.0813	4.008	10	93.9005	4.2411	0.2331	1.8583
1.9	84.8938	1.7547	9.2398	13.3515	6	93.0912	2.9785	1.0425	3.9303	10.1	93.92	4.2541	0.2137	1.826
2	85.4312	1.8001	8.7024	12.7687	6.1	93.143	2.9979	0.9907	3.8591	10.2	93.9264	4.2994	0.2072	1.7742
2.1	86.014	1.826	8.1197	12.1601	6.2	93.1689	3.0044	0.9648	3.8267	10.3	93.9329	4.3124	0.2007	1.7547
2.2	86.3766	1.8454	7.7571	11.778	6.3	93.2012	3.0109	0.9324	3.7879	10.4	93.9329	4.3253	0.2007	1.7418
2.3	86.8428	1.8713	7.2909	11.2859	6.4	93.2271	3.0303	0.9065	3.7426	10.5	93.9459	4.3642	0.1878	1.69
2.4	87.1924	1.9166	6.9412	10.891	6.5	93.253	3.0756	0.8806	3.6713	10.6	93.9459	4.3965	0.1878	1.6576
2.5	87.4903	1.9425	6.6434	10.5672	6.6	93.2725	3.121	0.8612	3.6066	10.7	93.9653	4.4354	0.1684	1.5993
2.6	87.827	1.9814	6.3067	10.1917	6.7	93.3243	3.1663	0.8094	3.5095	10.8	93.9782	4.4548	0.1554	1.567
2.7	88.1378	2.0137	5.9959	9.8485	6.8	93.3372	3.1857	0.7964	3.4771	10.9	93.9847	4.4678	0.1489	1.5475
2.8	88.4745	2.0202	5.6592	9.5053	6.9	93.3696	3.2051	0.7641	3.4253	11	93.9977	4.4872	0.136	1.5152
2.9	88.74	2.0591	5.3937	9.201	7	93.3761	3.2505	0.7576	3.3735	11.1	94.0041	4.526	0.1295	1.4698
3	88.9472	2.0785	5.1865	8.9744	7.1	93.4149	3.2893	0.7187	3.2958	11.2	94.0041	4.539	0.1295	1.4569
3.1	89.2126	2.1044	4.921	8.683	7.2	93.4343	3.3152	0.6993	3.2505	11.3	94.0171	4.5714	0.1166	1.4116
3.2	89.4134	2.1173	4.7203	8.4693	7.3	93.4667	3.367	0.6669	3.1663	11.4	94.03	4.6167	0.1036	1.3533
3.3	89.64	2.1432	4.4937	8.2168	7.4	93.5056	3.4188	0.6281	3.0756	11.5	94.03	4.6296	0.1036	1.3403
3.4	89.8796	2.1691	4.2541	7.9513	7.5	93.5315	3.4318	0.6022	3.0368	11.6	94.03	4.6361	0.1036	1.3339
3.5	90.0414	2.208	4.0922	7.7506	7.6	93.5574	3.4836	0.5763	2.9591	11.7	94.03	4.6555	0.1036	1.3144
3.6	90.3911	2.2274	3.7426	7.3815	7.7	93.5897	3.503	0.5439	2.9073	11.8	94.03	4.7073	0.1036	1.2626
3.7	90.6307	2.2468	3.503	7.1225	7.8	93.6027	3.5418	0.531	2.8555	11.9	94.03	4.7332	0.1036	1.2367
3.8	90.7666	2.2663	3.367	6.9671	7.9	93.6092	3.5936	0.5245	2.7972	12	94.03	4.7462	0.1036	1.2238
3.9	90.9156	2.3181	3.2181	6.7664	8	93.6286	3.626	0.5051	2.7454	12.1	94.03	4.7721	0.1036	1.1979
4	91.0515	2.3375	3.0821	6.611	8.1	93.661	3.6454	0.4727	2.6936	12.2	94.0365	4.798	0.0971	1.1655

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ salesm

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	75.9389	100	4.1	71.1538	14.5817	4.785	14.2644	8.2	75.3561	22.4294	0.5828	2.2145
0.1	0	0	75.9389	100	4.2	71.5035	14.8407	4.4354	13.6558	8.3	75.3561	22.5071	0.5828	2.1368
0.2	0	0	75.9389	100	4.3	71.8337	15.2033	4.1052	12.963	8.4	75.4015	22.5913	0.5374	2.0073
0.3	0.0842	0.0065	75.8547	99.9093	4.4	72.0668	15.5659	3.8721	12.3673	8.5	75.4209	22.6431	0.518	1.936
0.4	1.8907	0.0777	74.0482	98.0316	4.5	72.3388	15.8379	3.6001	11.8234	8.6	75.4403	22.7143	0.4986	1.8454
0.5	9.7255	0.518	66.2134	89.7565	4.6	72.546	16.1681	3.3929	11.2859	8.7	75.4403	22.7791	0.4986	1.7806
0.6	20.1826	1.3468	55.7563	78.4706	4.7	72.7855	16.4854	3.1533	10.7291	8.8	75.4468	22.8568	0.4921	1.6965
0.7	25.8547	1.9296	50.0842	72.2157	4.8	72.9539	16.8415	2.985	10.2046	8.9	75.4662	22.915	0.4727	1.6188
0.8	30.0117	2.5965	45.9272	67.3919	4.9	73.1093	17.0616	2.8296	9.8291	9	75.4792	22.9474	0.4597	1.5734
0.9	33.1067	3.1015	42.8322	63.7918	5	73.2453	17.3012	2.6936	9.4535	9.1	75.4986	22.9992	0.4403	1.5022
1	35.5025	3.5224	40.4364	60.9751	5.1	73.3812	17.5537	2.5576	9.065	9.2	75.5051	23.0316	0.4338	1.4634
1.1	38.4745	3.9692	37.4644	57.5563	5.2	73.4525	17.7545	2.4864	8.7931	9.3	75.518	23.1028	0.4209	1.3792
1.2	40.6307	4.3318	35.3082	55.0376	5.3	73.6079	18.0199	2.331	8.3722	9.4	75.5374	23.1417	0.4015	1.3209
1.3	42.9293	4.6555	33.0096	52.4152	5.4	73.7568	18.253	2.1821	7.9902	9.5	75.5569	23.174	0.382	1.2691
1.4	45.0013	5.0311	30.9376	49.9676	5.5	73.8798	18.5638	2.0591	7.5563	9.6	75.5633	23.2047	0.3756	1.172
1.5	46.8855	5.3678	29.0534	47.7467	5.6	74.0158	18.7516	1.9231	7.2326	9.7	75.5698	23.2971	0.3691	1.1331
1.6	48.964	5.6009	26.9749	45.4351	5.7	74.087	18.8941	1.8519	7.0189	9.8	75.5828	23.323	0.3561	1.0943
1.7	50.5763	5.9117	25.3626	43.512	5.8	74.21	19.1531	1.7288	6.6369	9.9	75.5957	23.3748	0.3432	1.0295
1.8	52.3375	6.2743	23.6014	41.3882	5.9	74.3007	19.3473	1.6382	6.352	10	75.6281	23.4136	0.3108	0.9583
1.9	53.8008	6.5786	22.138	39.6206	6	74.3719	19.5675	1.567	6.0606	10.1	75.641	23.4654	0.2979	0.8936
2	55.2642	7.0124	20.6747	37.7234	6.1	74.4172	19.7617	1.5216	5.821	10.2	75.6475	23.4848	0.2914	0.8677
2.1	56.7988	7.4333	19.1401	35.7679	6.2	74.5144	20.0078	1.4245	5.4779	10.3	75.6605	23.5172	0.2784	0.8223
2.2	58.1132	7.7894	17.8257	34.0974	6.3	74.6115	20.1178	1.3274	5.2707	10.4	75.6864	23.5366	0.2525	0.777
2.3	59.596	8.2168	16.3429	32.1873	6.4	74.6698	20.2797	1.2691	5.0505	10.5	75.6928	23.5431	0.2461	0.7641
2.4	60.5219	8.4628	15.417	31.0153	6.5	74.7345	20.4545	1.2044	4.8109	10.6	75.6993	23.5755	0.2396	0.7252
2.5	61.4931	8.8125	14.4457	29.6944	6.6	74.8057	20.6035	1.1331	4.5908	10.7	75.7252	23.5884	0.2137	0.6864
2.6	62.5874	9.1686	13.3515	28.244	6.7	74.8834	20.7524	1.0554	4.3642	10.8	75.7317	23.6338	0.2072	0.6346
2.7	63.5457	9.583	12.3932	26.8713	6.8	74.9417	20.9272	0.9972	4.1311	10.9	75.7382	23.6467	0.2007	0.6151
2.8	64.3486	9.9197	11.5903	25.7317	6.9	74.9611	21.0697	0.9777	3.9692	11	75.7511	23.6726	0.1878	0.5763
2.9	65.0738	10.3535	10.8651	24.5726	7	74.9806	21.1927	0.9583	3.8267	11.1	75.7511	23.7115	0.1878	0.5374
3	65.812	10.632	10.1269	23.5561	7.1	75.0583	21.361	0.8806	3.5807	11.2	75.7705	23.7179	0.1684	0.5115
3.1	66.5566	11.0399	9.3823	22.4035	7.2	75.1036	21.5035	0.8353	3.3929	11.3	75.7705	23.7309	0.1684	0.4986
3.2	67.1782	11.409	8.7607	21.4128	7.3	75.1295	21.6071	0.8094	3.2634	11.4	75.7835	23.7374	0.1554	0.4792
3.3	67.8063	11.8104	8.1326	20.3833	7.4	75.1619	21.6913	0.777	3.1469	11.5	75.7835	23.7503	0.1554	0.4662
3.4	68.3307	12.1471	7.6081	19.5221	7.5	75.1943	21.7949	0.7446	3.0109	11.6	75.7964	23.7633	0.1425	0.4403
3.5	68.8099	12.5227	7.129	18.6674	7.6	75.2072	21.9179	0.7317	2.8749	11.7	75.8029	23.7697	0.136	0.4274
3.6	69.2437	12.8658	6.6952	17.8904	7.7	75.2266	22.0021	0.7123	2.7713	11.8	75.8029	23.7956	0.136	0.4015
3.7	69.5869	13.1896	6.352	17.2235	7.8	75.2655	22.1057	0.6734	2.6289	11.9	75.8029	23.8086	0.136	0.3885
3.8	70.079	13.5198	5.8599	16.4012	7.9	75.3043	22.2287	0.6346	2.467	12	75.8094	23.8151	0.1295	0.3756
3.9	70.474	13.8371	5.4649	15.6889	8	75.3238	22.3129	0.6151	2.3634	12.1	75.8159	23.8215	0.123	0.3626
4	70.8107	14.1803	5.1282	15.0091	8.1	75.3302	22.3841	0.6087	2.2857	12.2	75.8288	23.8215	0.1101	0.3497



เปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	80.1865	100	4.1	65.0155	3.9562	15.1709	31.0282	8.2	74.5014	7.5434	5.6851	17.9532
0.1	0	0	80.1865	100	4.2	65.5271	4.0922	14.6594	30.3807	8.3	74.6374	7.6858	5.5491	17.6768
0.2	0	0	80.1865	100	4.3	66.1357	4.1829	14.0508	29.6814	8.4	74.7669	7.7959	5.4196	17.4372
0.3	0	0	80.1865	100	4.4	66.4271	4.2929	13.7594	29.28	8.5	74.8964	7.8801	5.2901	17.2235
0.4	0	0	80.1865	100	4.5	66.8544	4.416	13.332	28.7296	8.6	75.013	7.9772	5.1735	17.0098
0.5	0	0	80.1865	100	4.6	67.3012	4.5325	12.8853	28.1663	8.7	75.1748	8.0679	5.0117	16.7573
0.6	0	0	80.1865	100	4.7	67.6185	4.6296	12.568	27.7519	8.8	75.2914	8.2427	4.8951	16.4659
0.7	0.0194	0	80.1671	99.9806	4.8	67.9746	4.6685	12.2119	27.3569	8.9	75.3885	8.3333	4.798	16.2782
0.8	0.1166	0	80.0699	99.8834	4.9	68.253	4.7656	11.9334	26.9814	9	75.4856	8.4887	4.7009	16.0256
0.9	0.4338	0.0065	79.7527	99.5597	5	68.4991	4.8498	11.6874	26.6511	9.1	75.6087	8.6441	4.5778	15.7472
1	1.159	0.0518	79.0275	98.7892	5.1	68.771	4.9404	11.4154	26.2885	9.2	75.7576	8.7542	4.4289	15.4882
1.1	2.9915	0.0712	77.195	96.9373	5.2	69.0171	5.0117	11.1694	25.9713	9.3	75.8806	8.8578	4.3059	15.2616
1.2	5.6203	0.1813	74.5662	94.1984	5.3	69.3408	5.1153	10.8456	25.5439	9.4	75.9713	8.9549	4.2152	15.0738
1.3	9.0132	0.3173	71.1733	90.6695	5.4	69.5675	5.2189	10.619	25.2137	9.5	76.0813	9.0909	4.1052	14.8278
1.4	12.7363	0.4274	67.4501	86.8363	5.5	69.7811	5.3225	10.4053	24.8964	9.6	76.1849	9.2334	4.0016	14.5817
1.5	16.3688	0.5892	63.8177	83.042	5.6	70.0272	5.4131	10.1593	24.5597	9.7	76.2432	9.3434	3.9433	14.4134
1.6	20.2279	0.7576	59.9586	79.0145	5.7	70.2538	5.5167	9.9327	24.2295	9.8	76.295	9.5442	3.8915	14.1608
1.7	23.4848	0.9	56.7016	75.6151	5.8	70.5581	5.6203	9.6283	23.8215	9.9	76.3921	9.6607	3.7944	13.9472
1.8	26.813	1.0813	53.3735	72.1057	5.9	70.733	5.6721	9.4535	23.5949	10	76.4828	9.7902	3.7037	13.727
1.9	29.3383	1.1979	50.8482	69.4639	6	70.9596	5.7563	9.2269	23.2841	10.1	76.6123	9.9197	3.5742	13.468
2	31.3844	1.3727	48.8021	67.2429	6.1	71.1538	5.8469	9.0326	22.9992	10.2	76.6965	10.0622	3.49	13.2414
2.1	33.9744	1.5605	46.2121	64.4652	6.2	71.374	5.9117	8.8125	22.7143	10.3	76.7612	10.1787	3.4253	13.0601
2.2	36.0982	1.69	44.0883	62.2119	6.3	71.5747	5.9959	8.6118	22.4294	10.4	76.826	10.3276	3.3605	12.8464
2.3	38.863	1.826	41.3235	59.3111	6.4	71.7625	6.08	8.424	22.1575	10.5	76.8778	10.496	3.3087	12.6263
2.4	41.0386	1.9101	39.1479	57.0513	6.5	71.8726	6.1448	8.3139	21.9826	10.6	76.936	10.5802	3.2505	12.4838
2.5	43.2207	2.0396	36.9658	54.7397	6.6	72.0539	6.1966	8.1326	21.7495	10.7	76.9814	10.6579	3.2051	12.3608
2.6	45.7006	2.2015	34.4859	52.0979	6.7	72.2352	6.2743	7.9513	21.4905	10.8	77.0396	10.7809	3.1469	12.1795
2.7	47.6431	2.331	32.5434	50.0259	6.8	72.4683	6.3649	7.7182	21.1668	10.9	77.0655	10.8651	3.121	12.0694
2.8	49.7863	2.4994	30.4002	47.7143	6.9	72.6496	6.4103	7.5369	20.9402	11	77.1303	10.9104	3.0562	11.9593
2.9	51.567	2.6289	28.6195	45.8042	7	72.8114	6.475	7.375	20.7135	11.1	77.1821	11.014	3.0044	11.8039
3	53.1663	2.7648	27.0202	44.0689	7.1	72.9992	6.5268	7.1873	20.474	11.2	77.2404	11.0982	2.9461	11.6615
3.1	55.1735	2.9461	25.013	41.8803	7.2	73.1481	6.5916	7.0383	20.2603	11.3	77.2663	11.2277	2.9202	11.5061
3.2	56.4944	3.0433	23.692	40.4623	7.3	73.3035	6.6693	6.8829	20.0272	11.4	77.3569	11.3572	2.8296	11.2859
3.3	58.0096	3.1663	22.1769	38.8241	7.4	73.433	6.747	6.7534	19.82	11.5	77.4152	11.409	2.7713	11.1759
3.4	59.1427	3.2699	21.0438	37.5874	7.5	73.5884	6.8247	6.598	19.5869	11.6	77.4735	11.5385	2.713	10.9881
3.5	60.1075	3.367	20.079	36.5255	7.6	73.8021	6.9088	6.3844	19.289	11.7	77.5188	11.6291	2.6677	10.8521
3.6	61.2665	3.4447	18.92	35.2888	7.7	73.9057	7.0189	6.2808	19.0754	11.8	77.5706	11.7068	2.6159	10.7226
3.7	62.05	3.5095	18.1365	34.4406	7.8	74.0352	7.1419	6.1513	18.8228	11.9	77.603	11.778	2.5835	10.619
3.8	63.0536	3.626	17.1329	33.3204	7.9	74.1388	7.2844	6.0477	18.5768	12	77.6483	11.8493	2.5382	10.5025
3.9	63.7788	3.6843	16.4077	32.5369	8	74.2295	7.4074	5.957	18.3631	12.1	77.7001	11.914	2.4864	10.3859
4	64.3875	3.8138	15.799	31.7988	8.1	74.3719	7.4527	5.8146	18.1753	12.2	77.7389	11.9399	2.4476	10.3212

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ tablet



ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	74.0805	100	4.1	66.4465	10.7615	7.634	22.792	8.2	72.4488	17.4178	1.6317	10.1334
0.1	2.4411	6.3779	71.6395	91.181	4.2	66.6602	10.9363	7.4204	22.4035	8.3	72.4812	17.5537	1.5993	9.965
0.2	3.5354	6.4297	70.5452	90.035	4.3	66.971	11.1694	7.1096	21.8596	8.4	72.5071	17.7091	1.5734	9.7837
0.3	9.9327	6.488	64.1479	83.5794	4.4	67.1976	11.3377	6.8829	21.4646	8.5	72.5524	17.8386	1.5281	9.6089
0.4	22.2934	6.5074	51.7871	71.1992	4.5	67.4178	11.4867	6.6628	21.0956	8.6	72.5978	17.9487	1.4828	9.4535
0.5	31.5851	6.5398	42.4955	61.8752	4.6	67.7156	11.7003	6.3649	20.584	8.7	72.6237	18.0653	1.4569	9.3111
0.6	36.2018	6.5916	37.8788	57.2067	4.7	67.9099	11.8622	6.1707	20.2279	8.8	72.6366	18.2012	1.4439	9.1621
0.7	38.3191	6.6563	35.7615	55.0246	4.8	68.13	12.0435	5.9505	19.8265	8.9	72.6884	18.3113	1.3921	9.0003
0.8	40.5206	6.7211	33.56	52.7584	4.9	68.3631	12.2054	5.7174	19.4315	9	72.7273	18.3955	1.3533	8.8772
0.9	42.4307	6.7858	31.6498	50.7835	5	68.5574	12.3414	5.5232	19.1013	9.1	72.7855	18.4861	1.295	8.7283
1	44.0171	6.8894	30.0635	49.0935	5.1	68.7969	12.5356	5.2836	18.6674	9.2	72.8309	18.6027	1.2497	8.5664
1.1	45.7848	6.9995	28.2958	47.2157	5.2	68.9912	12.6781	5.0894	18.3307	9.3	72.8891	18.6998	1.1914	8.411
1.2	47.1121	7.0966	26.9684	45.7912	5.3	69.2308	12.8917	4.8498	17.8775	9.4	72.9215	18.8099	1.159	8.2686
1.3	48.5496	7.2067	25.531	44.2437	5.4	69.3279	13.0212	4.7527	17.6509	9.5	72.9539	18.8876	1.1267	8.1585
1.4	49.7345	7.265	24.346	43.0005	5.5	69.5027	13.1702	4.5778	17.3271	9.6	72.9992	18.9718	1.0813	8.029
1.5	50.79	7.3491	23.2906	41.8609	5.6	69.684	13.3903	4.3965	16.9257	9.7	73.0381	19.1077	1.0425	7.8542
1.6	52.1238	7.5045	21.9567	40.3717	5.7	69.8653	13.5651	4.2152	16.5695	9.8	73.0834	19.2696	0.9972	7.647
1.7	52.9656	7.6017	21.115	39.4328	5.8	70.066	13.7723	4.0145	16.1616	9.9	73.0834	19.4315	0.9972	7.4851
1.8	54.0598	7.7247	20.0207	38.2155	5.9	70.1632	13.9472	3.9174	15.8897	10	73.1093	19.5416	0.9713	7.3491
1.9	54.8174	7.8801	19.2631	37.3025	6	70.3056	14.1285	3.7749	15.5659	10.1	73.174	19.684	0.9065	7.1419
2	55.6527	7.9448	18.4279	36.4025	6.1	70.4545	14.2968	3.626	15.2486	10.2	73.1935	19.7682	0.8871	7.0383
2.1	56.7146	8.0484	17.366	35.237	6.2	70.5711	14.4911	3.5095	14.9378	10.3	73.2129	19.8783	0.8677	6.9088
2.2	57.5628	8.1067	16.5177	34.3305	6.3	70.6941	14.7177	3.3864	14.5882	10.4	73.2517	19.9754	0.8288	6.7729
2.3	58.301	8.1974	15.7796	33.5017	6.4	70.8495	14.8148	3.231	14.3357	10.5	73.2647	20.0401	0.8159	6.6952
2.4	58.8578	8.288	15.2227	32.8542	6.5	70.992	14.9767	3.0886	14.0313	10.6	73.2647	20.1308	0.8159	6.6045
2.5	59.5053	8.3657	14.5752	32.129	6.6	71.1862	15.1839	2.8943	13.6299	10.7	73.3035	20.2085	0.777	6.488
2.6	60.1593	8.4887	13.9213	31.352	6.7	71.2833	15.3522	2.7972	13.3644	10.8	73.3424	20.3056	0.7382	6.352
2.7	60.7161	8.5664	13.3644	30.7174	6.8	71.4064	15.5012	2.6742	13.0925	10.9	73.3683	20.3898	0.7123	6.2419
2.8	61.3248	8.7154	12.7558	29.9599	6.9	71.5035	15.6371	2.5771	12.8594	11	73.3748	20.4675	0.7058	6.1577
2.9	61.8428	8.8708	12.2378	29.2865	7	71.6071	15.8055	2.4735	12.5874	11.1	73.4007	20.5776	0.6799	6.0218
3	62.173	9.0391	11.9075	28.7879	7.1	71.7172	15.9868	2.3634	12.296	11.2	73.433	20.6876	0.6475	5.8793
3.1	62.6716	9.2334	11.409	28.0951	7.2	71.8208	16.1098	2.2598	12.0694	11.3	73.4395	20.7977	0.641	5.7628
3.2	63.1443	9.3305	10.9363	27.5253	7.3	71.892	16.2134	2.1886	11.8946	11.4	73.4654	20.8948	0.6151	5.6397
3.3	63.5651	9.4988	10.5154	26.936	7.4	71.9632	16.3429	2.1173	11.6939	11.5	73.4784	20.9337	0.6022	5.5879
3.4	63.9018	9.6089	10.1787	26.4893	7.5	72.015	16.4659	2.0655	11.519	11.6	73.4913	21.0049	0.5892	5.5038
3.5	64.2709	9.7773	9.8096	25.9518	7.6	72.0992	16.6343	1.9814	11.2665	11.7	73.5237	21.115	0.5569	5.3613
3.6	64.7112	9.9586	9.3693	25.3302	7.7	72.1834	16.8026	1.8972	11.014	11.8	73.5366	21.2056	0.5439	5.2577
3.7	65.0673	10.0816	9.0132	24.8511	7.8	72.2416	16.9516	1.8389	10.8068	11.9	73.5431	21.2963	0.5374	5.1606
3.8	65.4558	10.2111	8.6247	24.3331	7.9	72.2999	17.0422	1.7806	10.6579	12	73.5561	21.3869	0.5245	5.057
3.9	65.7925	10.373	8.288	23.8345	8	72.3388	17.1652	1.7418	10.496	12.1	73.5755	21.4711	0.5051	4.9534
4	66.1163	10.5802	7.9643	23.3035	8.1	72.41	17.3206	1.6706	10.2694	12.2	73.5755	21.5618	0.5051	4.8627

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDM00 ของชุดภาพ trevor

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	52.7325	100	4.1	36.3572	25.4274	16.3753	38.2155	8.2	45.4092	33.8319	7.3232	20.7589
0.1	9.8485	0	42.884	90.1515	4.2	36.7327	25.6346	15.9997	37.6327	8.3	45.5517	33.9549	7.1808	20.4934
0.2	9.8485	0	42.884	90.1515	4.3	37.0824	25.9972	15.6501	36.9205	8.4	45.7394	34.0456	6.993	20.215
0.3	9.8485	0	42.884	90.1515	4.4	37.4191	26.2691	15.3134	36.3118	8.5	45.856	34.1492	6.8765	19.9948
0.4	9.8485	0.0065	42.884	90.145	4.5	37.7169	26.5411	15.0155	35.742	8.6	46.0373	34.3693	6.6952	19.5934
0.5	9.8938	0.1489	42.8386	89.9573	4.6	38.1184	26.8648	14.6141	35.0168	8.7	46.1538	34.4859	6.5786	19.3603
0.6	10.2435	1.2108	42.489	88.5457	4.7	38.4356	27.1303	14.2968	34.4341	8.8	46.2315	34.7125	6.5009	19.0559
0.7	11.2795	3.4577	41.453	85.2629	4.8	38.7788	27.3763	13.9536	33.8449	8.9	46.3416	34.855	6.3908	18.8034
0.8	13.073	6.0347	39.6594	80.8923	4.9	39.0702	27.5706	13.6623	33.3592	9	46.4452	35.0557	6.2872	18.4991
0.9	14.8148	7.8348	37.9176	77.3504	5	39.2709	27.8102	13.4615	32.9189	9.1	46.5682	35.2823	6.1642	18.1494
1	16.2523	9.2593	36.4802	74.4885	5.1	39.517	28.0756	13.2155	32.4074	9.2	46.7042	35.4248	6.0282	17.871
1.1	17.8192	10.4895	34.9132	71.6913	5.2	39.763	28.2569	12.9694	31.9801	9.3	46.8337	35.5931	5.8987	17.5732
1.2	19.0236	11.4931	33.7089	69.4833	5.3	39.9832	28.5095	12.7493	31.5074	9.4	46.9244	35.7615	5.8081	17.3142
1.3	20.2214	12.6068	32.511	67.1717	5.4	40.1839	28.749	12.5486	31.0671	9.5	47.0215	35.8974	5.711	17.0811
1.4	21.2769	13.5004	31.4556	65.2227	5.5	40.4235	29.021	12.309	30.5556	9.6	47.1445	36.0399	5.5879	16.8156
1.5	22.2999	14.1414	30.4325	63.5587	5.6	40.6501	29.2347	12.0824	30.1153	9.7	47.2416	36.1694	5.4908	16.589
1.6	23.2582	15.0479	29.4742	61.6939	5.7	40.8832	29.4354	11.8493	29.6814	9.8	47.3711	36.3377	5.3613	16.2911
1.7	24.0158	15.7537	28.7167	60.2305	5.8	41.1033	29.6296	11.6291	29.267	9.9	47.4553	36.519	5.2771	16.0256
1.8	24.9158	16.5501	27.8166	58.5341	5.9	41.2587	29.8174	11.4737	28.9239	10	47.5395	36.6809	5.193	15.7796
1.9	25.5763	17.0811	27.1562	57.3427	6	41.4141	30.0635	11.3183	28.5224	10.1	47.669	36.791	5.0635	15.54
2	26.3727	17.7221	26.3598	55.9052	6.1	41.712	30.2771	11.0205	28.0109	10.2	47.7726	36.8946	4.9599	15.3328
2.1	27.0461	18.2919	25.6864	54.662	6.2	41.958	30.562	10.7744	27.4799	10.3	47.8632	37.05	4.8692	15.0868
2.2	27.6603	18.661	25.1295	53.7361	6.3	42.1847	30.8016	10.5478	27.0137	10.4	47.9409	37.1212	4.7915	14.9378
2.3	28.244	19.2631	24.4885	52.4929	6.4	42.3595	31.0088	10.373	26.6317	10.5	48.051	37.2054	4.6814	14.7436
2.4	28.8332	19.7229	23.8992	51.4439	6.5	42.6314	31.1901	10.101	26.1785	10.6	48.174	37.3478	4.5584	14.4781
2.5	29.2994	20.1308	23.433	50.5698	6.6	42.7998	31.3649	9.9327	25.8353	10.7	48.2712	37.445	4.4613	14.2839
2.6	29.8757	20.5517	22.8568	49.5726	6.7	42.9552	31.5462	9.7773	25.4986	10.8	48.3683	37.5615	4.3642	14.0702
2.7	30.4196	20.8754	22.3129	48.705	6.8	43.1883	31.7211	9.5442	25.0907	10.9	48.3942	37.6457	4.3383	13.9601
2.8	30.8793	21.2121	21.8531	47.9086	6.9	43.3761	31.857	9.3564	24.7669	11	48.4913	37.7428	4.2411	13.7659
2.9	31.3326	21.5618	21.3999	47.1057	7	43.5379	31.9995	9.1945	24.4626	11.1	48.5625	37.8658	4.1699	13.5716
3	31.7211	21.8337	21.0114	46.4452	7.1	43.7128	32.1549	9.0197	24.1323	11.2	48.6532	37.9371	4.0793	13.4097
3.1	32.2779	22.2675	20.4545	45.4545	7.2	43.8746	32.3362	8.8578	23.7892	11.3	48.6985	38.0407	4.0339	13.2608
3.2	32.6858	22.656	20.0466	44.6581	7.3	44.0559	32.5693	8.6765	23.3748	11.4	48.8021	38.1443	3.9303	13.0536
3.3	33.2168	22.9798	19.5157	43.8034	7.4	44.179	32.6988	8.5535	23.1222	11.5	48.8863	38.2673	3.8462	12.8464
3.4	33.6441	23.3424	19.0883	43.0135	7.5	44.3603	32.8348	8.3722	22.805	11.6	48.9187	38.4033	3.8138	12.6781
3.5	34.1168	23.6467	18.6156	42.2365	7.6	44.5157	32.9902	8.2168	22.4942	11.7	48.9834	38.5457	3.749	12.4709
3.6	34.5247	23.9769	18.2077	41.4988	7.7	44.7034	33.0873	8.029	22.2093	11.8	49.0287	38.6428	3.7037	12.3284
3.7	34.8809	24.2748	17.8516	40.8443	7.8	44.8524	33.2362	7.8801	21.9114	11.9	49.1259	38.7594	3.6066	12.1147
3.8	35.2499	24.6115	17.4825	40.1386	7.9	44.9883	33.3787	7.7441	21.633	12	49.1906	38.9018	3.5418	11.9075
3.9	35.5931	24.8705	17.1393	39.5364	8	45.1114	33.5146	7.6211	21.374	12.1	49.2489	39.0249	3.4836	11.7262
4	35.9298	25.1619	16.8026	38.9083	8.1	45.2409	33.6959	7.4916	21.0632	12.2	49.2618	39.0896	3.4706	11.6485

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMncen ของชุดภาพ carphone

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	75.259	100	4.1	73.0186	21.361	2.2404	5.6203	8.2	74.5856	22.5589	0.6734	2.8355
0.1	10.224	4.4354	65.035	85.3406	4.2	73.0899	21.3934	2.1691	5.5167	8.3	74.5921	22.5913	0.6669	2.8166
0.2	10.5478	4.4613	64.7112	84.9909	4.3	73.1935	21.4517	2.0655	5.3548	8.4	74.5985	22.6042	0.6605	2.7972
0.3	14.8213	4.934	60.4377	80.2448	4.4	73.2323	21.4905	2.0267	5.2771	8.5	74.5985	22.6172	0.6605	2.7843
0.4	30.2642	7.1614	44.9948	62.5745	4.5	73.2712	21.5164	1.9878	5.2124	8.6	74.6244	22.6496	0.6346	2.726
0.5	49.1777	10.0557	26.0813	40.7666	4.6	73.3489	21.5553	1.9101	5.0958	8.7	74.6503	22.6496	0.6087	2.7001
0.6	58.7024	12.5615	16.5566	28.7361	4.7	73.4136	21.6265	1.8454	4.9599	8.8	74.6698	22.669	0.5892	2.6612
0.7	61.2471	14.0896	14.0119	24.6633	4.8	73.4978	21.6783	1.7612	4.8239	8.9	74.6892	22.7014	0.5698	2.6094
0.8	62.9371	15.4688	12.3219	21.5941	4.9	73.569	21.7107	1.69	4.7203	9	74.7021	22.7208	0.5569	2.5771
0.9	63.8889	16.2134	11.3701	19.8977	5	73.6079	21.7172	1.6511	4.675	9.1	74.7151	22.7532	0.5439	2.5317
1	64.5882	16.8868	10.6708	18.525	5.1	73.692	21.7366	1.567	4.5714	9.2	74.741	22.7596	0.518	2.4994
1.1	65.4299	17.3724	9.8291	17.1976	5.2	73.7309	21.7949	1.5281	4.4742	9.3	74.7604	22.7791	0.4986	2.4605
1.2	66.1163	17.6573	9.1427	16.2264	5.3	73.7762	21.8208	1.4828	4.403	9.4	74.7604	22.8114	0.4986	2.4281
1.3	66.8026	18.0135	8.4564	15.1839	5.4	73.8151	21.8467	1.4439	4.3383	9.5	74.7928	22.8244	0.4662	2.3828
1.4	67.3724	18.2012	7.8866	14.4263	5.5	73.8863	21.8855	1.3727	4.2282	9.6	74.7993	22.8373	0.4597	2.3634
1.5	67.8322	18.4667	7.4268	13.7011	5.6	73.9187	21.8855	1.3403	4.1958	9.7	74.8122	22.8503	0.4468	2.3375
1.6	68.3113	18.648	6.9477	13.0407	5.7	73.9381	21.8985	1.3209	4.1634	9.8	74.8187	22.8632	0.4403	2.3181
1.7	68.7451	18.8487	6.5139	12.4061	5.8	74.0028	21.9373	1.2562	4.0598	9.9	74.8252	22.8697	0.4338	2.3051
1.8	69.1142	19.1207	6.1448	11.7651	5.9	74.0352	21.9567	1.2238	4.008	10	74.8381	22.8827	0.4209	2.2792
1.9	69.3667	19.2049	5.8923	11.4284	6	74.087	22.0085	1.172	3.9044	10.1	74.8511	22.915	0.4079	2.2339
2	69.6775	19.3408	5.5815	10.9816	6.1	74.1064	22.0409	1.1526	3.8526	10.2	74.864	22.9409	0.395	2.195
2.1	69.9883	19.4768	5.2707	10.5348	6.2	74.1388	22.0603	1.1202	3.8008	10.3	74.877	22.9604	0.382	2.1627
2.2	70.2603	19.6646	4.9987	10.0751	6.3	74.1906	22.1186	1.0684	3.6901	10.4	74.8899	22.9798	0.3691	2.1303
2.3	70.5258	19.7941	4.7332	9.6801	6.4	74.223	22.138	1.036	3.639	10.5	74.8964	23.0186	0.3626	2.085
2.4	70.6747	19.956	4.5843	9.3693	6.5	74.2554	22.1575	1.0036	3.5872	10.6	74.8964	23.0381	0.3626	2.0655
2.5	70.8171	20.0725	4.4419	9.1103	6.6	74.3007	22.1704	0.9583	3.5289	10.7	74.8964	23.051	0.3626	2.0526
2.6	71.0114	20.2927	4.2476	8.6959	6.7	74.3395	22.1834	0.9195	3.4771	10.8	74.8964	23.0769	0.3626	2.0267
2.7	71.1603	20.4027	4.0987	8.4369	6.8	74.3525	22.2028	0.9065	3.4447	10.9	74.9093	23.0899	0.3497	2.0008
2.8	71.3546	20.5322	3.9044	8.1132	6.9	74.3654	22.2222	0.8936	3.4123	11	74.9158	23.1093	0.3432	1.9749
2.9	71.5812	20.6099	3.6778	7.8089	7	74.3719	22.2546	0.8871	3.3735	11.1	74.9288	23.1158	0.3302	1.9555
3	71.6718	20.6941	3.5872	7.634	7.1	74.3849	22.2611	0.8741	3.3541	11.2	74.9352	23.1352	0.3238	1.9296
3.1	71.7949	20.7848	3.4641	7.4204	7.2	74.4172	22.3193	0.8418	3.2634	11.3	74.9352	23.1481	0.3238	1.9166
3.2	71.9503	20.8366	3.3087	7.2132	7.3	74.4237	22.3452	0.8355	3.231	11.4	74.9482	23.1546	0.3108	1.8972
3.3	72.0798	20.8819	3.1792	7.0383	7.4	74.4431	22.3906	0.8159	3.1663	11.5	74.9547	23.1546	0.3043	1.8907
3.4	72.2287	20.9402	3.0303	6.8311	7.5	74.4496	22.4165	0.8094	3.1339	11.6	74.9611	23.174	0.2979	1.8648
3.5	72.3452	20.992	2.9138	6.6628	7.6	74.4626	22.4424	0.7964	3.0951	11.7	74.9741	23.187	0.2849	1.8389
3.6	72.4877	21.0956	2.7713	6.4167	7.7	74.5014	22.4488	0.7576	3.0497	11.8	74.9806	23.1935	0.2784	1.826
3.7	72.5848	21.1279	2.6742	6.2872	7.8	74.5403	22.4747	0.7187	2.985	11.9	74.987	23.1935	0.272	1.8195
3.8	72.7337	21.2121	2.5253	6.0541	7.9	74.5532	22.4877	0.7058	2.9591	12	74.987	23.1935	0.272	1.8195
3.9	72.8697	21.2769	2.3893	5.8534	8	74.5597	22.5136	0.6993	2.9267	12.1	74.9935	23.2129	0.2655	1.7936
4	72.9215	21.3222	2.3375	5.7563	8.1	74.5726	22.5524	0.6864	2.8749	12.2	75	23.2194	0.259	1.7806

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMcen ของชุดภาพ claire

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	65.8379	100	4.1	50.0648	18.4149	15.7731	31.5203	8.2	60.4118	27.2404	5.4261	12.3478
0.1	9.8485	0	55.9894	90.1515	4.2	50.5698	18.7646	15.2681	30.6656	8.3	60.5543	27.3763	5.2836	12.0694
0.2	9.8485	0	55.9894	90.1515	4.3	51.0749	19.0495	14.763	29.8757	8.4	60.6255	27.4994	5.2124	11.8752
0.3	9.8485	0	55.9894	90.1515	4.4	51.4893	19.3603	14.3486	29.1505	8.5	60.6838	27.6677	5.1541	11.6485
0.4	9.8485	0	55.9894	90.1515	4.5	52.0008	19.7099	13.8371	28.2893	8.6	60.7679	27.7778	5.0699	11.4543
0.5	9.8679	0.0842	55.97	90.0479	4.6	52.454	20.0401	13.3838	27.5058	8.7	60.8586	27.9397	4.9793	11.2018
0.6	9.9586	0.8936	55.8793	89.1479	4.7	52.8102	20.3898	13.0277	26.8001	8.8	60.9687	28.0562	4.8602	10.9751
0.7	10.3276	2.0202	55.5102	87.6522	4.8	53.1792	20.7265	12.6586	26.0943	8.9	61.0723	28.1663	4.7656	10.7615
0.8	11.6291	2.9397	54.2088	85.4312	4.9	53.5418	21.0114	12.296	25.4468	9	61.1435	28.2828	4.6944	10.5737
0.9	13.1766	3.3217	52.6612	83.5017	5	53.9174	21.2833	11.9205	24.7993	9.1	61.2471	28.4123	4.5908	10.3406
1	15.0091	3.6195	50.8288	81.3714	5.1	54.3124	21.5488	11.5255	24.1388	9.2	61.3054	28.5289	4.5325	10.1658
1.1	17.4631	4.0469	48.3748	78.49	5.2	54.6491	21.7884	11.1888	23.5625	9.3	61.4284	28.6713	4.4095	9.9003
1.2	19.548	4.3771	46.2898	76.0749	5.3	54.9793	22.0215	10.8586	22.9992	9.4	61.5579	28.762	4.28	9.6801
1.3	21.6395	4.9987	44.1984	73.3618	5.4	55.2577	22.2028	10.5802	22.5395	9.5	61.6485	28.8915	4.1893	9.46
1.4	23.5561	5.439	42.2818	71.0049	5.5	55.4779	22.4035	10.36	22.1186	9.6	61.7975	28.9627	4.0404	9.2398
1.5	25.0907	5.8923	40.7472	69.0171	5.6	55.7304	22.6107	10.1075	21.6589	9.7	61.8946	29.0857	3.9433	9.0197
1.6	26.9878	6.5592	38.85	66.453	5.7	56.0218	22.9086	9.8161	21.0697	9.8	62.05	29.1958	3.7879	8.7542
1.7	28.7167	7.0124	37.1212	64.2709	5.8	56.2678	23.1805	9.5701	20.5517	9.9	62.1536	29.3059	3.6843	8.5405
1.8	30.3937	7.6081	35.4442	61.9982	5.9	56.4685	23.4007	9.3693	20.1308	10	62.2572	29.4224	3.5807	8.3204
1.9	31.6239	8.1261	34.2139	60.2499	6	56.6498	23.5949	9.188	19.7552	10.1	62.4061	29.5584	3.4318	8.0355
2	33.0225	8.6506	32.8153	58.3269	6.1	56.9218	23.8345	8.9161	19.2437	10.2	62.5032	29.6685	3.3346	7.8283
2.1	34.3046	9.2334	31.5333	56.4621	6.2	57.129	23.9964	8.7089	18.8746	10.3	62.6198	29.785	3.2181	7.5952
2.2	35.4701	9.7384	30.3678	54.7915	6.3	57.3621	24.2036	8.4758	18.4343	10.4	62.691	29.8627	3.1469	7.4463
2.3	36.5708	10.5025	29.267	52.9267	6.4	57.5434	24.359	8.2945	18.0976	10.5	62.814	29.9987	3.0238	7.1873
2.4	37.5615	10.9816	28.2764	51.4569	6.5	57.7635	24.5079	8.0743	17.7286	10.6	62.8529	30.1347	2.985	7.0124
2.5	38.4356	11.409	27.4022	50.1554	6.6	57.9707	24.7151	7.8671	17.3142	10.7	62.9176	30.2383	2.9202	6.8441
2.6	39.4004	11.9982	26.4375	48.6014	6.7	58.1974	24.9611	7.6405	16.8415	10.8	62.9435	30.3354	2.8943	6.7211
2.7	40.404	12.3867	25.4338	47.2093	6.8	58.301	25.1166	7.5369	16.5825	10.9	63.0342	30.3872	2.8037	6.5786
2.8	41.3688	12.9112	24.469	45.72	6.9	58.4887	25.2331	7.3491	16.2782	11	63.0989	30.439	2.7389	6.4621
2.9	42.2041	13.4421	23.6338	44.3538	7	58.6636	25.4338	7.1743	15.9026	11.1	63.1896	30.5297	2.6483	6.2808
3	42.9358	13.9018	22.9021	43.1624	7.1	58.8837	25.641	6.9542	15.4753	11.2	63.2414	30.5879	2.5965	6.1707
3.1	43.8358	14.4393	22.0021	41.7249	7.2	59.0067	25.7835	6.8311	15.2098	11.3	63.3061	30.6397	2.5317	6.0541
3.2	44.5286	14.7954	21.3092	40.676	7.3	59.2075	25.9907	6.6304	14.8019	11.4	63.3515	30.7239	2.4864	5.9246
3.3	45.2732	15.1839	20.5646	39.5429	7.4	59.3175	26.1202	6.5203	14.5623	11.5	63.3903	30.7692	2.4476	5.8405
3.4	45.8884	15.4882	19.9495	38.6234	7.5	59.4859	26.2497	6.352	14.2644	11.6	63.4227	30.8664	2.4152	5.711
3.5	46.4776	15.922	19.3603	37.6004	7.6	59.6219	26.4439	6.216	13.9342	11.7	63.481	30.97	2.3569	5.5491
3.6	47.1251	16.3947	18.7128	36.4802	7.7	59.8032	26.5734	6.0347	13.6234	11.8	63.5457	31.0541	2.2922	5.4002
3.7	47.6366	16.8156	18.2012	35.5478	7.8	59.9909	26.7094	5.8469	13.2997	11.9	63.591	31.1254	2.2468	5.2836
3.8	48.3165	17.2883	17.5214	34.3952	7.9	60.0881	26.8389	5.7498	13.073	12	63.6169	31.1836	2.2209	5.1994
3.9	48.8604	17.6444	16.9775	33.4952	8	60.2111	26.9425	5.6268	12.8464	12.1	63.6946	31.216	2.1432	5.0894
4	49.4172	18.0523	16.4206	32.5304	8.1	60.3471	27.1173	5.4908	12.5356	12.2	63.7594	31.2743	2.0785	4.9663

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMcn ของชุดภาพ forema

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	79.798	100	4.1	78.5613	17.5991	1.2367	3.8397	8.2	79.7009	19.2502	0.0971	1.049
0.1	9.8485	0	69.9495	90.1515	4.2	78.6066	17.6638	1.1914	3.7296	8.3	79.7138	19.2696	0.0842	1.0166
0.2	9.8485	0	69.9495	90.1515	4.3	78.6778	17.7286	1.1202	3.5936	8.4	79.7203	19.3214	0.0777	0.9583
0.3	9.8485	0	69.9495	90.1515	4.4	78.7296	17.7674	1.0684	3.503	8.5	79.7268	19.3214	0.0712	0.9518
0.4	9.8614	0	69.9365	90.1386	4.5	78.8008	17.8063	0.9972	3.3929	8.6	79.7268	19.3279	0.0712	0.9454
0.5	10.5802	0.0259	69.2178	89.3939	4.6	78.8721	17.8645	0.9259	3.2634	8.7	79.7268	19.3603	0.0712	0.913
0.6	20.0013	0.6928	59.7967	79.3059	4.7	78.9174	17.8969	0.8806	3.1857	8.8	79.7332	19.3797	0.0648	0.8871
0.7	38.9213	2.9008	40.8767	58.1779	4.8	78.9757	17.9293	0.8223	3.0951	8.9	79.7332	19.4185	0.0648	0.8482
0.8	57.1355	7.3232	22.6625	35.5413	4.9	79.0404	17.9876	0.7576	2.972	9	79.7397	19.4315	0.0583	0.8288
0.9	63.9407	10.5543	15.8573	25.5051	5	79.0598	18.0394	0.7382	2.9008	9.1	79.7397	19.4574	0.0583	0.8029
1	66.971	12.5356	12.827	20.4934	5.1	79.1116	18.0588	0.6864	2.8296	9.2	79.7397	19.4703	0.0583	0.79
1.1	69.179	13.8436	10.619	16.9775	5.2	79.1311	18.1106	0.6669	2.7584	9.3	79.7527	19.4962	0.0453	0.7511
1.2	70.7071	14.5688	9.0909	14.7242	5.3	79.1764	18.1624	0.6216	2.6612	9.4	79.7591	19.5092	0.0389	0.7317
1.3	71.892	15.0609	7.906	13.0471	5.4	79.2088	18.1883	0.5892	2.603	9.5	79.7591	19.5221	0.0389	0.7187
1.4	72.7402	15.417	7.0578	11.8428	5.5	79.2152	18.2336	0.5828	2.5512	9.6	79.7656	19.5416	0.0324	0.6928
1.5	73.3812	15.7537	6.4167	10.8651	5.6	79.2541	18.2854	0.5439	2.4605	9.7	79.7656	19.5545	0.0324	0.6799
1.6	74.1712	15.9026	5.6268	9.9262	5.7	79.2735	18.3372	0.5245	2.3893	9.8	79.7721	19.5998	0.0259	0.6281
1.7	74.605	16.058	5.193	9.337	5.8	79.2865	18.3631	0.5115	2.3504	9.9	79.7721	19.6128	0.0259	0.6151
1.8	75.0712	16.2134	4.7268	8.7154	5.9	79.3188	18.4149	0.4792	2.2663	10	79.7786	19.6387	0.0194	0.5828
1.9	75.4662	16.2846	4.3318	8.2492	6	79.3383	18.4602	0.4597	2.2015	10.1	79.7786	19.6646	0.0194	0.5569
2	75.7641	16.3429	4.0339	7.893	6.1	79.3965	18.4797	0.4015	2.1238	10.2	79.7786	19.6775	0.0194	0.5439
2.1	76.0554	16.44	3.7426	7.5045	6.2	79.403	18.5379	0.395	2.0591	10.3	79.785	19.6905	0.013	0.5245
2.2	76.2821	16.5372	3.5159	7.1808	6.3	79.4354	18.6092	0.3626	1.9555	10.4	79.785	19.697	0.013	0.518
2.3	76.4957	16.5825	3.3023	6.9218	6.4	79.4548	18.6351	0.3432	1.9101	10.5	79.785	19.697	0.013	0.518
2.4	76.7029	16.6408	3.0951	6.6563	6.5	79.4807	18.6869	0.3173	1.8324	10.6	79.785	19.7099	0.013	0.5051
2.5	76.813	16.7249	2.985	6.4621	6.6	79.4937	18.7192	0.3043	1.7871	10.7	79.785	19.7164	0.013	0.4986
2.6	76.9684	16.8221	2.8296	6.2095	6.7	79.4937	18.7646	0.3043	1.7418	10.8	79.785	19.7229	0.013	0.4921
2.7	77.1109	16.8674	2.6871	6.0218	6.8	79.526	18.7969	0.272	1.677	10.9	79.785	19.7423	0.013	0.4727
2.8	77.2598	16.9386	2.5382	5.8016	6.9	79.5455	18.8487	0.2525	1.6058	11	79.7915	19.7423	0.0065	0.4662
2.9	77.4087	16.971	2.3893	5.6203	7	79.5649	18.8746	0.2331	1.5605	11.1	79.7915	19.7682	0.0065	0.4403
3	77.5123	17.0293	2.2857	5.4584	7.1	79.5778	18.92	0.2202	1.5022	11.2	79.7915	19.7747	0.0065	0.4338
3.1	77.6548	17.1134	2.1432	5.2318	7.2	79.5908	18.9459	0.2072	1.4634	11.3	79.7915	19.7811	0.0065	0.4274
3.2	77.7778	17.1458	2.0202	5.0764	7.3	79.6167	18.9653	0.1813	1.418	11.4	79.7915	19.7876	0.0065	0.4209
3.3	77.9073	17.23	1.8907	4.8627	7.4	79.6167	18.9653	0.1813	1.418	11.5	79.7915	19.7941	0.0065	0.4144
3.4	78.0109	17.2559	1.7871	4.7332	7.5	79.6361	18.9912	0.1619	1.3727	11.6	79.7915	19.8135	0.0065	0.395
3.5	78.108	17.3142	1.69	4.5778	7.6	79.6361	19.0171	0.1619	1.3468	11.7	79.7915	19.82	0.0065	0.3885
3.6	78.2181	17.3854	1.5799	4.3965	7.7	79.6361	19.0689	0.1619	1.295	11.8	79.7915	19.8265	0.0065	0.382
3.7	78.3282	17.4372	1.4698	4.2347	7.8	79.6426	19.1077	0.1554	1.2497	11.9	79.7915	19.8329	0.0065	0.3756
3.8	78.3735	17.4631	1.4245	4.1634	7.9	79.6426	19.1401	0.1554	1.2173	12	79.7915	19.8329	0.0065	0.3756
3.9	78.4253	17.4955	1.3727	4.0793	8	79.6426	19.179	0.1554	1.1785	12.1	79.7915	19.8394	0.0065	0.3691
4	78.503	17.5214	1.295	3.9757	8.1	79.6879	19.2113	0.1101	1.1008	12.2	79.7915	19.8394	0.0065	0.3691

ค่าร้อยละของจำนวนล๊อคแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMncen ของชุดภาพ grandm



ค่าเปรียบเทียบกับ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบกับ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบกับ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	53.4318	100	4.1	51.8454	42.9163	1.5864	5.2383	8.2	53.1728	44.4898	0.259	2.3375
0.1	9.8485	0	43.5833	90.1515	4.2	51.9166	42.9811	1.5152	5.1023	8.3	53.1857	44.5092	0.2461	2.3051
0.2	9.8485	0	43.5833	90.1515	4.3	51.9878	43.0588	1.4439	4.9534	8.4	53.1857	44.5157	0.2461	2.2986
0.3	9.8485	0	43.5833	90.1515	4.4	52.072	43.1106	1.3598	4.8174	8.5	53.1857	44.5351	0.2461	2.2792
0.4	9.8485	0	43.5833	90.1515	4.5	52.1109	43.1559	1.3209	4.7332	8.6	53.1987	44.5675	0.2331	2.2339
0.5	9.9003	0.0259	43.5315	90.0738	4.6	52.1886	43.2142	1.2432	4.5973	8.7	53.2051	44.6516	0.2266	2.1432
0.6	10.8974	0.79	42.5343	88.3126	4.7	52.2339	43.2595	1.1979	4.5066	8.8	53.2181	44.7941	0.2137	1.9878
0.7	14.6983	4.3447	38.7335	80.957	4.8	52.2857	43.3178	1.1461	4.3965	8.9	53.2375	44.9171	0.1943	1.8454
0.8	22.397	12.9565	31.0347	64.6465	4.9	52.331	43.3502	1.1008	4.3188	9	53.2699	45.0337	0.1619	1.6965
0.9	29.3124	21.5488	24.1194	49.1388	5	52.3634	43.3955	1.0684	4.2411	9.1	53.2764	45.1373	0.1554	1.5864
1	34.3175	27.9656	19.1142	37.7169	5.1	52.4217	43.4408	1.0101	4.1375	9.2	53.2958	45.1891	0.136	1.5152
1.1	38.0925	32.6794	15.3393	29.2282	5.2	52.467	43.4538	0.9648	4.0793	9.3	53.3023	45.2409	0.1295	1.4569
1.2	40.1839	35.0816	13.2479	24.7345	5.3	52.5317	43.5185	0.9	3.9498	9.4	53.3023	45.2732	0.1295	1.4245
1.3	42.0746	36.9917	11.3572	20.9337	5.4	52.5641	43.5638	0.8677	3.8721	9.5	53.3152	45.2862	0.1166	1.3986
1.4	43.1948	37.9047	10.237	18.9005	5.5	52.5965	43.5897	0.8353	3.8138	9.6	53.3217	45.3186	0.1101	1.3598
1.5	44.2308	38.6234	9.201	17.1458	5.6	52.6548	43.6286	0.777	3.7167	9.7	53.3217	45.3315	0.1101	1.3468
1.6	45.1826	39.2191	8.2492	15.5983	5.7	52.6742	43.6933	0.7576	3.6325	9.8	53.3282	45.3315	0.1036	1.3403
1.7	45.8689	39.5752	7.5628	14.5558	5.8	52.713	43.7257	0.7187	3.5613	9.9	53.3282	45.3315	0.1036	1.3403
1.8	46.51	39.9378	6.9218	13.5522	5.9	52.7389	43.771	0.6928	3.49	10	53.3346	45.3445	0.0971	1.3209
1.9	47.0021	40.2163	6.4297	12.7817	6	52.7778	43.8164	0.654	3.4059	10.1	53.3346	45.3574	0.0971	1.308
2	47.4488	40.4688	5.9829	12.0824	6.1	52.8037	43.8682	0.6281	3.3282	10.2	53.3346	45.3639	0.0971	1.3015
2.1	47.9474	40.7278	5.4843	11.3248	6.2	52.8231	43.8876	0.6087	3.2893	10.3	53.3411	45.3833	0.0907	1.2756
2.2	48.3165	40.922	5.1153	10.7615	6.3	52.8361	43.9005	0.5957	3.2634	10.4	53.3476	45.3898	0.0842	1.2626
2.3	48.6143	41.1422	4.8174	10.2435	6.4	52.8555	43.9264	0.5763	3.2181	10.5	53.3476	45.4092	0.0842	1.2432
2.4	48.951	41.2587	4.4807	9.7902	6.5	52.8814	43.9523	0.5504	3.1663	10.6	53.3476	45.4092	0.0842	1.2432
2.5	49.1906	41.3818	4.2411	9.4276	6.6	52.9138	43.9977	0.518	3.0886	10.7	53.3476	45.4157	0.0842	1.2367
2.6	49.4885	41.5695	3.9433	8.942	6.7	52.9526	44.0624	0.4792	2.985	10.8	53.3476	45.4222	0.0842	1.2303
2.7	49.741	41.6796	3.6908	8.5794	6.8	52.9526	44.0754	0.4792	2.972	10.9	53.3476	45.4286	0.0842	1.2238
2.8	50.0065	41.8026	3.4253	8.1909	6.9	52.985	44.1272	0.4468	2.8879	11	53.3476	45.4545	0.0842	1.1979
2.9	50.2266	41.9386	3.2051	7.8348	7	52.9979	44.1531	0.4338	2.849	11.1	53.3476	45.4545	0.0842	1.1979
3	50.4209	42.0487	3.0109	7.5304	7.1	53.0174	44.1984	0.4144	2.7843	11.2	53.3476	45.4675	0.0842	1.1849
3.1	50.5374	42.1005	2.8943	7.3621	7.2	53.0238	44.2372	0.4079	2.7389	11.3	53.3541	45.4675	0.0777	1.1785
3.2	50.6928	42.1652	2.7389	7.1419	7.3	53.0433	44.2502	0.3885	2.7066	11.4	53.3541	45.4934	0.0777	1.1526
3.3	50.9	42.2883	2.5317	6.8117	7.4	53.0627	44.2567	0.3691	2.6807	11.5	53.3541	45.4999	0.0777	1.1461
3.4	51.0554	42.4113	2.3763	6.5333	7.5	53.0692	44.2761	0.3626	2.6548	11.6	53.3541	45.5063	0.0777	1.1396
3.5	51.1979	42.476	2.2339	6.3261	7.6	53.1145	44.302	0.3173	2.5835	11.7	53.3541	45.5258	0.0777	1.1202
3.6	51.3403	42.5926	2.0914	6.0671	7.7	53.1145	44.3344	0.3173	2.5512	11.8	53.3605	45.5322	0.0712	1.1072
3.7	51.418	42.6573	2.0137	5.9246	7.8	53.121	44.3797	0.3108	2.4994	11.9	53.3605	45.5322	0.0712	1.1072
3.8	51.554	42.7027	1.8778	5.7433	7.9	53.1274	44.3991	0.3043	2.4735	12	53.3605	45.5387	0.0712	1.1008
3.9	51.6641	42.7739	1.7677	5.562	8	53.1404	44.425	0.2914	2.4346	12.1	53.3605	45.5517	0.0712	1.0878
4	51.7677	42.8386	1.6641	5.3937	8.1	53.1533	44.4509	0.2784	2.3958	12.2	53.3605	45.5517	0.0712	1.0878

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบกับ BDMncen ของชุดภาพ missam



ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	68.8099	100	4.1	62.6327	18.9912	6.1772	18.3761	8.2	67.7221	24.0482	1.0878	8.2297
0.1	9.8485	0	58.9614	90.1515	4.2	62.8853	19.1984	5.9246	17.9163	8.3	67.7674	24.1453	1.0425	8.0873
0.2	9.8485	0	58.9614	90.1515	4.3	63.2349	19.3149	5.575	17.4501	8.4	67.7739	24.2165	1.036	8.0096
0.3	9.8485	0	58.9614	90.1515	4.4	63.468	19.4509	5.3419	17.0811	8.5	67.7868	24.3654	1.0231	7.8477
0.4	9.9068	0.0324	58.9031	90.0609	4.5	63.7335	19.5739	5.0764	16.6926	8.6	67.8063	24.5079	1.0036	7.6858
0.5	10.742	0.4403	58.0679	88.8177	4.6	64.0054	19.6905	4.8045	16.3041	8.7	67.8645	24.618	0.9454	7.5175
0.6	16.3623	3.6972	52.4476	79.9404	4.7	64.2385	19.8847	4.5714	15.8767	8.8	67.8969	24.6827	0.913	7.4204
0.7	22.5848	9.0909	46.2251	68.3243	4.8	64.4846	20.0466	4.3253	15.4688	8.9	67.9163	24.7669	0.8936	7.3168
0.8	26.9943	12.7493	41.8156	60.2564	4.9	64.6983	20.1632	4.1116	15.1386	9	67.9358	24.8705	0.8741	7.1937
0.9	29.9081	13.5846	38.9018	56.5074	5	64.9055	20.2668	3.9044	14.8278	9.1	67.9746	24.9158	0.8553	7.1096
1	32.3815	14.0508	36.4284	53.5677	5.1	65.0673	20.4222	3.7426	14.5105	9.2	68.0005	24.9806	0.8094	7.0189
1.1	34.8096	14.4134	34.0003	50.777	5.2	65.2486	20.584	3.5613	14.1673	9.3	68.0458	25.0648	0.7641	6.8894
1.2	36.6032	14.6659	32.2067	48.7309	5.3	65.4105	20.6941	3.3994	13.8954	9.4	68.0653	25.0777	0.7446	6.857
1.3	38.7076	14.9378	30.1023	46.3546	5.4	65.5465	20.8301	3.2634	13.6234	9.5	68.0847	25.136	0.7252	6.7793
1.4	40.2875	15.0544	28.5224	44.6581	5.5	65.663	20.992	3.1469	13.345	9.6	68.1106	25.1943	0.6993	6.6952
1.5	42.0098	15.1968	26.8001	42.7933	5.6	65.8767	21.1474	2.9332	12.9759	9.7	68.1624	25.2396	0.6475	6.598
1.6	43.4861	15.3846	25.3238	41.1292	5.7	65.9933	21.3028	2.8166	12.704	9.8	68.1753	25.3238	0.6346	6.5009
1.7	44.8653	15.4688	23.9446	39.6659	5.8	66.1875	21.4711	2.6224	12.3414	9.9	68.1753	25.3691	0.6346	6.4556
1.8	46.2704	15.6436	22.5395	38.086	5.9	66.3041	21.5618	2.5058	12.1342	10	68.1818	25.4403	0.6281	6.3779
1.9	47.397	15.7407	21.4128	36.8622	6	66.4271	21.6718	2.3828	11.9011	10.1	68.1948	25.4856	0.6151	6.3196
2	48.582	15.8767	20.2279	35.5413	6.1	66.5631	21.8143	2.2468	11.6226	10.2	68.2142	25.5115	0.5957	6.2743
2.1	49.7086	16.0127	19.1013	34.2787	6.2	66.6343	21.9438	2.1756	11.4219	10.3	68.2336	25.5633	0.5763	6.2031
2.2	50.518	16.1163	18.2919	33.3657	6.3	66.7638	22.1316	2.0461	11.1046	10.4	68.266	25.5763	0.5439	6.1577
2.3	51.7677	16.2134	17.0422	32.0189	6.4	66.835	22.2287	1.9749	10.9363	10.5	68.2789	25.6669	0.531	6.0541
2.4	52.6871	16.2846	16.1228	31.0282	6.5	66.8998	22.3582	1.9101	10.742	10.6	68.2984	25.7641	0.5115	5.9376
2.5	53.49	16.4141	15.3199	30.0958	6.6	66.9839	22.4747	1.826	10.5413	10.7	68.3113	25.8159	0.4986	5.8728
2.6	54.403	16.5695	14.4069	29.0275	6.7	67.0616	22.5589	1.7483	10.3794	10.8	68.3243	25.8288	0.4856	5.8469
2.7	55.2253	16.7055	13.5846	28.0692	6.8	67.1329	22.6819	1.677	10.1852	10.9	68.3307	25.8806	0.4792	5.7887
2.8	56.1059	16.8868	12.704	27.0073	6.9	67.1847	22.7337	1.6252	10.0816	11	68.3372	25.9454	0.4727	5.7174
2.9	56.8052	17.1005	12.0047	26.0943	7	67.23	22.8568	1.5799	9.9132	11.1	68.3631	26.049	0.4468	5.5879
3	57.3491	17.2624	11.4608	25.3885	7.1	67.2883	22.9798	1.5216	9.7319	11.2	68.389	26.0749	0.4209	5.5361
3.1	58.0679	17.4113	10.742	24.5208	7.2	67.3206	23.0834	1.4893	9.596	11.3	68.3955	26.1396	0.4144	5.4649
3.2	58.6571	17.5602	10.1528	23.7827	7.3	67.353	23.1805	1.4569	9.4665	11.4	68.4084	26.1459	0.4015	5.4325
3.3	59.188	17.7415	9.6219	23.0704	7.4	67.3789	23.2712	1.431	9.3499	11.5	68.4149	26.2044	0.395	5.3807
3.4	59.6348	17.884	9.1751	22.4812	7.5	67.4178	23.3553	1.3921	9.2269	11.6	68.4279	26.2432	0.382	5.3289
3.5	60.1269	18.0329	8.683	21.8402	7.6	67.476	23.4654	1.3339	9.0585	11.7	68.4343	26.295	0.3756	5.2707
3.6	60.6579	18.2012	8.152	21.1409	7.7	67.5278	23.5496	1.2821	8.9226	11.8	68.4408	26.3468	0.3691	5.2124
3.7	61.0593	18.3178	7.7506	20.6229	7.8	67.5732	23.7244	1.2367	8.7024	11.9	68.4538	26.3727	0.3561	5.1735
3.8	61.4608	18.4797	7.3491	20.0596	7.9	67.612	23.7827	1.1979	8.6053	12	68.4667	26.4116	0.3432	5.1217
3.9	61.8493	18.6221	6.9606	19.5286	8	67.6509	23.841	1.159	8.5082	12.1	68.4732	26.4439	0.3367	5.0829
4	62.2507	18.8293	6.5592	18.92	8.1	67.7027	23.9575	1.1072	8.3398	12.2	68.4732	26.4893	0.3367	5.0376

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMcen ของชุดภาพ mthrd0

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	94.2955	100	4.1	91.3559	1.8519	2.9397	6.7923	8.2	93.8552	3.5418	0.4403	2.603
0.1	9.8485	0	84.447	90.1515	4.2	91.5113	1.8648	2.7843	6.6239	8.3	93.8682	3.5872	0.4274	2.5447
0.2	9.8485	0	84.447	90.1515	4.3	91.712	1.9231	2.5835	6.3649	8.4	93.8941	3.6325	0.4015	2.4735
0.3	9.8614	0	84.4341	90.1386	4.4	91.8415	1.9425	2.454	6.216	8.5	93.9005	3.6649	0.395	2.4346
0.4	10.2629	0	84.0326	89.7371	4.5	91.9645	1.9684	2.331	6.0671	8.6	93.9005	3.7102	0.395	2.3893
0.5	14.0961	0	80.1994	85.9039	4.6	92.0811	1.9943	2.2145	5.9246	8.7	93.92	3.7555	0.3756	2.3245
0.6	27.8425	0.0583	66.453	72.0992	4.7	92.217	2.0526	2.0785	5.7304	8.8	93.9459	3.7944	0.3497	2.2598
0.7	43.6156	0.1684	50.6799	56.216	4.8	92.2947	2.0979	2.0008	5.6074	8.9	93.9523	3.8203	0.3432	2.2274
0.8	58.2492	0.3302	36.0464	41.4206	4.9	92.3789	2.1497	1.9166	5.4714	9	93.9588	3.8656	0.3367	2.1756
0.9	66.5825	0.5051	27.713	32.9125	5	92.5084	2.1756	1.7871	5.316	9.1	93.9718	3.9174	0.3238	2.1109
1	71.892	0.7123	22.4035	27.3958	5.1	92.5732	2.208	1.7224	5.2189	9.2	93.9847	3.9433	0.3108	2.072
1.1	75.6928	0.7835	18.6027	23.5237	5.2	92.6509	2.2533	1.6447	5.0958	9.3	93.9977	3.9692	0.2979	2.0332
1.2	77.8296	0.8288	16.4659	21.3416	5.3	92.7415	2.2922	1.554	4.9663	9.4	94.0236	4.008	0.272	1.9684
1.3	79.7009	0.8547	14.5947	19.4444	5.4	92.7868	2.3116	1.5087	4.9016	9.5	94.03	4.0339	0.2655	1.936
1.4	80.9052	0.8871	13.3903	18.2077	5.5	92.8581	2.3375	1.4375	4.8045	9.6	94.0365	4.0793	0.259	1.8842
1.5	81.9801	0.9324	12.3155	17.0875	5.6	92.9163	2.3828	1.3792	4.7009	9.7	94.0365	4.0922	0.259	1.8713
1.6	82.9125	0.9777	11.3831	16.1098	5.7	92.9681	2.4087	1.3274	4.6232	9.8	94.0559	4.1246	0.2396	1.8195
1.7	83.7931	0.9972	10.5025	15.2098	5.8	93.0264	2.454	1.2691	4.5196	9.9	94.0689	4.157	0.2266	1.7742
1.8	84.6154	1.0554	9.6801	14.3292	5.9	93.1365	2.4864	1.159	4.3771	10	94.0818	4.1958	0.2137	1.7224
1.9	85.2176	1.0749	9.078	13.7076	6	93.1948	2.5188	1.1008	4.2865	10.1	94.0948	4.2152	0.2007	1.69
2	85.7356	1.1137	8.56	13.1507	6.1	93.2271	2.603	1.0684	4.1699	10.2	94.1013	4.2476	0.1943	1.6511
2.1	86.2795	1.1331	8.0161	12.5874	6.2	93.253	2.6353	1.0425	4.1116	10.3	94.1077	4.2541	0.1878	1.6382
2.2	86.6356	1.1655	7.6599	12.1989	6.3	93.2984	2.6807	0.9972	4.021	10.4	94.1142	4.28	0.1813	1.6058
2.3	87.0694	1.1785	7.2261	11.7521	6.4	93.3178	2.7001	0.9777	3.9821	10.5	94.1272	4.2994	0.1684	1.5734
2.4	87.4191	1.2303	6.8765	11.3507	6.5	93.3631	2.7519	0.9324	3.885	10.6	94.1272	4.3188	0.1684	1.554
2.5	87.7169	1.2497	6.5786	11.0334	6.6	93.4084	2.7972	0.8871	3.7944	10.7	94.1272	4.3383	0.1684	1.5346
2.6	88.0342	1.295	6.2613	10.6708	6.7	93.4538	2.862	0.8418	3.6843	10.8	94.1401	4.3577	0.1554	1.5022
2.7	88.3256	1.3403	5.97	10.3341	6.8	93.4667	2.8943	0.8288	3.639	10.9	94.1466	4.3706	0.1489	1.4828
2.8	88.6428	1.3468	5.6527	10.0104	6.9	93.5185	2.9332	0.777	3.5483	11	94.1531	4.3965	0.1425	1.4504
2.9	88.8824	1.3986	5.4131	9.719	7	93.5444	2.9785	0.7511	3.4771	11.1	94.1595	4.4224	0.136	1.418
3	89.1026	1.4245	5.193	9.4729	7.1	93.5897	3.0497	0.7058	3.3605	11.2	94.1595	4.4483	0.136	1.3921
3.1	89.3551	1.4375	4.9404	9.2075	7.2	93.6027	3.1274	0.6928	3.2699	11.3	94.1725	4.4872	0.123	1.3403
3.2	89.5817	1.4569	4.7138	8.9614	7.3	93.6221	3.1728	0.6734	3.2051	11.4	94.179	4.5066	0.1166	1.3144
3.3	89.7889	1.4828	4.5066	8.7283	7.4	93.6674	3.1987	0.6281	3.1339	11.5	94.179	4.5325	0.1166	1.2885
3.4	90.0285	1.5087	4.267	8.4628	7.5	93.6933	3.2246	0.6022	3.0821	11.6	94.1854	4.5519	0.1101	1.2626
3.5	90.1839	1.5605	4.1116	8.2556	7.6	93.7192	3.3087	0.5763	2.972	11.7	94.1854	4.5908	0.1101	1.2238
3.6	90.553	1.5929	3.7426	7.8542	7.7	93.7581	3.3476	0.5374	2.8943	11.8	94.1854	4.6037	0.1101	1.2108
3.7	90.7731	1.6382	3.5224	7.5887	7.8	93.7775	3.3929	0.518	2.8296	11.9	94.1854	4.6232	0.1101	1.1914
3.8	90.8897	1.69	3.4059	7.4204	7.9	93.7905	3.4706	0.5051	2.7389	12	94.1984	4.662	0.0971	1.1396
3.9	91.0321	1.7288	3.2634	7.2391	8	93.8164	3.5159	0.4792	2.6677	12.1	94.1984	4.6879	0.0971	1.1137
4	91.1746	1.7936	3.121	7.0319	8.1	93.8423	3.5224	0.4533	2.6353	12.2	94.2049	4.7073	0.0907	1.0878

คำร้อยละของจำนวนลือกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMncenของชุดภาพ salesm

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	79.8433	100	4.1	74.5985	13.6428	5.2448	11.7586	8.2	79.2023	18.3178	0.641	2.4799
0.1	9.8485	0	69.9948	90.1515	4.2	75	13.8241	4.8433	11.1759	8.3	79.2023	18.3696	0.641	2.4281
0.2	9.8485	0	69.9948	90.1515	4.3	75.3885	14.0702	4.4548	10.5413	8.4	79.2476	18.4149	0.5957	2.3375
0.3	9.9068	0.0065	69.9365	90.0868	4.4	75.6605	14.2385	4.1829	10.101	8.5	79.2735	18.4473	0.5698	2.2792
0.4	11.3442	0.0648	68.4991	88.591	4.5	75.9065	14.4522	3.9368	9.6413	8.6	79.2994	18.5056	0.5439	2.195
0.5	16.9904	0.3043	62.8529	82.7053	4.6	76.1396	14.6141	3.7037	9.2463	8.7	79.3059	18.6933	0.5574	2.0008
0.6	23.8798	0.8871	55.9635	75.2331	4.7	76.4245	14.7824	3.4188	8.7931	8.8	79.3188	18.8034	0.5245	1.8778
0.7	28.1469	1.3792	51.6965	70.474	4.8	76.6252	14.9896	3.2181	8.3851	8.9	79.3383	18.8811	0.5051	1.7806
0.8	31.8635	2.1627	47.9798	65.9738	4.9	76.7936	15.1709	3.0497	8.0355	9	79.3512	18.9394	0.4921	1.7094
0.9	34.7708	2.6548	45.0725	62.5745	5	76.9231	15.3522	2.9202	7.7247	9.1	79.3771	18.9718	0.4662	1.6511
1	37.1342	3.1533	42.7091	59.7125	5.1	77.0526	15.4882	2.7907	7.4592	9.2	79.3965	18.9912	0.4468	1.6123
1.1	40.0803	3.7102	39.763	56.2095	5.2	77.1173	15.663	2.726	7.2196	9.3	79.4095	19.0495	0.4338	1.5411
1.2	42.2818	4.144	37.5615	53.5742	5.3	77.2533	15.8055	2.59	6.9412	9.4	79.4289	19.0754	0.4144	1.4957
1.3	44.6063	4.5778	35.237	50.8159	5.4	77.4152	15.922	2.4281	6.6628	9.5	79.4483	19.0948	0.395	1.4569
1.4	46.62	5.0117	33.2233	48.3683	5.5	77.5317	16.0645	2.3116	6.4038	9.6	79.4613	19.1336	0.382	1.4051
1.5	48.5949	5.439	31.2484	45.9661	5.6	77.6936	16.1616	2.1497	6.1448	9.7	79.4678	19.1466	0.3756	1.3857
1.6	50.6216	5.7498	29.2217	43.6286	5.7	77.7907	16.2587	2.0526	5.9505	9.8	79.4742	19.1725	0.3691	1.3533
1.7	52.2468	6.0153	27.5965	41.7379	5.8	77.9267	16.4077	1.9166	5.6656	9.9	79.4872	19.2049	0.3561	1.308
1.8	54.0793	6.332	25.7641	39.5688	5.9	78.0368	16.5113	1.8065	5.452	10	79.5131	19.2308	0.3302	1.2562
1.9	55.6333	6.6757	24.21	37.691	6	78.121	16.6343	1.7224	5.2448	10.1	79.526	19.2567	0.3173	1.2173
2	57.129	7.1031	22.7143	35.7679	6.1	78.1792	16.7573	1.6641	5.0635	10.2	79.5325	19.2761	0.3108	1.1914
2.1	58.8449	7.4851	20.9984	33.67	6.2	78.2634	16.8803	1.5799	4.8563	10.3	79.5455	19.289	0.2979	1.1655
2.2	60.3147	7.8153	19.5286	31.87	6.3	78.3411	16.9516	1.5022	4.7073	10.4	79.5843	19.302	0.259	1.1137
2.3	61.8881	8.2751	17.9552	29.8368	6.4	78.4253	17.0357	1.418	4.539	10.5	79.5908	19.3149	0.2525	1.0943
2.4	62.9435	8.6118	16.8998	28.4447	6.5	78.5159	17.1393	1.3274	4.3447	10.6	79.5973	19.3473	0.2461	1.0554
2.5	63.9536	8.9679	15.8897	27.0785	6.6	78.5742	17.1976	1.2691	4.2282	10.7	79.6232	19.3732	0.2202	1.0036
2.6	65.1515	9.337	14.6918	25.5115	6.7	78.6584	17.2947	1.1849	4.0469	10.8	79.6232	19.3926	0.2202	0.9842
2.7	66.1098	9.6348	13.7335	24.2554	6.8	78.7102	17.3789	1.1331	3.9109	10.9	79.6296	19.3926	0.2137	0.9777
2.8	66.971	10.0104	12.8723	23.0186	6.9	78.7426	17.4696	1.1008	3.7879	11	79.6426	19.4185	0.2007	0.9389
2.9	67.8063	10.2305	12.037	21.9632	7	78.7749	17.5537	1.0684	3.6713	11.1	79.6426	19.4315	0.2007	0.9259
3	68.6221	10.5154	11.2212	20.8625	7.1	78.8591	17.6314	0.9842	3.5095	11.2	79.662	19.4509	0.1813	0.8871
3.1	69.438	10.8715	10.4053	19.6905	7.2	78.9174	17.7156	0.9259	3.367	11.3	79.662	19.4639	0.1813	0.8741
3.2	70.1049	11.1435	9.7384	18.7516	7.3	78.9498	17.7868	0.8936	3.2634	11.4	79.6814	19.4898	0.1619	0.8288
3.3	70.9272	11.4802	8.9161	17.5926	7.4	78.9757	17.884	0.8677	3.1404	11.5	79.6814	19.5092	0.1619	0.8094
3.4	71.4646	11.7327	8.3787	16.8026	7.5	79.0275	17.9358	0.8159	3.0368	11.6	79.6944	19.5286	0.1489	0.777
3.5	71.9891	12.0565	7.8542	15.9544	7.6	79.0534	17.9876	0.79	2.9591	11.7	79.7009	19.548	0.1425	0.7511
3.6	72.5848	12.4191	7.2585	14.9961	7.7	79.0793	18.0394	0.7641	2.8814	11.8	79.7073	19.5804	0.136	0.7123
3.7	72.9863	12.6845	6.857	14.3292	7.8	79.1052	18.1235	0.7382	2.7713	11.9	79.7073	19.5869	0.136	0.7058
3.8	73.5043	12.8788	6.339	13.6169	7.9	79.1311	18.1883	0.7123	2.6807	12	79.7203	19.5934	0.123	0.6864
3.9	73.8928	13.073	5.9505	13.0342	8	79.1634	18.2271	0.6799	2.6094	12.1	79.7268	19.5998	0.1166	0.6734
4	74.223	13.2997	5.6203	12.4773	8.1	79.1699	18.2789	0.6734	2.5512	12.2	79.7397	19.6257	0.1036	0.6346

ค่าร้อยละของจำนวนลือกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMncen ของชุดภาพ suziee

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	84.8485	100	4.1	67.8257	2.8943	17.0228	29.28	8.2	77.59	5.4261	7.2585	16.9839
0.1	9.8485	0	75	90.1515	4.2	68.3113	2.9397	16.5372	28.749	8.3	77.726	5.4843	7.1225	16.7897
0.2	9.8485	0	75	90.1515	4.3	68.8876	3.0303	15.9609	28.0821	8.4	77.8231	5.5556	7.0254	16.6213
0.3	9.8485	0	75	90.1515	4.4	69.1919	3.0886	15.6566	27.7195	8.5	77.9591	5.6268	6.8894	16.4141
0.4	9.8485	0	75	90.1515	4.5	69.6775	3.1339	15.1709	27.1886	8.6	78.0692	5.711	6.7793	16.2199
0.5	9.8485	0	75	90.1515	4.6	70.1502	3.1922	14.6983	26.6576	8.7	78.1987	5.7692	6.6498	16.0321
0.6	9.8485	0	75	90.1515	4.7	70.4416	3.244	14.4069	26.3144	8.8	78.3152	5.8793	6.5333	15.8055
0.7	9.8679	0	74.9806	90.1321	4.8	70.8171	3.2958	14.0313	25.8871	8.9	78.4123	5.9441	6.4362	15.6436
0.8	9.965	0.0065	74.8834	90.0285	4.9	71.1215	3.3735	13.727	25.5051	9	78.5289	6.0347	6.3196	15.4364
0.9	10.2694	0.0065	74.5791	89.7242	5	71.3805	3.4059	13.468	25.2137	9.1	78.6713	6.1318	6.1772	15.1968
1	11.001	0.0518	73.8474	88.9472	5.1	71.6589	3.49	13.1896	24.8511	9.2	78.8656	6.2354	5.9829	14.899
1.1	12.7752	0.0777	72.0733	87.1471	5.2	71.9373	3.5483	12.9112	24.5144	9.3	79.0145	6.4038	5.834	14.5817
1.2	15.1645	0.1813	69.684	84.6542	5.3	72.2287	3.5807	12.6198	24.1906	9.4	79.144	6.5268	5.7045	14.3292
1.3	18.2271	0.2979	66.6213	81.475	5.4	72.4488	3.6519	12.3996	23.8992	9.5	79.2735	6.5916	5.575	14.1349
1.4	21.4905	0.382	63.3579	78.1274	5.5	72.6625	3.7361	12.186	23.6014	9.6	79.3771	6.6887	5.4714	13.9542
1.5	24.6698	0.5115	60.1787	74.8187	5.6	72.928	3.7814	11.9205	23.2906	9.7	79.4354	6.734	5.4131	13.8306
1.6	28.0174	0.6734	56.8311	71.3092	5.7	73.1676	3.8462	11.6809	22.9863	9.8	79.526	6.8441	5.3225	13.6299
1.7	30.834	0.8094	54.0145	68.3566	5.8	73.5043	3.9044	11.3442	22.5913	9.9	79.6296	6.9347	5.2189	13.4356
1.8	33.6571	0.9389	51.1914	65.404	5.9	73.705	3.9368	11.1435	22.3582	10	79.7332	7.0837	5.1153	13.1831
1.9	35.7744	1.0231	49.0741	63.2025	6	73.9187	3.9821	10.9298	22.0992	10.1	79.8304	7.1743	5.0181	12.9953
2	37.5486	1.1072	47.2999	61.3442	6.1	74.1129	4.0598	10.7356	21.8272	10.2	79.8757	7.3103	4.9728	12.814
2.1	39.9314	1.1849	44.9171	58.8837	6.2	74.2877	4.0987	10.5607	21.6136	10.3	79.9145	7.4009	4.934	12.6845
2.2	41.8609	1.295	42.9876	56.8441	6.3	74.5014	4.1764	10.3471	21.3222	10.4	79.9987	7.524	4.8498	12.4773
2.3	44.2955	1.3986	40.553	54.3059	6.4	74.6827	4.2411	10.1658	21.0761	10.5	80.0699	7.6276	4.7786	12.3025
2.4	46.1733	1.4375	38.6752	52.3893	6.5	74.8252	4.28	10.0233	20.8948	10.6	80.1088	7.77	4.7397	12.1212
2.5	48.0963	1.5734	36.7521	50.3302	6.6	75.0712	4.3253	9.7773	20.6035	10.7	80.1541	7.8866	4.6944	11.9593
2.6	50.3173	1.6706	34.5312	48.0122	6.7	75.2461	4.3771	9.6024	20.3768	10.8	80.1994	8.042	4.6491	11.7586
2.7	52.1044	1.7742	32.7441	46.1215	6.8	75.4662	4.4354	9.3823	20.0984	10.9	80.2512	8.1391	4.5973	11.6097
2.8	53.9692	1.8778	30.8793	44.1531	6.9	75.6993	4.4807	9.1492	19.82	11	80.3225	8.2686	4.526	11.409
2.9	55.5491	1.9555	29.2994	42.4955	7	75.9	4.5455	8.9485	19.5545	11.1	80.3678	8.3787	4.4807	11.2536
3	56.87	2.0396	27.9785	41.0904	7.1	76.1008	4.6102	8.7477	19.289	11.2	80.4131	8.4499	4.4354	11.137
3.1	58.6441	2.1627	26.2044	39.1932	7.2	76.2626	4.6685	8.5859	19.0689	11.3	80.4649	8.6247	4.3836	10.9104
3.2	59.8744	2.2209	24.9741	37.9047	7.3	76.418	4.7268	8.4305	18.8552	11.4	80.5426	8.7348	4.3059	10.7226
3.3	61.3701	2.2857	23.4784	36.3442	7.4	76.5152	4.7915	8.3333	18.6933	11.5	80.6009	8.819	4.2476	10.5802
3.4	62.4191	2.3181	22.4294	35.2629	7.5	76.6835	4.8627	8.165	18.4538	11.6	80.6915	8.9744	4.157	10.3341
3.5	63.3061	2.4281	21.5423	34.2657	7.6	76.8907	4.9275	7.9578	18.1818	11.7	80.7433	9.0974	4.1052	10.1593
3.6	64.3551	2.4864	20.4934	33.1585	7.7	76.9943	4.9663	7.8542	18.0394	11.8	80.7887	9.2204	4.0598	9.9909
3.7	65.0803	2.5512	19.7682	32.3686	7.8	77.1627	5.0699	7.6858	17.7674	11.9	80.834	9.2981	4.0145	9.8679
3.8	65.9868	2.6548	18.8617	31.3585	7.9	77.2468	5.1476	7.6017	17.6055	12	80.8728	9.3888	3.9757	9.7384
3.9	66.6472	2.7195	18.2012	30.6333	8	77.3375	5.2253	7.511	17.4372	12.1	80.9311	9.5118	3.9174	9.5571
4	67.2365	2.8037	17.612	29.9599	8.1	77.4864	5.3225	7.3621	17.1911	12.2	80.9959	9.596	3.8526	9.4082

ค่าร้อยละของจำนวนบิลิกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMncen ของชุดภาพ tablet

ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ค่าเปรียบเทียบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0	0	0	74.8316	100	4.1	66.9775	10.5543	7.8542	22.4683	8.2	73.3294	16.6278	1.5022	10.0427
0.1	9.9909	4.1829	64.8407	85.8262	4.2	67.2624	10.6773	7.5693	22.0603	8.3	73.3683	16.7508	1.4634	9.8809
0.2	10.6449	4.1893	64.1867	85.1658	4.3	67.5861	10.8133	7.2455	21.6006	8.4	73.3942	16.8609	1.4375	9.7449
0.3	15.8184	4.1958	59.0132	79.9858	4.4	67.8322	11.0205	6.9995	21.1474	8.5	73.4136	16.971	1.418	9.6154
0.4	25.7511	4.2541	49.0805	69.9948	4.5	68.0523	11.2018	6.7793	20.7459	8.6	73.4784	17.0746	1.3533	9.447
0.5	33.3528	4.28	41.4789	62.3673	4.6	68.3761	11.3895	6.4556	20.2344	8.7	73.5043	17.1652	1.3274	9.3305
0.6	37.2831	4.3383	37.5486	58.3787	4.7	68.5444	11.5126	6.2872	19.943	8.8	73.5172	17.3465	1.3144	9.1362
0.7	39.1349	4.416	35.6967	56.4491	4.8	68.7969	11.668	6.0347	19.5351	8.9	73.5496	17.476	1.2821	8.9744
0.8	41.1228	4.7009	33.7089	54.1764	4.9	69.0495	11.7845	5.7822	19.166	9	73.5625	17.5796	1.2691	8.8578
0.9	42.9099	4.934	31.9218	52.1562	5	69.2826	11.927	5.5491	18.7905	9.1	73.6079	17.6962	1.2238	8.6959
1	44.3862	5.1865	30.4455	50.4274	5.1	69.5545	12.1665	5.2771	18.2789	9.2	73.6402	17.8127	1.1914	8.547
1.1	46.0373	5.5361	28.7944	48.4266	5.2	69.7164	12.3155	5.1153	17.9681	9.3	73.6726	17.9099	1.159	8.4175
1.2	47.2934	5.8146	27.5382	46.892	5.3	69.9365	12.5032	4.8951	17.5602	9.4	73.7179	17.9617	1.1137	8.3204
1.3	48.705	6.0541	26.1267	45.2409	5.4	70.1049	12.6327	4.7268	17.2624	9.5	73.7438	18.0717	1.0878	8.1844
1.4	49.8899	6.2484	24.9417	43.8617	5.5	70.3186	12.7687	4.5131	16.9127	9.6	73.7827	18.1365	1.049	8.0808
1.5	50.8612	6.4944	23.9705	42.6444	5.6	70.4804	12.9824	4.3512	16.5372	9.7	73.828	18.2401	1.0036	7.9319
1.6	52.1821	6.8247	22.6496	40.9933	5.7	70.6941	13.1572	4.1375	16.1487	9.8	73.8798	18.3437	0.9518	7.7765
1.7	53.0368	7.0642	21.7949	39.899	5.8	70.8819	13.345	3.9498	15.7731	9.9	73.8863	18.4444	0.9454	7.5693
1.8	54.008	7.265	20.8236	38.727	5.9	70.9661	13.4939	3.8656	15.54	10	73.9057	18.6351	0.9259	7.4592
1.9	54.7786	7.4268	20.0531	37.7946	6	71.1474	13.6623	3.6843	15.1904	10.1	73.951	18.7387	0.8806	7.3103
2	55.5815	7.5175	19.2502	36.9011	6.1	71.3028	13.7853	3.5289	14.9119	10.2	73.9769	18.8164	0.8547	7.2067
2.1	56.6434	7.6858	18.1883	35.6708	6.2	71.4323	13.9472	3.3994	14.6206	10.3	73.9964	18.9264	0.8353	7.0772
2.2	57.4981	7.8866	17.3336	34.6154	6.3	71.5812	14.0767	3.2505	14.3421	10.4	74.0287	19.0236	0.8029	6.9477
2.3	58.2686	8.0743	16.5631	33.6571	6.4	71.6977	14.2644	3.1339	14.0378	10.5	74.0546	19.1272	0.777	6.8182
2.4	58.8772	8.2168	15.9544	32.906	6.5	71.8467	14.3616	2.985	13.7918	10.6	74.0611	19.1854	0.7705	6.7534
2.5	59.6024	8.3269	15.2292	32.0707	6.6	72.028	14.5234	2.8037	13.4486	10.7	74.1064	19.2502	0.7252	6.6434
2.6	60.3341	8.5211	14.4975	31.1448	6.7	72.1316	14.6594	2.7001	13.209	10.8	74.1259	19.3473	0.7058	6.5268
2.7	60.9298	8.6312	13.9018	30.439	6.8	72.2222	14.7695	2.6094	13.0083	10.9	74.1453	19.4574	0.6864	6.3973
2.8	61.5838	8.7931	13.2479	29.6232	6.9	72.3647	14.9055	2.467	12.7299	11	74.1582	19.5545	0.6734	6.2872
2.9	62.1342	8.8578	12.6975	29.008	7	72.4812	15.0609	2.3504	12.4579	11.1	74.1777	19.6581	0.654	6.1642
3	62.4903	8.9873	12.3414	28.5224	7.1	72.6042	15.2163	2.2274	12.1795	11.2	74.21	19.7617	0.6216	6.0282
3.1	62.9759	9.2075	11.8557	27.8166	7.2	72.6884	15.3458	2.1432	11.9658	11.3	74.2165	19.8588	0.6151	5.9246
3.2	63.4615	9.3499	11.3701	27.1886	7.3	72.7726	15.4364	2.0591	11.791	11.4	74.2359	19.9301	0.5957	5.834
3.3	63.9407	9.5506	10.891	26.5087	7.4	72.8503	15.5918	1.9814	11.5579	11.5	74.2489	20.0013	0.5828	5.7498
3.4	64.2644	9.7125	10.5672	26.0231	7.5	72.8891	15.7019	1.9425	11.409	11.6	74.2683	20.1049	0.5633	5.6268
3.5	64.6853	9.8355	10.1463	25.4792	7.6	72.9539	15.8573	1.8778	11.1888	11.7	74.3007	20.1696	0.531	5.5297
3.6	65.0932	9.9456	9.7384	24.9611	7.7	73.0316	15.9738	1.8001	10.9946	11.8	74.3136	20.2732	0.518	5.4131
3.7	65.4623	10.0622	9.3693	24.4755	7.8	73.1028	16.0839	1.7288	10.8133	11.9	74.3201	20.338	0.5115	5.3419
3.8	65.8767	10.2111	8.9549	23.9122	7.9	73.187	16.2199	1.6447	10.5931	12	74.3266	20.4416	0.5051	5.2318
3.9	66.2393	10.2823	8.5923	23.4784	8	73.2129	16.3818	1.6188	10.4053	12.1	74.3395	20.4675	0.4921	5.193
4	66.6084	10.4183	8.2233	22.9733	8.1	73.2841	16.5113	1.5475	10.2046	12.2	74.3395	20.5193	0.4921	5.1412

ค่าร้อยละของจำนวนบล็อกแต่ละประเภทเมื่อปรับค่าเปรียบเทียบ BDMcen ของชุดภาพ trevor



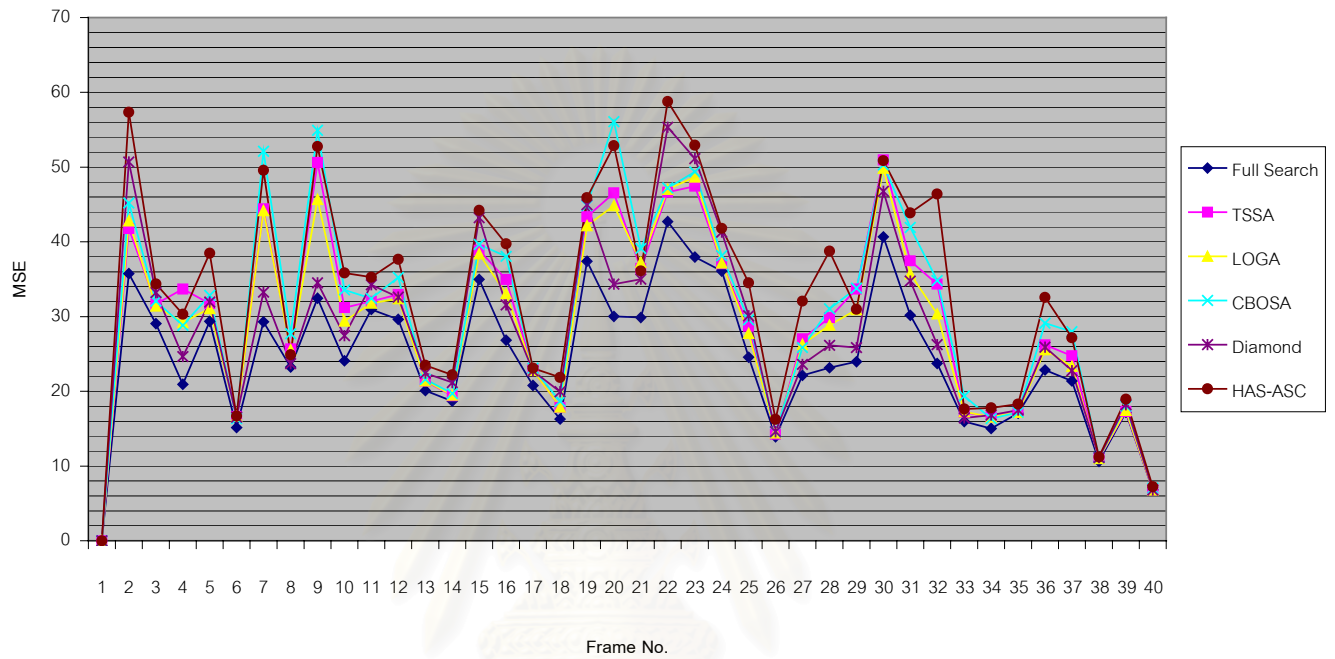
ภาคผนวก ข.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

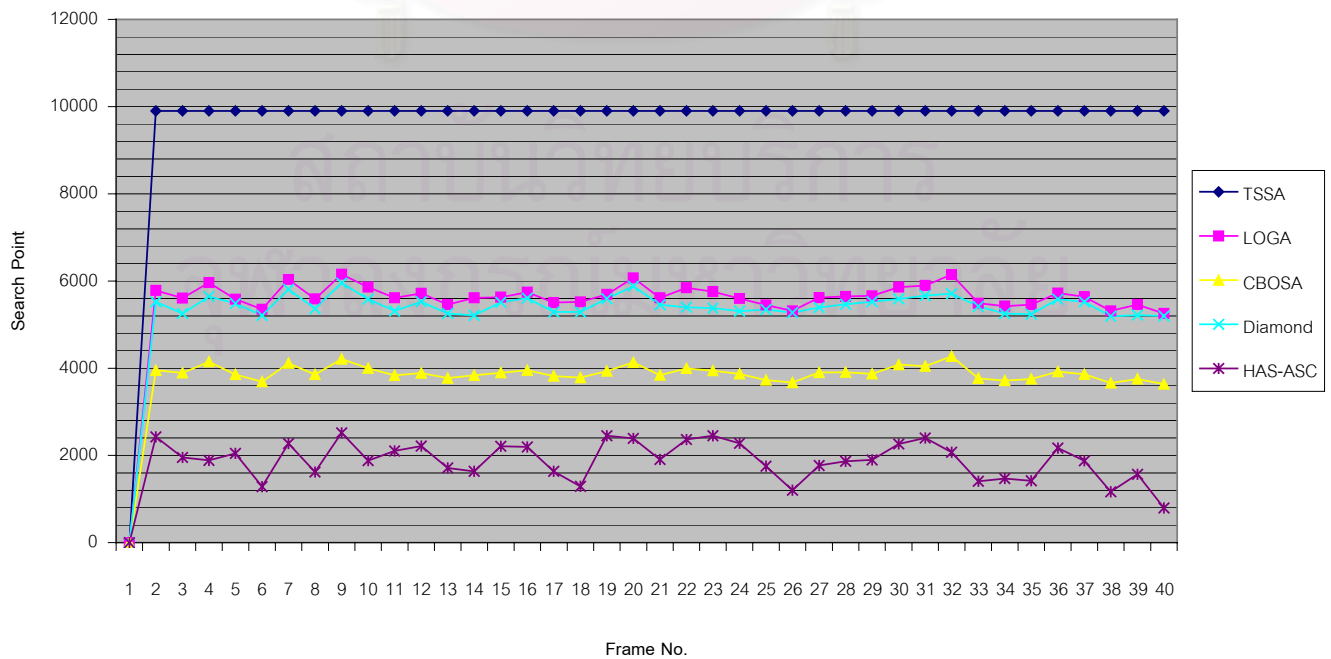


รูปภาพแสดงการเปรียบเทียบค่า MSE และ จำนวนจุดการค้นหา (Search Point) ระหว่าง เทคนิคทั่วไปและเทคนิคที่นำเสนอ

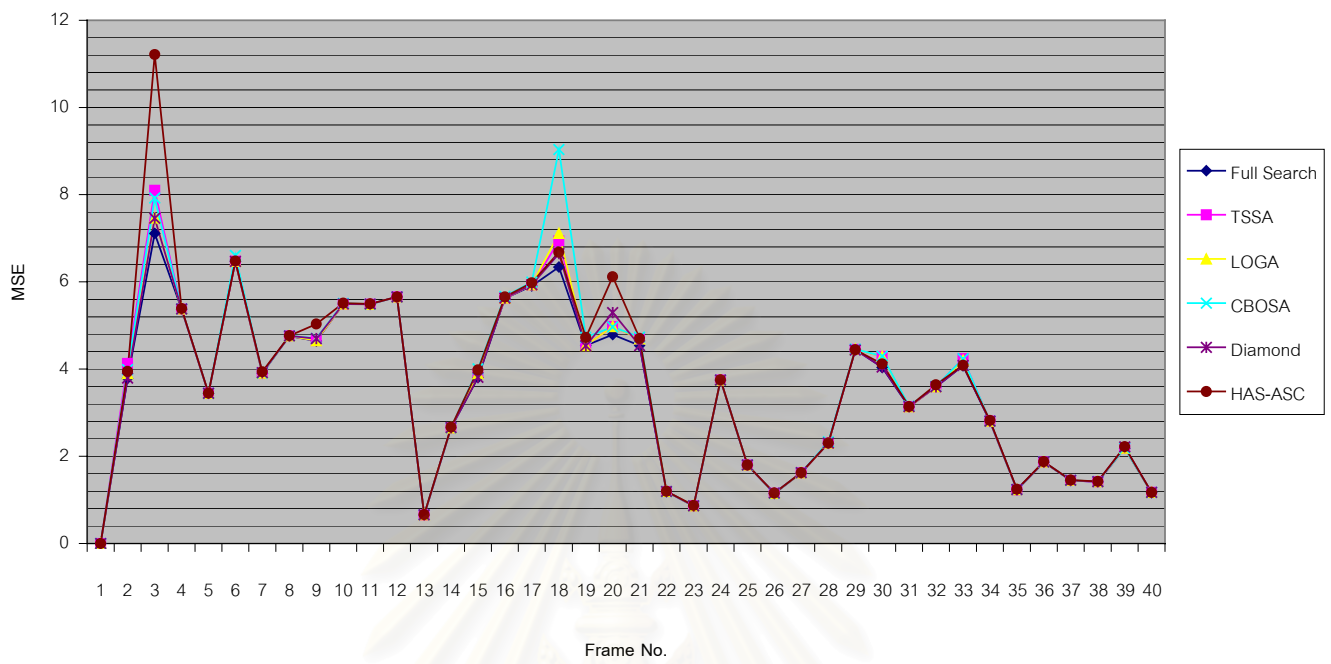
MSE of Carphn



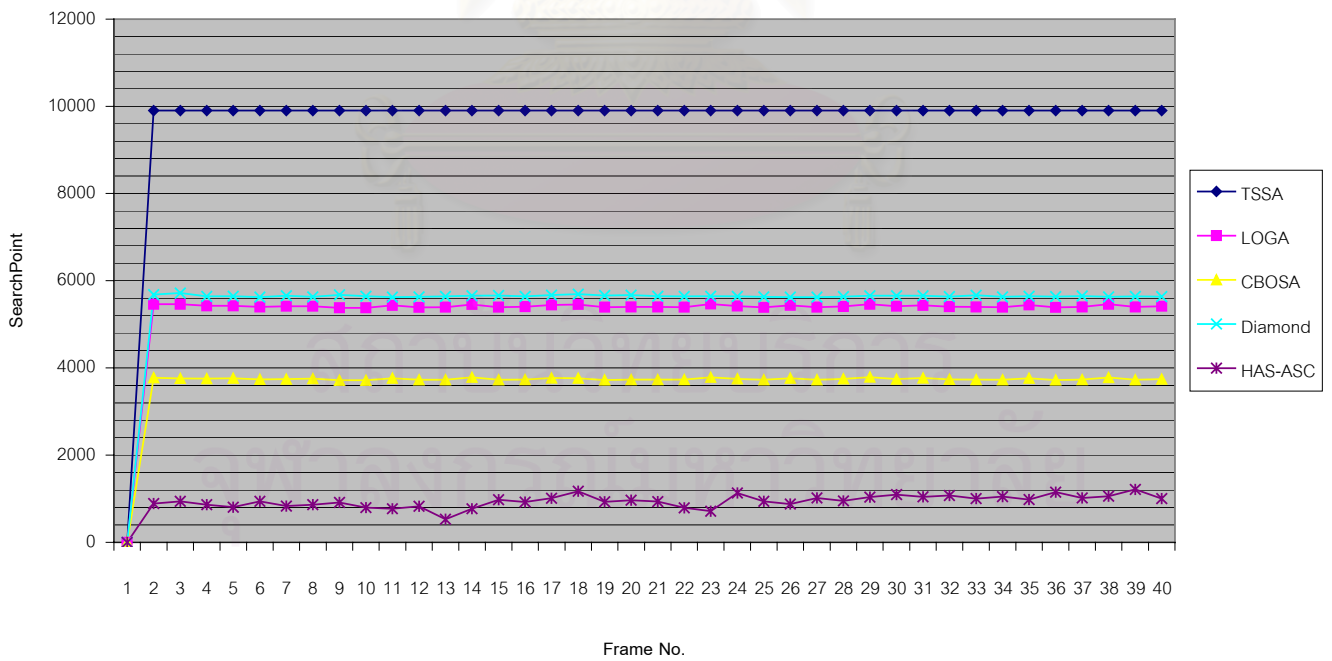
SearchPint of Carphn



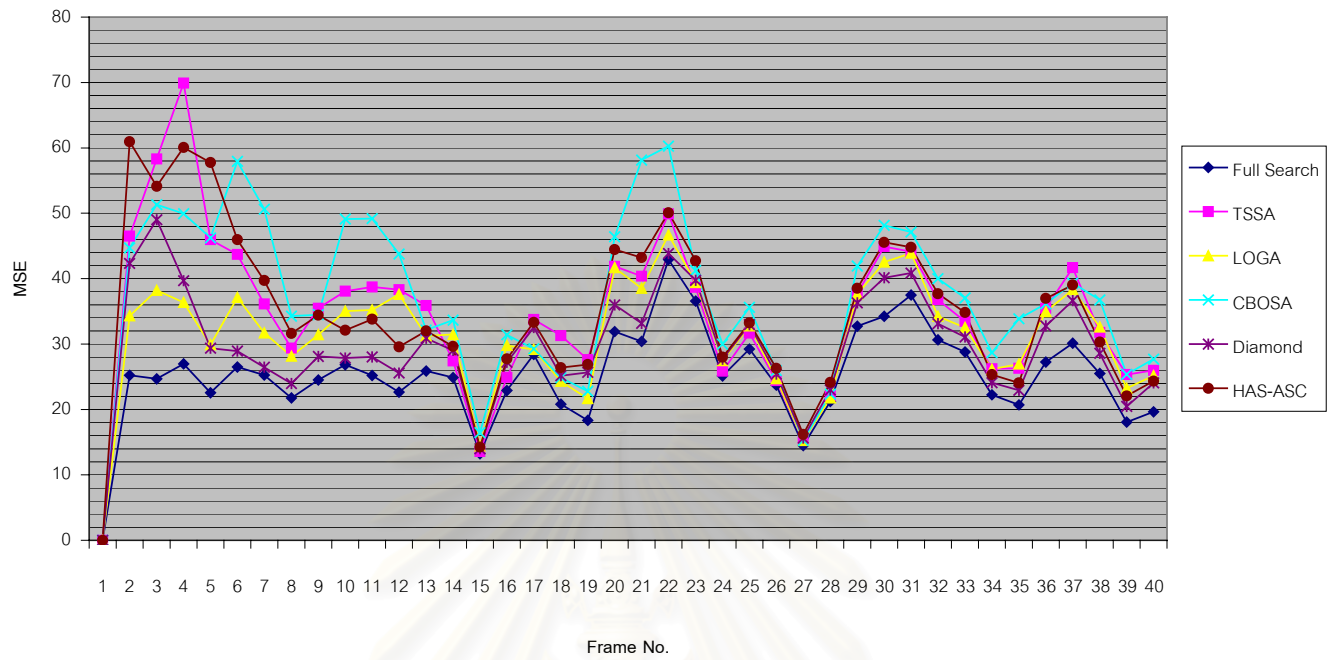
MSE of Claire



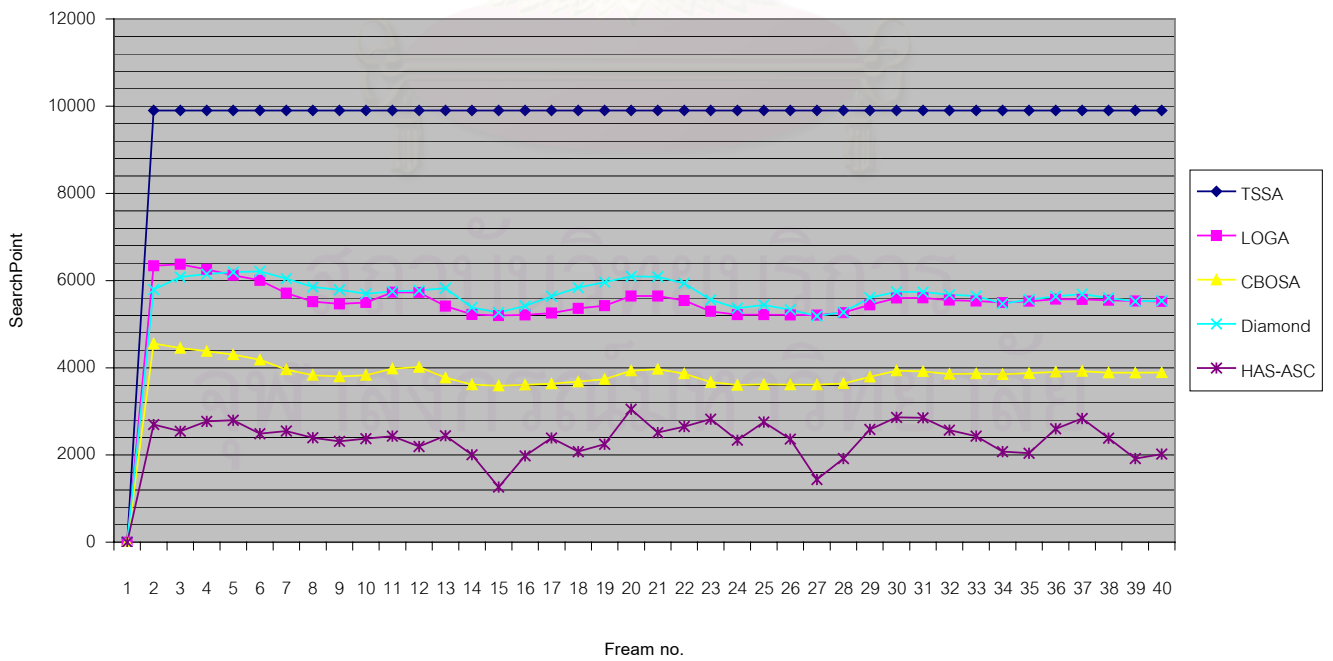
Search Point of Claire



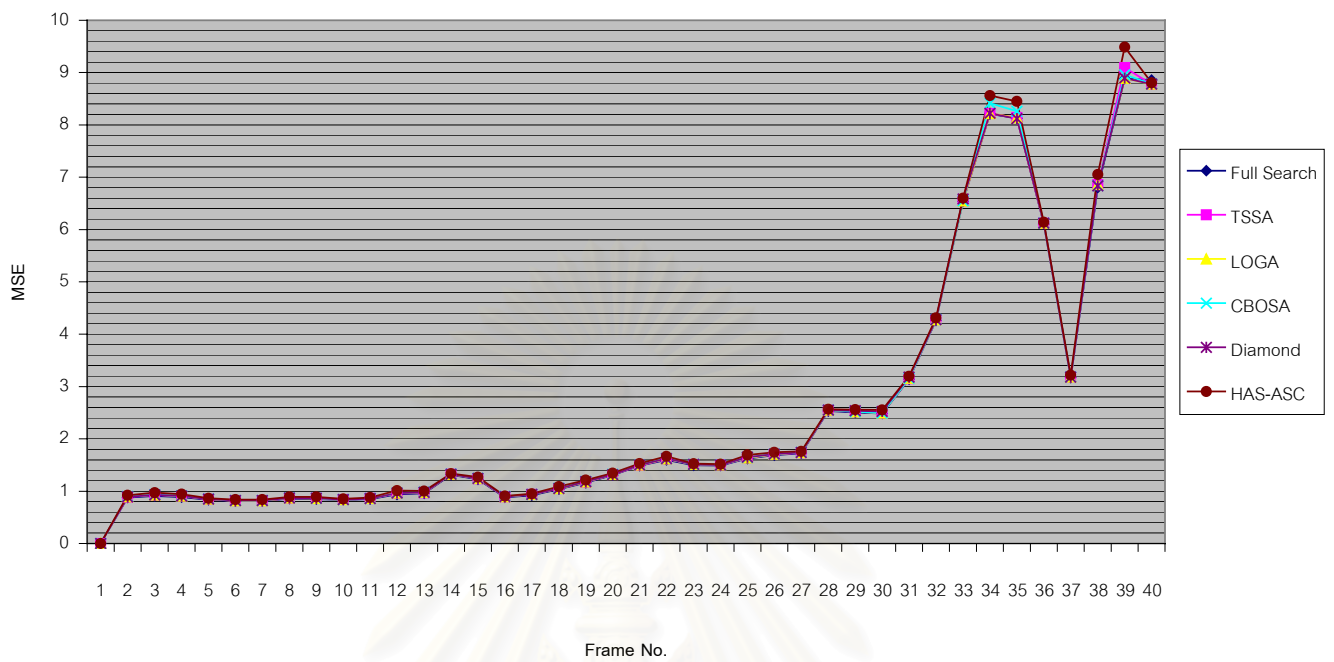
MSE of foreman



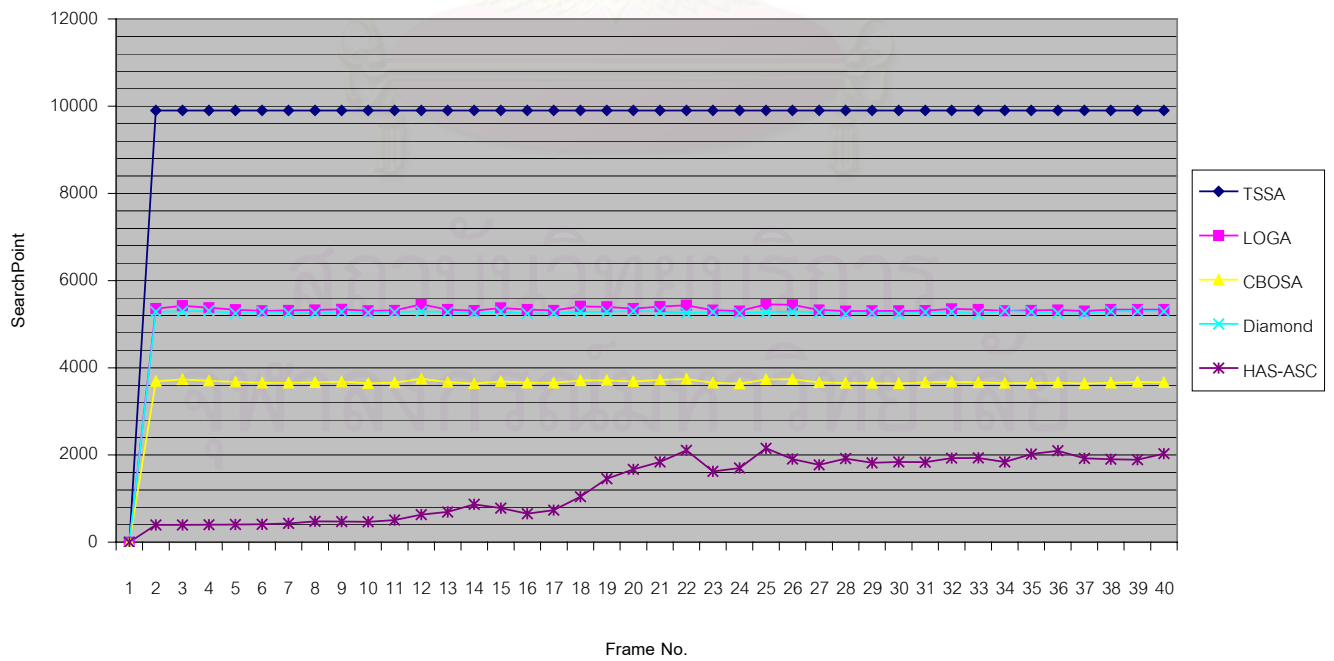
SearchPoint of foreman



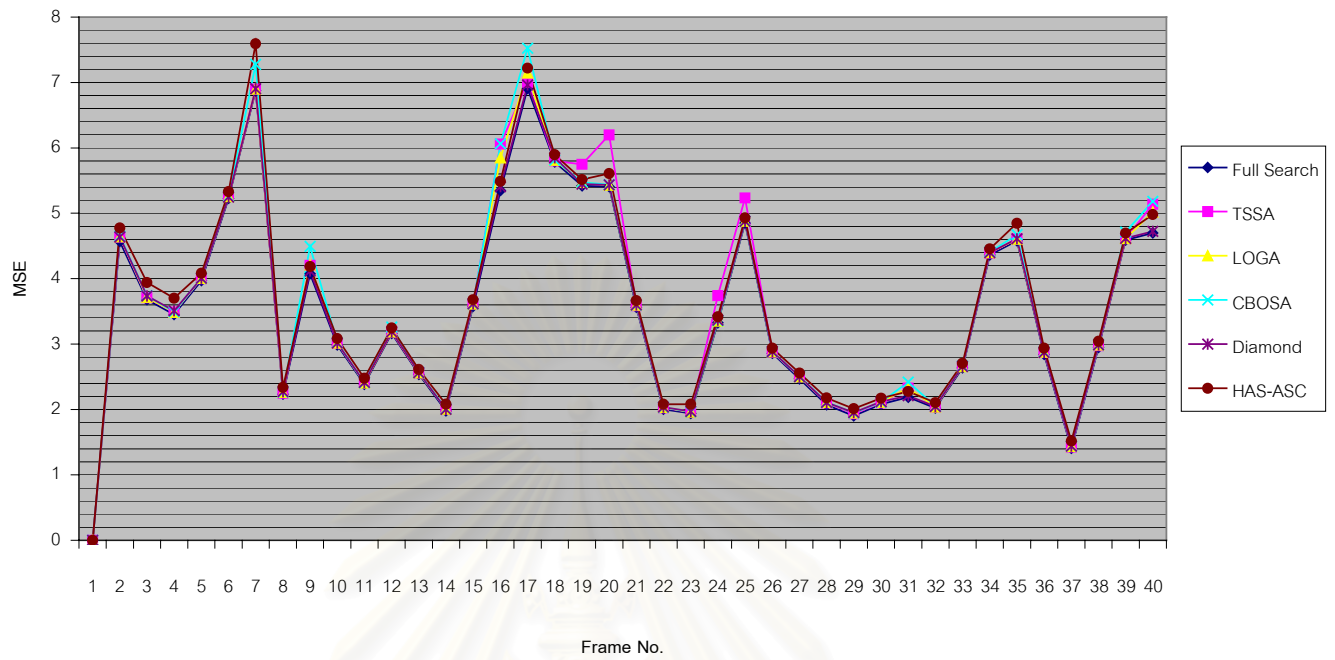
MSE of grandmother



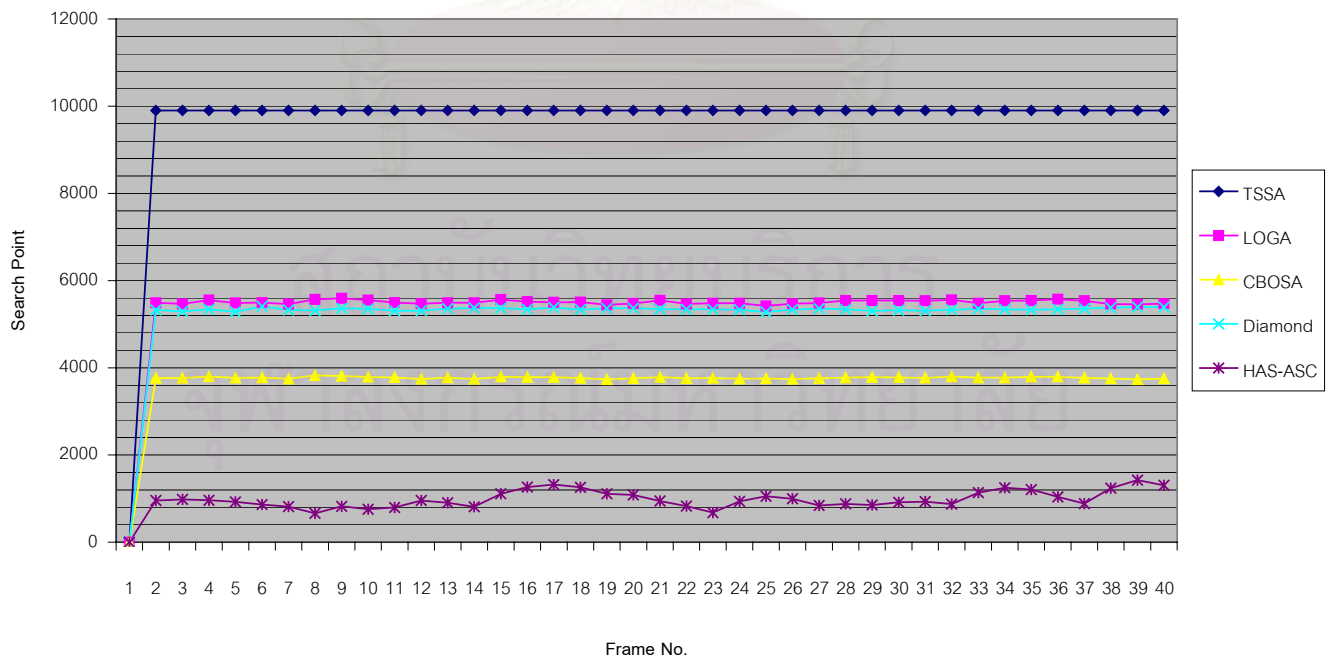
Searchpoint of grandmother



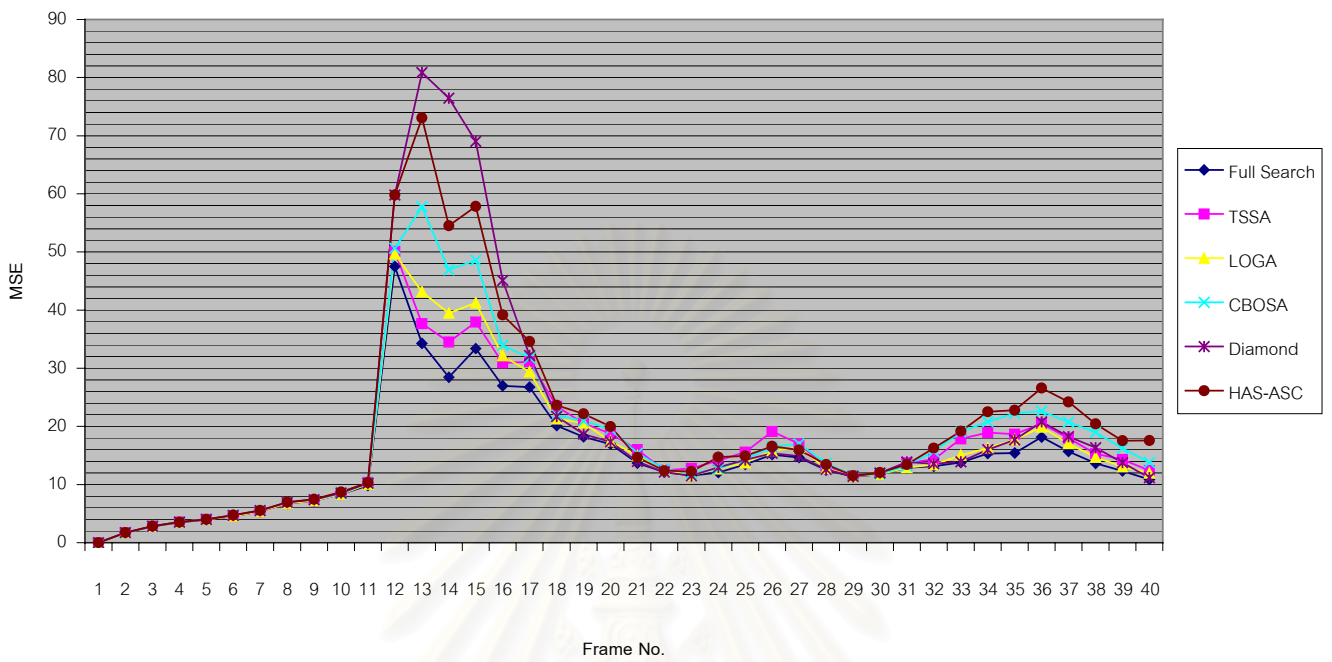
MSE of Miss America



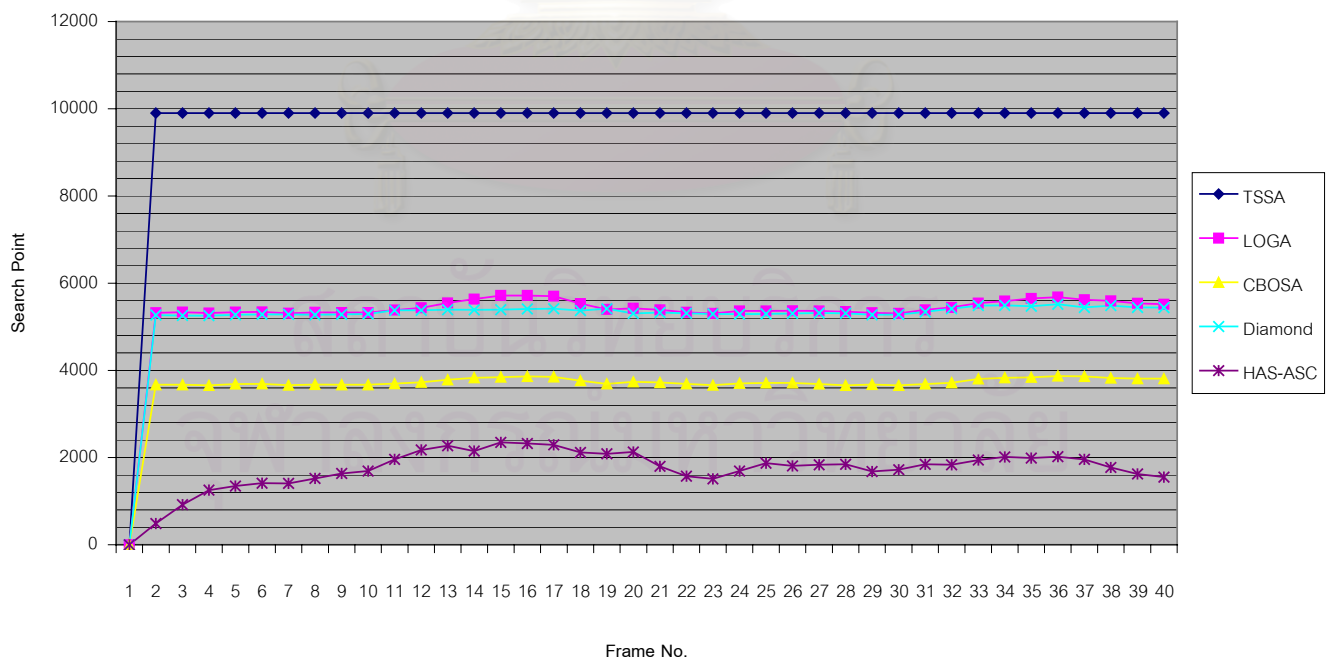
Search Point of Miss America



MSE of Mother & Daughter

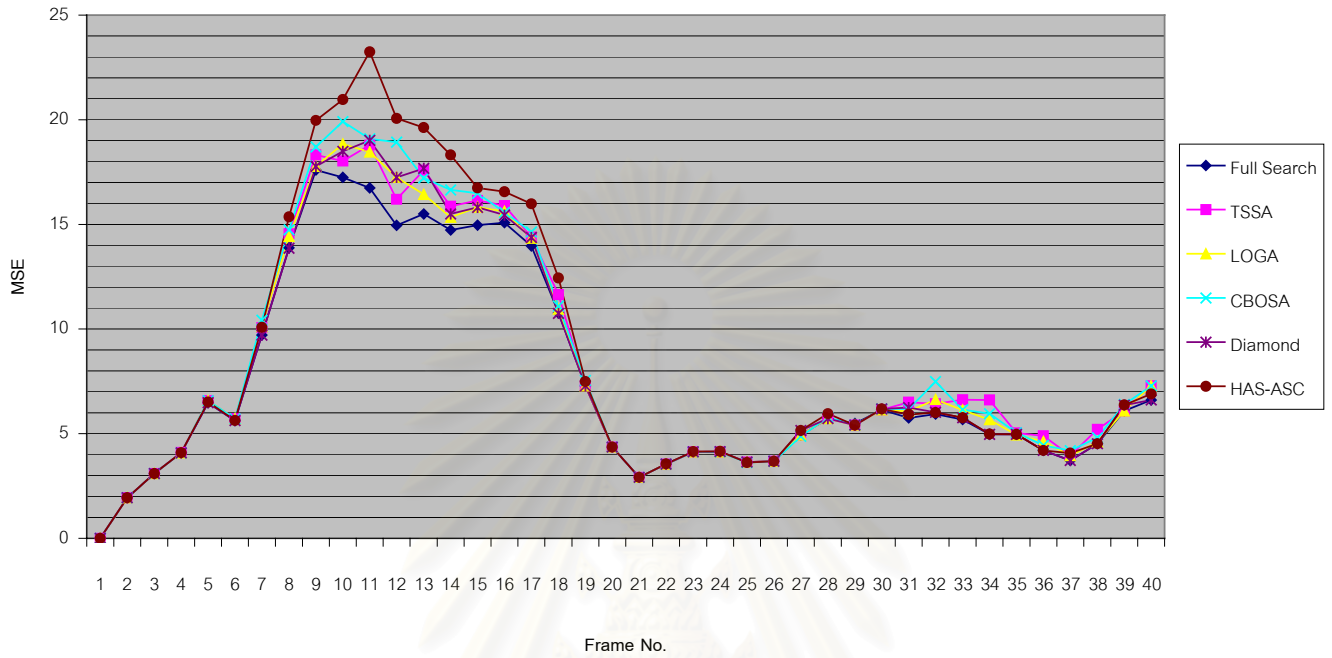


Search Point of Mother & Daughter

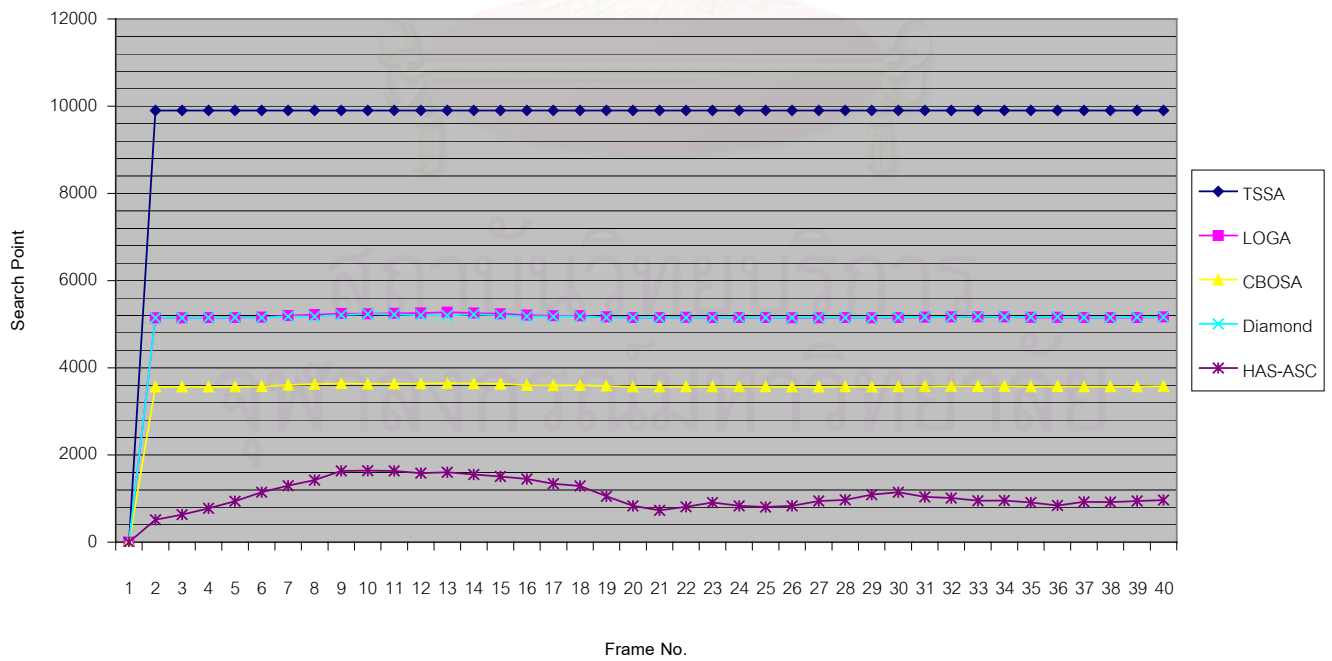




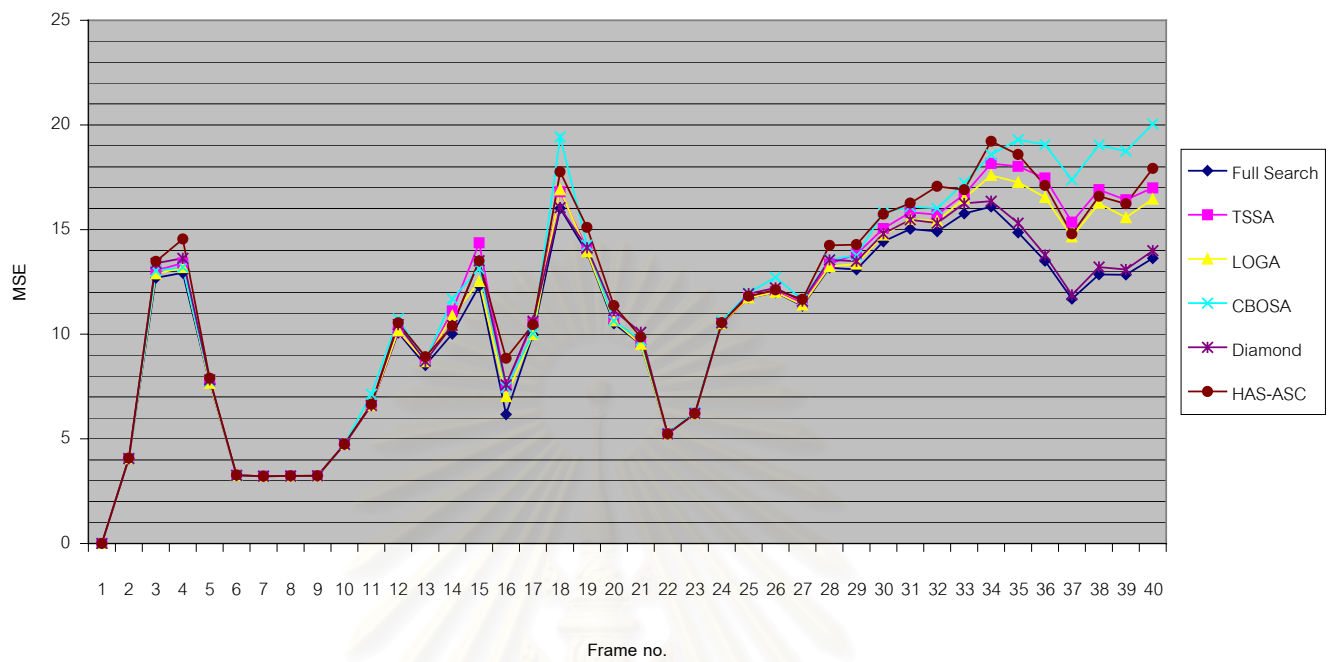
MSE of Salesman



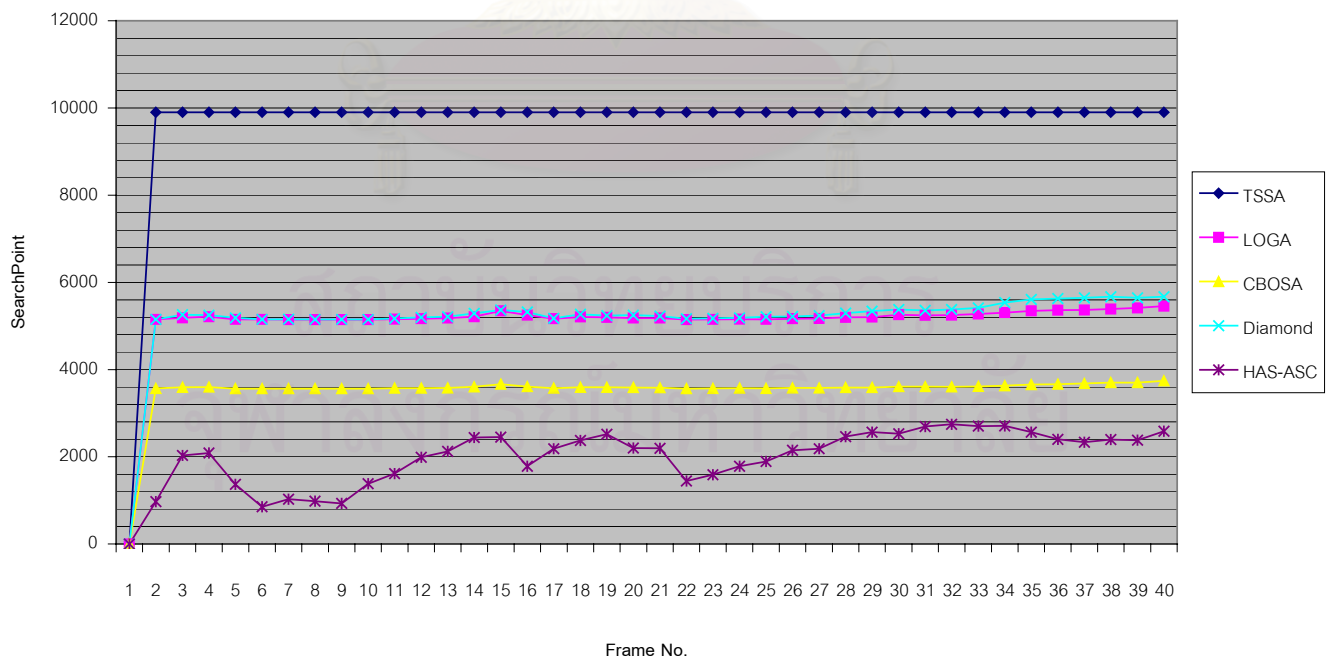
Search Point of Salesman



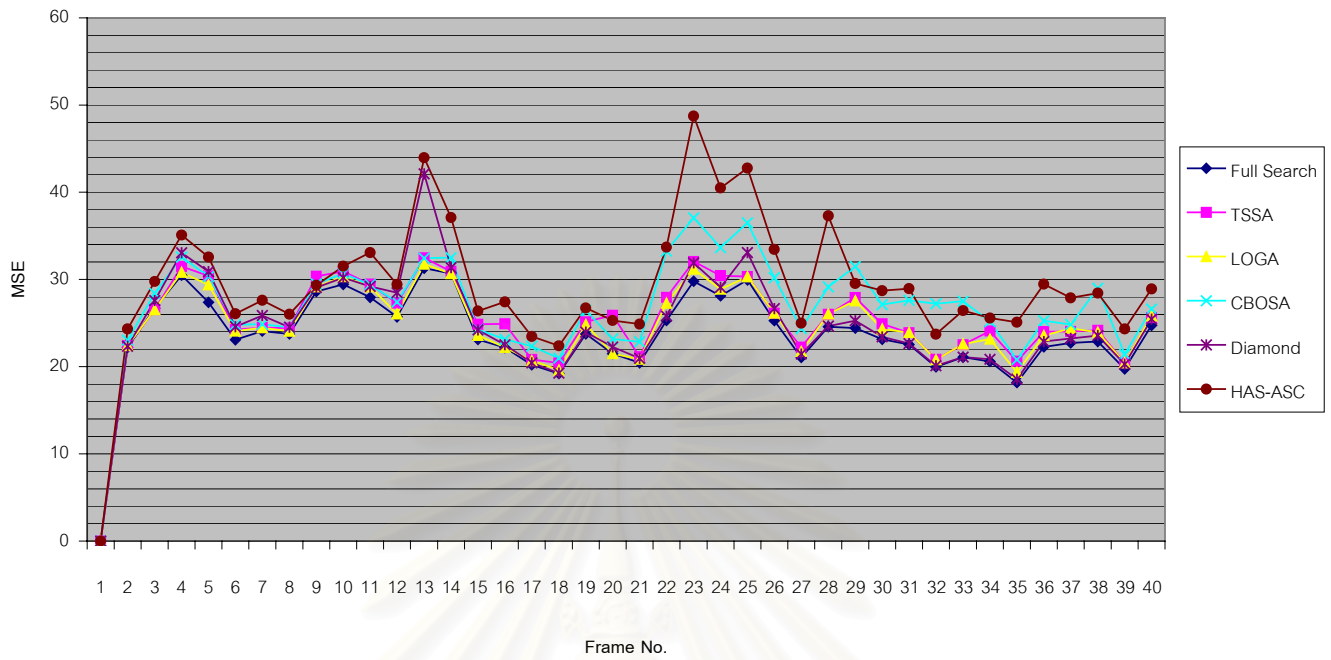
MSE of Suzie



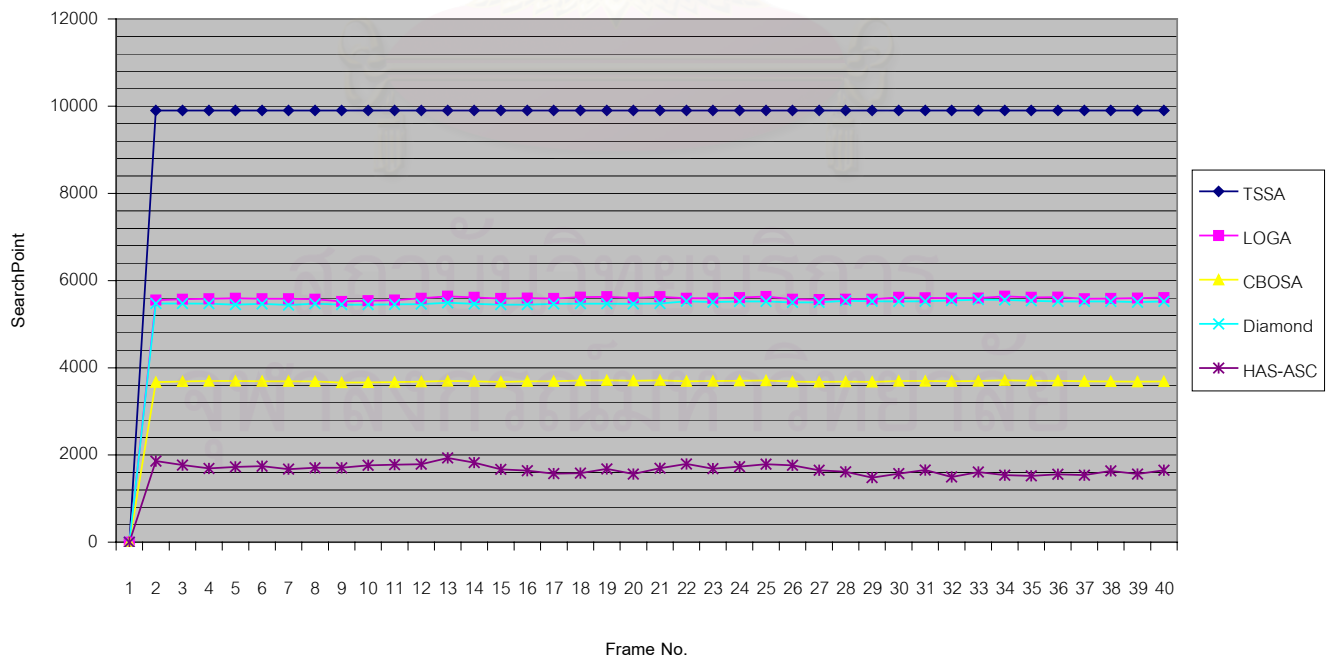
SearchPoint of suzie



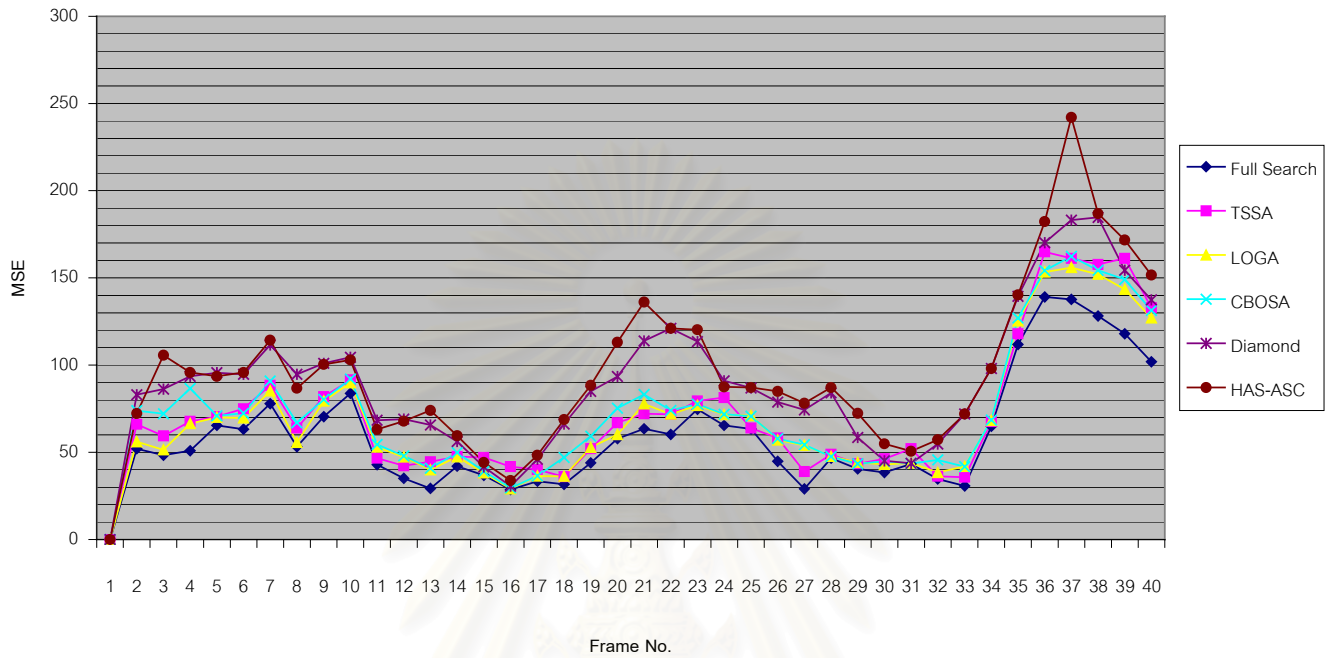
MSE of Trevor



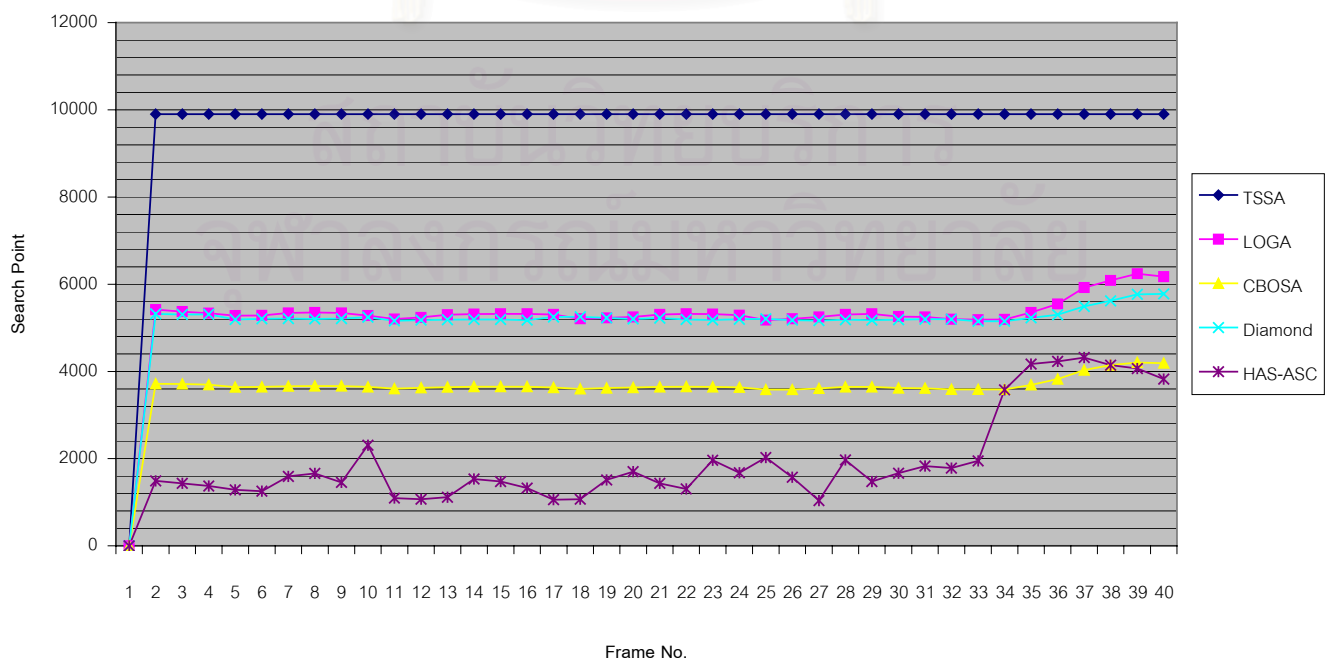
Searchpoint of Trevor



MSE of Table Tennis



Search Point of Table Tennis





ภาคผนวก ค.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Hybrid Adaptive Search Algorithm Using Adaptive Search Center

Panachit Kittipanya-ngam, Datchakorn Tancharoen, Narin Siritaranukul, and Somchai Jitapankul  
 Digital Signal Processing Research Laboratory, Department of Electrical Engineering,  
 Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand 10330  
 Phone (66-2) 2186503, E-mail: jsomchai@chula.ac.th

### Abstract

This paper proposes a Block Matching Algorithm (BMA) using hybrid technique and concept of adaptive search-center to set the right search to the right case, which is predicted to be. The proposed algorithm focuses on reducing computational complexity and maintaining estimation accuracy. Experimental results show that this algorithm removes amount of unnecessary computations while keeping peak signal-to noise ratio (PSNR).

**Keywords :** Video coding, Motion Estimation, Block Matching Algorithm, Hybrid, Adaptive

### 1. Introduction

Motion estimation is playing a significant role in digital video coding process. In particular, the block-based motion estimation has been widely used in various video-coding standards [1]. In the block-based motion estimation, each frame is partitioned into equal-sized  $N \times N$  pixel non-overlapped block and then Block Matching Algorithm (BMA) is adopted by the current frame to find the Motion Vector (MV) that gives minimum Block Distortion Measurement (BDM), Mean Absolute Error (MAE), from the reference frame. Of all the BMAs, Full Search Algorithm (FSA) produces the best match. Although it exhaustively matches all the possible candidates in the search window, where the motion vector with least MAE (Block Distortion Measurement) would be returned as the best match. For the Full Search Algorithm performs massive computations, it makes a difficulty to the real-time implementation. For this reason, various search algorithms have been proposed, including Three Step Search (TSS) [2], Logarithmic Search Algorithm (LGSA)[3], Center-Biased Orthogonal Search (CBOS)[4], Diamond Search [5], and Four Step Search (4SS)[6]. Most of these algorithms attempt to reduce computation cost by reducing the number of search points or varying the pattern. Each algorithm has different advantages: some algorithms are good for large motion but some algorithm are suitable for small motion. Hybrid concept, "Using the right algorithm to the right condition", is the good concept. The hybrid technique helps BMA use proper algorithm to the size of motion video sequence could be while the adaptive-center technique helps BMA approach to the minimum faster than normal algorithm does and decrease the probability that algorithm will be trapped in local minimum. This paper presents the hybrid adaptive search algorithm using adaptive search-center that combines the ideas of hybrid technique and search center adaptation together in order to reduce the number of search points and hold good estimation results. In this

paper, the basic assumptions, the proposed algorithm and experimental results are presented in section 2, 3, and 4 respectively.

### 2. Basic Assumptions

There are several assumptions of this algorithm.

#### 2.1 The utilization of Block Distortion Measurement at search center to decide motion and non-motion

From the UESA (Unimodal Error Surface Assumption), the BDM00 of non-motion case is almost always smaller than the BDM00 of small motion case if the Point (0,0) is mainly returned to be the minimum point. Consequently, the threshold value  $T_1$ , average of BDM00 of small motion block, is able to make decision between motion and non-motion. In the similar way, when the search center has changed to be other point. That is not (0,0), The threshold value  $T_2$ , average of BDMncen (Block Distortion Measurement at new center) of small motion block, is able to make the decision.

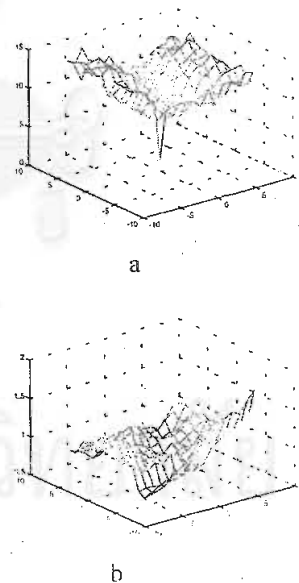


Fig. 1 (a) large difference value, (b) small difference value

#### 2.2 Many of local minimums

The large difference value between two search points, which are expected to be minimum point, helps to expect that the global minimum should be or be around the point that gives lower BDM with the assumption of UESA. See in fig. 1(a).



In the other hand, the small difference value between two search points, which are expected to be minimum point, can be considered that many minimum points, at least 2 points first determined, are here in this case. See in fig. 1(b).

**2.3 Center-biased characteristic**

Motion Vector statistical distribution is biased to the center of movement. The distribution is biased around origin (0,0) and another point in the small motion sequence and large motion sequence respectively.

**2.4 Motion Vector of the current block is very close to the MV of adjacent block**

**3. Proposed Algorithm**

**3.1 Search Process**

This algorithm employs two search algorithms, Center-Biased Orthogonal Search (CBOS) and Diamond Search, with adaptive search center decision. With the assumptions in section 2, the algorithm is described below.

Step 1 : Block Distortion Measurement with (0,0) is determined and then compared with threshold value T1. (0,0) will be returned to be Motion Vector if BDM00 is smaller than T1. If not go to step 2

Step 2 : Block Distortion Measurement with New Center (X,Y) is determined and then compared with threshold value T2. (X,Y) will be returned to be Motion Vector if BDMncen is smaller than T2. If not go to step 3

Step 3 : BDM00 and BDMncen are considered. The search point that gives lower Distortion Value is set to be search center for this block. Then go to Step 4.

Step 4 : The absolute value of Difference between BDM00 and BDMncen is calculated. If it's smaller than fixed threshold value, R, the search algorithm for large motion (Diamond Search) will activate. Otherwise, the search algorithm for small motion (CBOS) will activate. These two cases are working with search center decided in step 3.

Step 5 : T1, T2 and New center are adapted to work in next block.

**3.2 The T1, T2 and new center adaptations**

T1 is the average value of BDM00 of the block that is classified to be small motion block with search center (0,0). Initially T1 is set at 3.61[7].

T2 is the average value of BDMncen of the block that is classified to be small motion block with new center. Initially T2 is set at 3.61[7].

New center is the motion vector of the adjacent block ( previous block ). Initially, new center is set to be (0,0)

**4. Experimental Results**

Three QCIF ( Quarter Common Immediate Format : 176 x 144 ) sequences, Claire, Foreman, and Salesman, are simulated to evaluate in 8x8 block, 8 bits luminance components, for first 40 frames of each sequences. Fig. 2 (a), (b), and (c) are the PSNR evaluations of four BMAs. Table 1 are the average PSNR

of each algorithms. Claire is the candidate of small movement while Salesman and Foreman are of complex and slow movement and large panning movement respectively. For Claire sequences, the PSNR are approximately the same. For Salesman sequences, the PSNR of CBOSA is the lowest value while the PSNR of HAASC keep close to Diamond and FSS. For Foreman sequences, the PSNR of CBOSA is worse than for salesman because of larger movement while the PSNR of HAASC are much better than of CBOSA. Although the PSNR of HAASC are much close to those of FSS and Diamond, they can hold the difference of PSNR to these two algorithms. Table 2 shows the average Search Points used in each algorithms. For Claire sequences, HAASC consumes computational complexity approximately 0.6% of that of FS, 10% of that of CBOS and Diamond. For Salseman sequences, HAASC consumes computational complexity approximately 0.6% of that of FS, 10% of that of CBOS and Diamond. For Foreman sequences, HAASC consumes computational complexity approximately 3% of that of FS, 40% of that of CBOS and Diamond.

Table 1 Average PSNR

avgPSNR	Claire	Salesman	Foreman
FSS	99.76854	92.02559	75.16301
CBOSA	99.61429	90.64717	68.20013
DIA	99.69748	91.8136	74.29411
HAASC	99.47462	91.47571	72.99175

Table 2 Average Search Points

avgSearchPoint	Claire	Salesman	Foreman
FSS	89100	89100	89100
CBOSA	5148	5148	5148
DIA	4778.692	4775.128	5340.692
HAASC	511.5897	615.3846	2010.795

**5. Conclusions**

The HAASC algorithm uses the hybrid and change search center technique to reduce the computational complexity while maintain the accuracy. This hybrid technique combines CBOS (Center-biased Orthogonal Search) and Diamond search and uses the motion vector of previous block as new center of current block. Experimental results show that HAASC algorithm has small number of search points compared to others. This algorithm can code much faster than FSS and typical BMA. The applications for which this algorithm is suitable is the applications that requires the speed of coding and can accept a small accuracy droppings such as low bit rate video coding and MPEG4, which can use this

Marbella, Spain

algorithm with object-oriented technique for very low bit rate video coding.

#### 6. Acknowledgment

The authors would like to acknowledge Digital Signal Processing Research Laboratory (DSPRL).

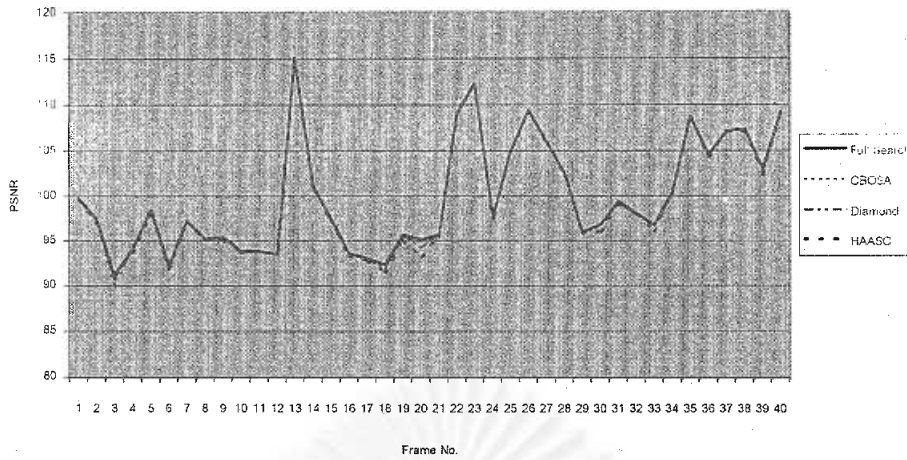
#### 7. REFERENCES

- [1] Borko Furht, Joshua Greenberg, and Raymond Westwater. "Motion Estimation Algorithms for Video Compression". Kluwer Academic Publishers, 1997. Chapter 2
- [2] J.Koga, K. Iinuma, A. Harani, Y. Iijima, and T. Ishiguro. "Motion Compensated Interframe Image Coding". IEEE Transactions on Communications, Vol.29, No.12, December 1981, pp.1799-1808
- [3] J.Jain and A.Jain. "Displacement Measurement and its Application in Interframe Coding for Video Conferencing", Proceedings of the National Telecommunications Conference, 1981, pp. G5.3.1-5.3.5
- [4] Lai-Man Po and Chok-Kwan Cheung, "A New-Center-Biased orthogonal Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation", IEEE TENCON Digital Signal Processing Applications, 1996, pp. 874-877
- [5] S.Zhu, K.Ma, "A New Diamond Search Algorithm for Fast Block Matching Motion Estimation", IEEE conference ICICS'97, September 1997, pp.292-296
- [6] L.M Po and A.K Jain, "A Novel four step search algorithm for fast block motion estimation", IEEE Transactions on Circuit, System, and video Technology, Vol.6, June 1996, pp.313-317
- [7] C.K Cheung and L.M. Po, "A Hybrid Adaptive Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation", ISSPA'96, August 1996, pp 365-368

สถาบันวิทยบริการ

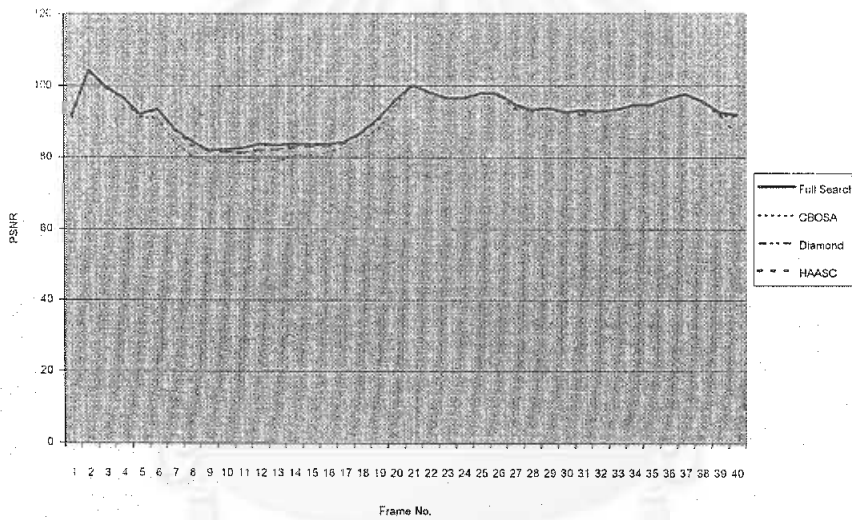
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Marbella, Spain



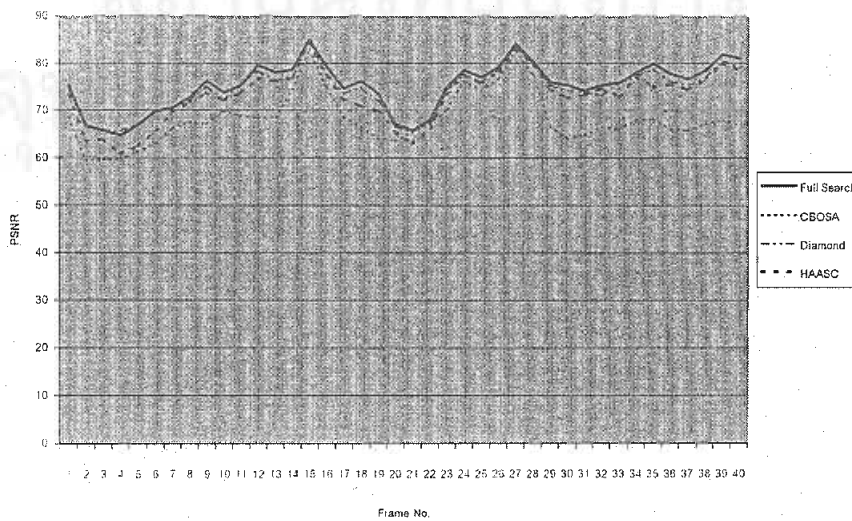
(a) Claire

PSNR of salesman



(b) Salesman

PSNR of foreman



(c) Foreman

Fig. 2 The PSNR comparisons (a) Claire, (b) Salesman, (c) Foreman

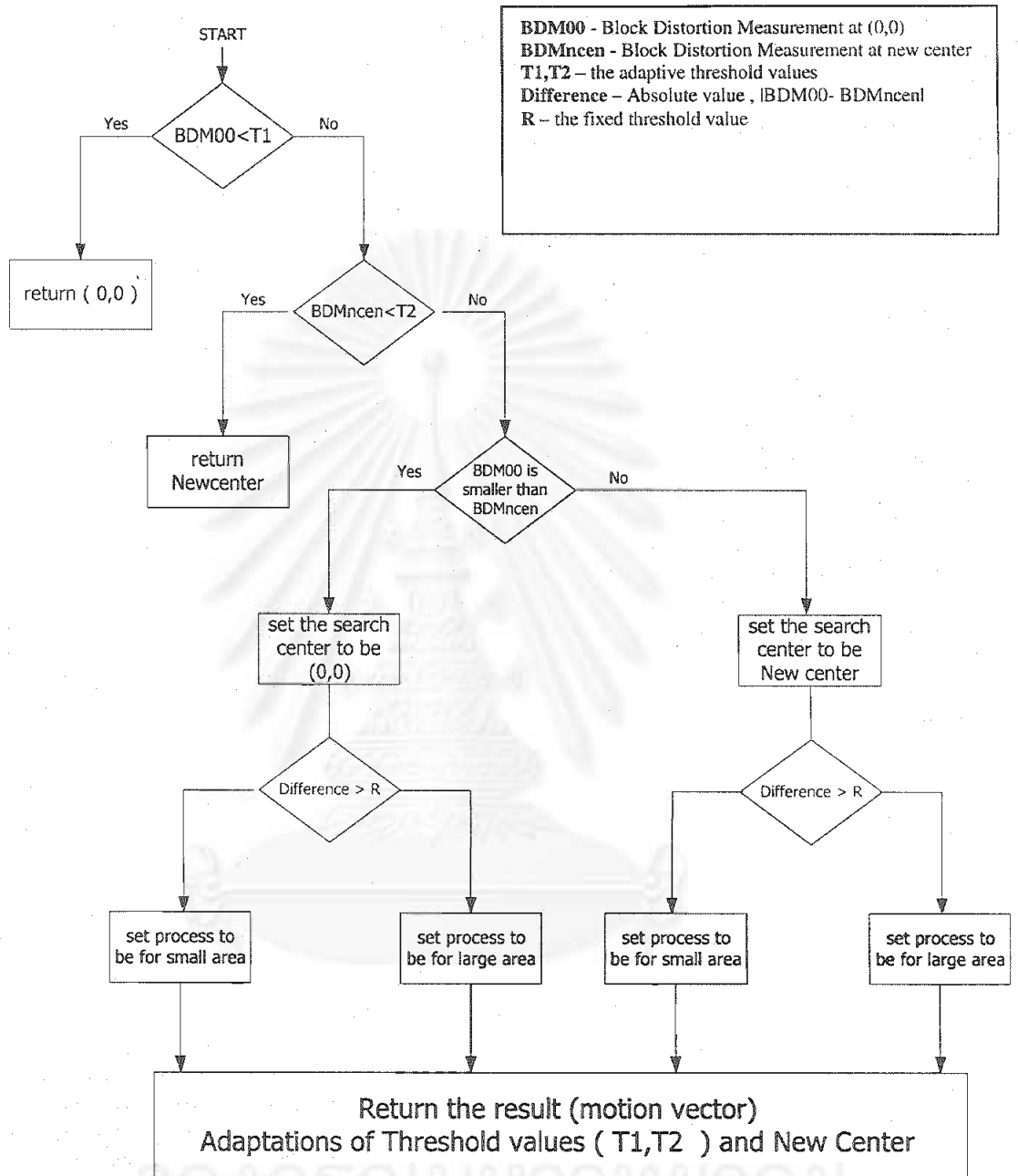


Fig. 2 Block Diagram of HAASC (Hybrid Adaptive block matching algorithm using Adaptive Search Center)

## Fast Block Motion Estimation Using Hybrid Adaptive Search Center

Panachit Kittipanya-ngam, Datchakorn Tancharoen, Narin Siritaranukul, and Somchai Jitapankul  
Digital Signal Processing Research Laboratory, Department of Electrical Engineering,  
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand 10330  
Phone (66-2) 2186503, E-mail: jsomchai@chula.ac.th

### Abstract

This paper proposes a Block Matching Algorithm (BMA) using hybrid technique and concept of adaptive search-center to set the right search to the right case, which is predicted to be . The proposed algorithm focuses on reducing computational complexity and maintaining estimation accuracy. Experimental results show that this algorithm removes amount of unnecessary computations while keeping peak signal-to-noise ratio (PSNR).

**Keywords :** Video coding, Motion Estimation, Block Matching Algorithm, Hybrid, Adaptive

### 1. Introduction

Motion estimation is playing a significant role in digital video coding process. In particular, the block-based motion estimation has been widely used in various video-coding standards [1]. In the block-based motion estimation, each frame is partitioned into equal-sized  $N \times N$  pixel non-overlapped block and then Block Matching Algorithm (BMA) is adopted by the current frame to find the Motion Vector (MV) that gives minimum Block Distortion Measurement (BDM), Mean Absolute Error (MAE), from the reference frame. Of all the BMAs, Full Search Algorithm (FSA) produces the best match. Although it exhaustively matches all the possible candidates in the search window, where the motion vector with least MAE (Block Distortion Measurement) would be returned as the best match. For the Full Search Algorithm performs massive computations, it makes a difficulty to the real-time implementation. For this reason, various search algorithms have been proposed, including Three Step Search (TSS)[2], Logarithmic Search Algorithm (LGSA)[3], Center-Biased Orthogonal Search (CBOS)[4], Diamond Search[5], and Four Step Search (4SS)[6]. Most of these algorithms attempt to reduce computation cost by reducing the number of search points or varying the pattern. Each algorithm has different advantages : some algorithms are good for large motion but some algorithm are suitable for small motion. Hybrid concept, "Using the right algorithm to the right condition", is the good concept. The hybrid technique helps BMA use proper algorithm to the size of motion video sequence could be while the adaptive-center technique helps BMA approach to the minimum faster than normal algorithm does and decrease the probability that algorithm will be trapped in local minimum. This paper presents the hybrid adaptive search algorithm using adaptive search-center that combines the ideas of

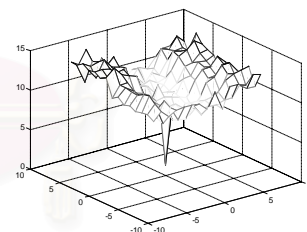
hybrid technique and search center adaptation together in order to reduce the number of search points and hold good estimation results. In this paper, the basic assumptions, the proposed algorithm and experimental results are presented in section 2, 3, and 4 respectively.

### 2. Basic Assumptions

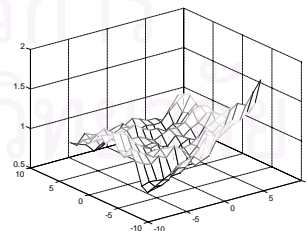
There are several assumptions of this algorithm.

#### 2.1 The utilization of Block Distortion Measurement at search center to decide motion and non-motion

From the UESA (Unimodal Error Surface Assumption), the BDM00 of non-motion case is almost always smaller than the BDM00 of small motion case if the Point (0,0) is mainly returned to be the minimum point. Consequently, the threshold value  $T1$ , average of BDM00 of small motion block, is able to make decision between motion and non-motion. In the similar way, when the search center has changed to be other point. That is not (0,0), The threshold value  $T2$ , average of BDMncen (Block Distortion Measurement at new center) of small motion block, is able to make the decision.



a



b

**Fig. 1 (a) large difference value, (b) small**

#### 2.2 Many of local minimums

The large difference value between two search points, which are expected to be minimum point, helps to expect that the global minimum should be or be



around the point that gives lower BDM with the assumption of UESA. See in fig. 1(a).

In the other hand, the small difference value between two search points, which are expected to be minimum point, can be considered that many minimum points, at least 2 points first determined, are here in this case. See in fig. 1(b).

### 2.3 Center-biased characteristic

Motion Vector statistical distribution is biased to the center of movement. The distribution is biased around origin (0,0) and another point in the small motion sequence and large motion sequence respectively.

### 2.4 Motion Vector of the current block is very close to the MV of adjacent block

## 3. Proposed Algorithm

### 3.1 Search Process

This algorithm employs two search algorithms, Center-Biased Orthogonal Search (CBOS) and Diamond Search, with adaptive search center decision. With the assumptions in section 2, the algorithm is described below.

Step 1 : Block Distortion Measurement with (0,0) is determined and then compared with threshold value T1. (0,0) will be returned to be Motion Vector if BDM00 is smaller than T1. If not go to step 2

Step 2 : Block Distortion Measurement with New Center(X,Y) is determined and then compared with threshold value T2. (X,Y) will be returned to be Motion Vector if BDMncn is smaller than T2. If not go to step 3

Step 3 : BDM00 and BDMncn are considered. The search point that gives lower Distortion Value is set to be search center for this block. Then go to Step 4.

Step 4 : The absolute value of Difference between BDM00 and BDMncn is calculated. If it's smaller than fixed threshold value , R, the search algorithm for large motion (Diamond Search) will activate. Otherwise, the search algorithm for small motion (CBOS) will activate. These two cases are working with search center decided in step 3.

Step 5 : T1, T2 and New center are adapted to work in next block.

### 3.2 The T1, T2 and new center adaptations

T1 is the average value of BDM00 of the block that is classified to be small motion block with search center (0,0). Initially T1 is set at 3.61[7].

T2 is the average value of BDMncn of the block that is classified to be small motion block with new center . Initially T2 is set at 3.61[7].

New center is the motion vector of the adjacent block ( previous block ). Initially, new center is set to be (0,0)

## 4. Experimental Results

Three QCIF ( Quarter Common Immediate Format : 176 x 144 ) sequences, Claire, Foreman, and Salesman, are simulated to evaluate in 8x8 block, 8 bits luminance components, for first 40 frames of each sequences. Fig. 2 (a), (b), and (c) are the PSNR evaluations of four BMAs. Table 1 are the average PSNR of each algorithms. Claire is the candidate of small movement while Salesman and Foreman are of complex and slow movement and large panning movement respectively. For Claire sequences, the PSNR are approximately the same. For Salesman sequences, the PSNR of CBOSA is the lowest value while the PSNR of HAASC keep close to Diamond and FSS. For Foreman sequences, the PSNR of CBOSA is worse than for salesman because of larger movement while the PSNR of HAASC are much better than of CBOSA. Although the PSNR of HAASC are much close to those of FSS and Diamond, they can hold the difference of PSNR to these two algorithms. Table 2 shows the average Search Points used in each algorithms. For Claire sequences, HAASC consumes computational complexity approximately 0.6% of that of FS, 10% of that of CBOS and Diamond. For Salseman sequences, HAASC consumes computational complexity approximately 0.6% of that of FS, 10% of that of CBOS and Diamond. For Foreman sequences, HAASC consumes computational complexity approximately 3% of that of FS, 40% of that of CBOS and Diamond.

**Table 1 Average PSNR**

avgPSNR	Claire	Salesman	Foreman
FSS	99.76854	92.02559	75.16301
CBOSA	99.61429	90.64717	68.20013
DIA	99.69748	91.8136	74.29411
HAASC	99.47462	91.47571	72.99 <sub>175</sub>

**Table 2 Average Search Points**

avgSearchPoint	Claire	Salesman	Foreman
FSS	89100	89100	89100
CBOSA	5148	5148	5148
DIA	4778.692	4775.128	5340.692
HAASC	511.5897	615.3846	2010.795

## 5. Conclusions

The HAASC algorithm uses the hybrid and change search center technique to reduce the computational complexity while maintain the accuracy. This hybrid technique combines CBOS (Center-biased Orthogonal Search) and Diamond search and uses the motion vector of previous block as new center of current block. Experimental results show that HAASC algorithm has small number of search points compared to others.



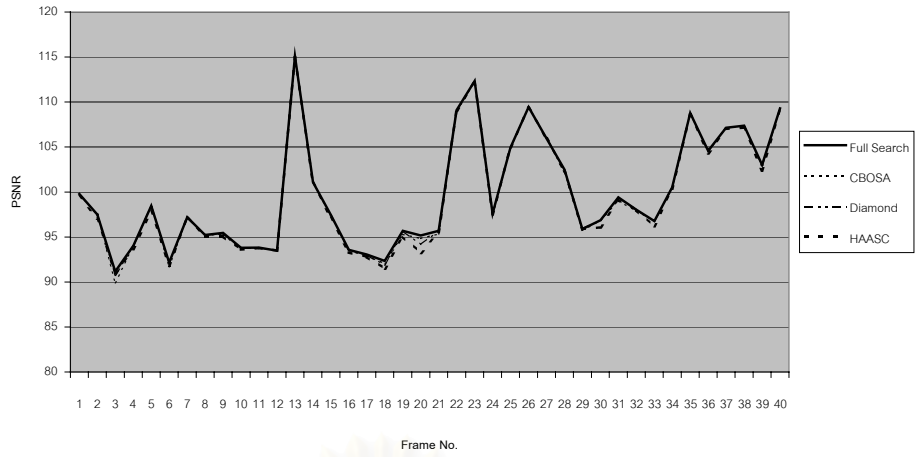
This algorithm can code much faster than FSS and typical BMA. The applications for which this algorithm is suitable is the applications that requires the speed of coding and can accept a small accuracy droppings such as low bit rate video coding and MPEG4, which can use this algorithm with object-oriented technique for very low bit rate video coding.

#### 6.Acknowledgment

The authors would like to acknowledge Digital Signal Processing Research Laboratory (DSPRL).

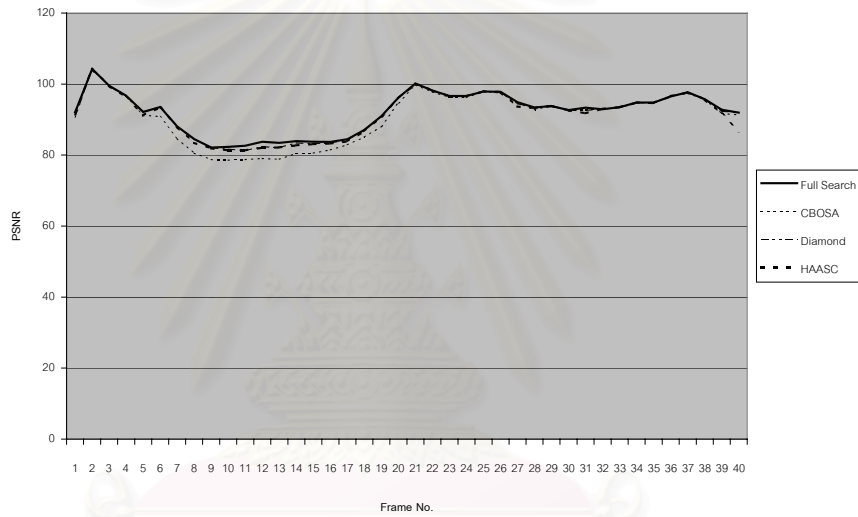
#### 7. REFERENCES

- [1] Borko Furht, Joshua Greenberg, and Raymond Westwater, "Motion Estimation Algorithms for Video Compression", Kluwer Academic Publishers 1997. Chapter 2
- [2] J.Koga, K. Iiunuma, A. Harani, Y. Iijima, and T ishiguro, "Motion Compensated Interframe Image Coding", IEEE Transactions on Communications, Vol.29, No.12, December 1981, pp.1799-1808
- [3] J.Jain and A.Jain, "Displacement Measurement and its Application in Interframe Coding for Video Conferencing", Proceedings of the National Telecommunications Conference, 1981, pp. G5.3.1-5.3.5
- [4] Lai-Man Po and Chok-Kwan Cheung, "A New Center-Biased orthogonal Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation" ,IEEE TENCON Digital Signal Processing Applications, 1996, pp. 874-877
- [5] S.Zhu, K.Ma, "A New Diamond Search Algorithm for Fast Block Matching Motion Estimation", IEEE conference ICICS'97, September 1997, pp.292-296
- [6] L.M Po and A.K Jain , "A Novel four step search algorithm for fast block motion estimation", IEEE Transactions on Circuit, System, and video Technology, Vol.6, June 1996, pp.313-317
- [7] C.K Cheung and L.M. Po, "A Hybrid Adaptive Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation", ISSPA'96 , August 1996, pp 365-368



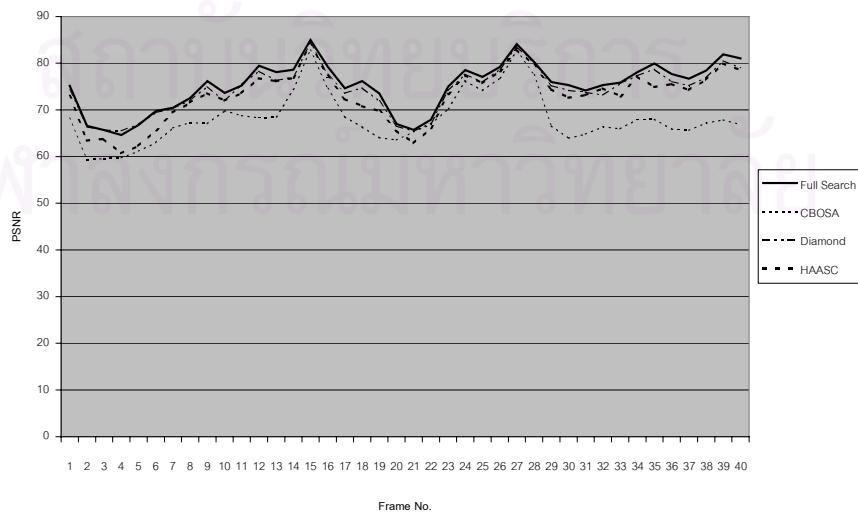
(a) Claire

PSNR of salesman



(b) Salesman

PSNR of foreman



(c) Foreman

Fig. 2 The PSNR comparisons (a) Claire, (b) Salesman, (c) Foreman

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพนชิต กิตติปัญญางาม เกิดวันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้าการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2537 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย