

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

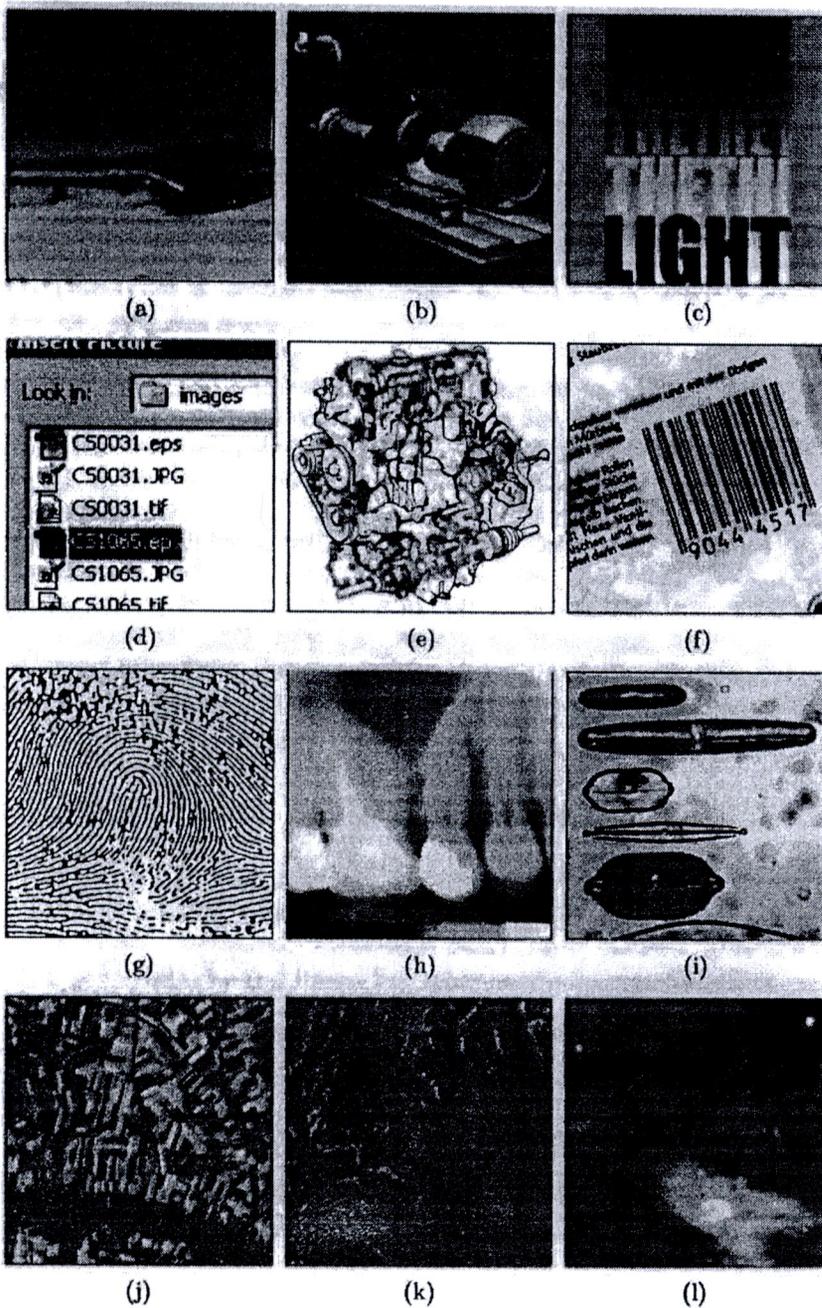
เนื้อหาในส่วนนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย และผลงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง โดยทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย การพิจารณาการชดเชยค่าความสว่างโดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy set) และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงสัมพรรค โดยใช้เทคนิคการแปลงภาพให้อยู่ในระบบพิกัดแบบเชิงขั้ว (Polar coordinate) และการพิจารณาความคล้ายของภาพโดยใช้เทคนิคความสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation)

#### 1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 1.1 พื้นฐานการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing)

##### 1.1.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล

เมื่อรูปภาพถูกกำหนดให้แสดงผลในรูปแบบของฟังก์ชัน 2 มิติ คือ  $f(x, y)$  แล้ว ค่า  $x$  และ  $y$  คือตำแหน่งบนระบบพิกัดแบบ 2 มิติ ค่าของ  $f(x, y)$  จะหมายถึงระดับความเข้มของค่าสีเทา ในตำแหน่งจุด  $x$  และ  $y$  และระดับของค่าสีนี้ก็มิชอบเขตด้วย การประมวลผลภาพดิจิทัลจึงหมายถึงการประมวลผลค่าที่เป็นสมาชิกของภาพ หรือที่เรียกว่า พิกเซล ด้วยการอ้างอิงผ่านตำแหน่ง  $x$  และ  $y$  โดยปกติแล้วจะทำการประมวลผลภาพในระบบภาพเพียงสีเดียว หรือ ภาพระดับเทา (Monochrome image) ส่วนภาพสีนั้นก็ใช้เทคนิคที่มีความคล้ายกัน เพียงแต่ต้องเพิ่มจำนวนการประมวลเพิ่มเป็น 3 องค์ประกอบ คือ RGB (Red, Green, Blue) [6] ดังตัวอย่างภาพประกอบที่ 2 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัล

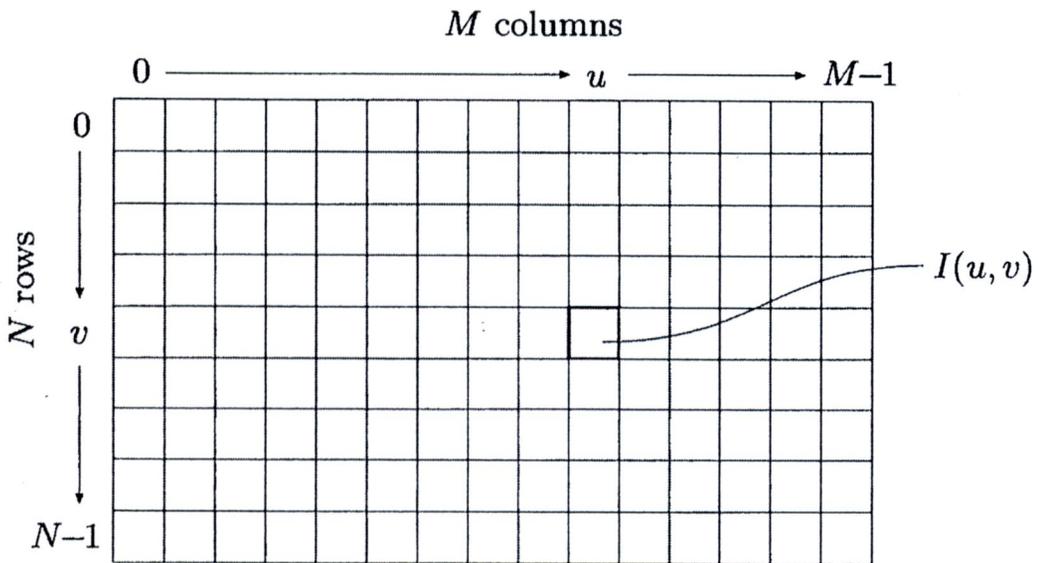


ภาพที่ 2 ตัวอย่างภาพดิจิทัลแบบต่างๆ (a) ภาพทิวทัศน์ทั่วไป (b) ภาพกระบวนการสร้างพลังงาน (c) ภาพกราฟิกแบบโปสเตอร์ (d) ภาพบันทึกจากคอมพิวเตอร์ (e) ภาพชาวตำ (f) ภาพบาร์โค้ด (g) ภาพลายนิ้วมือ (h) ภาพ x-ray (i) ภาพไมโครสไลด์ (j) ภาพถ่ายทางดาวเทียม (k) ภาพถ่ายเรดาร์ หรือ ภาพที่ได้จากคืนวิทยุสะท้อนกลับ (l) ภาพถ่ายท้องฟ้าเกี่ยวกับดาราศาสตร์ [6]

### 1.1.2 การอ้างอิงขนาดและความละเอียด

รูปภาพดิจิทัลโดยทั่วไปจะถูกมองการแสดงผลออกมาในรูปภาพที่มีรูปทรงเป็นลักษณะกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งเราสามารถสรุปขนาดของภาพโดยพิจารณา ความกว้างเป็น  $M$  (จำนวนของคอลัมน์) และความสูง  $N$  (จำนวนของแถว) สำหรับภาพ  $I$  [7]

ส่วนความละเอียดของภาพมักจะหมายถึงจำนวนพิกเซลที่อยู่ในรูปภาพแสดงได้ดัง ภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การอ้างอิงขนาดและตำแหน่งจุดภาพ [7]

### 1.1.3 ค่าพิกเซลและตัวอย่างของภาพดิจิทัล

ค่าของพิกเซลจะขึ้นอยู่กับชนิดของภาพที่จะเลือกมาใช้งาน โดยค่าพิกเซลจะแสดงความละเอียดในรูปแบบของเลขฐานสองที่มีความยาว  $k$  (Bits/Pix) ช่วงของค่าพิกเซลจะอยู่ในช่วงที่ไม่เกิน  $2^k$  [7]

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความละเอียดของภาพระดับเทา [7]

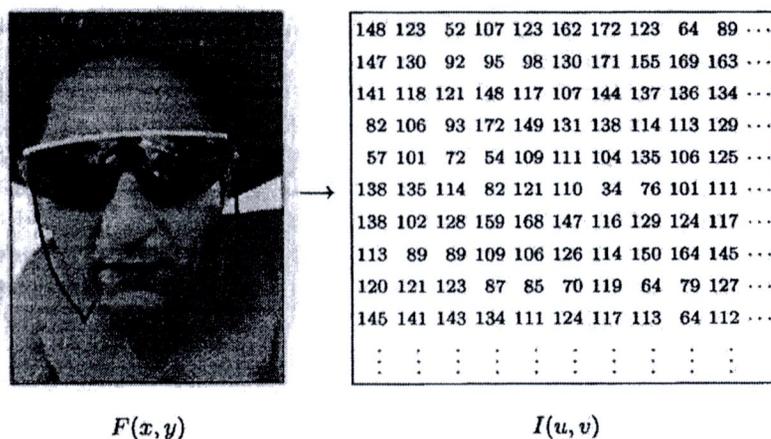
Chanel	Bits/Pix	Range	Use
1	1	0. ..1	Binary image: document, illustration, fax
1	8	0.. .255	Universal: photo, scan, print
1	12	0.. .4095	High quality: photo, scan, print
1	14	0...16383	Professional: photo, scan, print
1	16	0.. .65535	Highest quality: medicine, astronomy

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความละเอียดของภาพระดับสี [7]

Chanel	Bits/Pix	Range	Use
3	24	$[0.. .255]^3$	RGB, universal: photo, scan, print
3	36	$[0.. .4095]^3$	RGB, high quality: photo, scan, print
3	42	$[0.. ..16383]^3$	RGB, professional: photo, scan, print
4	32	$[0.. .255]^4$	CMYK, digital prepress

ตารางที่ 3 ตารางแสดงความละเอียดของภาพแบบพิเศษ [7]

Chanel	Bits/Pix	Range	Use
1	16	-32768...32767	Whole numbers pos./neg., increased range
1	32	$\pm 3.4 \cdot 10^{38}$	Floating point: medicine, astronomy
1	64	$\pm 1.8 \cdot 10^{308}$	Floating point: internal processing

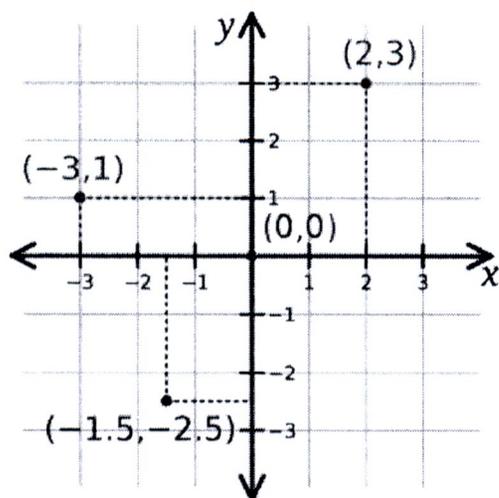


ภาพที่ 4 เปรียบเทียบค่าของภาพที่มองเห็นปกติ กับ ค่าที่ใช้คำนวณในระบบคอมพิวเตอร์ [7]

## 1.2 ระบบพิกัด (Coordinate system)

### 1.2.1 ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate system)

เป็นระบบที่ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดแต่ละจุดบนระนาบโดยอ้างอิงถึงตัวเลข 2 จำนวน ซึ่งแต่ละจำนวนเรียกว่า พิกัด X และ พิกัด Y ของจุดนั้น และเพื่อที่จะกำหนดพิกัดของจุดจะต้องมีเส้นแกนสองเส้นตัดกันเป็นมุมฉากที่จุดกำเนิด ได้แก่ แกน X และ แกน Y ซึ่งเส้นแกนดังกล่าวจะมีหน่วยบ่งบอกความยาวเป็นระยะ ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ยังสามารถใช้ได้ในปริภูมิสามมิติ (ซึ่งจะมี แกน Z และ พิกัด Z เพิ่มเข้ามา) หรือในมิติที่สูงกว่าอีกด้วย [8, 9]

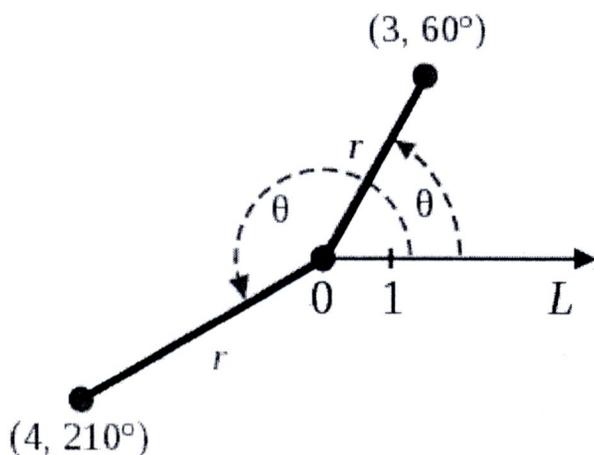


ภาพที่ 5 ตัวอย่างจุดบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่ประกอบด้วย จุด  $(2,3)$  , จุด  $(-3,1)$  , จุด  $(-1.5,-2.5)$  , และจุด  $(0,0)$  ซึ่งเป็นจุดกำเนิด [9]

### 1.2.2 ระบบเชิงขั้ว (Polar coordinate)

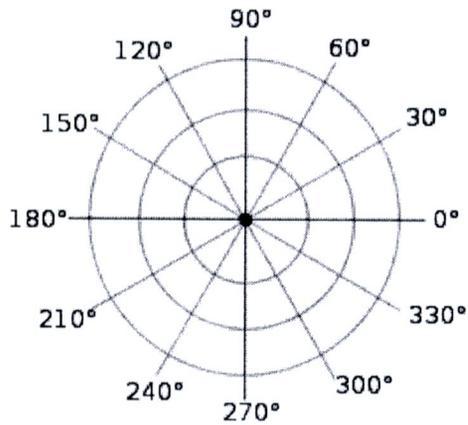
คือระบบค่าพิกัดสองมิติในแต่ละจุดบนระนาบถูกกำหนดโดยระยะทางจากจุดตรึงและมุมจากทิศทางตรง [8, 10]

จุดตรึง (เหมือนจุดกำเนิดของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน) เรียกว่าขั้ว และลากรังสีจากขั้วเข้ากับทิศทางตรงคือแกนเชิงขั้ว ระยะทางจากขั้วเรียกว่าพิกัดรัศมีหรือรัศมี และมุมคือพิกัดมุม หรือ มุมเชิงขั้ว



ภาพที่ 6 จุดในระบบพิกัดเชิงขั้วกับขั้ว  $O$  และแกนเชิงขั้ว  $L$  ในเส้นชี้ขึ้นด้านบน จุดกับพิกัดรัศมีเป็น 3 พิกัดมุม 60 องศาหรือ  $(3, 60^\circ)$  ในเส้นชี้ลงด้านล่าง จุด  $(4, 210^\circ)$  [10]

ความพิเศษของพิกัดเชิงขั้ว ทุกตัวเลขของการหมุนครบรอบ ( $360^\circ$ ) พิกัดมุมจะไม่เปลี่ยนทิศทาง และพิกัดรัศมีลบแสดงถึงระยะทางซึ่งได้จากการวัดเหมือนพิกัดรัศมีบวกแต่มีทิศทางตรงข้าม ดังนั้นในจุดเดียวกันสามารถแสดงด้วยตัวเลขไม่สิ้นสุดที่มีพิกัดเชิงขั้วต่างกัน  $(r, \theta \pm n \times 360^\circ)$  หรือ  $(-r, \theta \pm (2n + 1) 180^\circ)$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนเต็มใด ๆ ยิ่งไปกว่านั้น ขั้วเองสามารถแสดงแทนด้วย  $(0, \theta)$  สำหรับมุม  $\theta$  ใดๆ เมื่อต้องการแสดงแทนจุดใดๆ ปกติใช้  $r$  เป็นจำนวนไม่เป็นลบ ( $r \geq 0$ ) และ  $\theta$  ในช่วง  $[0, 360^\circ)$  หรือ  $(-180^\circ, 180^\circ]$  (มุมในหน่วยเรเดียน,  $[0, 2\pi)$  หรือ  $(-\pi, \pi]$ )



ภาพที่ 7 เส้นกริดรัศมีและแถบบอกมุมในแต่ละองศา [10]

### 1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียนกับพิกัดเชิงขั้ว

ค่าของพิกัดเชิงขั้ว  $r$  และ  $\theta$  สามารถแปลงเป็นพิกัดคาร์ทีเซียน  $x$  and  $y$  โดยใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติไซน์และโคไซน์ [8, 10]

$$x = r \cos \theta \quad (1)$$

$$y = r \sin \theta \quad (2)$$

ขณะที่ค่าของพิกัดคาร์ทีเซียน  $x$  และ  $y$  ก็สามารถแปลงเป็นพิกัดเชิงขั้วโดยค่า  $r$  สามารถแสดงได้โดย

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

และค่า  $\theta$  แสดงได้ดังสมการด้านล่าง

$$\theta = \begin{cases} 0 & \text{if } x=0 \text{ and } y=0 \\ \arcsin\left(\frac{y}{r}\right) & \text{if } x \geq 0 \\ -\arcsin\left(\frac{y}{r}\right) + \pi & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

โดยสมมุติว่าทุกสูตรเหล่านี้ มีขั้วคือจุดกำเนิดคาร์ทีเซียน  $(0,0)$  แกนเชิง  
 ขั้วคือแกนคาร์ทีเซียน  $x$  และทิศทางของแกนคาร์ทีเซียน  $y$  มีแอมิท์  $+\pi/2$  rad =  $+90^\circ$  (แทนที่  
 $-\pi/2$ ) ฟังก์ชันอาร์คไซน์คือส่วนกลับของฟังก์ชันไซน์ซึ่งสมมุติแทนที่ด้วยมุมในพิสัย  
 $[-\pi/2, +\pi/2] = [-90^\circ, +90^\circ]$

สูตรสำหรับ  $\theta$  นอกเหนือจากการแทนที่ด้วยมุมในพิสัย  $[-\pi/2, +3\pi/2]$   
 $= [-90^\circ, +270^\circ]$

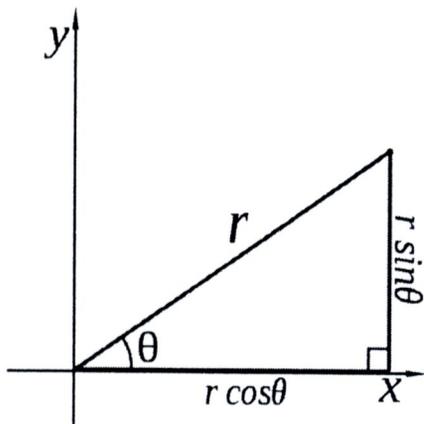
ค่า  $\theta$  ในช่วง  $[0, 2\pi)$  อาจใช้ตามสมการที่ (5)

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{if } x > 0 \text{ and } y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + 2\pi & \text{if } x > 0 \text{ and } y < 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & \text{if } x < 0 \\ \frac{\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y > 0 \\ \frac{3\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y < 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \text{ and } y = 0 \end{cases} \quad (5)$$

ฟังก์ชันอาร์คแทนเป็นส่วนกลับของฟังก์ชันแทนเจนต์ซึ่งสมมุติแทนที่ด้วย  
 มุมในพิสัย  $(-\pi/2, +\pi/2) = (-90^\circ, +90^\circ)$

ค่า  $\theta$  ในช่วง  $(-\pi, \pi]$  อาจใช้ตามสมการที่ (6)

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{if } x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & \text{if } x < 0 \text{ and } y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & \text{if } x < 0 \text{ and } y < 0 \\ \frac{\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y > 0 \\ -\frac{\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y < 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \text{ and } y = 0 \end{cases} \quad (6)$$



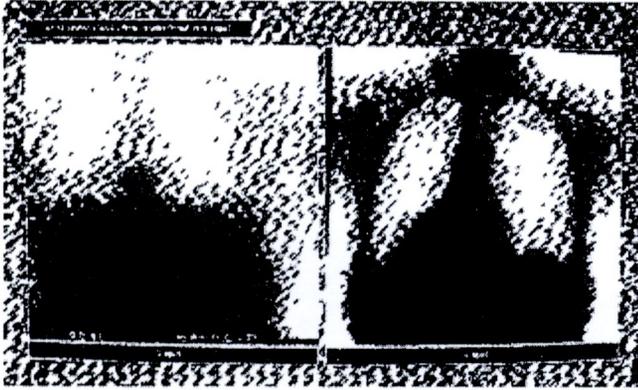
ภาพที่ 8 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันไซน์และฟังก์ชันโคไซน์ [10]

### 1.3 เทคนิคจดจำภาพ (Image registration in theory) [2]

#### 1.3.1 แนะนำ (Introduction)

ปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยกับภาพ เช่น ความแตกต่างของเวลา ความแตกต่างของอุปกรณ์ หรือความแตกต่างทางด้านมุมมอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปรียบเทียบรูปภาพ เช่นการค้นหาภาพต้นแบบ หรือภาพที่มีแม่แบบคล้าย ๆ กัน ผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบขึ้นอยู่กับความหลากหลายของชนิดรูปภาพด้วย สำหรับการลงทะเบียนภาพสามารถใช้เทคนิคร่วมกันโดยพิจารณาจาก ตัวเลือกดังนี้ (1) A feature space เป็นการสกัดข้อมูลออกจากภาพเพื่อใช้ในการพิจารณาจับคู่ (2) a search space เป็นส่วนของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของภาพ (3) a search strategy เป็นเทคนิคการพิจารณาตัวเลือกผลการค้นหา (4) a similarity metric พิจารณาข้อดีของความสัมพันธ์ของแต่ละวิธีที่ทดสอบ ยกตัวอย่าง การถ่ายภาพ x-ray ของหน้าอกของผู้ป่วยเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างเวลา ดังภาพที่ 9 โดยตำแหน่งของภาพที่ถ่ายอยู่ในตำแหน่งเดิมของการถ่ายทั้งสองครั้ง วิธีการพื้นฐานของการเทียบภาพก็คือแปลงภาพเป็นภาพขาวดำ (Binary images) ด้วยเทคนิคการหาขอบเพื่อลดข้อมูลที่จะพิจารณาให้น้อยลงแล้วทำการเปรียบเทียบและวัดความแตกต่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์อาการของโรคที่เกิดจากภาพได้

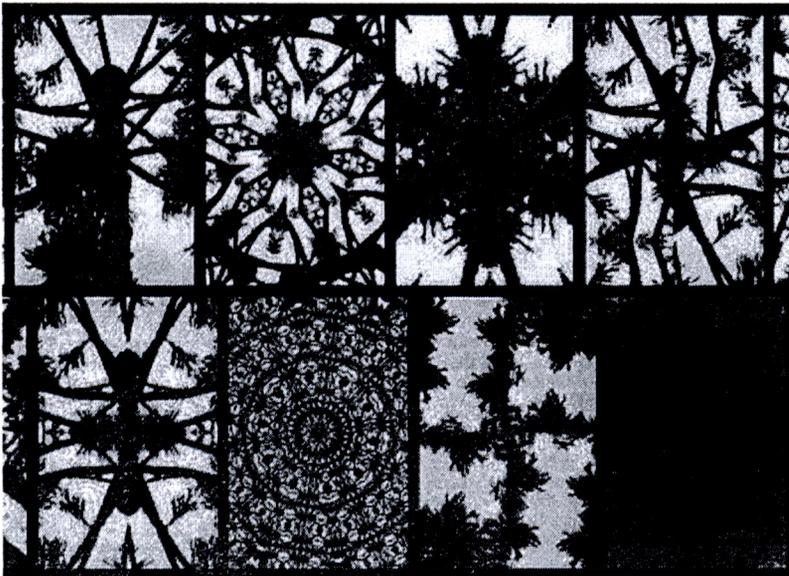




ภาพที่ 9 ภาพ X-ray ของผู้ป่วยที่ได้จากช่วงเวลาแตกต่างกัน ภาพซ้ายกับภาพขวาเป็นภาพจากผู้ป่วยคนเดียวกัน แต่ถ่ายคนละเวลา [2]

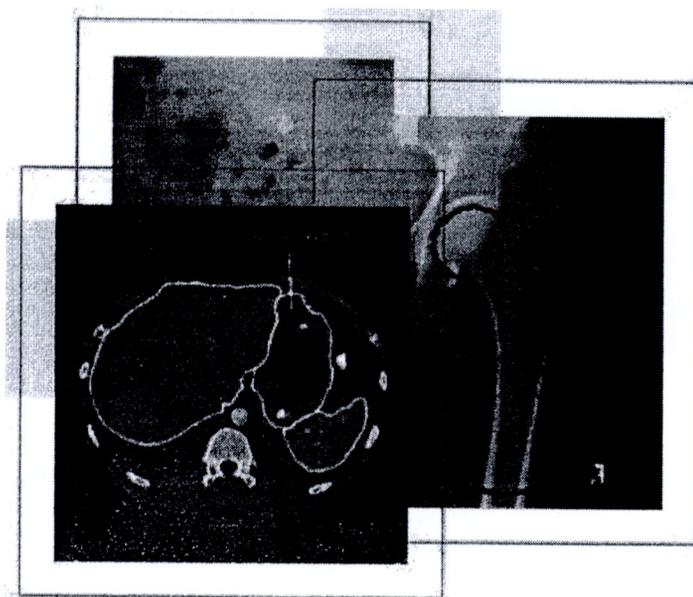
หัวข้อสำหรับการทำวิจัยในขอบเขตงานทางด้าน Image registration ประกอบด้วย 3 หัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

1.3.1.1 Computer vision และ Pattern Recognition สำหรับการแบ่งภาพ การรู้จำวัตถุ การจับวัตถุเคลื่อนไหว การจับคู่ภาพ การรู้จำลักษณะต่าง ๆ เป็นต้น



ภาพที่ 10 ภาพตัวอย่างสำหรับงานรู้จำแม่แบบ (Patterns) [11]

1.3.1.2 Medical image Analysis ประกอบด้วยการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ เช่น การตรวจหาเนื้องอก และการรักษา การจัดกลุ่มเซลล์เม็ดเลือด การวิเคราะห์ปากหมดลูก และโคโมโซม เป็นต้น

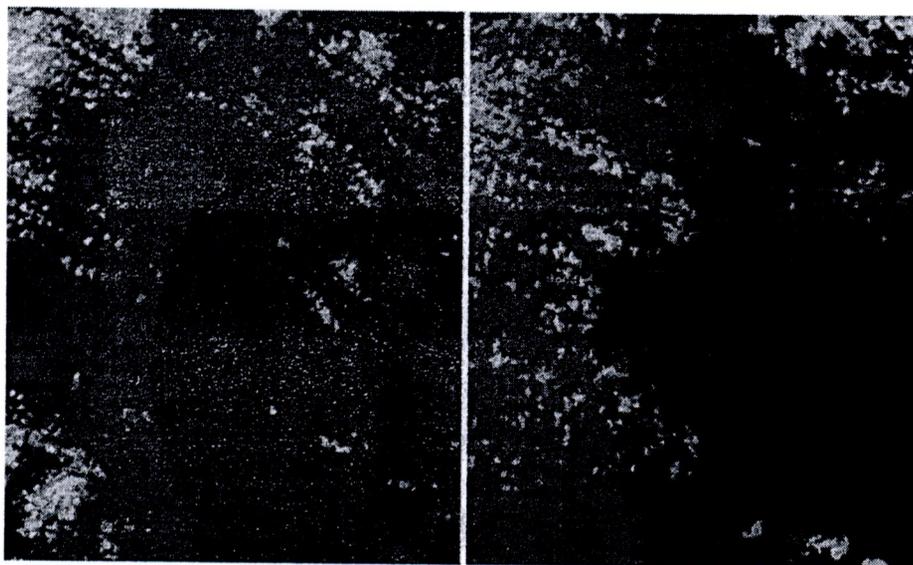


ภาพที่ 11 ตัวอย่างประกอบภาพ X-ray [12]

1.3.1.3 Remotely Sensed Data Processing สำหรับพลเรือน และทางทหารสำหรับการวิเคราะห์งานทางด้านภูมิศาสตร์ หรือธรณีวิทยา การเกษตร มหาสมุทรศาสตร์ การสำรวจน้ำมัน และแร่ธาตุ การศึกษามลภาวะในเมือง การป่าไม้ การจุดต่าง ๆ เป็นต้น จากภาพที่ 12 (ก) เป็นตัวอย่างภาพถ่ายทางดาวเทียมเพื่อการตรวจสอบทรัพยากรทางธรรมชาติ



(ก)

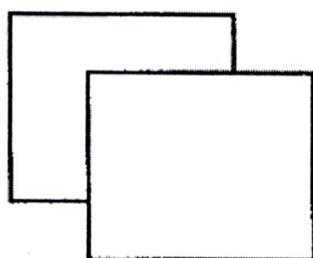


(ข)

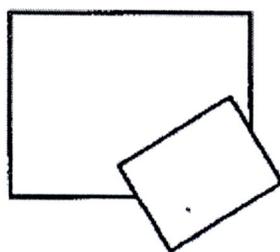
ภาพที่ 12 ภาพถ่ายภูมิศาสตร์ทางดาวเทียม [13]

และตัวอย่างภาพที่ 12 (ข) ตัวอย่างภาพถ่ายทางดาวเทียมที่ใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติในกรณีของการเกิดแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิที่ประเทศญี่ปุ่นจากภาพที่ 12 ด้านซ้าย คือภาพทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศญี่ปุ่นก่อนการเกิดแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิ และ ภาพที่ 12 ขวา เป็นภาพทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศญี่ปุ่นหลังเกิดแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิ บริเวณสีดำหรือสีน้ำเงินเข้มคือบริเวณของน้ำทะเล และส่วนที่เป็นสีเขียวคือบริเวณพื้นดินและเส้นขอบชายฝั่ง

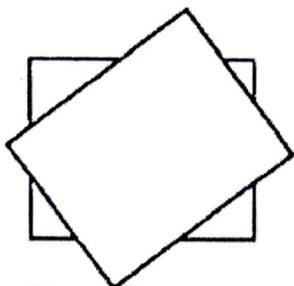
ปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงโครงร่างของภาพก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่มีความยุ่งยากในการทำ Image registration หากการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเล็กน้อยดังภาพที่ 13 บนซ้าย การ Translation เป็นการขยับเพียงเล็กน้อยของภาพ ด้วยปัญหานี้ก็จะสามารถใช้วิธีการค้นหาโดยตรงแล้วทำการเปรียบเทียบก็สามารถที่จะหาคำตอบได้ แต่หากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการขยับตำแหน่ง เช่น Rigid Body, Rotation Horizontal Shear, Terrain Relief - Global หากใช้การค้นหาแบบธรรมดาอาจจะไม่สามารถหาคำตอบได้ จึงจำเป็นต้องหาวิธีแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมกับปัญหามากขึ้น



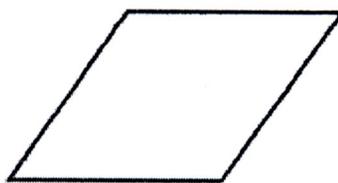
Translation



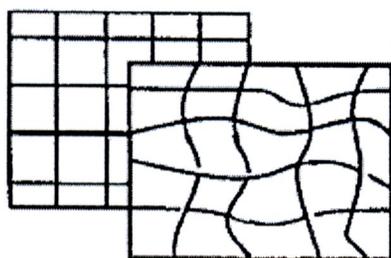
Rigid Body



Rotation



Horizontal Shear



Terrain Relief - Global

ภาพที่ 13 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางโครงร่างของภาพ

### 1.3.2 นิยามการจดจำภาพ (Image registration definition)

การลงทะเบียนภาพเป็นการเทียบความเหมือนระหว่างภาพสองภาพด้วยการเปรียบเทียบค่าสีของภาพ ถ้ากำหนดให้ภาพเป็นข้อมูลแบบอาเรย์ 2 มิติ โดยมีขนาดอาเรย์เท่ากับขนาดของภาพ เราจะได้ว่า  $I_1$  เป็นรูปภาพที่ 1 และ  $I_2$  เป็นรูปภาพที่ 2 และแสดงการอ้างอิงตำแหน่งข้อมูลของภาพด้วย คู่คันดับ  $x, y$  แสดงได้ดังนี้  $I_1(x, y)$  และ  $I_2(x, y)$  ตามลำดับ การเทียบระหว่างสองสมการสามารถแสดงได้ดังนี้

$$I_2(x, y) = g(I_1(f(x, y))) \quad (7)$$

เมื่อ  $f$  เป็นฟังก์ชันการแปลงค่าข้อมูล 2 มิติ เพื่อแปลงค่า  $x$  และ  $y$  จากพิกัดข้อมูลที่ 1 เป็น  $x'$  และ  $y'$  ในพิกัดที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังข้างล่าง

$$(x', y') = f(x, y) \quad (8)$$

และ ค่า  $g$  เป็นค่าข้อมูลขนาด 1 มิติ

ปัญหาที่มีความยุ่งยากมากขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงร่าง ซึ่งถือว่ามี ความเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อน คือเกิดการเปลี่ยนหลายแบบ เช่น อาจจะมีการหมุน การย่อขยายขนาด ทำให้การวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันพื้นฐานไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ และอาจจะต้องใช้ฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ดังแสดงได้ในสมการด้านล่าง

$$I_2(x, y) = I_1(f_x(x, y), f_y(x, y)) \quad (9)$$

### 1.3.3 การแปลง (Transformation)

ลักษณะพื้นฐานของการจดจำภาพ คือ การเปลี่ยนแปลงและรูปแบบการเปรียบเทียบของสองภาพ แม้ว่าแต่ละภาพจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่เทคนิคทางด้าน การลงทะเบียนภาพจะสนใจที่ปัญหาการเปลี่ยนแปลงและหาจุดที่ต่างกันของสองภาพ โดยไม่ได้สนใจส่วนที่เป็นฉากหรือพื้นหลังเนื่องจากจุดตรงนี้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของภาพได้ การปฏิบัติจึงต้องมุ่งประเด็นไปที่การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพื่อหาตัวแปรสำคัญสำหรับปัญหาและแนวทางสำหรับแก้ไขปัญหานั้น

การเปลี่ยนแปลงของภาพโดยส่วนใหญ่มักจะอยู่รูปแบบที่ได้กล่าวไปแล้ว ดังภาพที่ 13 ซึ่งได้แสดงชนิดและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของภาพ โดยสามารถกำหนดได้ว่า คุณสมบัติความแตกต่างระหว่างภาพที่เปลี่ยนไปกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงเป็น  $T$  เมื่อ  $T$  เป็นข้อมูลแบบเชิงเส้น ถ้า

$$T(x_1+x_2) = T(x_1) + T(x_2) \quad (10)$$

และทุก ๆ ค่าคงที่  $c$ ,

$$cT(x) = T(cx) \quad (11)$$

การเปลี่ยนแปลงจะอยู่ในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงแปลงสัมพรรค (Affine transform) ถ้า  $T(x) - T(0)$  เป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง และสามารถเทียบข้อมูลในรูปแบบของเส้นตรงได้ โดยข้อมูลจะต้องเป็นภาพที่มีฉากและมุมมองของภาพเดียวกันแต่มีความแตกต่างกันของตำแหน่ง เช่น กล้องสามารถย้ายได้และสามารถหมุนรอบแกนในแนวสายตาได้ การเปลี่ยนแปลงแบบนี้ (ย่อขยายขนาด การหมุน) จะไม่มีผลต่อระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบทั่วไป ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงแบบ rigid โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงแบบจุดจะมีค่าตัวแปร 4 ตัว  $t_x, t_y, s, \theta$  ที่เทียบระหว่างจุด  $(x_1, y_1)$  บนภาพที่ 1 กับ จุด  $(x_2, y_2)$  บนภาพที่ 2

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (12)$$

หรือสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของ

$$\bar{p}_2 = \bar{t} + sR\bar{p}_1 \quad (13)$$

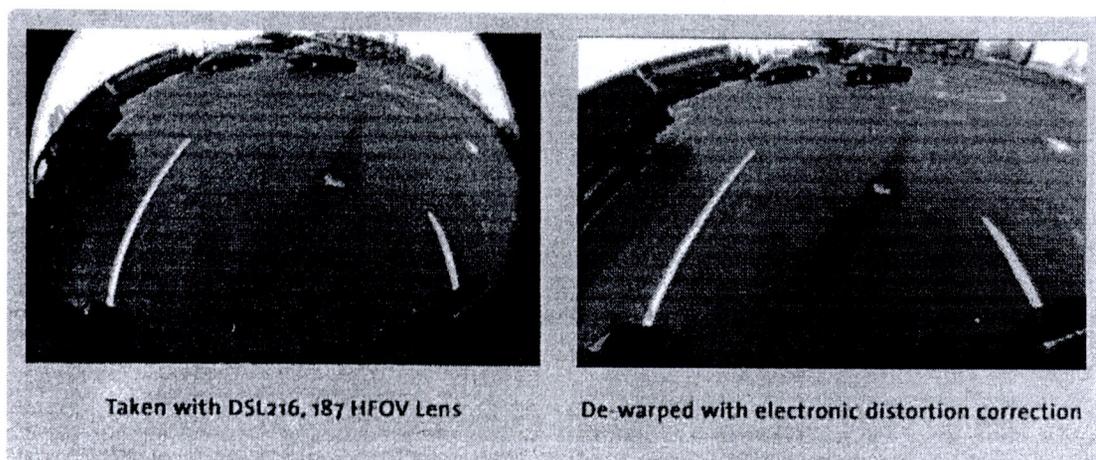
เมื่อ  $p_1, p_2$  เป็นเวกเตอร์ของจุด  $x, y$  ของทั้งสองภาพ และ  $\bar{t}$  เวกเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง  $s$  คือขนาดของการย่อขยายขนาด และ  $R$  เป็นเมทริกการหมุน

### 1.3.4 ความแปรปรวนของภาพ (Image Variations)

ความปรวนแปรของภาพมีผลต่อการวิเคราะห์การลงทะเบียนภาพ ซึ่งจะส่งผลให้การลงทะเบียนเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ความปรวนแปรที่เกิดขึ้นกับสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

#### 1.3.4.1 Corrected Distortions

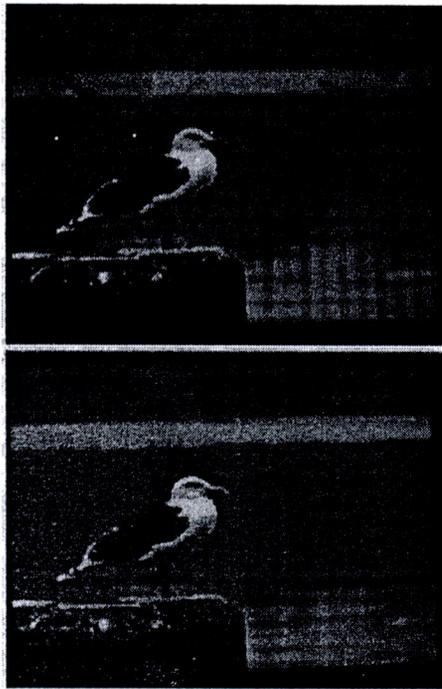
เป็นการแปรปรวนที่เป็นรูปแบบแน่นอนเป็นความปรวนแปรที่สามารถวิเคราะห์จากกระบวนการเปลี่ยนแปลงภาพได้ เช่น การเปลี่ยนมุมมอง สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์



ภาพที่ 14 ภาพตัวอย่างการบิดเพี้ยนของมุมกล้อง [14]

#### 1.3.4.2 Uncorrected Distortions

เป็นการปรวนแปรที่ยากต่อการวิเคราะห์เป็นรูปแบบความปรวนแปรที่มีผลต่อฉากของภาพ เช่น แสง และ สภาพอากาศ เงา และ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์



ภาพที่ 15 ภาพตัวอย่างการผิดเพี้ยนของแสงและสี [15]

#### 1.3.4.3 Variations of Interest

เป็นความแตกต่างระหว่างสองภาพ เป็นปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจาก เช่น การเคลื่อนไหวของวัตถุ ความปรวนแปรหรือความแตกต่างของการวัดค่าในอุปกรณ์ เมื่อใช้เครื่องมือที่ไม่เหมือนกัน

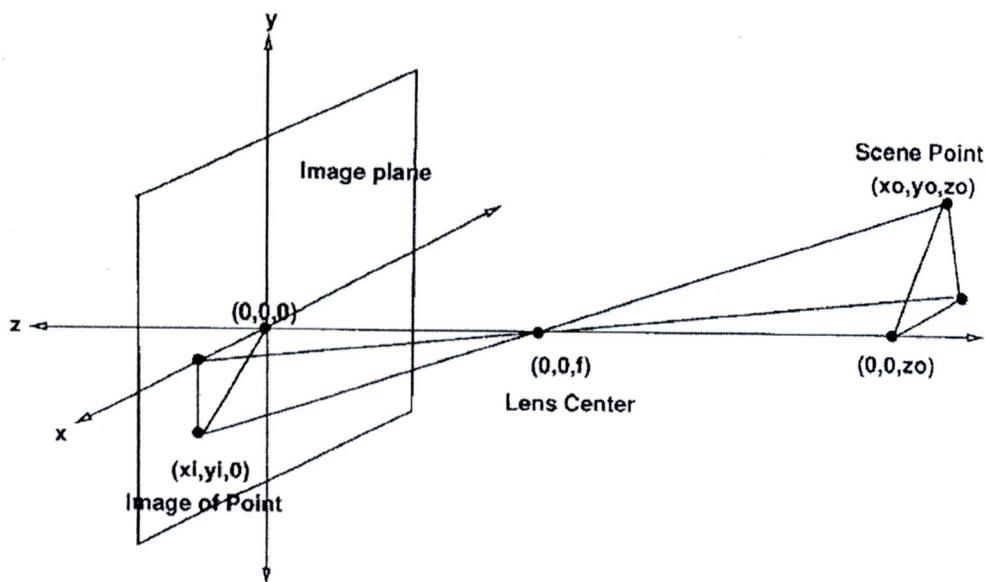


ภาพที่ 16 ภาพตัวอย่างภาพที่เกิดจากการเคลื่อนไหว [16]

### 1.3.5 การปรับความถูกต้อง (Rectification)

หนึ่งในตัวอย่างของการจดจำภาพที่มีประสิทธิภาพคือการรู้ฉากหลังหรือฉากหลังมีลักษณะที่โล่ง ๆ และไม่ซับซ้อน ซึ่งก่อนหน้านี้งานทางด้านควบคุมระยะไกลหรือแผนที่ทางดาวเทียมนั้นการวางตำแหน่งความสูงของภาพต้องมีความเหมาะสม เพื่อการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง ระบบการจดจำภาพที่มีความเชี่ยวชาญและมีความฉลาดนั้นจะสามารถวิเคราะห์ความสูงด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลตามสภาพความเป็นจริงของแผนที่ ซึ่งแม้ว่ามุมมองจะเปลี่ยนไปก็ยังสามารถที่หาตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องเสมอ

กำหนดให้จุด  $O$  เป็นจุดกำเนิด และ  $L$  เป็น Lens center อยู่ตำแหน่ง  $(0, 0, f)$  ทุก ๆ จุดของฉาก  $P_0 = (x_0, y_0, z_0)$  สามารถเทียบกับจุด  $P_1 = (x_1, y_1)$  ด้วยค่าการขยาย  $f / (z_0 - f)$  ดังภาพที่ 17 เป็นโครงสร้างของการเกิดภาพสำหรับการถ่ายภาพโดยทั่วไป



ภาพที่ 17 ระบบของภาพถ่าย

## 1.4 ทฤษฎีของการลงทะเบียนภาพ (Registration methods)

### 1.4.1 Correlation and Sequential Methods

เป็นวิธีการทางสถิติขั้นพื้นฐานสำหรับการลงทะเบียนภาพ มักใช้แม่แบบการจับคู่หรือการรู้จำ ด้วยการหาตำแหน่งและทิศทางของแม่แบบหรือรูปภาพแม่แบบที่พบในภาพ โดย Correlation-correlation ไม่ใช่วิธีการจดจำภาพ แต่เป็นวัดคล้ายกันระหว่างภาพและแม่แบบ

สำหรับภาพแม่แบบ T และ ภาพ I เมื่อ T เป็นภาพขนาดเล็กที่ต้องการเปรียบเทียบกับภาพ I เมื่อภาพอยู่ในระบบพิกัดแบบ 2 มิติ ก็จะสามารถวัดความคล้ายสำหรับการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนี้

$$C(u,v) = \frac{\sum_x \sum_y T(x,y)I(x-u,y-v)}{\sqrt{\left[ \sum_x \sum_y I^2(x-u,y-v) \right]}} \quad (14)$$

ถ้าหากมีการจับคู่กันระหว่างภาพแม่แบบ และ ภาพอย่างแน่นอนแล้ว โดยไม่สนใจค้าย่อขยายขนาดที่มีต่อค่าของพิกเซล (x, y) ค่าของความคล้ายจะมีค่าที่สูงมาก ด้วยเหตุนี้ค่าของ C จะเป็นที่เป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลง อาจหาจากมุมมองตาของความคล้าย จากทุกๆ ขนาดของแม่แบบบนภาพ โดยค่าพิกเซลต้องมีปรับปรุ่ค่า เนื่องจากจะส่งผลต่อการวัดเป็นอย่างมาก สำหรับการปรับค่าการวัดความคล้ายให้มีความเหมาะสม แสดงได้ดังสมการด้านล่าง

$$D(u,v) = \sum_x \sum_y (T(x,y) - I(x-u,y-v))^2 \quad (15)$$

โดยแม่แบบจะกำหนดจุดที่อยู่บนภาพ ด้วยค่า (u, v) ซึ่งจะทำให้ค่า ที่ได้มีขนาดน้อยหรือลดลง

#### 1.4.2 Fourier Methods

วิธีการนี้จะเป็นการค่าคุณสมบัติที่ดีมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของภาพ เช่น rotate, reflection, distributivity และ scale เป็นเทคนิคที่พิจารณาข้อมูลความถี่ Fourier พื้นฐานจะสามารถใช้งานได้ดีกับภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงประเภทการ shift และ rotate ส่วนปัญหาแบบ rigidly ที่ยังมีข้อผิดพลาด

ในการวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีนี้สมมติให้ภาพ  $f(x, y)$  เป็นฟังก์ชันรวมแต่ละค่าเป็นส่วนของข้อมูลจริง  $R(\omega_x, \omega_y)$  และค่าไม่เสมือน  $I(\omega_x, \omega_y)$  แต่ละความถี่แสดงเป็นแถบสเปกตรัมได้ดังสมการด้านล่าง

$$F(\omega_x, \omega_y) = R(\omega_x, \omega_y) + iI(\omega_x, \omega_y) \quad (16)$$

เมื่อ  $i = \sqrt{-1}$  และสามารถแสดงในรูปแบบ Exponential

$$F(\omega_x, \omega_y) = |F(\omega_x, \omega_y)| e^{i\Phi(\omega_x, \omega_y)} \quad (17)$$

เมื่อ  $|F(\omega_x, \omega_y)|$  เป็น ค่าหรือขนาดของ Fourier Transform และในส่วน  
ของมุมหาจาก  $\Phi(\omega_x, \omega_y)$  ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของมุม

### 1.4.3 Point Mapping

การเปรียบเทียบด้วยจุดเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่สำคัญคือแนวทางหลักที่ใช้ใน  
การจดจำภาพสองภาพ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและมีความแตกต่างกัน โดยเราทราบการ  
เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหากระดับของการแปลงไม่สามารถแบ่งได้อย่างง่าย ลักษณะของการ  
เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือมากเกินไป ตัวอย่างเช่นถ้าภาพที่ถ่ายจากมุมมองที่แตกต่างของ  
ฉากด้วยรูปแบบมุมมองความลึกจากทั้งสองภาพจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับมุมมองการบิดเบือน เรา  
ไม่สามารถระบุเปลี่ยนมุมมองที่เหมาะสม เพราะโดยทั่วไปเราไม่รู้ระดับความลึกจริงในฉาก แต่เรา  
สามารถใช้จุดสังเกตที่เราสามารถพบได้ในภาพทั้งคู่ ตำแหน่งสัมพันธ์ที่แตกต่างกันระหว่างภาพ  
และบิดเบือนอื่น ๆ ที่มีนัยสำคัญต่อการวัดและเปรียบเทียบภาพได้

## 1.5 รูปแบบของการลงทะเบียนภาพ (Characteristics of registration methods)

### 1.5.1 Feature Space

ขั้นตอนแรกของการจดจำภาพสิ่งที่ต้องตัดสินใจในอันอัปเดตัน ๆ ก็คือการ  
เลือกลักษณะเด่น เช่น เรามีข้อมูลค่าพิกเซล หรือค่าสีของภาพ หรือจุดเด่นอื่น ๆ ที่อาจจะ  
เกี่ยวข้องได้ เช่น ขอบภาพ (Edges) โครงร่าง (Contours) พื้นผิว (Surface) มุม (Corners) เส้น  
ที่ตัดกัน (Line intersections) ความโค้ง (Points of high curvature) จุดเด่นที่เป็นค่าคงที่เช่น จุด  
ศูนย์กลางภาพ (Centroids) ข้อมูลที่เป็นจุดเด่นเหล่านี้ มีผลกระทบต่อการทำงานประมวลผลภาพ  
ดิจิทัลเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้อมูลจะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะภาพ ทำให้เราสามารถที่จะ  
ประมวลผลภาพได้ง่ายขึ้น เช่นการแบ่งแยกรูปภาพ (Image segmentation) เป็นต้น การคัดเลือก  
จุดเด่นจึงเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการจับคู่รูปภาพ สำหรับปัญหาอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อ  
การจับคู่รูปภาพ คือ (1) คุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลภาพ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อ  
ภาพที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ความหมายของภาพได้ (2)  
คุณสมบัติของภาพ โครงร่างของภาพ ลักษณะองค์ประกอบและลวดลายของภาพ ภาพที่มี  
ลวดลายที่ซับซ้อน หรือโครงร่างที่มีความซับซ้อนก็จะส่งผลให้การประมวลผลตรงนี้เกิด  
ข้อผิดพลาดได้ง่ายด้วย (3) การคำนวณจากสมการและคอมพิวเตอร์ที่อาจจะให้ค่าการคำนวณที่  
ไม่ดียอมส่งผลต่อการวัดความคล้ายเกิดค่าที่ผิดเพี้ยนได้

### 1.5.2 Similarity Measure

ขั้นตอนที่สองสำหรับการออกแบบหรือคัดเลือกเทคนิควิธีการจดจำภาพ  
สำหรับการเลือกการวัดความคล้ายต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะเด่นที่ได้เลือกเอาไว้ใน  
ขั้นตอนการใช้ Feature space เพื่อให้ค่าที่ได้จากการวัดออกมาได้ค่าที่ดีที่สุด

### 1.5.3 Search Space and Strategy

ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบงานสำหรับการจดจำภาพ ซึ่งเป็นขั้นตอนการเลือกวิธีการค้นหา เพื่อให้ได้ผลการค้นหาที่ดีที่สุดโดยการวัดค่าความคล้ายระหว่างสองภาพ การวัดค่าความคล้ายที่ถูกต้องนั้นต้องมีกระบวนการลดค่าการคำนวณให้น้อยลงเพื่อลดข้อผิดพลาดและลดเวลาในการประมวลผลด้วย เนื่องจากการประมวลผลนั้นจะต้องเทียบบนทุก ๆ จุดของภาพที่ต้องการเปรียบเทียบกับแม่แบบ ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานมากขึ้น ในกรณีจำนวนมากแล้ว การค้นหาแต่ละครั้งต้องเปรียบเทียบกับเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุด

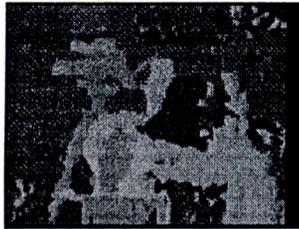
## 1.6 การวัดความคล้าย (Similarity Measure) [17]

### 1.6.1 Sum of Absolute Differences (SAD)

เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการวัดค่าความคล้าย ด้วยการคำนวณผลต่างของค่าพิกเซลที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ๆ กัน ระหว่างภาพทดสอบที่  $I_1$  และ ภาพทดสอบที่  $I_2$  ด้วยวิธีการหาผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของผ่านต่างของค่าพิกเซลที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ๆ กัน วิธีการนี้ถูกปรับปรุงแก้ไขด้วย [18] สูตรสำหรับการคำนวณ แสดงได้ดังนี้

$$\sum_{(i,j) \in W} |I_1(i,j) - I_2(x+i, y+j)| \quad (18)$$

จากภาพด้านล่างความคล้ายของภาพจะแสดงด้วยโทนสี สีโทนร้อนจะให้ค่าความใกล้เคียงสูง สีโทนเย็นจะให้ค่าที่แสดงถึงความห่างหรือต่างกันมาก

(I<sub>1</sub>)(I<sub>2</sub>)

(c)

ภาพที่ 18 การวัดความคล้ายด้วยเทคนิคแบบ Sum of Absolute Differences (SAD) เป็นการวัดความคล้ายของภาพ I<sub>1</sub> และ ภาพ I<sub>2</sub> ผลของการเปรียบเทียบคือ ภาพ (c)

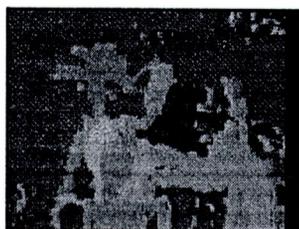
### 1.6.2 Sum of Squared Differences (SSD)

เป็นการวัดค่าความคล้ายด้วยการพิจารณาจากผลต่าง แล้วยกกำลังสองแล้วหาผลรวม ภายในพื้นที่ที่กำหนด วิธีการนี้มีการคำนวณที่ซับซ้อนกว่าวิธีการ SAD เนื่องจากมีส่วนของการใช้ตัวดำเนินการสำหรับการคูณเข้ามาร่วมในการคำนวณด้วย [18]

สูตรสำหรับการคำนวณ แสดงได้ดังนี้

$$\sum_{(i,j) \in W} (I_1(i,j) - I_2(x+i, y+j))^2 \quad (19)$$

จากภาพด้านล่างความคล้ายของภาพจะแสดงด้วยโทนสี สีโทนร้อนจะให้ค่าความใกล้เคียงสูง สีโทนเย็นจะให้ค่าที่แสดงถึงความห่างหรือต่างกันมาก

(I<sub>1</sub>)(I<sub>2</sub>)

(c)

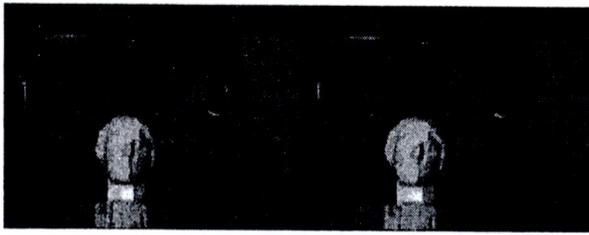
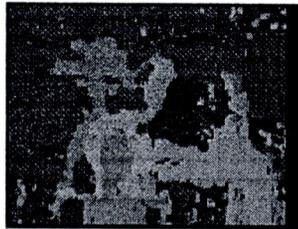
ภาพที่ 19 การวัดความคล้ายด้วยเทคนิคแบบ Sum of Squared Differences (SSD) เป็นการวัดความคล้ายของภาพ I<sub>1</sub> และ ภาพ I<sub>2</sub> ผลของการเปรียบเทียบคือ ภาพ (c)

### 1.6.3 Normalized Cross Correlation (NCC)

เป็นเทคนิคการคำนวณที่มีความซับซ้อนมากกว่า สองวิธีที่ได้กล่าวมาคือ SAD และ SSD โดยการการใช้ตัวดำเนินการสำหรับการคูณ และการหาร รวมทั้งการหารากที่สองเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ประกอบด้วยการหาค่าผลคูณของภาพที่เกี่ยวข้อง แล้วนำมาหาผลบวก หลังจากนั้นหารด้วยผลคูณของผลบวกยกกำลังสองของทั้งสอง แล้วนำไปหารากที่สอง สำหรับสูตรการคำนวณแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\sum_{(i,j) \in w} I_1(i,j) \cdot I_2(x+i,y+j)}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in w} I_1^2(i,j) \cdot \sum_{(i,j) \in w} I_2^2(x+i,y+j)}} \quad (20)$$

จากภาพด้านล่างความคล้ายของภาพจะแสดงด้วยโทนสี สีโทนร้อนจะให้ค่าความใกล้เคียงสูง สีโทนเย็นจะให้ค่าที่แสดงถึงความห่างหรือต่างกันมาก

(I<sub>1</sub>)(I<sub>2</sub>)

(c)



ภาพที่ 20 การวัดความคล้ายด้วยเทคนิคแบบ Normalized Cross Correlation (NCC) เป็นการวัดความคล้ายของภาพ I<sub>1</sub> และ ภาพ I<sub>2</sub> ผลของการเปรียบเทียบคือ ภาพ (c)

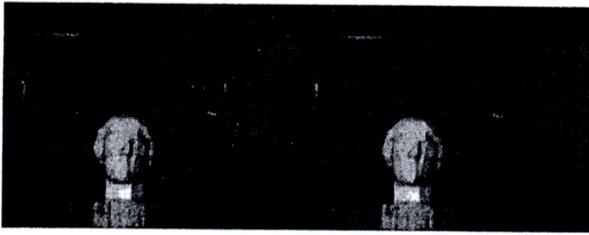
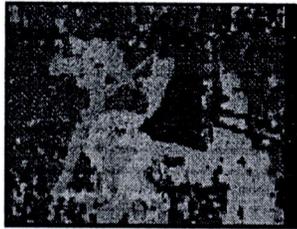
#### 1.6.4 Sum of Hamming Distances (SHD)

เป็นวิธีการที่นำไปใช้สำหรับการวัดความคล้ายกับสำหรับจุดที่มีความน่าสนใจบนภาพ ด้วยการคำนวณ bitwise - XOR ของค่ารูปภาพ ขั้นตอนคือการนับบิตที่เป็นผลลัพธ์เพื่อนำไปพิจารณาในการประมาณค่าต่อไป

สำหรับสูตรการคำนวณแสดงได้ดังนี้

$$\sum_{(i,j) \in w} I_1(i,j) \text{ bitwise XOR } I_2(x+i, y+j) \quad (21)$$

จากภาพด้านล่างความคล้ายของภาพจะแสดงด้วยโทนสี สีโทนร้อนจะให้ค่าความใกล้เคียงสูง สีโทนเย็นจะให้ค่าที่แสดงถึงความห่างหรือต่างกันมาก

(I<sub>1</sub>)(I<sub>2</sub>)

(c)

ภาพที่ 21 การวัดความคล้ายด้วยเทคนิคแบบ Sum of Hamming Distances (SHD) เป็นการวัดความคล้ายของภาพ  $I_1$  และ ภาพ  $I_2$  ผลของการเปรียบเทียบคือ ภาพ (c)

### 1.7 การแปลงตามแบบยูคลิด (Euclidean Transformations)

การแปลงรูปโดยส่วนมากหมายถึงการแปลงในรูปแบบของยูคลิด เช่น การเปลี่ยนตำแหน่ง การหมุน หรือการสะท้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นไปที่งานทางด้าน การหมุน และย่อขยายขนาด เป็นหลัก

การเปลี่ยนตำแหน่ง และ การหมุน บนระนาบ  $xy$  การเปลี่ยนตำแหน่งบนระนาบ  $xy$  แสดงได้ด้วยการเพิ่มเวกเตอร์  $\langle h, k \rangle$  สำหรับตำแหน่งใหม่ ซึ่งสามารถคำนวณได้ง่ายสำหรับตำแหน่งใหม่อย่างเช่น จากตำแหน่ง  $(x, y)$  เป็น  $(x', y')$  สามารถแทนค่าได้โดย  $x' = x + h$  และ  $y' = y + k$  ซึ่งจะมีรูปแบบคล้ายเดิมบนพิกัดที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือหากมีองค์ประกอบที่ 3 เข้ามา เช่น 1 สามารถแสดงบน  $(x, y)$  ได้คือ

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

เมื่อนำความสัมพันธ์ของ  $(x, y)$  และ  $(x', y')$  บนเมทริก จะได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & h \\ 0 & 1 & k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -h \\ 0 & 1 & -k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

ถ้ามีเส้นตรง  $Ax + By + C = 0$  แล้วแทนค่า  $x$  และ  $y$  ด้วยค่าในสมการใหม่สามารถเขียนได้เป็น  $Ax' + By' + (-Ah - Bk + C) = 0$

หากจุด  $(x, y)$  แสดงการหมุนด้วย มุม  $\theta$  ดังนั้นค่าเมทริกเดิมสามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของมุม  $\theta$  ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

เมื่อหมุนเส้นตรง  $Ax + By + C = 0$  ด้วยมุม  $a$  จะได้สมการรูปแบบใหม่คือ  $(A \cos a - B \sin a)x' + (A \sin a + B \cos a)y' + C = 0$  สามารถแปลงสมการไดโนอีกรูปแบบ คือ

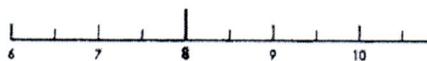
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & h \\ \sin\theta & \cos\theta & k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

หรือ

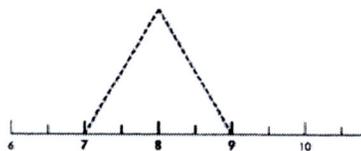
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & h \\ -\sin\theta & \cos\theta & k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

### 1.8 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy set)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นเซต ที่มีขอบเขตที่ราบเรียบทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ (Classical Set) โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 และ 1 สำหรับความไม่เป็นสมาชิกและเป็นสมาชิกตามลำดับ แต่ตรรกศาสตร์คลุมเครือยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 ถึง 1 มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ทันทีทันใดโดยระบุความเป็นสมาชิกด้วยค่าความเป็นสมาชิกด้วยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) เป็นตัวกำหนดซึ่งข้อมูลหนึ่งตัวสามารถเป็นสมาชิกของเซตได้อี้อหลาย ๆ เซต [19]



(ก)



(ข)

ภาพที่ 22 เซตแบบฉบับ และตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ความเป็นตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาแลนซ์ (Multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง ความไม่แน่นอนที่สามารถที่จะสร้างและกำหนดรูปแบบ ของ ลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของตรรกศาสตร์คลุมเครือจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปรมากกว่าปริมาณ

นิยามของตรรกศาสตร์คลุมเครือ กำหนดให้  $X$  เป็นเซตที่ไม่ว่าง ตรรกศาสตร์คลุมเครือ  $A$  สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (29)$$

เมื่อ  $\mu_A$  สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ  $x$  ใน ตรรกศาสตร์คลุมเครือ  $A$  สำหรับแต่ละตรรกศาสตร์คลุมเครือ สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (30)$$

เมื่อ  $\tilde{A}$  หมายถึงตรรกศาสตร์คลุมเครือ  $A$  และ  $x$  หมายถึงสมาชิกของเซต (Set membership)  $\mu_A$  หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function)  $\mu_A(x)$  บางครั้ง แทนด้วย  $\tilde{A}(x)$   $X$  หมายถึงเอกภพ สัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร

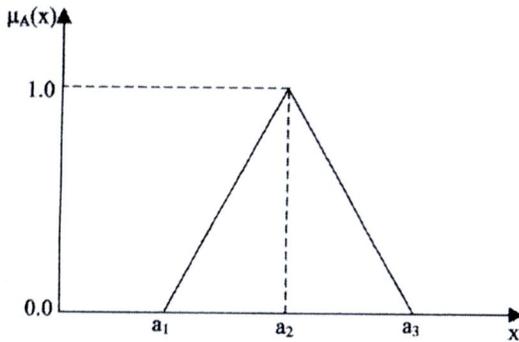
### 1.8.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) เป็นฟังก์ชันที่มีการ กำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัว แทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการ ดำเนินการของพีชชี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิด และแก้ไขปัญห

#### 1.8.1.1 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

(1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular membership function) ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c\}$

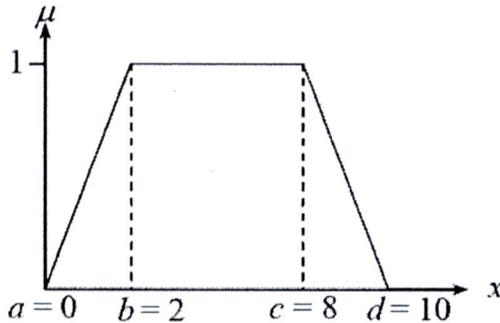
$$\text{triangular}(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (31)$$



ภาพที่ 23 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม

(2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมามีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c, d\}$

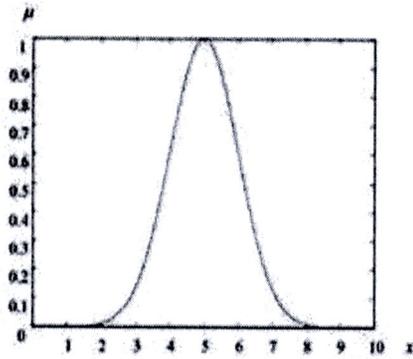
$$\text{trapezoidal}(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (32)$$



ภาพที่ 24 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู

(3) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function) ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ  $\{m, \sigma\}$  ซึ่ง  $m$  หมายถึงค่าเฉลี่ย และ  $\sigma$  หมายถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

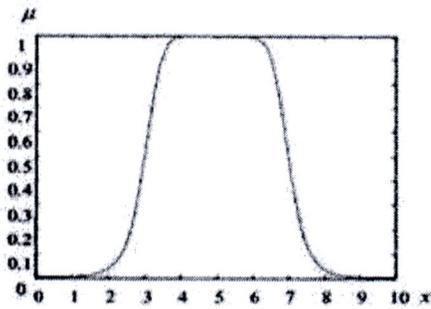
$$\text{gaussian}(x: m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right) \quad (33)$$



ภาพที่ 25 ฟังก์ชันเกาส์เซียน

(4) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function) ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ  $\{a, b, c\}$

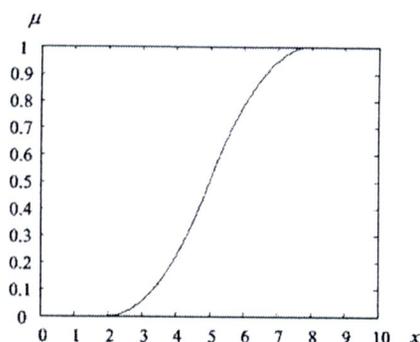
$$\text{bell-shaped}(x: a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (34)$$



ภาพที่ 26 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ

(5) ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function) ฟังก์ชันรูปตัวเอส มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ  $\{a, b\}$

$$s(x: a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2 \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (35)$$

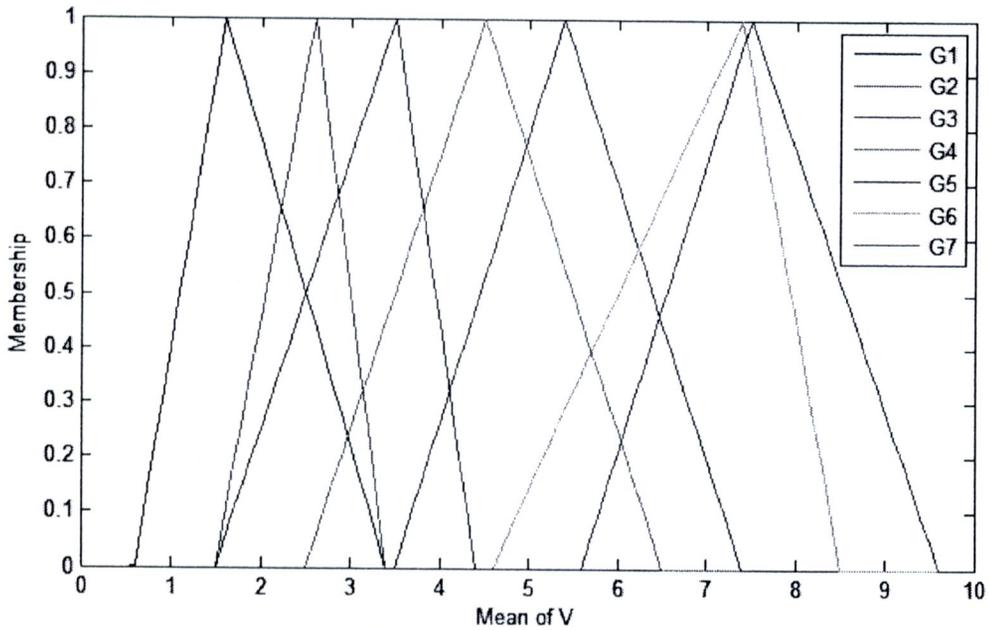


ภาพที่ 27 ฟังก์ชันตัวเอส

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

### 1.8.2 ตัวแปรภาษา (Linguistic variable)

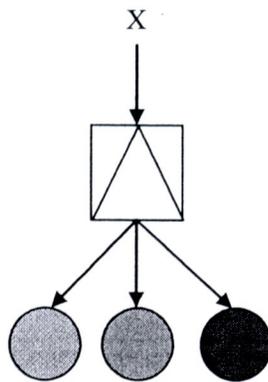
เซตแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ กำหนดอุณหภูมิ เป็น  $T_i$  โดยที่  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$  ค่า  $i$  ที่น้อยกว่าแสดงว่ามีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า นั่นคือตัวแปร  $T_i$  เป็นตัวแปรภาษา ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกศาสตร์คลุมเครือ ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษาและในรูปปริมาณโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกซึ่งแสดงความของเซตแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข



ภาพที่ 28 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

### 1.8.3 การอธิบายข้อมูลผ่านตัวแปรภาษา

ข้อมูลหนึ่งตัวเมื่ออธิบายผ่านตัวแปรภาษาได้แล้วจะได้ข้อมูลชุดใหม่เป็นจำนวนเท่ากับเซตของตัวแปรภาษา ซึ่งข้อมูลแต่ละตัวจะบอกถึงระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลที่เข้ามา แสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 การอธิบายข้อมูลผ่านตัวแปรภาษาซึ่งกำหนดให้มีจำนวน 3 เซต

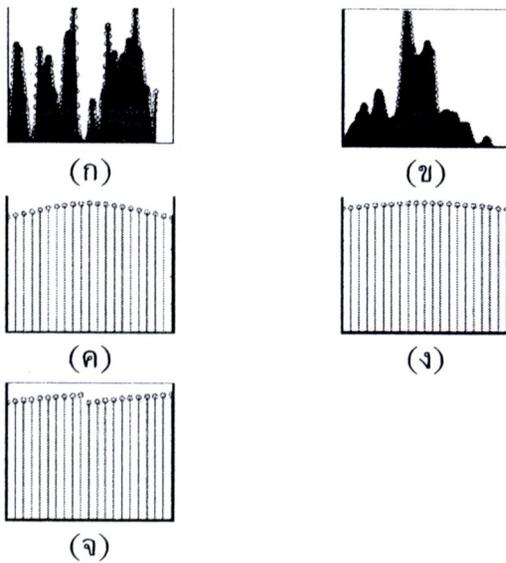
### 1.9 สหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation)

เป็นเทคนิคการเปรียบเทียบความคล้ายของชุดข้อมูลซึ่งสามารถจำแนกข้อมูลได้ด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ต้องการทดสอบกับข้อมูลที่เรากำลังเปรียบเทียบ โดยในบทความวิจัยนี้ ได้ใช้สหสัมพันธ์อัตโนมัติพื้นฐาน [20, 21] สำหรับการวัดความคล้ายข้อมูล โดยกำหนดให้ภาพ

ต้นแบบเป็นภาพที่ต้องการ และนำภาพเป้าหมายเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่ได้กำหนดเอาไว้แล้ว หลังจากนั้นก็พิจารณาผลการวัดความคล้ายว่าภาพต้นแบบ และภาพเป้าหมายมีความคล้ายกัน หรือแตกต่างกัน วิธีการเปรียบเทียบแสดงได้ดังสมการที่ (36)

$$R_{xy}[p] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]y[p+m] \quad (36)$$

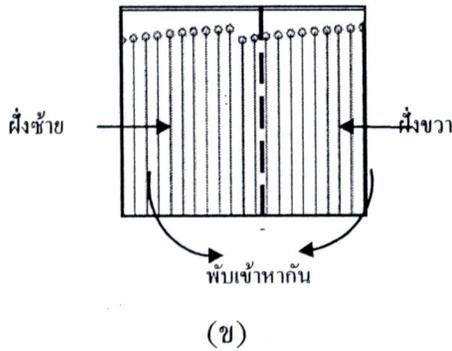
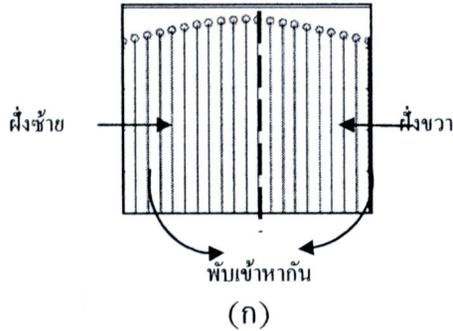
จากสมการที่ (36) ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณนั้นจะได้ค่าออกมาชุดหนึ่ง ซึ่งค่าที่ได้ออกมานั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ความผลลัพธ์ได้ โดยมีหลักการพิจารณาคือหากแบ่งครึ่งลักษณะชุดข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์แล้วทั้งสองข้างมีค่าเท่ากัน หรือใกล้เคียงกันก็จะสรุปว่าต้นแบบ และ ภาพเป้าหมายนั้นมีความคล้ายกัน ในกรณีกลับกันหากผลการการแบ่งครึ่งผลลัพธ์แล้วส่วนที่แบ่งทั้งสองข้างไม่เท่ากัน หรือมีความแตกต่างกันมากก็จะแสดงว่าข้อมูลภาพต้นแบบ และภาพเป้าหมายนั้นมีความแตกต่างกัน ดังแสดงได้ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูล

จากภาพที่ 30 (ก) คือภาพต้นแบบ (ข) คือภาพเป้าหมาย จุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบความเหมือนว่าภาพ (ก) และ (ข) คล้ายกันหรือแตกต่างกัน ลำดับถัดมาคือ (ค) คือผลการเปรียบเทียบภาพต้นแบบเทียบกับข้อมูลของตัวเอง และ (ง) คือ ผลการเปรียบเทียบภาพเป้าหมายเทียบกับข้อมูลของตัวเอง จะเห็นว่าภาพที่ 30 (ค) และ (ง) จะให้ผลลัพธ์ที่เมื่อแบ่งตรงกลางข้อมูลฝั่งซ้าย และข้อมูลฝั่งขวาสมมาตรกัน แสดงให้เห็น ว่าสองข้อมูลที่น่ามาเทียบเป็นข้อมูลที่มีความคล้ายกัน ส่วนผลการเปรียบเทียบข้อมูลของภาพที่ 31 (จ) ก็แสดงถึงผลการ

เปรียบเทียบความคล้ายระหว่างภาพต้นแบบและภาพเป้าหมาย หรือ ภาพ (ก) และ ภาพ (ข) จะแสดงให้เห็นว่า เมื่อแบ่งข้อมูลฝั่งซ้ายและข้อมูลฝั่งขวาแล้ว ข้อมูลทั้งสองฝั่งไม่สมมาตรกัน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้นำมาทำการเปรียบเทียบนั้นมีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 31 แสดงการวิเคราะห์ผลลัพธ์

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับงานวิจัยล้วนแต่มีเทคนิคที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไป ในงานวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

อำนาจ เพ็ชรพล และ สนั่น ศรีสุข [22] ได้นำเสนอวิธีการใหม่ในการรู้จำวัตถุ วิธีการใหม่นี้จะช่วยแก้ไขปัญหาในกรณีที่วัตถุที่ต้องการค้นหานั้นมีการหมุน ย่อหรือขยายขนาด และเลื่อนตำแหน่ง โดยทำการเปลี่ยนรูป ภาพวัตถุต้นฉบับและภาพโมเดล เพื่อให้ทั้งสองภาพอยู่ในโดเมนเดียวกัน จากนั้นนำไปทำการรู้จำด้วย เฮาสดอร์ฟคอนเท็กซ์ (Hausdorff Context) ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ที่นำเสนอนี้มีผลการรู้จำกว่าวิธีการเดิม

George Wolberg and Siavash Zokai [5] กล่าวถึงโครงสร้างของการลงทะเบียนภาพด้วยการพิจารณา การหมุน ย่อหรือขยายขนาด และเลื่อนตำแหน่ง ด้วยการวัดความคล้ายด้วยวิธีการ SSD โดยการประมาณค่าตัวแปร affine transformation เมื่อได้ค่าตัวแปรสำหรับการเปลี่ยนแปลงแล้วก็จะนำไปประมาณค่าด้วยเทคนิค Levenberg-Marquadt nonlinear least squares optimization method ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และได้แนะนำโมเดล

พิกัดแบบเชิงขั้วสำหรับการลงทะเบียนภาพเพื่อประมาณค่าตัวแปรการเปลี่ยนแปลงสัมพรรค (Affine transformation) เพื่อการกำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมด้วย

Lisa Gottesfeld Brown [2] ได้กล่าวถึงทฤษฎีวิธีการลงทะเบียนภาพตั้งแต่ 2 ภาพ หรือ กลุ่มภาพ ที่มีความแตกต่างทางด้านเวลา ความแตกต่างทางด้านอุปกรณ์บันทึก ความแตกต่างทางด้านมุมมอง และความแตกต่างระดับความสว่างของแสง ระบบงานจำนวนมากที่จำเป็นต้องใช้งานทางด้าน image registration หรือหลักการที่มีความใกล้เคียงกัน มักจะมีเทคนิควิธีการเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งในการประมาณผลซึ่งอยู่ในส่วนการทำงานตรงกลางระหว่างข้อมูลนำเข้า และผลลัพธ์ ตัวอย่างระบบที่มี image registration ได้เข้ามาเป็นส่วนประกอบของระบบ มีบทบาทอย่างมากในการจับคู่ภาพ เช่น การวิเคราะห์ภาพพื้นที่โลกจากภาพถ่ายทางเดียวเทียม การวิเคราะห์แบบสเตอริโอ การวิเคราะห์ตำแหน่งที่แตกต่างกันของภาพทางการแพทย์ เป็นต้น

Philippe Thevenaz, Urs E. Ruttimann and Michael Unser [23] ได้เสนอวิธีการอัตโนมัติสำหรับงานทางด้านลงทะเบียนภาพ ด้วยการวัดค่าความคล้ายของค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างรูปภาพทดสอบ ซึ่งสามารถใช้ได้กับ ภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ การเปรียบเทียบได้พิจารณา ค่าความแตกต่างของความสว่างภาพ และมีการปรับปรุงคุณภาพให้มีความเหมาะสมด้วย รวมทั้งปรับปรุงขั้นตอนวิธีของ Marquardt-Levenberg ให้เร็วกว่าเดิมด้วย

Siavash Zokai and George Wolberg [24] ในงานวิจัยนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับเทคนิคใหม่ ๆ สำหรับการเปรียบเทียบความคล้ายของภาพ ที่เปลี่ยนแปลง เช่น การหมุน การย่อขยายขนาด การเปลี่ยนตำแหน่ง โดยแนะนำอัลกอริทึมแบบรวมสำหรับพิกัดเชิงขั้วและเทคนิคการวัดความคล้าย โดยพิกัดเชิงขั้วมีข้อดีคือสามารถแปลงภาพมีขนาดใหญ่ให้อยู่ในโดเมนที่มีความเหมาะสมสำหรับการทำขั้นตอนก่อนประมวลผลได้ดี ซึ่งจะลดความยุ่งยากในการคำนวณบนโดเมนที่มีขนาดใหญ่ได้ ในวิจัยนี้ได้แสดงประสิทธิภาพของพิกัดเชิงขั้วในการลงทะเบียนภาพได้ด้วยการทดสอบกับภาพจำนวน 10000 ภาพจาก Corel Stock Photo Library

Wai kit Wong, Chee Wee Choo, Chu Kiong Loo and Joo Peng [25] การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของ พิกัดเชิงขั้ว เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากการตรวจสอบงานที่ใช้เกี่ยวกับเคลื่อนไหวสำหรับหุ่นยนต์ เนื่องจากข้อมูลต้องมีการบีบอัด และอัตราการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว เพื่อให้การประมวลผลภาพมีความเร็วสำหรับงานทางด้าน computer vision งานวิจัยนี้ได้พยายามสร้างเทคนิคการจับคู่ด้วยพิกัดเชิงขั้ว บน mainboard Xilinx FPGA เพื่อนำเสนอการมองในมุมมองกว้างของหุ่นยนต์ ด้วยภาพที่มีคุณภาพที่ดี ด้วยการจำลองการทำงานบน Matlab สำหรับการหาเงื่อนไขการจับคู่ที่ดี ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ ระบบที่มีการประมวลผลที่น้อย ใช้พื้นที่น้อย ประหยัด การประมวลผลที่เร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์รุ่นเดียวกันที่ใช้ Matlab ประมวลผลงาน

Yun Zhang and Chee-Hung Henry Chu [26] การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง และ ค่าเกี่ยวกับแสงระหว่างสองภาพ โดยการศึกษาทางด้านคณิตศาสตร์ โดยเป็นเทคนิคใหม่

มีจุดประสงค์เพื่อการวัดว่าที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยให้ความสนใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของภาพที่อยู่กลางแจ้ง และ ในร่ม รวมทั้งภาพที่ไม่ชัด โดยวิธีการนี้สามารถแยกกลุ่มภาพที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มได้

Yun Zhang and Chee-Hung Henry Chu [27] ศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่า projective จากข้อมูล 1 มิติสำหรับภาพ วิธีที่หนึ่งโครงสร้างรัศมีขนาดเล็กของรูปภาพ เพื่อลดการคำนวณที่ซ้ำซ้อนของ projective ที่มีความผิดปกติที่เกิดในระบบพิกัด 2 มิติ ให้อยู่ในรูปแบบที่ง่าย เช่น log-polar และ inverse log-polar ที่เป็น 1 มิติ ขั้นตอนที่ 1 ประมาณค่า 4 ตัวแปรจาก log-polar และ ขั้นตอนที่สอง ประมาณค่า 2 ตัวแปรจาก inverse log-polar ประสิทธิภาพของโครงสร้างนี้จะเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสองวิธี และนำไปเปรียบเทียบหาความคล้อยของภาพ

Zhang Yun and Henry Chu [28] ได้กล่าวถึงการจับคู่ภาพ 1 มิติ บนพิกัดเชิงขั้ว และ อินเวสของพิกัดเชิงขั้ว อยู่บนพื้นฐานการจับคู่ภาพสองขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เพื่อประมาณค่า 8 ตัวแปร สำหรับการประมาณค่า affine transformation ระหว่างวัตถุสองภาพ ขั้นตอนที่ 2 เพื่อประมาณค่า 2 ตัวแปรจาก อินเวอร์สของพิกัดเชิงขั้ว สำหรับการประมาณค่า projective โดยเป็นเทคนิคที่คำนวณเชิงเส้นบนข้อมูล 1 มิติของภาพ