

ความสัมพันธ์วงกว้างระหว่างวัตถุประสงค์สำหรับการสร้างฉากสามมิติจากรูปเดี่ยว



# ศูนย์วิทยพัทยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 2 7 0 5 7 8 5 2 1

GLOBAL OBJECT PLACEMENT RELATION FOR IMPROVING 3-D SCENE  
CONSTRUCTION FROM SINGLE IMAGE



Mr. Art Subpa-asa

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University



อาชวี สรรพอาษา : ความสัมพันธ์วงกว้างระหว่างวัตถุสำหรับการสร้างฉากสามมิติจากรูปเดี่ยว. (GLOBAL OBJECT PLACEMENT RELATION FOR IMPROVING 3-D SCENE CONSTRUCTION FROM SINGLE IMAGE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. พิษณุ คนองชัยยศ , 116 หน้า

ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุคือความสัมพันธ์ด้านตำแหน่งของวัตถุที่ติดกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ใช้ในการประมาณฉากสามมิติ แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นไม่ครอบคลุมไปยังความสัมพันธ์ข้างเคียงซึ่งก่อให้เกิดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์ส่งผลให้ฉากสามมิติที่ได้นั้นมีความผิดพลาด ในงานวิจัยนี้จึงได้ความสัมพันธ์แบบวงกว้างที่ครอบคลุมวัตถุทั้งหมดภายในฉากโดยอาศัยข้อมูลกราฟ และต้นไม้แบบอรรถภาค โดยการปรับปรุงขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม การประมาณค่าความลึก และการสร้างฉากสามมิติ โดยให้ผลลัพธ์ที่ได้มีการพัฒนาจากผลที่ได้จากการใช้ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน ทั้งด้านความแม่นยำในการประมาณค่าความลึก และลักษณะของฉากสามมิติ

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต..... อาชวี สรรพอาษา )  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา..... 2553.....

# # 5270578521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : SCENE RECONSTRUCTION, SINGLE IMAGE, OBJECT RELATION,  
SCENE ANALYSIS, IMAGE-BASED MODEILING

ART SUBPA-ASA : GLOBAL OBJECT PLACEMENT RELATION FOR  
IMPROVING 3-D SCENE CONSTRUCTION FROM SINGLE IMAGE. ADVISOR  
: ASST. PROF. PIZZANU KANONGCHAIYOS, Ph.D., 116 pp

Object Placement Relation (OPR) is the related position between two adjacent objects which is the key factor to construct 3-D scene. However, image derived from OPR has error and distortion once conflict relation incurs. This research extends the relations estimation between each object globally using graph theory and octree structure. Moreover, we improve the processes of classification, depth estimation and scene construction. The result shows improvement in depth accuracy and quality of the output 3-D scene.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Computer Engineering..... Student's Signature ..ART.. SUBPA-ASA.....  
Field of Study ..Computer Engineering..... Advisor's Signature.....  
Academic Year ..... 2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ ผศ.ดร. พิษณุ คนองชัยยศ ที่ปรึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้ คงจะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าขาดอาจารย์ ขอบคุณอาจารย์ที่ช่วยชี้แนะ สั่งสอน ตลอดมา

ขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้ข้อคิดและข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณห้องวิจัยคอมพิวเตอร์กราฟฟิก และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่แบ่งปันความรู้ ช่วยเหลือกัน และเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย .....	5
1.6 ผลงานตีพิมพ์จากงานวิจัย .....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	7
2.1.1 การประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ .....	7
2.1.2 การแบ่งย่อยรูปภาพด้วยการใช้กราฟอย่างมีประสิทธิภาพ หรืออีจีบีเอส .....	10
2.1.3 ซูเปอร์พิกเซล .....	11
2.1.4 การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ .....	12
2.1.5 การหาจุดตัดต่ำสุดของกราฟแบบมีต้นทางและปลายทาง .....	12
2.1.6 กราฟอวัฏจักรระบุทิศทาง .....	13
2.1.7 การหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุด .....	14
2.1.8 การแทนฉากสามมิติด้วยกราฟฉาก .....	14
2.1.9 การฉายแบบทัศนมิติ .....	15
2.1.10 การสร้างสามเหลี่ยมแบบเตลาอุโน .....	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	17
2.2.1 การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติจากหลายภาพ .....	17
2.2.2 การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติจากภาพเดี่ยว .....	18



2.2.2.1	การขึ้นรูปสามมิติจากแสงเงา.....	18
2.2.2.2	การค้นหาแบบจำลองสามมิติจากภาพ .....	19
2.2.2.3	การขึ้นรูปสามมิติจากขั้นตอนวิธีเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์.....	20
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	25
3.1	ภาพรวมของการทำงาน .....	25
3.2	การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ.....	26
3.2.1	ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน .....	26
3.2.2	ความสัมพันธ์แบบวงกว้าง .....	29
3.3	การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำงาน.....	30
3.3.1	การแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์.....	31
3.3.1.1	การหาความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน .....	32
3.3.1.2	การกำจัดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน .....	33
3.3.2	การสร้างกราฟฉาก .....	37
3.3.2.1	การประมาณค่าตำแหน่งสำคัญ .....	37
3.3.2.2	การสร้างกราฟฉาก .....	39
3.3.3	การประมาณความลึกของแต่ละจุดภาพ .....	41
3.3.4	การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติ .....	42
3.3.4.1	การเลือกจุดยอด .....	42
3.3.4.2	การแปลงพิกัดของจุดยอด.....	43
3.3.4.3	การสร้างวัตถุโดยการสร้างสามเหลี่ยม .....	44
3.4	วิเคราะห์ประสิทธิภาพความซับซ้อนเชิงเวลา .....	44
บทที่ 4	การทดลองและวิเคราะห์ผล .....	46
4.1	ภาพรวมของการทดลอง .....	46
4.2	การทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์.....	47
4.2.1	วิธีการทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์.....	47
4.2.2	ผลการทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์.....	47
4.3	การทดสอบความแม่นยำการประมาณค่าความลึก.....	48



4.3.1	วิธีการทดสอบความแม่นยำการประมาณค่าความถี่.....	49
4.3.2	ผลการทดสอบความแม่นยำในการประมาณค่าความถี่ .....	49
4.4	วิเคราะห์รูปร่างของแบบจำลองสามมิติ .....	56
4.5	อภิปรายผลการทดลอง .....	60
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	62
5.1	ข้อเสนอแนะ .....	63
	รายการอ้างอิง .....	65
	ภาคผนวก .....	67
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	116



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 เมตริกซ์ความแปรปรวนแสดงความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของคลาสที่ถูกตัดและคลาสที่แบ่งกลุ่มได้ .....	48
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มโดยแยกตามคลาส .....	48
ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ที่มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำสุดสามอันดับ .....	51
ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ที่มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดสามอันดับ .....	52
ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุดสามอันดับ .....	53
ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยสูงสุดสามอันดับ .....	54
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความแม่นยำการประมาณค่าความลึกกับงานวิจัยอื่น .....	55



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว .....	1
รูปที่ 1.2 แสดงแผนภาพแกนที่แสดงระยะเวลาการดำเนินการวิจัย .....	5
รูปที่ 2.1 ผังการทำงานของวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง วัตถุ .....	10
รูปที่ 2.2 แสดงผลลัพธ์การแบ่งย่อยรูปภาพด้วยการใช้กราฟอย่างมีประสิทธิภาพ .....	11
รูปที่ 2.3 ผลลัพธ์การหาจุดตัดต่ำสุดของระหว่างจุดยอด S และ T .....	13
รูปที่ 2.4 กราฟแบบระบุทิศทาง .....	13
รูปที่ 2.5 ผลลัพธ์การหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุด .....	14
รูปที่ 2.6 การแทนฉากสามมิติด้วยต้นไม้แบบอัญภาค .....	15
รูปที่ 2.7 การฉายภาพแบบทัศนมิติ .....	16
รูปที่ 2.8 การสร้างสามเหลี่ยมแบบเตลาอยู่ใน .....	16
รูปที่ 2.9 ผลลัพธ์จากงานวิจัยของคูทูลาโคส .....	17
รูปที่ 2.10 ผลลัพธ์จากงานวิจัยของฮอลรอยด์ .....	18
รูปที่ 2.11 ผลลัพธ์จากการสร้างฉากสามมิติโดยใช้แสงเงา .....	19
รูปที่ 2.12 การค้นหาแบบจำลองสามมิติจากภาพ .....	20
รูปที่ 2.13 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการผุดขึ้นของภาพแบบอัตโนมัติ .....	21
รูปที่ 2.14 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการเรียนรู้โครงสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว .....	22
รูปที่ 2.15 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการประมาณค่าความลึกของรูปเดี่ยวจากเลเบล เดี่ยว .....	23
รูปที่ 2.16 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง วัตถุ .....	24
รูปที่ 2.17 การสร้างฉากสามมิติที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจากความขัดแย้งของความสัมพันธ์ ....	24
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนระหว่างคู่วัตถุ .....	27
รูปที่ 3.2 การสร้างกราฟฉากสำหรับการนิยามความสัมพันธ์แบบวงกว้างโดยใช้โครงสร้างต้นไม้ แบบอัญภาค .....	30
รูปที่ 3.3 ผังแสดงการทำงานทั้งหมด .....	31
รูปที่ 3.4 ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน .....	32
รูปที่ 3.5 ผลลัพธ์การกำจัดความขัดแย้งภายใน .....	34
รูปที่ 3.6 ผลลัพธ์การควบรวมซูปเปอร์พิกเซล .....	35
รูปที่ 3.7 ผลลัพธ์การกำจัดความขัดแย้งภายนอก .....	36

รูปที่ 3.8 ผลลัพธ์การประมาณจุดสัมผัสพื้น ..... 39

รูปที่ 3.9 ผลลัพธ์การสร้างกราฟจากแสดงความสัมพันธ์ของวัตถุ..... 40

รูปที่ 3.10 ผลลัพธ์การประมาณค่าความลึกของแต่ละจุดภาพ..... 42

รูปที่ 4.1 ผลลัพธ์การสร้างฉากสามมิติจากรูปเดี่ยว..... 57

รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์การสร้างฉากสามมิติจากรูปเดี่ยวจากงานวิจัยอื่นๆ..... 58

รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์การสร้างฉากสามมิติจากรูปเดี่ยวที่มีความขัดแย้งในความสัมพันธ์ ..... 59

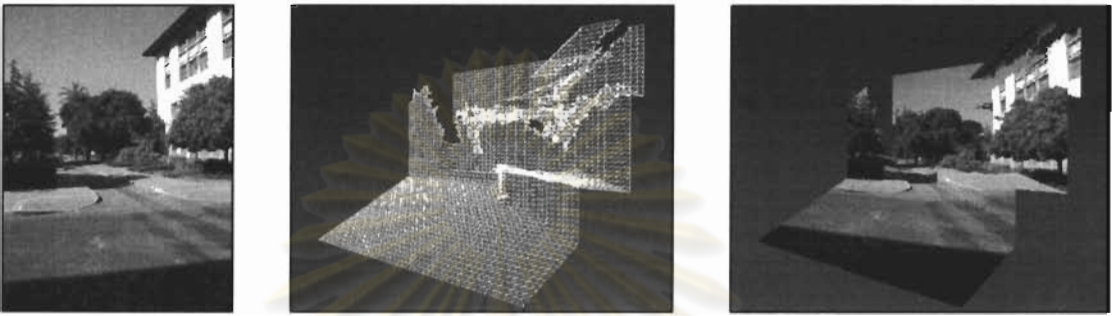


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา



รูปที่ 1.1 แสดงการสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว

ในปัจจุบัน การแสดงผลเป็นสามมิติได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องมาจากการพัฒนาด้านเครื่องมือการแสดงผล ดังเช่น ภาพยนตร์สามมิติ โทรทัศน์สามมิติ รวมไปถึงเครื่องมือพกพาต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามการสร้างฉากสามมิติเพื่อนำไปใช้นั้นกลับเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมากกว่า โดยต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญและเวลา ในการสร้างฉากสามมิติเพียงหนึ่งฉากส่งผลให้ผู้ใช้ไม่สามารถเข้าถึงได้มากเท่าที่ควร

การใช้ภาพในการสร้างฉากสามมิตินั้นเป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยจัดการปัญหาความยุ่งยากเหล่านั้นออกไป วิธีที่กล่าวมานี้ได้ถูกนำไปใช้ในโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ อาทิเช่น เช่น มุมมองถนนในกูเกิลแมป (Google map street view) หรือ โฟโต้ซินท์ [1] (photosynth) ของไมโครซอฟท์ ซึ่งสามารถสร้างฉากสามมิติที่มีความเสมือนจริงได้จากภาพที่ได้ในสถานที่ต่างๆ ถึงอย่างไรโปรแกรมประยุกต์ดังกล่าวต้องการภาพจำนวนมาก และเครื่องมือพิเศษในการสร้างซึ่งเป็นไปได้ยากสำหรับการใช้ทั่วไป

การใช้ภาพเพียงภาพเดียวในการสร้างภาพสามมิติจึงได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหานี้เนื่องจากภาพเดียวนั้นเข้าถึงได้ง่าย และมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่กล่าวมาเป็นปัญหาที่แก้ได้ยาก เนื่องจากข้อมูลภาพนั้นเป็นเพียงข้อมูลสีในสองมิติ การที่จะสร้างฉากที่มีสามมิติได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความลึก จากภาพเพียงภาพเดียวนั้นไม่สามารถรู้ถึงข้อมูลความลึกของภาพได้โดยตรง จึงได้มีผู้นำเสนอวิธีการในการแก้ไขปัญหานี้จำนวนมาก อาทิเช่น การใช้ข้อมูลแสงเงาโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีภายในภาพใน



การหาส่วนกลับสมการหาเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว ผ่านสมการการสะท้อนแสงของวัตถุ หรือการสร้างฐานข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อทำการเก็บข้อมูลสามมิติแล้วนำมาเทียบกับภาพนำเข้า เพื่อหาโมเดลที่ตรงกัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นความสามารถที่สามารถใช้งานได้กับวัตถุบางประเภท และแหล่งกำเนิดแสงบางชนิด หรือไม่สามารถทำงานได้หากไม่มีข้อมูลของวัตถุที่อยู่ในภาพ

วิธีการหนึ่งที่มีความสามารถในการสร้างฉากสามมิติจากภาพเดี่ยวอย่างมีประสิทธิภาพคือการใช้โมเดลการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ (Machine Learning) โดยในวิธีนี้สามารถแบ่งการทำงานได้สามขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนแรกจะทำการใช้วิธีการแบ่งภาพเพื่อแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อยๆที่เรียกว่าซูเปอร์พิกเซล ขั้นตอนที่สองคือการแบ่งกลุ่ม โดยจะทำการสกัดค่าจุดเด่นของแต่ละซูเปอร์พิกเซล ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการแบ่งกลุ่มเพื่อหาข้อมูลในการคืนสภาพข้อมูลสามมิติจากแต่ละซูเปอร์พิกเซล ขั้นตอนสุดท้ายจะทำการคืนสภาพออกมาเป็นฉากสามมิติ ซึ่งตัวอย่างของงานวิจัยในด้านนี้เช่น วิธีการที่ทำการแบ่งกลุ่มของซูเปอร์พิกเซลออกเป็นสามกลุ่มได้แก่ พื้น, ท้องฟ้า และส่วนตั้งฉาก [2] แล้วนำมาสร้างฉากสามมิติ โดยใช้วิธีการแบบตัด และพับ และวิธีการที่ทำการหาดำแหน่งและทิศทางของแต่ละซูเปอร์พิกเซล [3-5] โดยหากการวางตัวของส่วนต่างๆในภาพ แต่วิธีการที่กล่าวมาก็ยังไม่สามารถใช้ได้ในฉากที่มีความซับซ้อน หรือมีวัตถุที่มีการทับซ้อนอยู่กันเป็นจำนวนมาก

วิธีการที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ [6,7] (Object placement relation: OPR) ได้ถูกนำเสนอขึ้น โดยในกำหนดให้ซูเปอร์พิกเซลหนึ่ง แทนส่วนของวัตถุ หรือวัตถุ แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลข้างเคียง เพื่อนำไปสร้างฉากสามมิติ โดยวิธีการดังกล่าวสามารถสร้างฉากสามมิติ ที่สามารถใช้งานได้กับฉากที่มีความซับซ้อนมากกว่าได้ แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้ยังมีความผิดพลาดบางส่วน ดังเช่นมีความขัดแย้งกันเองในความสัมพันธ์ในกลุ่มของซูเปอร์พิกเซล และผลลัพธ์ที่ได้ยังมีความไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีการนิยามเพียงแค่ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน (Local) ซึ่งไม่ได้มีการหาความสัมพันธ์แบบวงกว้าง (Global) จึงทำให้ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลที่ไม่ได้อยู่ติดกัน

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการปรับปรุงการนิยามความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยการสร้างความสัมพันธ์แบบวงกว้างโดยใช้โครงสร้างข้อมูลแบบกราฟ ซึ่งสร้างจากการแบ่งส่วนของฉากจากภาพนำเข้า เพื่อนำไปใช้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุทั้งฉาก และใช้ความสัมพันธ์ที่ได้มาช่วยในการประมาณค่าความลึก และสร้างฉากสามมิติ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของฉากสามมิติที่ถูกสร้าง



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเสนออัลกอริทึมการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยการเพิ่มความสัมพันธ์แบบวงกว้างที่มีความแม่นยำในการแบ่งกลุ่ม โดยไม่เกิดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์ และปรับปรุงคุณภาพของฉากสามมิติที่สร้าง ซึ่งทำการวัดผลโดยการใช้ค่าผิดพลาดของความลึก และความสมบูรณ์ของรูปภาพที่ได้

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1 ข้อมูลนำเข้าเป็นรูปภาพขนาด 640×480 พิกเซล ที่ไม่มีความโปร่งใส โดยวิธีการสามารถทำงานได้ในรูปทิวทัศน์ ที่ไม่ประกอบด้วยส่วนแพดาน และไม่มีวัตถุที่ลอยอยู่ในฉาก รวมไปถึงมุมมองจะต้องเป็นแนวตรงขนานกับเส้นขอบฟ้า
- 2 การแสดงผลแบบจำลองออกมาเป็นรูปแบบสามมิติ โดยเป็นรูปแบบวีอาเอ็มแอล 2.0 (VRML2.0) โดยที่แบบจำลองที่ได้จะไม่มีการคำนึงถึงทิศทางของเวกเตอร์ปกติ
- 3 ข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการเรียนรู้ ประกอบด้วยรูปภาพจริงจากฐานข้อมูลของงานวิจัยการประมาณค่าความลึกจากรูปเดี่ยว [3-5]
- 4 งานวิจัยนี้จะทำการวัดผลทั้งหมดทั้งสองด้านได้แก่ ความแม่นยำในการแบ่งกลุ่ม และความผิดพลาดในการประมาณฉากสามมิติ โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ ประกอบด้วยรูปภาพจริงจากฐานข้อมูลของงานวิจัยการประมาณค่าความลึกจากรูปเดี่ยว [3-5]

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

วิธีการที่นำเสนอได้เพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์แบบวงกว้าง ซึ่งสามารถเพิ่มความแม่นยำในการแบ่งกลุ่ม และปรับปรุงคุณภาพของผลลัพธ์ที่เป็นฉากสามมิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ และในอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 22 เดือนโดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2552 ถึงเดือนมีนาคม 2554 โดยประกอบไปด้วยทั้งหมดเจ็ดขั้นตอนได้แก่ศึกษางานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึม ออกแบบโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ทดสอบ พัฒนาและทดสอบโปรแกรมประยุกต์ ทดลองและประเมินผล สรุปผลการดำเนินงาน จัดทำวิทยานิพนธ์

	เดือนเริ่มต้น	ระยะเวลา (เดือน)	มิ.ย.-52	ก.ค.-52	ส.ค.-52	ก.ย.-52	ต.ค.-52	พ.ย.-52	ธ.ค.-52	ม.ค.-53	ก.พ.-53	มี.ค.-53	เม.ย.-53	พ.ค.-53	มิ.ย.-53	ก.ค.-53	ส.ค.-53	ก.ย.-53	ต.ค.-53	พ.ย.-53	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54	มี.ค.-54	
ศึกษางานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	ก.ค.-52	5	■	■	■	■	■																		
วิเคราะห์ และออกแบบอัลกอริทึม	ก.ย.-52	7			■	■	■	■	■	■															
ออกแบบโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ทดสอบ	ม.ค.-52	5								■	■	■	■	■											
พัฒนา และทดสอบโปรแกรมประยุกต์	พ.ค.-53	8												■	■	■	■	■	■	■	■				
ทดลองและประเมินผล	ต.ค.-53	5																		■	■	■	■	■	
สรุปผลการดำเนินงาน	ม.ค.-54	2																				■	■		
จัดทำวิทยานิพนธ์	ก.พ.-54	2																					■	■	

รูปที่ 1.2 แสดงแผนภาพแกนต์แสดงระยะเวลาการดำเนินการวิจัย

## 1.6 ผลงานตีพิมพ์จากงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการดังนี้

- “Adaptive 3-D Scene Construction from Single Image Using Extended Object Placement Relation” โดย อาจารย์ สรรพอาษา, ณัฏพล พุดระกูล และ พิษณุ คนองชัยยศ ในงานประชุมวิชาการ “8th ACM SIGGRAPH international Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in industry”: ซึ่งจัดขึ้นที่ โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ในระหว่างวันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2553
- “Global Object Placement Relation for Improving 3-D Scene Construction from Single Image” โดย อาจารย์ สรรพอาษา และ พิษณุ คนองชัยยศ ในงานประชุมวิชาการ “The eighth annual international conference organized by Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology ”: ซึ่งจัดขึ้นที่ ขอนแก่น ประเทศไทย ในระหว่างวันที่ 17-19 พฤษภาคม 2554

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการแก้ไขวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยเพิ่มข้อมูลของความสัมพันธ์ที่ครอบคลุมถึงตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดภายในรูปภาพ โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสิบทฤษฎี ได้แก่ การประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ การแบ่งย่อยรูปภาพด้วยการใช้กราฟอย่างมีประสิทธิภาพ ซูเปอร์พิกเซล การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ การหาจุดตัดต่ำสุดของกราฟแบบมีต้นทางและปลายทาง กราฟอวัฏจักรระบุทิศทาง การแทนฉากสามมิติด้วยกราฟฉาก การหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุด การฉายแบบทัศนมิติ และการสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลลาอูใน

##### 2.1.1 การประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

การประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ [6,7] เป็นวิธีการสร้างฉากสามมิติโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ หรือ โอพีอาร์ (Object Placement Relation: OPR) โดยในวิธีการนี้ได้แบ่งความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุไว้ทั้งหมดหกความสัมพันธ์คือ

- 1 วัตถุเดียวกัน (Same Object: SO) กล่าวคือวัตถุทั้งสองชิ้นนั้นเป็นวัตถุชนิดเดียวกัน ซึ่งส่งผลให้ความลึกของวัตถุทั้งสองชิ้นนั้นมีค่าเท่ากัน หรือต่อเนื่องกันไป
- 2 ระนาบเดียวกัน (Same Plane: SP) กล่าวคือวัตถุทั้งสองชิ้นนั้นวางอยู่ในระนาบเดียวกันแต่เป็นวัตถุคนละชนิดกัน เนื่องจากความแตกต่างของพื้นผิวของวัตถุทั้งสองชนิด โดยความลึกของวัตถุสองชิ้นนั้นจะมีค่าเท่ากัน หรือต่อเนื่องกันไป

- 3 ปิดบัง (Occlude: OC) กล่าวคือวัตถุปิดบังวัตถุอื่นอยู่ โดยความลึกของวัตถุทั้งสองชั้นจะมีค่าไม่ต่อเนื่องกัน และวัตถุด้านหน้าจะมีความลึกที่น้อยกว่าวัตถุที่ถูกปิดบัง
- 4 ถูกปิดบัง (be Occluded by: OB) กล่าวคือวัตถุถูกวัตถุอื่นปิดบังอยู่ โดยความลึกของวัตถุทั้งสองชั้นจะมีค่าไม่ต่อเนื่องกัน และวัตถุด้านหน้าจะมีความลึกที่น้อยกว่าวัตถุที่ถูกปิดบัง
- 5 วางอยู่ (Place On: PO) กล่าวคือกรณีที่วัตถุทับวัตถุอื่นอยู่ โดยความลึกของวัตถุที่อยู่ด้านบน จะอยู่ระหว่างความลึกสูงสุด และต่ำสุดของความลึกของวัตถุฐาน
- 6 ถูกวางทับ (be Placed By: PB) กล่าวคือกรณีที่วัตถุถูกทับโดยวัตถุอื่นอยู่ โดยความลึกของวัตถุที่อยู่ด้านบน จะอยู่ระหว่างความลึกสูงสุด และต่ำสุดของความลึกของวัตถุฐาน

โดยวิธีการนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนวิธีห้าขั้นตอนคือ ขั้นตอนการแบ่งภาพ ขั้นตอนการสกัดค่าจุดเด่น ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม ขั้นตอนการประมาณค่าความลึก และขั้นตอนการสร้างฉากสามมิติ

ขั้นตอนการแบ่งภาพ (Segmentation) ในวิธีการนี้จะแบ่งภาพออกเป็น ส่วนย่อยเรียกว่าซูเปอร์พิกเซลโดยใช้วิธีการแบ่งส่วนย่อยรูปภาพด้วยการใช้กราฟอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อได้ซูเปอร์พิกเซลแล้ว จะทำการปรับปรุงคุณภาพของซูเปอร์พิกเซลโดยการนำซูเปอร์พิกเซลที่มีลักษณะเรียวยาว และขรุขระไปรวมกับซูเปอร์พิกเซลข้างเคียง โดยมีหลักเกณฑ์ในการวัดคือ ความเรียวยาวจะทำการวัดโดยใช้ค่าพื้นที่ต่อเส้นรอบรูป และความขรุขระวัดโดยใช้จำนวนจุดวิกฤติตามเส้นขอบของซูเปอร์พิกเซล

การสกัดค่าจุดเด่น (Feature Extraction) คือการสกัดค่าจุดเด่นเพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่ม ซึ่งสกัดออกมาจากซูเปอร์พิกเซล และความแตกต่างระหว่างจุดเด่นของกลุ่มซูเปอร์พิกเซลข้างเคียง โดยแบ่งค่าจุดเด่นออกเป็นสี่รูปแบบเพื่อใช้ในการแยกความสัมพันธ์ในรูปแบบ



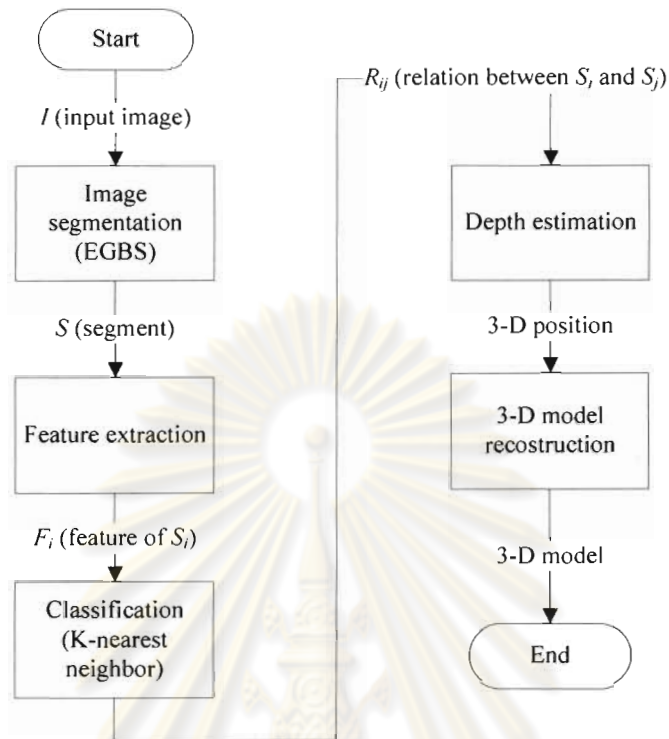
ต่าง ๆ ได้แก่ จุดเด่นทางลายพื้นผิว (texture) ใช้ในการแบ่งความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน จุดเด่นทางเส้นขอบ (edge) ใช้ในการแบ่งความสัมพันธ์แบบปิดบัง และถูกปิดบัง จุดเด่นทางเส้นตรง (straight line) ใช้ในการแบ่งความสัมพันธ์แบบระนาบเดียวกัน และจุดเด่นทางด้านตำแหน่ง (position) ใช้ในการแบ่งความสัมพันธ์แบบวางบน และถูกวางทับ

ขั้นตอนการจัดกลุ่ม (Classification) โดยในขั้นตอนนี้จะใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-nearest Neighbor) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคู่ซูเปอร์พิกเซล

ขั้นตอนการหาประมาณความลึก (Depth Estimation) โดยการหาจุดรวมสายตา โดยหาส่วนที่เป็นพื้น และท้องฟ้า ในรูปเพื่อประมาณค่าความลึกของตำแหน่งที่ซูเปอร์พิกเซลสัมผัสกับพื้น โดยจะประมาณค่า

ขั้นตอนการสร้างฉากสามมิติ (Depth Estimation) ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการประมาณค่าฉากสามมิติ โดยจะการเลือกจุดยอด (Vertex) จากจุดวิกฤตในขอบของซูเปอร์พิกเซล แล้วทำการขึ้นรูปโดยใช้วิธีการสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลลาอูโน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

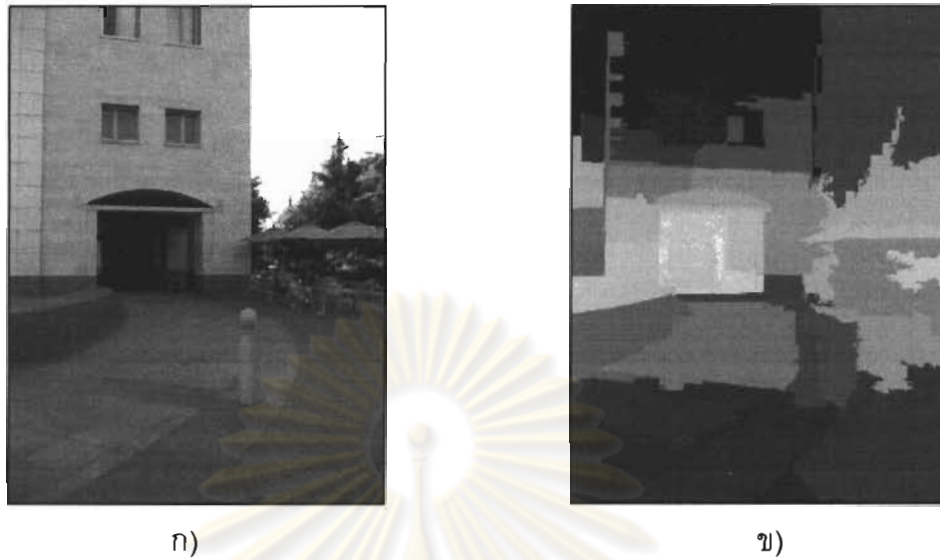


รูปที่ 2.1 ผังการทำงานของวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

### 2.1.2 การแบ่งย่อยรูปภาพด้วยการใช้กราฟอย่างมีประสิทธิภาพ หรืออีจีบีเอส

การแบ่งย่อยรูปภาพจากรูปคือ คือ กระบวนการแบ่งรูปภาพดิจิทัลออกเป็นเซตของจุดภาพ (Sets of pixels) โดยที่จุดภาพที่อยู่ในเซตมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน

ในการแบ่งกลุ่มด้วยการแบ่งกลุ่มด้วยการใช้กราฟอย่างมีประสิทธิภาพ [8] จะทำการมองพิกเซลภาพเป็นแต่ละจุดภายในเส้นกราฟ แล้วทำการจับกลุ่มพิกเซลที่มีความคล้ายคลึงกันออกเป็นกลุ่ม ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นวิธีแบบแบ่งส่วนเกิน (over-segment) กล่าวคือจะพยายามไม่ให้มีซูเปอร์พิกเซลที่แบ่งได้ประกอบไปด้วยวัตถุภายในภาพมากกว่าหนึ่งชิ้น ซึ่งตรงกับสมมติฐานของงานวิจัย



รูปที่ 2.2 แสดงผลลัพธ์การแบ่งย่อยรูปภาพด้วยการใช้กราฟอย่างมีประสิทธิภาพ ก) ภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์จากการแบ่งกลุ่มโดยแต่ละสีแสดงถึงส่วนย่อยที่ได้

### 2.1.3 ซูเปอร์พิกเซล

ซูเปอร์พิกเซล  $S_i$  คือกลุ่มของจุดภาพที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันที่อยู่ติดกัน โดยที่จุดภาพแต่ละจุดจะสามารถอยู่ได้ในซูเปอร์พิกเซลเพียงกลุ่มเดียว งานวิจัยนี้ทำการแบ่งซูเปอร์พิกเซลโดยใช้วิธีการแบ่งรูปด้วยกราฟอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่เราสามารถนิยามความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซล  $S$  และรูปภาพนำเข้า  $I$  ได้ดังสมการ

$$S_1, S_2, \dots, S_n = EGBS(I)$$

$$S_i = \{(x, y) \in I \mid (x, y) \text{ have a similar property defined by EGBS}\}$$

โดยที่  $\forall_i \forall_j (S_i \cap S_j) = \emptyset, \bigcup_{i=1}^n S_i = I$

โดยทำการกำหนดของซูเปอร์พิกเซลเพื่อนบ้าน (Neighbor Superpixel) คือซูเปอร์พิกเซลที่เชื่อมต่อกันโดยมีความเชื่อมต่อแบบสี่ (4-connected) ดังสมการ

$$S_i \in Nb(S_j) \leftrightarrow \begin{cases} \exists (x_j \pm 1, y_j) \in S_i \\ \exists (x_j, y_j \pm 1) \in S_i \end{cases}$$

### 2.1.4 การแบ่งกลุ่มแบบเบย์

การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเบย์ [9] เป็นวิธีการพื้นฐานสำหรับการแบ่งกลุ่มแบบความน่าจะเป็น โดยการประยุกต์ทฤษฎีของเบย์ (Bayes Theorem) คือ  $p(A|B) = \frac{p(B|A)p(A)}{p(B)}$  ซึ่งสามารถให้คำตอบออกมาในรูปแบบของความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะตกอยู่ในคลาส ซึ่งการแบ่งกลุ่มแบบเบย์สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้ โดยให้  $p(C|F_1 \cdots F_n)$  คือความน่าจะเป็นที่ข้อมูลที่มีจุดเด่น 1 ถึง  $n$  จะอยู่ในคลาส  $C$  และ  $Z$  คือตัวแปรขยาย

$$p(C|F_1 \cdots F_n) = \frac{1}{Z} p(C) \prod_{i=1}^n p(F_i|C)$$

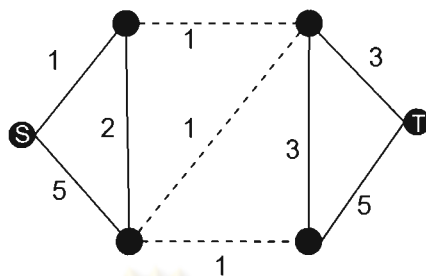
โดยที่การแบ่งกลุ่มแบบเบย์จะทำการเลือกคลาสที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดเป็นคลาสของข้อมูล ซึ่งแทนด้วยสมการ

$$\text{classify}(f_1 \cdots f_n) = \text{argmax}_c p(C = c) \prod_{i=1}^n p(F_i = f_i|C = c)$$

ซึ่งการแบ่งกลุ่มแบบเบย์นั้นจะแสดงถึงความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ที่เราสนใจจะเกิดขึ้นโดยเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต ซึ่งข้อดีของการใช้วิธีแบบความน่าจะเป็นในการแบ่งกลุ่มคือสามารถนำไปประกอบกับโมเดลความน่าจะเป็นอื่นได้ง่าย และสามารถเปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างคำตอบหลายคำตอบได้ชัดเจน

### 2.1.5 การหาจุดตัดต่ำสุดของกราฟแบบมีต้นทางและปลายทาง

จุดตัดต่ำสุดของกราฟคือกลุ่มของเส้นเชื่อมภายในกราฟที่มีผลรวมของน้ำหนักเส้นเชื่อมน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อตัดออกไปแล้วจะทำการแบ่งกราฟออกเป็นสองกราฟย่อย โดยการหาจุดตัดแบบมีต้นทาง (Source) และปลายทาง (Target) จะทำการกำหนดจุดยอดสองจุดยอด ซึ่งกราฟย่อยที่ได้จะต้องทำการแบ่งแยกจุดยอดทั้งสองจุดออกจากกัน การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้ขั้นตอนวิธีของฟอร์ดและเฟอ์กูสัน [10]

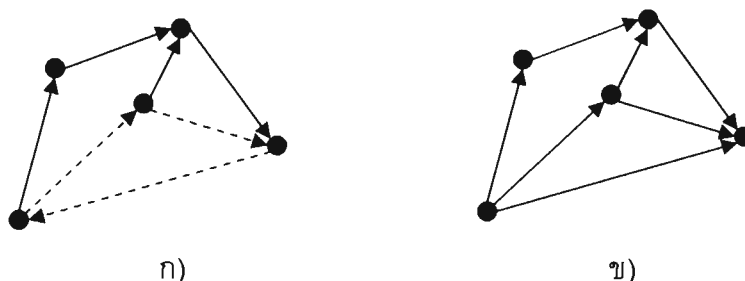


รูปที่ 2.3 ผลลัพธ์การหาจุดตัดต่ำสุดของระหว่างจุดยอด S และ T โดยเส้นประแสดงเส้นเชื่อมที่ถูกตัดออก

### 2.1.6 กราฟอวัฏจักรระบุทิศทาง

กราฟอวัฏจักรระบุทิศทางคือกราฟระบุทิศทางที่ไม่มีวัฏจักร (Strongly Connected Component) กล่าวคือไม่มีเส้นทางจากจุดยอดใดภายในกราฟระบุทิศทางที่เชื่อมต่อกับตัวเอง โดยกราฟชนิดนี้สามารถสร้างการเรียงตัวระหว่างจุดยอดได้ โดยการตรวจหาวัฏจักรจากกราฟระบุทิศทางสามารถทำได้โดยการใช้ขั้นตอนวิธีของทาจัน [11] ในการค้นหากราฟที่มีวัฏจักร

โดยการหากราฟอวัฏจักรระบุทิศทางที่มีผลรวมของน้ำหนักสูงที่สุดจากกราฟอวัฏจักรใดๆจะอาศัยขั้นตอนวิธีการหาเซตของเส้นเชื่อมย้อนกลับ (Feedback Arc Set) โดยปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-Complete Problem) ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณมาก ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุดในการหากราฟอวัฏจักรสูงที่สุดแทน

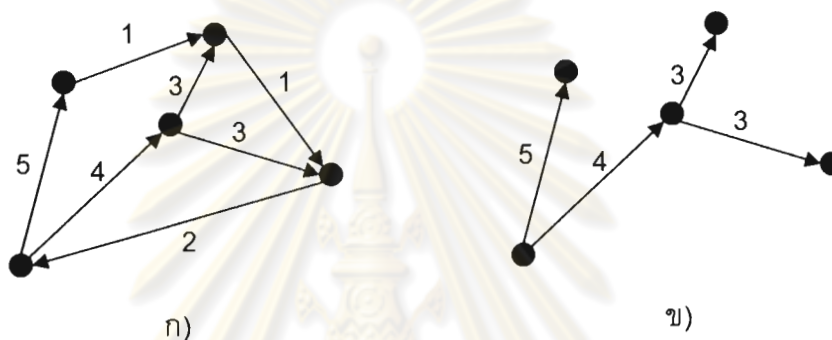


รูปที่ 2.4 กราฟแบบระบุทิศทาง ก) แบบมีวัฏจักร ข) แบบอวัฏจักร



### 2.1.7 การหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุด

กราฟเหมือนต้นไม้ (Arborescence) เป็นกราฟระบุทิศทางที่มีเส้นทางจากจุดยอดถึงจุดยอดอื่นเพียงเส้นทางเดียว โดยที่กราฟเหมือนต้นไม้ทุกกราฟนั้นจะเป็นกราฟอวัฏจักร โดยปัญหาการหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุด คือการหากราฟย่อยเหมือนต้นไม้จากกราฟระบุทิศทางที่มีผลรวมของน้ำหนักในแต่ละเส้นเชื่อมมากที่สุด การหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุดสามารถทำได้โดยการใช้ขั้นตอนวิธีของเอ็ดมอน [12]



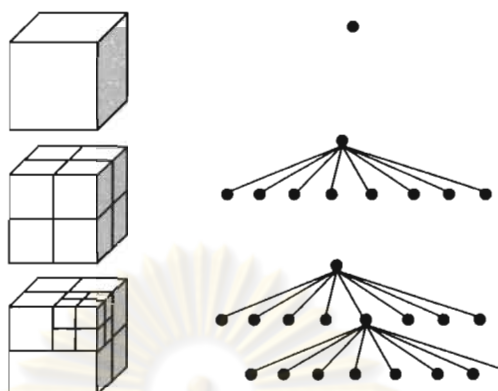
รูปที่ 2.5 ผลลัพธ์การหากราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุด ก) ข้อมูลนำเข้า ข) กราฟเหมือนต้นไม้ใหญ่สุดของกราฟนำเข้า

### 2.1.8 การแทนฉากสามมิติด้วยกราฟฉาก

กราฟฉากคือโครงสร้างข้อมูล ซึ่งใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุภายในฉากสามมิติ โดยมักจะมีลักษณะเป็นต้นไม้ที่มีโหนดแม่เพียงโหนดเดียว ซึ่งการการแปลงค่าในโหนดแม่ทั้งหมดจะส่งผลกระทบต่อโหนดลูกตามลำดับชั้น ซึ่งรวมไปถึงการกำหนดข้อมูลในลักษณะต่างๆ เช่น โอเพนจีแอล (OpenGL) ซึ่งการใช้กราฟฉากสามารถนำไปเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนต่างๆ ในสายท่อกาฟฟิก (graphic pipeline) โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้การแทนกราฟฉากด้วยวิธีต้นไม้อัฐภาค

ต้นไม้แบบอัฐภาคคือโครงสร้างต้นไม้ที่นิยมใช้ในการแทนข้อมูลสามมิติในลักษณะหนึ่ง โดยใช้หลักการแบ่งมิติ (space-partitioning) โดยแบ่งข้อมูลสามมิติโดยใช้ระนาบตัดในทั้งสามแนวแกน ซึ่งส่งผลให้เกิดการแบ่งข้อมูลออกเป็นแปดส่วนเท่ากัน โดยที่ในแต่ละส่วนสามารถใช้หลักการเดียวกันเพื่อแยกย่อยลงไปเพิ่มได้ โดยส่วนแบ่งข้อมูลสามารถแสดงได้อยู่ในรูปแบบต้นไม้โดยให้จุดยอดแม่แทนข้อมูลก่อนถูกตัดแบ่ง และมีจุดยอดลูกแปดจุดแทนส่วนที่ตัดได้แต่ละส่วน





รูปที่ 2.6 การแทนฉากสามมิติด้วยต้นไม้แบบอัฐภาค

### 2.1.9 การฉายแบบทัศนมิติ

การฉายแบบทัศนมิติ (Perspective Projection) เป็นการฉายภาพแบบหนึ่ง โดยที่แสงที่เข้ามาในกล้องไม่ได้เป็นแสงขนาน ซึ่งการฉายภาพประเภทนี้พบทั่วไปในลักษณะของการถ่ายภาพต่างๆ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพ  $(x', y')$  และพิกัดจริง  $(x, y, z)$  เมื่อ  $r$  และ  $r'$  คือระยะทางจากแนวแกนความลึกไปยัง พิกัดจริงและพิกัดภาพ

โดยตำแหน่งของวัตถุจากการฉายแบบทัศนมิติจะเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถแสดงได้จากสมการจากคุณสมบัติของสามเหลี่ยมคล้าย ดังสมการต่อไปนี้

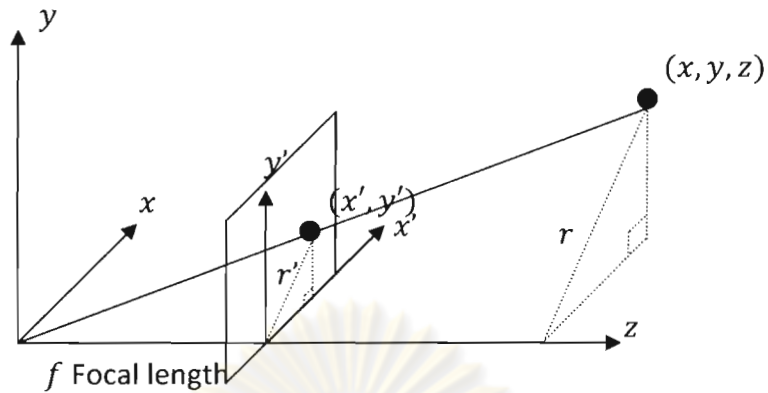
$$\frac{r}{r'} = \frac{z}{f}$$

$$\frac{x}{x'} = \frac{y}{y'} = \frac{r}{r'}$$

จากสมการข้างต้น เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดจริง และพิกัดภาพ ดังสมการต่อไปนี้

$$x' = \frac{f}{z}x$$

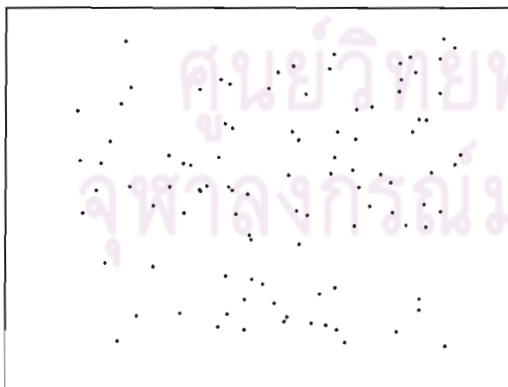
$$y' = \frac{f}{z}y$$



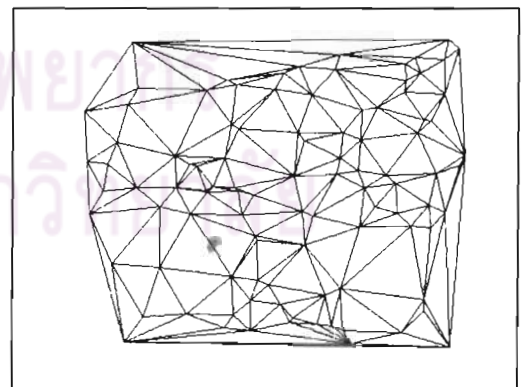
รูปที่ 2.7 การฉายภาพแบบทัศนมิติ

### 2.1.10 การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลลาอูโน

การสร้างสามเหลี่ยมเป็นวิธีการในการสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มจุด [13] โดยที่จะพยายามสร้างให้สามเหลี่ยมที่มีมุมภายในที่น้อยที่สุดให้มีค่ามากที่สุด โดยการสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลลาอูโน ทำการสร้างสามเหลี่ยมโดยใช้หลักการของแผนภาพโวโรนอย (Voronoi diagram) และการสร้างวงกลม (Circumcircle) ซึ่งการสร้างวงกลมคือการสร้างวงกลมโดยให้จุดสามจุดนั้นอยู่บนทรงกลมที่สร้าง ซึ่งวิธีการนี้จะอาศัยหลักการให้ทรงกลมที่สร้างนั้นจะไม่ล้อมรอบเซตของกลุ่มจุด



ก)



ข)

รูปที่ 2.8 การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลลาอูโน ก) กลุ่มจุดนำเข้า ข) ผลลัพธ์การสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มจุด

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการขึ้นรูปสามมิติจากรูปภาพ (Image-based Modeling) โดยงานวิจัยที่มุ่งเน้นในการขึ้นรูปสามมิติจากรูปภาพ สามารถแบ่งแยกได้ตามจำนวนของรูปภาพ นำเข้าเป็นสองกลุ่ม ดังนี้

### 2.2.1 การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติจากหลายภาพ

การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติจากหลายภาพจะอาศัยการนำเข้าของรูปภาพที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน เช่นด้านตำแหน่งของภาพ หรือแสงเงา ตัวอย่างงานวิจัยในลักษณะนี้ได้แก่ งานวิจัยของคูทูลาโคส [14] โดยอาศัยภาพจากหลายมุมมอง มาเป็นข้อมูลฐานในการสร้างภาพสามมิติ นอกจากนี้แนวคิดในการขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติจากภาพหลายมุมมองยังถูกนำไปใช้ โดยการอาศัยมุมมองกล้องขนาน (Stereo Images) โดยอาศัยภาพสองภาพที่คู่ขนานกันในการประมาณค่าความลึกของตำแหน่งภายในจุดภาพ ซึ่งสามารถเห็นได้ในการถ่ายรูปสามมิติในปัจจุบัน



ก)

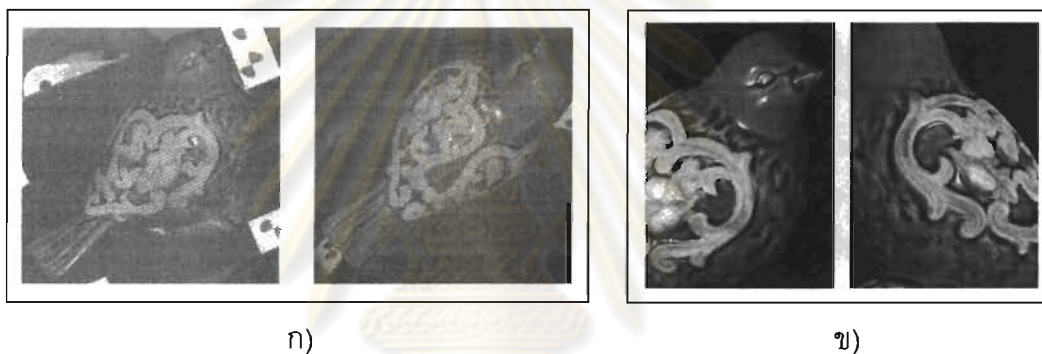


ข)

รูปที่ 2.9 ผลลัพธ์จากงานวิจัยของคูทูลาโคส ก) ส่วนหนึ่งของรูปภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติ [14]

นอกจากนี้อาศัยมุมมองของภาพที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถขึ้นรูปโดยการปรับรูปแบบของแสงเงาที่ต่างกันภายในมุมมองเดียวกัน โดยหลักการนี้ถูกนำมาใช้ในการสร้างเครื่องสแกนเนอร์สามมิติ (3-d Scanner) โดยตัวอย่างของงานวิจัยนี้ เช่นงานวิจัยของฮอลรอยด์ [15] โดยจะทำการยิงแสงเป็นแถบในหลายรูปแบบ เพื่อหาส่วนเว้าโค้งของวัตถุที่ถูกถ่าย โดยในงานวิจัยนี้นอกจากจะได้รูปทรงของวัตถุแล้วยังได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวอีกด้วย

แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยในลักษณะนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ โดยส่วนมากจะต้องการอุปกรณ์พิเศษในการสร้าง อีกทั้งรูปนำเข้าที่ใช้ั้นจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน โดยไม่มีความคงทนต่อแสงเงาที่เปลี่ยนไปภายในภาพ



รูปที่ 2.10 ผลลัพธ์จากงานวิจัยของฮอลรอยด์ ก) ส่วนหนึ่งของภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติ พร้อมข้อมูลลักษณะพื้นผิว [15]

## 2.2.2 การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติจากภาพภาพเดียว

การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติจากภาพภาพเดียวอาศัยรูปภาพนำเข้าเพียงภาพเดียว โดยรายละเอียดของแบบจำลองที่ได้จะลดลงเนื่องจากข้อมูลที่ขาดหายไปจากการลดมิติ แต่เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการทำงานมากกว่า โดยมีงานวิจัยในลักษณะมีหลายด้านเช่น การขึ้นรูปสามมิติจากแสงเงา, การค้นหาโมเดลสามมิติจากฐานข้อมูล และการขึ้นรูปสามมิติจากขั้นตอนวิธีเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์

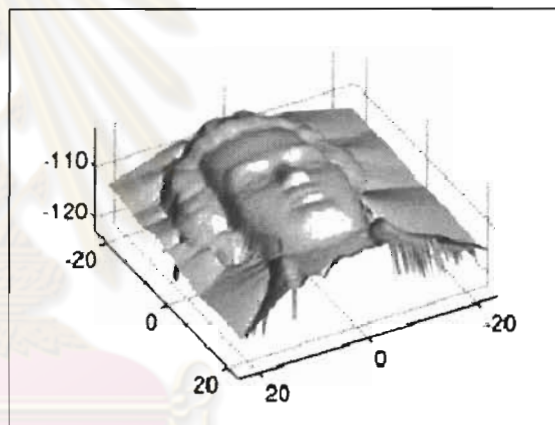
### 2.2.2.1 การขึ้นรูปสามมิติจากแสงเงา

การขึ้นรูปสามมิติจากแสงเงา [16] (Shape from Shading) เป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยการอาศัยส่วนกลับของสมการการสะท้อนแสง เพื่อหาค่าเวกเตอร์ปกติของตำแหน่งในแต่ละจุดภาพ ได้มีผู้เสนอวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้เทคนิคการหาค่าความเหมาะสม เช่นงานวิจัยของไซด์และชาร์ [17] ที่ใช้การแก้ไขปัญหแบบเชิงเส้นในการแก้สมการ หรืองานของลียงส์ [18] ที่ใช้สมการความหนืดเข้าช่วย

แต่การขึ้นรูปสามมิติโดยใช้วิธีนี้สามารถใช้ได้ในสภาวะแวดล้อมที่ถูกต้องไว้กับวัตถุที่มีขนาดเล็ก และวัตถุที่ใช้ต้องเป็นวัตถุที่เป็นเนื้อเดียว อีกทั้งไม่สามารถใช้กับวัสดุที่มีความมันวาวได้ การใช้วิธีดังกล่าวจึงไม่สามารถใช้ได้กับรูปภาพทั่วไปได้



ก)



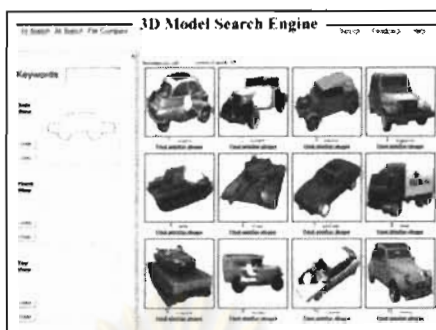
ข)

รูปที่ 2.11 ผลลัพธ์จากการสร้างจากสามมิติโดยใช้แสงเงา ก) ภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติ [16]

#### 2.2.2.2 การค้นหาแบบจำลองสามมิติจากภาพ

การค้นหาแบบจำลอง [19] จากภาพเป็นวิธีการในการขึ้นรูปสามมิติจากภาพรูปแบบหนึ่ง โดยการทำการเก็บข้อมูลแบบจำลองสามมิติในฐานข้อมูล แล้วทำการหาความแบบจำลองสามมิติที่เหมือนกับภาพนำเข้า โดยวิธีการนี้สามารถค้นหาแบบจำลองสามมิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงแบบจำลองสามมิติที่ได้ไม่มีการขาดหายเนื่องจากใช้ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์ในทุกมุมมองต่างจากวิธีอื่น แต่วิธีนี้ประสิทธิภาพจะขึ้นโดยตรงกับข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งหากไม่มีข้อมูลที่ใกล้เคียงกับภาพนำเข้าจะไม่สามารถทำงานได้





รูปที่ 2.12 การค้นหาแบบจำลองสามมิติจากภาพ [19]

### 2.2.2.3 การขึ้นรูปสามมิติจากขั้นตอนวิธีเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์

การขึ้นรูปสามมิติจากขั้นตอนวิธีเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์จะทำงานโดยการพยายามสร้างรูปสามมิติโดยการหาข้อมูลสำคัญที่ได้จากส่วนย่อยของรูปซึ่งทำการหาโดยวิธีการทางขั้นตอนวิธีเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ เช่น การแบ่งกลุ่ม โดยวิธีการนี้มีความสามารถแก้ปัญหาได้ในขอบเขตที่ค่อนข้างกว้าง โดยสามารถทำได้ในรูปที่มีลักษณะแตกต่างกันไป และออกแบบมาสำหรับการสร้างฉากสามมิติที่ประกอบด้วยวัตถุต่างๆ ซึ่งงานในลักษณะนี้เหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการรายละเอียดภายในแต่ละวัตถุมากนัก โดยวิธีการนี้มีขั้นตอนทั้งหมดสามขั้นตอนได้แก่ การแบ่งภาพ, การแบ่งกลุ่ม และการสร้างฉากสามมิติ

ในปี 2005 โฮเอ็มได้เสนองานวิจัยการหาค่าขึ้นของภาพแบบอัตโนมัติ [2,20-22] ซึ่งทำการการสร้างฉากแบบหาค่าขึ้น โดยมีสมมติฐานที่ว่าวัตถุนั้นตั้งอยู่บนระนาบเพียงระนาบเดียว และอยู่ในลักษณะตั้งฉากเท่านั้น โดยจะทำการการหาลेเบล (Label) ของแต่ละซูเปอร์พิกเซล โดยแบ่งประเภทของซูเปอร์พิกเซลออกเป็นสามอย่างคือ พื้นดิน ส่วนตึ๊งฉาก และห้องฟ้า ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

ทำการแบ่งรูปออกเป็นส่วนย่อย เรียกว่าซูเปอร์พิกเซลโดยใช้วิธีการแบ่งย่อยในเชิงกราฟอย่างมีประสิทธิภาพโดยเมื่อได้ซูเปอร์พิกเซลแล้ว จากนั้นจะทำการจัดกลุ่มของซูเปอร์พิกเซลที่น่าจะมีเลเบลที่เหมือนกัน แล้วเลือกกลุ่มที่ดีที่สุดมาเป็นผลลัพธ์

การทำการจัดกลุ่มภาพนั้นจะใช้วิธีขั้นตอนวิธีเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งจำเป็นจะต้องสกัดค่าจุดเด่นบางอย่างออกมา เพื่อใช้ในอัลกอริทึม ในงานวิจัยนี้ได้จัดสกัดค่าจุดเด่นของ



แต่ละซูเปอร์พิกเซลโดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ สี พื้นผิว ตำแหน่ง และลักษณะเชิงเรขาคณิต โดยเรียนรู้ผ่านแบบจำลองทางความน่าจะเป็นของอาดาบิวสต์ [23]

การสร้างฉากสามมิติในงานวิจัยนี้ได้เสนอการขึ้นรูปแบบ ตัดและพับ (Cut and fold) โดยการตัดส่วนท้องฟ้าทิ้งไป แล้วตั้งส่วนตั้งฉากขึ้น ซึ่งจะสามารถจำลองรูปสามมิติที่มีความสมจริง

งานวิจัยนี้ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ เนื่องจากสมมติฐานที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับฉากที่มีระนาบปรากฏได้เพียงระนาบเดียว รวมถึงไม่สามารถใช้กับรูปภาพที่มีวัตถุเป็นจำนวนมากได้ เนื่องจากวิธีนี้จะมองกลุ่มของวัตถุทั้งหมดเป็นชั้นเดียว และวิธีการขึ้นรูปสามมิติเป็นเพียงการขึ้นรูปแบบคร่าว ๆ เท่านั้น



ก)

ข)

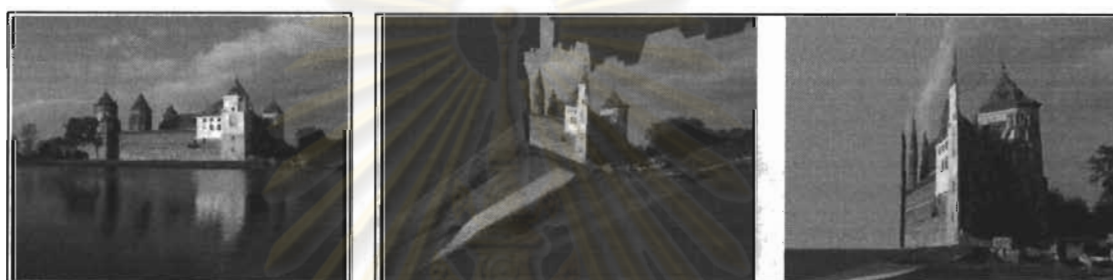
รูปที่ 2.13 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการผุดขึ้นของภาพแบบอัตโนมัติ ก) ภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติ [2]

นอกจากนี้ยังมีในปี 2007 แซกซึนาได้เสนองานวิจัยการเรียนรู้โครงสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว [3-5] โดยใช้มาร์คอฟแรนดอมฟิลด์ (Markov Random Field) ซึ่งเป็นโมเดลทางสถิติเพื่อใช้ในการหาค่าตำแหน่งของแต่ละส่วนประกอบของรูปภาพ โดยได้เสนอ มาร์คอฟแรนดอมฟิลด์ไว้สองรูปแบบ คือ แบบพารามิเตอร์ระนาบ (Plane parameter) และแบบจุด (point-wise)

แบบพารามิเตอร์ระนาบนั้น จะทำการแบ่งภาพเป็นซูเปอร์พิกเซล โดยที่ ตั้งสมมติฐานว่าซูเปอร์พิกเซลนั้นมีลักษณะเป็นระนาบ โดยจะทำการหาค่าตำแหน่งและทิศทางของแต่ละระนาบเพื่อนำมาประกอบเป็นรูป ส่วนในแบบจุดนั้นจะใช้จุดพิกเซลของภาพแทนการใช้ซูเปอร์พิกเซล แล้วหาค่าตำแหน่งของแต่ละจุดพิกเซล โดยใช้ค่าจุดเด่นสองประเภท คือค่าจุดเด่น

ของซูเปอร์พิกเซลเดียว และค่าจุดเด่นที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างคู่ซูเปอร์พิกเซล จากผลการทดลองพบว่ามาร์คอฟแรนดอมฟิลด์แบบพารามิเตอร์ระนาบนั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

โดยฉากที่ได้จากวิธีการนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นเดียวทั้งฉาก ซึ่งสามารถสร้างฉากที่มีความแม่นยำ แต่วิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดเนื่องจากลักษณะของฉากที่ได้ ทำให้ไม่สามารถแสดงผลของฉากที่มีวัตถุจำนวนมากได้



ก)

ข)

รูปที่ 2.14 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการเรียนรู้โครงสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว ก) ภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติ [5]

ในปี 2010 ลิว และคณะ ได้เสนองานวิจัยการประมาณค่าความลึกของรูปเดี่ยวจากเลเบล [24] โดยในงานวิจัยนี้เสนอการหาความสัมพันธ์ระหว่างเลเบลของแต่ละจุดภาพกับความลึก โดยนำความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ในการสร้างฉากสามมิติ

ในงานวิจัยนี้ทำการแบ่งคลาสของวัตถุภายในฉากไว้ทั้งหมดแปดกลุ่ม ได้แก่ ท้องฟ้า , ถนน, น้ำ, หญ้า, สิ่งก่อสร้าง, ภูเขา และวัตถุฉาก โดยทำการเรียนรู้หาความสัมพันธ์ของตำแหน่งในภาพกับความลึกในรูปแบบของลอการิทึมฐานสิบ แล้วใช้มาร์คอฟแรนดอมฟิลด์คำนวณหาค่าความลึกเช่นเดียวกับงานของแซกซีน่า

งานวิจัยนี้สามารถหาความลึกของภาพได้อย่างแม่นยำ แต่ในงานวิจัยขั้นนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกล้องมาก และไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากได้



ก)



ข)

รูปที่ 2.15 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการประมาณค่าความลึกของรูปเดี่ยวจากเลเบล เดี่ยว ก) ภาพ  
นำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติ [24]

ในปี 2008 ฟูตระกูลได้เสนองานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ เพื่อสร้างฉากที่มีความซับซ้อน โดยใช้วิธีการทางการเรียนรู้ทางคอมพิวเตอร์ ในการจำแนกความสัมพันธ์ระหว่างคู่ซูเปอร์พิกเซลทั้งหมดทุกรูปแบบ คือ วัตถุเดียวกัน บดบัง ถูกบดบัง อยู่ในระนาบเดียวกัน ตั้งอยู่บน และถูกทับ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

วิธีการนี้จะทำการแบ่งซูเปอร์พิกเซลออกเป็นส่วนย่อย แล้วทำการปรับปรุงคุณภาพ และนำซูเปอร์พิกเซลทั้งหมดมาทำการหาความสัมพันธ์โดยผ่านอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest neighbor) ซึ่งเมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างทุกคู่พิกเซล จะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลภาพ แล้วใช้ความรู้ด้านมุมมองแบบทัศนมิติ (Perspective) ในการหาความลึกสัมบูรณ์ของแต่ละจุดภาพ และนำมาสร้างฉากสามมิติ

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ค่าจุดเด่นโดยใช้ค่าจุดเด่นสองประเภท คือค่าจุดเด่นของตัวซูเปอร์พิกเซลเอง และค่าจุดเด่นระหว่างคู่ซูเปอร์พิกเซลที่ติดกัน และในแต่ละประเภทได้แบ่งออกเป็นสี่หมวดหมู่ คือ ด้านลายพื้นผิว ด้านเส้นขอบ ด้านเส้นตรง และด้านตำแหน่ง

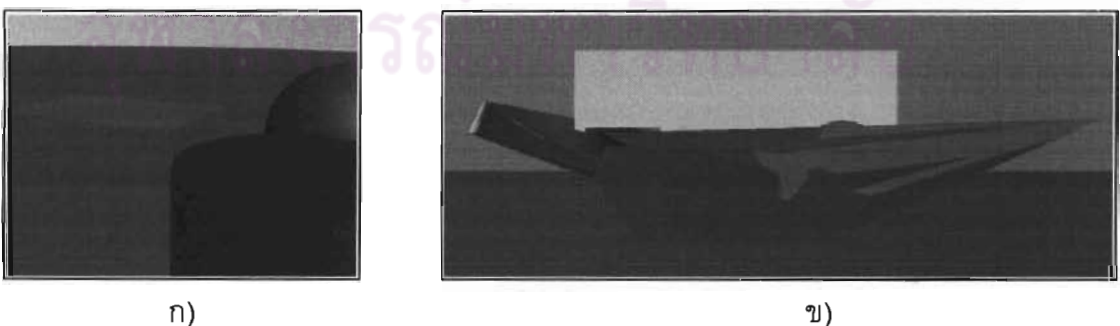
แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลในงานวิจัยนี้มีความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน ซึ่งไม่สามารถระบุถึงความสัมพันธ์ของทั้งฉากได้ ซึ่งทำให้เกิดข้อ

ขัดแย้งของความสัมพันธ์ของวัตถุ ทำให้การประมาณฉากสามมิติยังมีข้อบกพร่อง รวมถึงค่าจุดเด่นบางค่านั้นไม่มีความแม่นยำเพียงพอที่สามารถแยกความสัมพันธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.16 ผลลัพธ์จากงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ ก) ภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติ [7]

โดยจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาสามารถสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยวซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุจำนวนมากได้ ถึงแม้ว่าวิธีการกำหนดความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนไม่สามารถแก้ไขปัญหาการในการกำหนดความสัมพันธ์ได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนนั้นไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ของซูเปอร์พิกเซลที่ห่างกันออกไปได้ รวมถึงยังไม่สามารถกำจัดข้อขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์ นอกจากนี้วิธีการในการสร้างภาพสามมิติยังคงประสบปัญหาความผิดพลาดในการสร้างฉาก ซึ่งส่งผลให้เกิดฉากที่มีความไม่สมเหตุสมผลขึ้น ซึ่งปัญหาที่ได้กล่าวมาสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความสัมพันธ์แบบวงกว้างสำหรับทุกวัตถุภายในฉาก รวมถึงการปรับปรุงขั้นตอนวิธีในการสร้างฉากสามมิติ



รูปที่ 2.17 การสร้างฉากสามมิติที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจากความขัดแย้งของความสัมพันธ์ ก) ภาพนำเข้า ข) ผลลัพธ์การประมาณแบบจำลองสามมิติที่มีข้อผิดพลาด



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

นำเสนอวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด โดยกล่าวถึงภาพรวมของการทำงาน การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ และการปรับปรุงการทำงานจากวิธีการประมาณค่าจากสามมิติจากรูป

#### 3.1 ภาพรวมของการทำงาน

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการสร้างฉากสามมิติจากความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยทำการนิยามความสัมพันธ์ไว้สองประเภท คือความสัมพันธ์แบบเฉพาะคือความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุที่อยู่ติดกัน และความสัมพันธ์แบบวงกว้างคือความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุทั้งหมดภายในฉาก โดยการจำแนกความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนออกเป็นห้าประเภท คือวัตถุเดียวกัน บดบัง ถูกบดบัง วางบน และถูกวางทับ ส่วนความสัมพันธ์แบบวงกว้างทำแสดงโดยใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ และโครงสร้างต้นไม้ฮิวราค

กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉากในด้าน ความสูง และความลึก โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในการประมาณจุดสัมผัสพื้น รวมถึงเส้นขอบฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการประมาณค่าความลึกของวัตถุภายในฉาก อีกทั้งใช้ความสัมพันธ์ที่ได้ในการพิจารณาความต่อเนื่องระหว่างวัตถุในฉากสามมิติ

งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานจากงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ ทั้งหมดสี่ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม, ขั้นตอนการสร้างกราฟฉาก, ขั้นตอนการประมาณค่าความลึก และขั้นตอนการสร้างฉากสามมิติ

โดยในงานวิจัยนี้จะจำกัดคำนิยามของตัวแปรต่างๆดังนี้

**นิยาม 1** รูปภาวนาเข้า  $I$  คืออาร์เรย์สองมิติที่แต่ละคู่อันดับ  $(x, y)$

**นิยาม 2** ซูเปอร์พิกเซล  $S$  คือเซตของคู่อันดับ  $(x, y)$  ใน  $I$  ที่มีลักษณะคล้ายกันตามที่กำหนด ในขั้นตอนการแบ่งย่อยรูปภาพ

**นิยาม 3** คอมโพเนนท์  $C$  คือเซตของ  $S$  ที่แสดงถึงวัตถุชิ้นเดียวกันภายใน  $I$

**นิยาม 4** ความสัมพันธ์  $R_{ij}$  คือคลาสแสดงลักษณะประเภทความสัมพันธ์ระหว่าง  $S_i$  กับ  $S_j$  หรือ  $C_i$  กับ  $C_j$

### 3.2 การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยการหาค่าความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งหมดภายในฉาก โดยจะแบ่งความสัมพันธ์เป็นสองรูปแบบคือ ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน (Local Relation) และความสัมพันธ์แบบวงกว้าง (Global Relation) โดยความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนคือความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซล และซูเปอร์พิกเซลเพื่อนบ้าน ในขณะที่ความสัมพันธ์แบบวงกว้างคือโครงสร้างของข้อมูลที่ทำให้การเก็บความสัมพันธ์ตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดภายในฉาก

#### 3.2.1 ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน

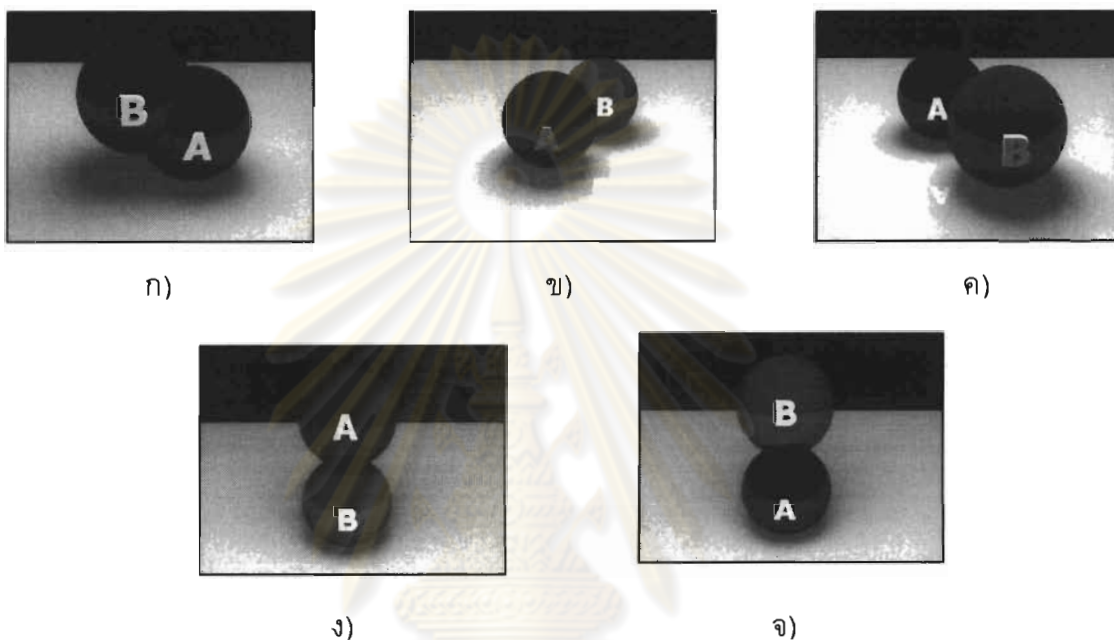
ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนออกเป็นทั้งหมดห้าคลาส ได้แก่ ความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน ความสัมพันธ์แบบบดบัง ความสัมพันธ์แบบถูกบดบัง ความสัมพันธ์แบบวางบน และความสัมพันธ์แบบถูกวางทับ โดยทำการลดความสัมพันธ์แบบระนาบเดียวกันออกไป เมื่อเทียบกับงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวมีกลุ่มตัวอย่างที่น้อย และมีส่วนที่ซ้อนทับกับความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันเกือบทั้งหมด โดยแต่ละความสัมพันธ์จะมีคำจำกัดความดังต่อไปนี้

ความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน (Same Object: SO) คือความสัมพันธ์ที่ซูเปอร์พิกเซลทั้งสองเป็นวัตถุเดียวกัน โดยความสัมพันธ์ในลักษณะนี้จะให้ค่าความลึกของทั้งสองคู่ซูเปอร์พิกเซลที่เท่ากัน

ความสัมพันธ์แบบบดบัง (Occlude: OC) และความสัมพันธ์แบบถูกบดบัง (be Occluded by: OB) คือมีซูเปอร์พิกเซลหนึ่งอยู่ด้านหน้าของอีกซูเปอร์พิกเซลหนึ่ง โดยความสัมพันธ์ในลักษณะนี้จะให้ซูเปอร์พิกเซลที่บดบังมีค่าความลึกมากกว่าซูเปอร์พิกเซลที่ถูกบดบัง



ความสัมพันธ์แบบวางบน (Place on: PO) และถูกวางทับ (be Placed by: PB) คือมีซูเปอร์ฟิกเซลหนึ่งอยู่บนอีกซูเปอร์ฟิกเซลหนึ่ง โดยความสัมพันธ์ในลักษณะนี้จะทำให้ซูเปอร์ฟิกเซลที่อยู่ด้านบนมีค่าความลึกเท่ากับซูเปอร์ฟิกเซลที่อยู่ด้านล่าง



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนระหว่างคู่วัตถุ ก) วัตถุเดียวกัน ข) บดบัง ค) ถูกบดบัง  
ง) วางบน จ) ถูกวางทับ

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอคุณสมบัติของแต่ละความสัมพันธ์ เพื่อให้ความสัมพันธ์ที่ได้ปราศจากความซ้ำซ้อนไว้ดังนี้

คุณสมบัติการสลับที่ของความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยหากความสัมพันธ์ของ  $S_i$  และ  $S_j$  เป็นแบบวัตถุเดียวกันแล้ว ความสัมพันธ์ของ  $S_j$  และ  $S_i$  ย่อมเป็นแบบวัตถุเดียวกันด้วย โดยแสดงดังสมการ

$$R_{ij} = SO \leftrightarrow R_{ji} = SO$$

คุณสมบัติของความสัมพันธ์แบบบดบังกับถูกบดบัง และคุณสมบัติของความสัมพันธ์แบบวางบนและถูกวางทับนั้นมีความสัมพันธ์แบบตรงกันข้าม โดยหากความสัมพันธ์ของ  $S_i$  และ  $S_j$  เป็นความสัมพันธ์แบบบดบังแล้ว ความสัมพันธ์ของ  $S_j$  และ  $S_i$  ย่อมเป็นแบบถูกบดบัง โดยแสดงดังสมการ

$$R_{ij} = OC \leftrightarrow R_{ji} = OB$$

$$R_{ij} = PO \leftrightarrow R_{ji} = PB$$

คุณสมบัติของการถ่ายทอดของความสัมพันธ์กันโดยหากความสัมพันธ์ของ  $S_i$  และ  $S_j$  เป็นความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันและความสัมพันธ์ของ  $S_j$  และ  $S_k$  เป็นแบบวัตถุเดียวกันแล้ว ความสัมพันธ์ของ  $S_i$  และ  $S_k$  ย่อมเป็นแบบวัตถุเดียวกัน โดยแสดงดังสมการ

$$R_{ij} = SO \text{ and } R_{jk} = SO \leftrightarrow R_{ik} = SO$$

สุดท้ายความสัมพันธ์แบบบดบัง, ถูกบดบัง, วางบน และถูกวางทับโดยหากความสัมพันธ์ของ  $S_i$  และ  $S_j$  เป็นความสัมพันธ์แบบเดียวกับความสัมพันธ์ของ  $S_j$  และ  $S_k$  แล้ว ความสัมพันธ์ของ  $S_k$  และ  $S_i$  ห้ามมีความสัมพันธ์เดียวกับความสัมพันธ์ข้างต้น โดยแสดงดังสมการ

$$R_{ij} = OC \text{ and } R_{jk} = OC \rightarrow \sim R_{ki} = OC$$

$$R_{ij} = OB \text{ and } R_{jk} = OB \rightarrow \sim R_{ki} = OB$$

$$R_{ij} = PO \text{ and } R_{jk} = PO \rightarrow \sim R_{ki} = PO$$

$$R_{ij} = PB \text{ and } R_{jk} = PB \rightarrow \sim R_{ki} = PB$$

ซึ่งหากคู่ความสัมพันธ์ใดขัดกับคุณสมบัติดังกล่าวจะถือว่าเกิดความขัดแย้งขึ้นในความสัมพันธ์ที่หามาได้ เพราะจะทำให้ไม่สามารถสรุปคุณสมบัติของคู่ความสัมพันธ์ทั้งหมดภายในฉาก

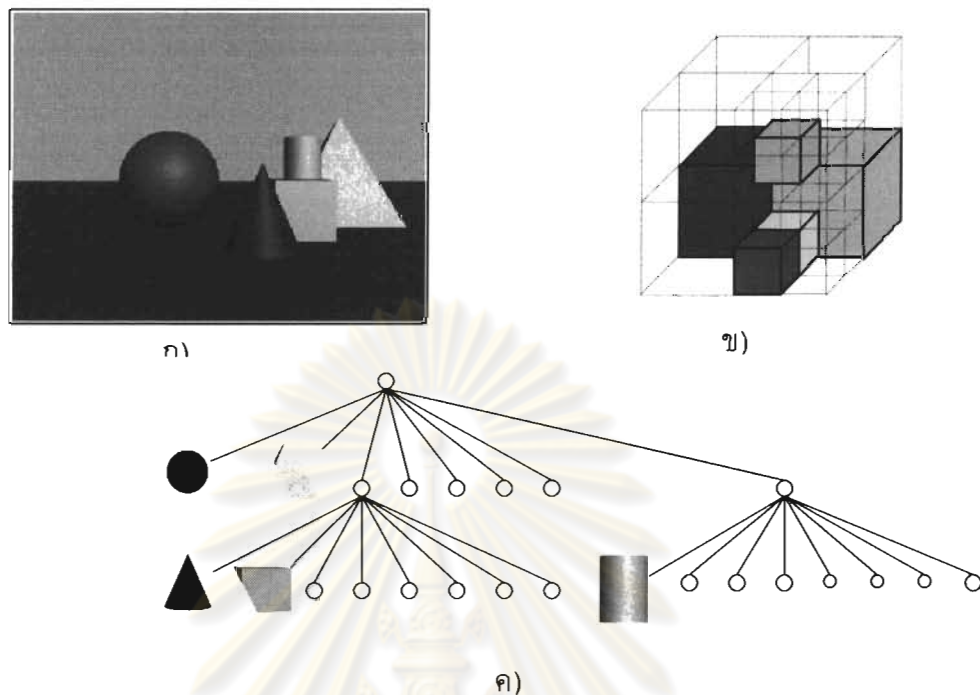
### 3.2.2 ความสัมพันธ์แบบวงกว้าง

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้ความสัมพันธ์แบบวงกว้างไว้ในหลายลักษณะโดยแบ่งเป็นความสัมพันธ์วงกว้างของแต่ละประเภทของความสัมพันธ์ และความสัมพันธ์วงกว้างสำหรับการแทนความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉาก

ความสัมพันธ์วงกว้างสำหรับแต่ละประเภทความสัมพันธ์ โดยจะใช้ข้อมูลกราฟในการแทนความสัมพันธ์ โดยจุดยอดของกราฟจะแทนแต่ละซูเปอร์พิกเซลในภาพ และเส้นเชื่อมจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลข้างเคียง โดยความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันจะใช้กราฟแบบไม่ระบุทิศทางในการแทน และความสัมพันธ์แบบบดบังกับถูกบดบัง และความสัมพันธ์แบบวางบนกับถูกวางทับจะใช้กราฟแบบระบุทิศทางในการแทน

การสร้างกราฟฉากในการแทนความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉาก การสร้างกราฟฉากสามารถสร้างได้โดยวิธีการแบ่งมิติเพื่อสร้างทำการสร้างโครงสร้างโครงสร้างข้อมูลที่อธิบายความสัมพันธ์ของวัตถุต่างๆภายในฉาก โดยการใช้ต้นไม้แบบฮิวริสติก ในการแทนความสัมพันธ์ตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดภายในฉาก

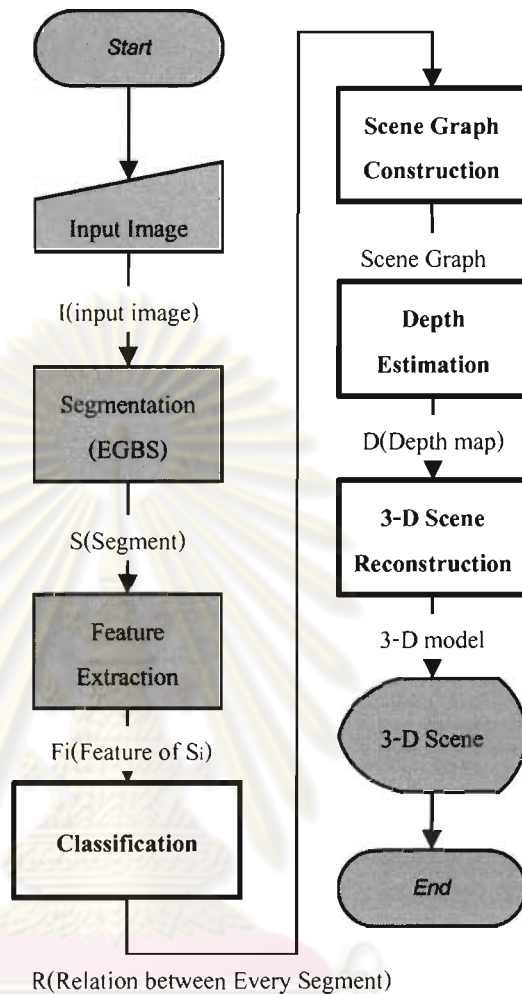
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 การสร้างกราฟฉากสำหรับการนิยามความสัมพันธ์แบบวงกว้างโดยใช้โครงสร้างต้นไม้แบบอัญภาค ก) ภาพนำเข้า ข) การตัดแบ่งฉากสามมิติเพื่อการสร้างต้นไม้อัญภาค ค) ต้นไม้อัญภาคที่แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุภายในภาพ

### 3.3 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำงาน

ในงานวิจัยนี้อาศัยขั้นตอนการทำงานของงานวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ [6,7] โดยการทำการเพิ่มความสัมพันธ์แบบวงกว้างเข้าไปในการทำงาน โดยทำการปรับปรุงทั้งหมดสามขั้นตอน และเพิ่มขั้นตอนการทำงานหนึ่งขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม, ขั้นตอนการสร้างกราฟฉาก, ขั้นตอนการประมาณค่าความลึก และขั้นตอนการสร้างฉากสามมิติ



รูปที่ 3.3 ผังแสดงการทำงานทั้งหมด ขั้นตอนที่ไม่ถูกแรเงาแสดงขั้นตอนการทำงานที่ทำการปรับปรุงจากงานวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

### 3.3.1 การแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์

ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ (Classification) เป็นขั้นตอนในการหาความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลเพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของวัตถุภายในฉาก โดยประกอบไปด้วยสองขั้นตอนย่อย คือการหาความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน (Local Relation Classification), และการกำจัดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน (Conflict Elimination)

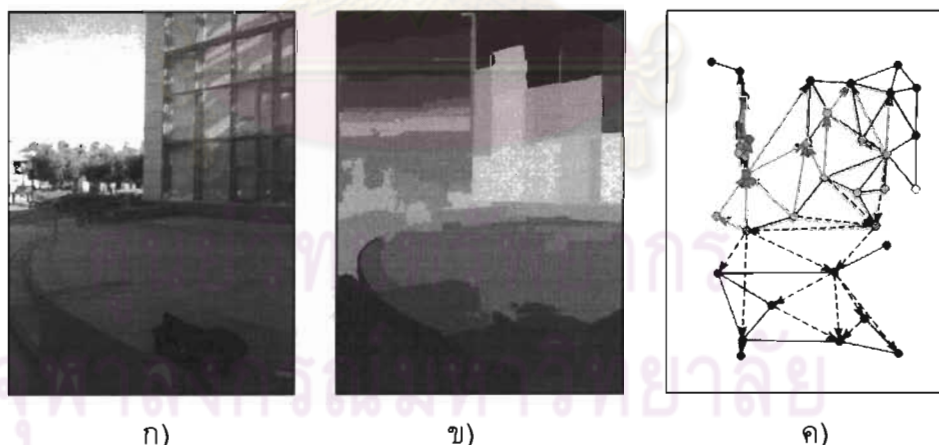


### 3.3.1.1 การหาความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน

ในขั้นตอนนี้จะทำการจำแนกคลาสของความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนของทุกๆคู่ ชูเปอร์ฟิสิกเซล ที่เป็นเพื่อนบ้านกัน โดยจะทำการแบ่งคลาสของความสัมพันธ์ออกเป็นทั้งหมดห้า ความสัมพันธ์ตามหัวข้อที่ 3.2.1 และใช้ค่าจุดเด่นทั้งหมด 83 ค่าตามงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ เป็นข้อมูลฐานในการจำแนกคลาส

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ในการทำการหาคลาสของความสัมพันธ์ โดยวิธีดังกล่าวจะให้ค่าความน่าจะเป็นที่ความสัมพันธ์ตกอยู่ในแต่ละคลาสของความสัมพันธ์ โดยจะกำหนดให้คลาสที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดเป็นคลาสสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างคู่ชูเปอร์ฟิสิกเซลนั้น

สุดท้ายในขั้นตอนนี้จะได้ความสัมพันธ์สำหรับทุกคู่ชูเปอร์ฟิสิกเซลที่เป็นเพื่อนบ้านกัน แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ที่ได้ยังมีความขัดแย้งซึ่งขัดกับคุณสมบัติที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1 เนื่องจากการพิจารณาหาความสัมพันธ์นั้นทำเพียงหาความสัมพันธ์กับชูเปอร์ฟิสิกเซลข้างเคียงเท่านั้น



รูปที่ 3.4 ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน ก) รูปนำเข้า ข) ชูเปอร์ฟิสิกเซลของรูป ค) ความสัมพันธ์ที่ได้ เส้นสีแดงแสดงความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน ลูกศรสีเขียวแสดงความสัมพันธ์แบบบดบัง และลูกศรสีน้ำเงินแสดงความสัมพันธ์แบบวางทับ โดยทิศทางแสดงถึงทิศทางของความสัมพันธ์



### 3.3.1.2 การกำจัดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน

ในขั้นตอนนี้จะทำการแก้ไขความขัดแย้งที่เกิดขึ้นระหว่างความสัมพันธ์ โดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งความขัดแย้งที่เกิดขึ้นเป็นสองลักษณะ คือความขัดแย้งภายใน และความขัดแย้งภายนอก โดยแยกตามประเภทของความสัมพันธ์ที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งนั้นขึ้น

ความขัดแย้งภายในคือความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในกลุ่มซูเปอร์ฟิสิกเซลที่เป็นวัตถุเดียวกัน ระหว่างความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันกับความสัมพันธ์แบบอื่นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติการถ่ายทอดของความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยหากมีความสัมพันธ์แบบอื่นอยู่ภายในกลุ่มของความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันแล้วจะเกิดความขัดแย้งขึ้น

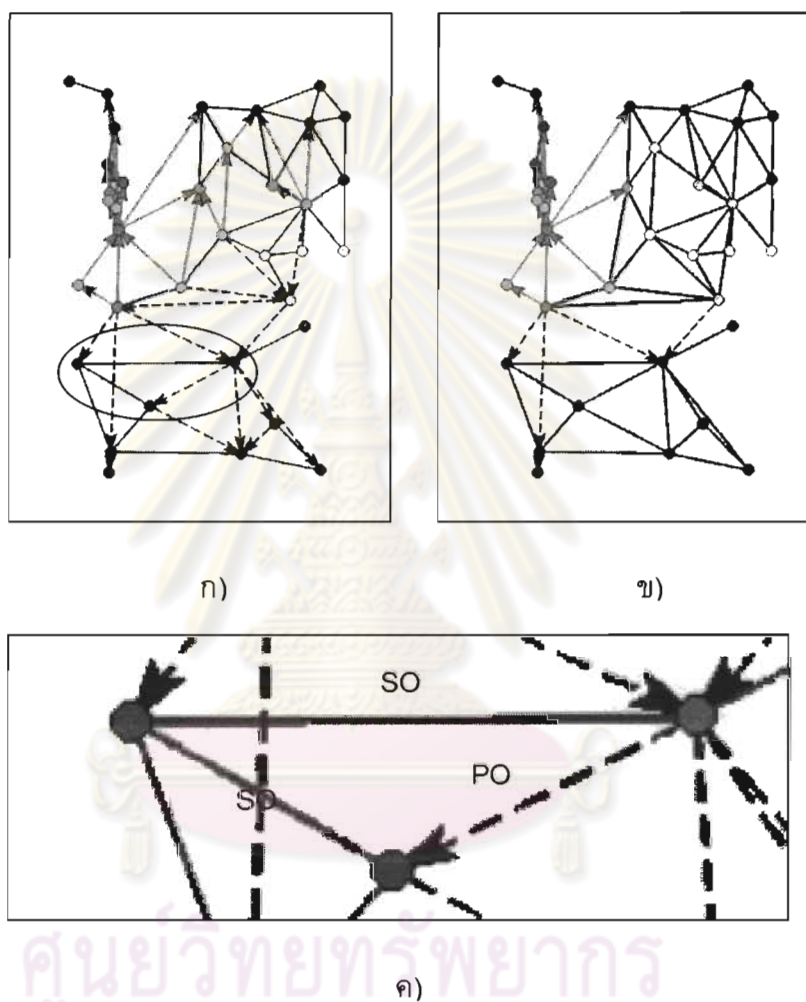
ความขัดแย้งภายนอกคือความขัดแย้งที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มของซูเปอร์ฟิสิกเซลที่อยู่คนละวัตถุกัน โดยจะเกิดขึ้นระหว่างความสัมพันธ์แบบบดบังกับถูกบดบัง และความสัมพันธ์แบบวางบนกับถูกวางทับ โดยความสัมพันธ์ในประเภทนี้จะไม่สามารถมีความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นวงได้

ขั้นตอนการกำจัดความขัดแย้งที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนย่อย คือการกำจัดความขัดแย้งภายใน, การควมรวมซูเปอร์ฟิสิกเซล และการกำจัดความขัดแย้งภายนอก

ขั้นตอนแรกคือการกำจัดความขัดแย้งภายใน โดยทำการแทนที่ความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันด้วยกราฟไม่ระบุทิศทาง โดยกำหนดให้จุดยอดของกราฟบ่งบอกถึงซูเปอร์ฟิสิกเซลทั้งหมด และเส้นเชื่อมบ่งบอกถึงความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยมีค่านำหนักคือความน่าจะเป็นที่ความสัมพันธ์ตกอยู่คลาสความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยกำหนดให้จุดยอดที่ความเชื่อมต่อ (Connectivity) กันแสดงถึงวัตถุที่เป็นวัตถุเดียวกัน และทำการแบ่งออกเป็นกราฟย่อยตามความเชื่อมต่อที่เกิดขึ้น โดยหากมีความสัมพันธ์ใดที่อยู่ระหว่างจุดยอดที่เป็นวัตถุเดียวกัน และไม่ได้ตกอยู่ในคลาสความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันจะเป็นตำแหน่งของความสัมพันธ์ที่เกิดความขัดแย้ง

เมื่อทำการค้นหาความสัมพันธ์ที่เกิดความขัดแย้งภายในทั้งหมดแล้วจะทำการกำจัดความสัมพันธ์นั้นโดยพิจารณากลุ่มของเส้นเชื่อมที่เป็นจุดตัดต่ำสุดของกราฟย่อยที่ครอบคลุมความสัมพันธ์ที่ขัดแย้ง และทำการเปรียบเทียบผลรวมของน้ำหนัก ระหว่างการเปลี่ยนความสัมพันธ์ที่ขัดแย้งเป็นความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน กับการเปลี่ยนความสัมพันธ์

ของจุดตัดต่ำสุดเป็นความสัมพันธ์ประเภทเดียวกับความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ที่ขัดแย้ง โดยเลือกกราฟที่มากกว่าเป็นกราฟที่ถูกต้อง



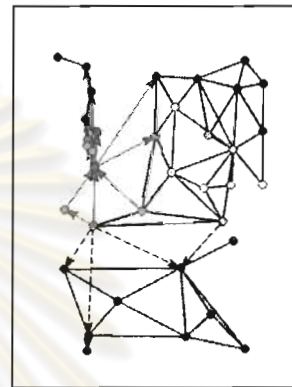
รูปที่ 3.5 ผลลัพธ์การกำจัดความขัดแย้งภายใน ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่มีความขัดแย้งภายใน ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ถูกกำจัดความขัดแย้งภายใน ค) บริเวณตัวอย่างที่มีความขัดแย้งภายใน

ขั้นตอนต่อมาคือการควรรวมซูเปอร์ฟิกเซล จากขั้นตอนก่อนหน้า ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุเดียวกันนั้นจะถูกกำจัดความขัดแย้งจนหมด ซึ่งสามารถทำให้ควรรวมจากกลุ่มของซูเปอร์ฟิกเซลที่มีความสัมพันธ์กันในแบบวัตถุเดียวกันให้เป็นคอมโพเนนท์

(Component) โดยทำการหาค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละของความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์ฟิกเซลที่อยู่ในคอนโคมโพเนนท์ เพื่อหาความน่าจะเป็นที่ความสัมพันธ์ระหว่างคอนโคมโพเนนท์ที่จะตกอยู่ในคลาสใด ๆ และเลือกคลาสที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดเป็นคลาสของความสัมพันธ์ระหว่างคอนโคมโพเนนท์ที่ติดกัน



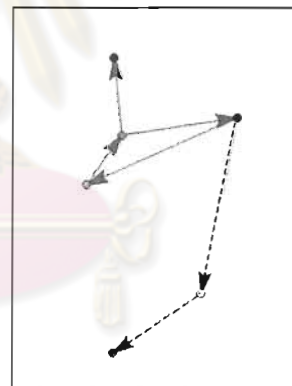
ก)



ข)



ค)

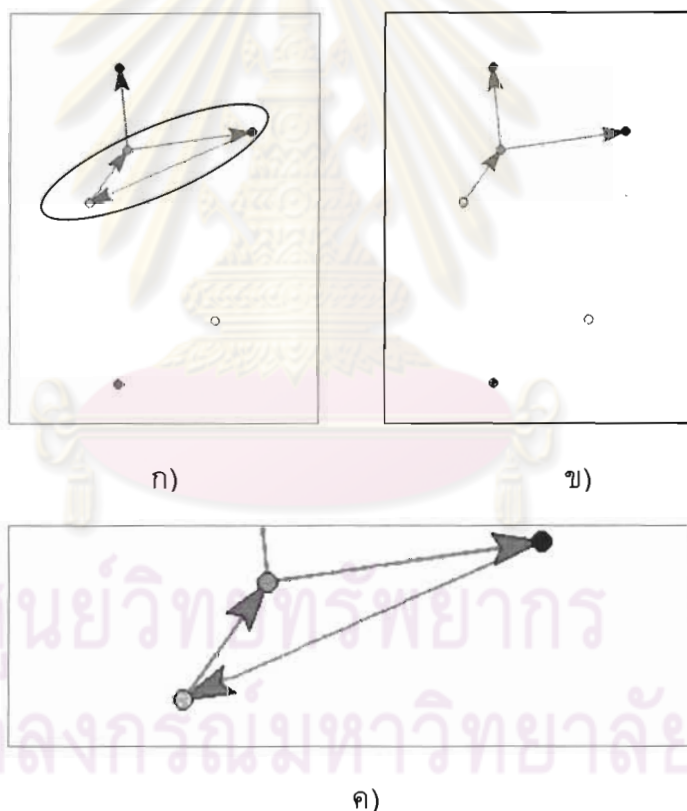


ง)

รูปที่ 3.6 ผลลัพธ์การควมรวมซูเปอร์ฟิกเซล ก) ซูเปอร์ฟิกเซลของรูป ข) ความสัมพันธ์ของแต่ละซูเปอร์ฟิกเซล ค) คอนโคมโพเนนท์ของรูปโดยแต่ละสีจะแสดงถึงวัตถุเพียงวัตถุเดียว ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคอนโคมโพเนนท์ที่ติดกัน ลูกศรสีเขียวแสดงความสัมพันธ์แบบบดบัง และลูกศรสีน้ำเงินแสดงความสัมพันธ์แบบวางทับ โดยทิศทางแสดงถึงทิศทางของความสัมพันธ์

ขั้นตอนสุดท้ายคือการกำจัดความขัดแย้งภายนอก โดยจะแบ่งเป็นสองกลุ่มความสัมพันธ์คือกลุ่มความสัมพันธ์แบบการบดบัง ประกอบด้วยความสัมพันธ์แบบบดบังและถูก

บดบัง และกลุ่มความสัมพันธ์แบบการวาง ประกอบด้วยความสัมพันธ์แบบวางบนและถูกวางทับ โดยแทนความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยกราฟแบบระบุทิศทาง โดยให้จุดยอดบ่งบอกถึงคอมโพเนนต์ ทั้งหมด เส้นเชื่อมแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคอมโพเนนต์ โดยมีน้ำหนักคือความน่าจะเป็นที่องค์ประกอบจะตกอยู่ในคลาส และมีทิศทางคือทิศของการบดบัง หรือการวางบน โดยจะแยกทำออกเป็นสองกราฟคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์แบบบดบัง และกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง โดยความขัดแย้งสามารถหาได้โดยการหาวัฏจักรที่เกิดขึ้น ซึ่งหมายความว่ากราฟที่ปราศจากความขัดแย้งจะต้องเป็นกราฟอวัฏจักรระบุทิศทางนั่นเอง โดยหากไม่เป็นจะทำการแปลงโดยอาศัยกราฟเสมือนต้นไม้ใหญ่สุดเพื่อให้ได้กราฟที่ปราศจากความขัดแย้งภายนอก



รูปที่ 3.7 ผลลัพธ์การกำจัดความขัดแย้งภายนอก ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่มีความขัดแย้งภายนอก ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ถูกกำจัดความขัดแย้งภายนอก ค) บริเวณตัวอย่างที่มีความขัดแย้งภายนอกโดยเกิดวัฏจักรภายในกราฟ



กล่าวโดยสรุปในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจจับความขัดแย้งที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ โดยทำการรวมกลุ่มของซูเปอร์พิกเซลให้เป็นคอมโพเนนท์ที่แสดงถึงวัตถุที่เป็นวัตถุเดียว โดยความสัมพันธ์ระหว่างคอมโพเนนท์จะถูกแสดงอยู่ในรูปภาพแสดงความสัมพันธ์แบบบดบัง และกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงลำดับขั้นของการเรียงตัวของวัตถุทั้งหมดภายในฉาก

### 3.3.2 การสร้างกราฟฉาก

ขั้นตอนการสร้างกราฟฉาก (Scene Graph Construction) เป็นขั้นตอนในการสร้างกราฟฉากโดยการใช้ต้นไม้แบบฮิวราคเพื่อแสดงถึงตำแหน่งของแต่ละวัตถุ โดยประกอบไปด้วยสองขั้นตอนย่อย คือการการประมาณค่าตำแหน่งสัมผัสพื้นของแต่ละซูเปอร์พิกเซล (Ground Contact Position Estimation) และการสร้างกราฟฉาก (Scene Graph Construction)

#### 3.3.2.1 การประมาณค่าตำแหน่งสัมผัสพื้น

ตำแหน่งสัมผัสพื้นคือตำแหน่งในแนวความสูงของรูปที่วัตถุทำการสัมผัสกับพื้นระนาบ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการประมาณค่าความลึก โดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคอมโพเนนท์มาเป็นข้อมูลเบื้องต้น โดยแบ่งออกเป็นห้าขั้นตอนย่อย ได้แก่การหาคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้นและฉากหลัง, การหาดำแหน่งเส้นขอบฟ้า, การหาคอมโพเนนท์พื้น, การหาดำแหน่งสัมผัสพื้น และการปรับปรุงตำแหน่งสัมผัสพื้น

ขั้นตอนแรก การหาคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้น (Reference Ground Component) และฉากหลัง (Background Component) ทำ โดยการกำหนดคอมโพเนนท์ที่อยู่ด้านล่างสุดให้เป็นคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้น และคอมโพเนนท์ที่อยู่หลังสุดเป็นฉากหลัง โดยทำการพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบบดบังสำหรับคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้น และกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวางสำหรับคอมโพเนนท์ฉากหลัง โดยเลือกคอมโพเนนท์ที่ไม่มีเส้นเชื่อมที่ชี้ออกจากคอมโพเนนท์หรือตำแหน่งใบ (Leaf) โดยหากมีคอมโพเนนท์ที่มากกว่าหนึ่งที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจะทำการเลือกโดยการพิจารณาดำแหน่งต่ำสุดในแนวแกนความสูงในรูปสำหรับฉากตำแหน่งเริ่มต้นของพื้น และสูงสุดสำหรับฉากหลัง

การหาดำแหน่งเส้นขอบฟ้า (Horizon Line) เส้นขอบฟ้าคือตำแหน่งที่พื้นดินติดกับท้องฟ้าภายในรูป ซึ่งแสดงถึงจุดสิ้นสุดของความลึกภายในรูป โดยหาจากค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่คอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้น และฉากหลังต่อเนื่องกัน โดยหากคอมโพเนนท์ทั้งสองไม่ติดกันจะทำการหาจากค่าเฉลี่ยของตำแหน่งสูงสุดของคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้น และตำแหน่งต่ำที่สุดของคอมโพเนนท์ฉากหลัง

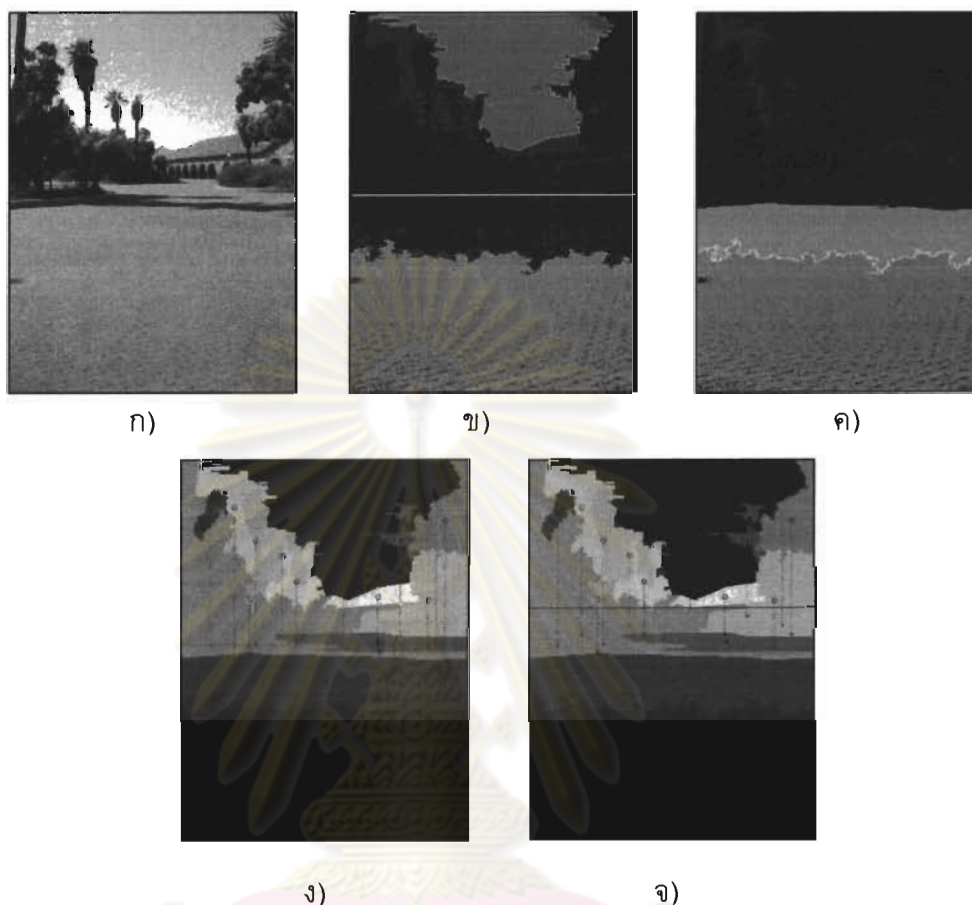
คอมโพเนนท์พื้น (Ground) คือคอมโพเนนท์ที่ตั้งอยู่ในแนวระนาบกับกล้อง ซึ่งมีส่วนต่อความถูกต้องของฉากที่สร้าง การกำหนดซูเปอร์พิกเซลพื้นทำโดยหาคอมโพเนนท์ที่ตั้งอยู่บนคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้นตามกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวง และมีตำแหน่งสูงสุดไม่เกินตำแหน่งเส้นขอบฟ้า

การประมาณจุดสัมผัสพื้นทำโดยการพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวง โดยวัตถุที่มีการวางอยู่บนวัตถุอื่นจะมีจุดสัมผัสพื้นที่ต่ำที่สุดเท่ากับจุดสัมผัสพื้นของวัตถุที่อยู่ด้านล่างสุด การประมาณจุดสัมผัสพื้นของแต่ละคอมโพเนนท์ ทำโดยการหาดำแหน่งที่ต่ำสุดของคอมโพเนนท์ที่ถูกคอมโพเนนท์ที่สนใจนั้นวางทับอยู่ที่สัมผัสกับคอมโพเนนท์พื้น หรือคอมโพเนนท์ที่อยู่ปลายสุดของกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวง ที่มีตำแหน่งในแนวความกว้างเท่ากับตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของคอมโพเนนท์ที่สนใจ โดยหากตำแหน่งที่ได้สูงกว่าตำแหน่งเส้นขอบฟ้าให้กำหนดตำแหน่งจุดสัมผัสไว้ที่ตำแหน่งเส้นขอบฟ้า

การปรับปรุงตำแหน่งสัมผัสพื้นทำเพื่อปรับปรุงตำแหน่งสัมผัสพื้นที่หามาได้ให้ เป็นไปตามความสัมพันธ์แบบบดบัง โดยการทำการพิจารณาตามลำดับชั้นของกราฟแสดงการบดบัง โดยคอมโพเนนท์ที่บดบังจะต้องมีตำแหน่งสัมผัสพื้นน้อยกว่าคอมโพเนนท์ที่ถูกบดบัง โดยหากไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ดังกล่าวจะทำการเลื่อนตำแหน่งของจุดสัมผัสออกไป และสุดท้ายทำการเลื่อนตำแหน่งเส้นขอบฟ้าไปยังตำแหน่งจุดสัมผัสที่สูงที่สุด

โดยสรุปแล้วในขั้นตอนของการประมาณค่าจุดสัมผัสพื้นจะทำการประมาณค่าจุดสัมผัสพื้นโดยให้สอดคล้องกราฟของความสัมพันธ์บดบัง และวางอยู่ เพื่อการประมาณค่าความลึกที่ถูกต้อง





รูปที่ 3.8 ผลลัพธ์การประมาณจุดสัมผัสพื้น ก) รูปนำเข้า ข) คอมโพเนนต์พื้นเริ่มต้นและคอมโพเนนต์ฉากหลัง ค) คอมโพเนนต์พื้น ง) จุดสัมผัสพื้นที่ก่อนการปรับปรุง วงกลมแสดงจุดศูนย์กลางของคอมโพเนนต์ ภาพบาทแสดงตำแหน่งสัมผัสพื้น จ) จุดสัมผัสพื้นที่หลังการปรับปรุง

### 3.3.2.2 การสร้างกราฟฉาก

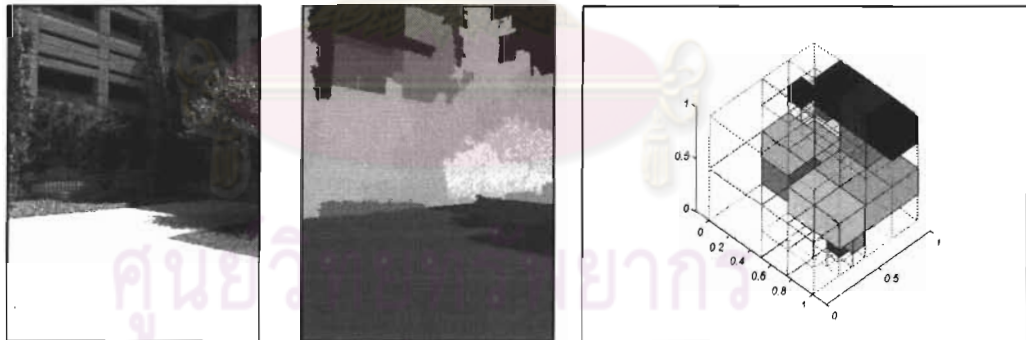
ความสัมพันธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมาจะสามารถบ่งบอกได้ถึงความสัมพันธ์ด้านตำแหน่งที่มีความอิสระต่อกันในด้านความสูงและความลึก ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างกราฟฉากเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ทางด้านตำแหน่งระหว่างวัตถุทั้งหมดภายในฉาก โดยครอบคลุมความสัมพันธ์ในทุกแนวแกนด้วยการใช้ต้นไม้แบบอัฐภาค

การสร้างต้นไม้แบบอัฐภาคนั้นจะต้องทำการแบ่งมิติออกในแนวแกนทั้งสามคือ ความกว้าง ความสูง และความลึก แต่เนื่องจากข้อมูลภาพนั้นมีความสัมพันธ์ที่ได้เพียงสอง

แนวแกนคือความกว้าง และความสูง งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวคิดการสร้างส่วนแทนฉากจากรูปภาพโดยใช้การตัดแบ่งในแนวแกนต่างๆดังนี้

- แนวแกนความกว้าง: การสร้างระนาบตัดในแนวตั้งฉากกับระนาบรูปโดยตรง
- แนวแกนความสูง: สร้างระนาบโดยอาศัยเส้นอ้างอิงสองเส้นคือตำแหน่งกึ่งกลางของระนาบรูป และตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นขอบฟ้ากับตำแหน่งบนสุดของรูป
- แนวแกนความลึก: สร้างระนาบโดยอาศัยการตัดในแนวขนานกับระนาบรูปโดยตัดจากแนวจากจุดต่ำสุดของภาพไปยังเส้นขอบฟ้า

โดยจะทำการตัดครึ่งตามระนาบที่กำหนดไปจนกว่าจุดศูนย์กลางของทุกๆคอมโพเนนต์ภายในภาพจะถูกแบ่งแยกกันโดยสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ได้โครงสร้างข้อมูลที่แสดงถึงตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดที่อยู่ภายในภาพ



ก)

ข)

ค)

รูปที่ 3.9 ผลลัพธ์การสร้างกราฟฉากแสดงความสัมพันธ์ของวัตถุ ก) รูปนำเข้า  
ข) คอมโพเนนต์ของรูป ค) การแบ่งมิติของต้นไม้แบบอรรถภาคสำหรับรูปนำเข้า

### 3.3.3 การประมาณความลึกของแต่ละจุดภาพ

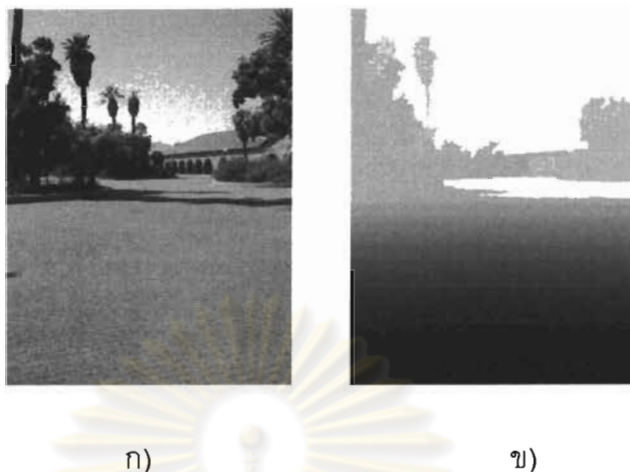
ในการหาความลึกของแต่ละจุดภาพ สามารถทำได้โดยการใช้คุณสมบัติของการฉายแบบทัศนมิติ โดยอาศัยค่าคงที่คือ ความสูงของกล้อง  $h_c$  , ความยาวโฟกัส  $f$  และตำแหน่งของเส้นขอบฟ้า  $y_h$  ดังสมการ

$$d(x, y) = \frac{h_c f}{|y_h - y|}$$

โดยการประมาณค่าความลึกจะแบ่งเป็นสามลักษณะคือการหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์พื้น คอมโพเนนท์ติดพื้นและค่าความลึกของคอมโพเนนท์ปกติ

- การหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์พื้นจะทำโดยการหาค่าความลึกตามแนวแกนความสูงของภาพโดยที่ทุกจุดภาพที่มีตำแหน่งความสูงในภาพเท่ากัน จะมีความลึกที่เท่ากัน
- การหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์ที่ติดพื้น โดยคอมโพเนนท์ที่ติดพื้นคือคอมโพเนนท์อยู่ในระดับที่ติดกับคอมโพเนนท์พื้นในกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบการวาง โดยจะให้ค่าความลึกของทุกจุดภาพในคอมโพเนนท์มีค่าเท่ากับคอมโพเนนท์พื้นที่สูงที่สุดที่มีความตำแหน่งในแนวแกนความกว้างเท่ากับตำแหน่งจุดภาพนั้น
- การหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์ปกติ โดยคอมโพเนนท์ปกติคือคอมโพเนนท์ที่นอกเหนือจากคอมโพเนนท์ข้างต้น โดยในประเภทนี้จะมีค่าความลึกเท่ากันทั้งคอมโพเนนท์ โดยคำนวณจากตำแหน่งสัมผัสพื้นที่ได้จากขั้นตอนที่

3.3.2.1



รูปที่ 3.10 ผลลัพธ์การประมาณค่าความลึกของแต่ละจุดภาพ ก) รูปนำเข้า ข) แผนที่ความลึก

### 3.3.4 การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติ

ความลึกของจุดภาพที่ได้มาจากขั้นตอนที่ผ่านมา ยังไม่สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติ ในขั้นตอนนี้จะทำการนำเสนอขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสามมิติ ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความต่อเนื่องของวัตถุภายในฉากคือวัตถุที่วางซ้อนทับกันจะมีความต่อเนื่องกันทั้งหมดในแบบจำลองที่สร้างขึ้นการขึ้นรูปแบบจำลองจึงขึ้นรูปตามกลุ่มของคอมโพเนนท์ที่มีความเชื่อมต่อกันในกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง โดยคอมโพเนนท์ทุกคอมโพเนนท์ที่มีความเชื่อมต่อกันแบบวางจะถูกมองเป็นแบบจำลองที่มีความต่อเนื่องเพียงชิ้นเดียว

การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติโดยแบ่งออกเป็นสี่ขั้นตอน ได้แก่ การเลือกจุดยอด, การแปลงพิกัดของจุดยอด, การสร้างวัตถุโดยการสร้างสามเหลี่ยม, การส่งออกแบบจำลองสามมิติ

#### 3.3.4.1 การเลือกจุดยอด

การเลือกจุดยอด (Vertex) ของแบบจำลองทำเพื่อลดความซ้ำซ้อนในรูปทรงของแบบจำลองโดยหากใช้ทุกจุดภาพนำมาสร้างแบบจำลองจะได้แบบจำลองที่มีขนาดใหญ่มาก การเลือกจุดยอดที่เหมาะสมจึงช่วยลดขนาดของแบบจำลองที่ได้โดยยังคงคุณสมบัติที่ถูกต้อง

ของแบบจำลอง โดยคุณสมบัติที่ใช้ในการเลือกจุดยอดที่เหมาะสมมีสองประเภทคือ คุณสมบัติของเส้นขอบ และความลึก

คุณสมบัติทางเส้นขอบทำโดยที่จะทำการเลือกจากจุดวิกฤติของขอบกลุ่มคอมโพเนนท์ ซึ่งหาได้จากอนุพันธ์อันดับสองซึ่งแสดงดังสมการ

$$G_i(x, y) = \{(x, y) | \Delta\Delta E_i \neq 0\}$$

คุณสมบัติทางความลึกทำเพื่อคงการเปลี่ยนแปลงทางความลึกให้มีการเปลี่ยนแปลงที่คงที่ทำการสุ่มอย่างสม่ำเสมอจากทุกจุดภาพตามแนวตั้งและแนวนอน

โดยการนำจุดยอดที่มีคุณสมบัติทั้งสองมารวมกัน จะได้เซตของจุดยอดที่สามารถนำไปสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมได้โดยที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก

#### 3.3.4.2 การแปลงพิกัดของจุดยอด

จุดยอดที่ได้จากขั้นตอนการเลือกจุดยอดนั้นเป็นเพียงจุดในพิกัดภาพเท่านั้น จากทฤษฎีเกี่ยวกับการฉายแบบทัศนมิติจะพบว่าพิกัดของภาพ และพิกัดโลกมีค่าที่แตกต่างกัน จึงต้องนำพิกัดภาพ  $(x, y)$  ที่ได้มาแปลงเป็นพิกัดโลก  $(x', y', z)$  ดังสมการ เมื่อ  $f$  เป็นความยาวโฟกัสของกล้อง และ  $d(x, y)$  คือความลึกของจุดภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z \end{bmatrix}_{3d} = \begin{bmatrix} \frac{d(x, y)}{f} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{d(x, y)}{f} & 0 \\ 0 & 0 & d(x, y) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}_{2d} \quad (1)$$



### 3.3.4.3 การสร้างวัตถุโดยการสร้างสามเหลี่ยม

จากจุดยอดที่เลือก จะสามารถนำมาสร้างเป็นโมเดลสามมิติโดยใช้การสร้างสามเหลี่ยมเพื่อสร้างหน้า (Face) สำหรับแบบจำลองสามมิติ เนื่องจากแบบจำลองที่ได้จะเป็นลักษณะพื้นผิวเปิดการสร้างแบบจำลองสามมิติจึงสามารถทำได้โดยใช้การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลลาอูไนในสองมิติได้ ซึ่งในงานวิจัยได้เลือกใช้การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลลาอูไนแบบมีเงื่อนไข โดยตั้งเงื่อนไขของรูปทรงตามเส้นขอบของกลุ่มคอมโพเนนท์ซึ่งทำให้ขอบแบบจำลองสามารถเป็นรูปเว้า (Convex) ได้



ก)



ข)



ค)

## 3.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพความซับซ้อนเชิงเวลา

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพความซับซ้อนเชิงเวลาในแต่ละขั้นตอน โดยจะแสดงอยู่ในรูปของสัญกรณ์โอใหญ่

- การแบ่งย่อยรูปภาพ การแบ่งย่อยรูปภาพด้วยวิธีการแบ่งรูปด้วยกราฟอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความซับซ้อน  $O(n \log n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ
- การสกัดค่าจุดเด่น การสกัดค่าจุดเด่นตามงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยมีความซับซ้อน  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ

- การแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์เฉพาะส่วน โดยขั้นตอนวิธีการแบ่งกลุ่มแบบเบย์ โดยมีความซับซ้อน  $O(n_s^2 n_f)$  โดย  $n_f$  คือจำนวนค่าจุดเด่นทั้งหมด 83 ค่า และ  $n_s$  คือจำนวนซูเปอร์พิกเซล ซึ่งในกรณีที่แย่มากที่สุดจะมีความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลรวม  $\frac{n_s(n_s-1)}{2}$  ความสัมพันธ์ ซึ่งจำนวนซูเปอร์พิกเซลนั้นจะไม่เกิน 200 เนื่องจากได้ถูกกำหนดไว้ในขั้นตอนวิธีการแบ่งรูป ดังนั้นจะประมาณความซับซ้อนได้เป็น  $O(1)$
- การกำจัดความขัดแย้ง ในกรณีแย่มากที่สุดมีความซับซ้อน  $O(n_s^6)$  คือการหาจุดตัดต่ำสุดของทุกคู่ความสัมพันธ์ โดยการหาจุดตัดต่ำสุดในแต่ละครั้งจะมีความซับซ้อนที่แย่มากที่สุด  $O(n_s^4)$  โดย  $n_s$  คือจำนวนซูเปอร์พิกเซลซึ่งจำนวนซูเปอร์พิกเซลนั้นจะไม่เกิน 200 เนื่องจากได้ถูกกำหนดไว้ในขั้นตอนวิธีการแบ่งรูป ดังนั้นจะประมาณความซับซ้อนได้เป็น  $O(1)$
- การหาความลึกแต่ละจุดภาพ ในกรณีที่แย่มากที่สุดคือ กรณีที่ต้องหาความลึกของทุกจุดภาพ โดยมีความซับซ้อน  $O(n)$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ
- การสร้างแบบจำลองสามมิติมีความซับซ้อนเชิงเวลาเป็น  $O(n_v^2)$  โดย  $n_v$  คือจำนวนจุดยอด ซึ่งในกรณีแย่มากที่สุดแบบจำนวนจุดยอดจะเท่ากับ  $n$  โดย  $n$  คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ ความซับซ้อนกรณีแย่มากที่สุดอยู่ที่  $O(n^2)$

สรุปรวมความซับซ้อนเชิงเวลาของการทำงาน กรณีที่ดีที่สุดอยู่ที่  $O(n \log n)$  และแย่มากที่สุดที่  $O(n^2)$

## บทที่ 4

### การทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการแก้ไขวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยเพิ่มข้อมูลของความสัมพันธ์ที่ครอบคลุมถึงตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดภายในรูปภาพ โดยการทดสอบจะเน้นไปที่ความแม่นยำในการสร้างแบบจำลอง โดยจะทดสอบความแม่นยำสองประเภท คือความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ และความแม่นยำในการประมาณพิกัดสามมิติ

นอกจากนี้การทดสอบยังรวมไปถึงลักษณะของฉากสามมิติที่วิธีที่นำเสนอสร้างได้เมื่อเทียบกับวิธีที่ได้ถูกนำเสนอมาก่อน

โดยการโปรแกรมทดสอบพัฒนาในโปรแกรม MATLAB R2009b บนหน่วยประมวลผล Intel Core 2 Duo P8600 2.40 GHz และหน่วยความจำ DDR2 RAM จำนวน 2 GB

รูปที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมดมีรายละเอียด 480x640 โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ทั้งหมด 30 รูปจากฐานข้อมูลของงานวิจัยการเรียนรู้โครงสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว ซึ่งประกอบด้วยความสัมพันธ์ทั้งหมด 4420 ความสัมพันธ์ โดยรูปที่ใช้จะถูกแสดงในภาคผนวก

#### 4.1 ภาพรวมของการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัย ในการสร้างฉากสามมิติโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยทำการทดสอบทั้งหมดสองประเภทได้แก่

- 1 การทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์: โดยมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือการจำแนกความสัมพันธ์ที่ใช้กับค่าจุดเด่น โดยทำการทดสอบออกมาเป็นเมตริกซ์ความแปรปรวนระหว่างแต่ละคลาสของความสัมพันธ์

- 2 การทดสอบความแม่นยำการประมาณพิกัดสามมิติ: โดยมีวัตถุประสงค์ในการวัดความถูกต้องของฉากที่ได้โดยการใช้มาตรวัดสองอย่างคือค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ และค่าเบี่ยงเบนรากล้างสองเฉลี่ย โดยนำมาเทียบกับงานวิจัยอื่น

## 4.2 การทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์

การทดสอบความสัมพันธ์เป็นการทดสอบถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือในการจำแนกค่าความสัมพันธ์กับค่าจุดเด่นที่ใช้ในการแบ่งแยก โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการใช้การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ เนื่องจากการใช้การแบ่งกลุ่มแบบเบย์เป็นการสามารถให้ผลลัพธ์ที่เป็นความน่าจะเป็นของวัตถุที่ตกอยู่ในความสัมพันธ์แบบต่างๆได้

### 4.2.1 วิธีการทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์

การทดสอบความแม่นยำจะทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนที่ได้จากการแบ่งความสัมพันธ์ที่ได้อย่างอัตโนมัติ กับความสัมพันธ์แบ่งแยกโดยมนุษย์ และทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของออกมาในรูปแบบของเมตริกซ์ความแปรปรวน และหาค่าเฉลี่ยของแต่ละคลาสออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

### 4.2.2 ผลการทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์

ข้อมูลทดสอบในการทดสอบนี้ประกอบด้วยรูปทั้งหมด 13 รูปจากโดยทำการเลือกจากฐานข้อมูลของงานวิจัยการเรียนรู้โครงสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว [3-5] ซึ่งประกอบด้วยความสัมพันธ์ทั้งหมด 1968 ความสัมพันธ์ โดยรูปที่ใช้จะถูกแสดงในภาคผนวก

จากการทดสอบได้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ที่ 50.25% โดยรูปที่มีความสัมพันธ์ต่ำสุดอยู่ที่ 23.86% และสูงสุดอยู่ที่ 68.00% โดยผลการทดลองโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ส่วนความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มเมื่อแสดงตามคลาส

ของความสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 โดยผลการทดลองละเอียดจะถูกระบุแสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 4.1 เมตริกซ์ความแปรปรวนแสดงความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของคลาสที่ถูกต้องและคลาสที่แบ่งกลุ่มได้

		คลาสที่ถูกต้อง				
		SO	OC	OB	PO	PB
คลาสที่แบ่งกลุ่มได้	SO	713	300	248	117	112
	OC	6	82	22	5	22
	OB	6	26	74	26	5
	PO	21	14	3	57	7
	PB	16	3	13	7	63

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มโดยแยกตามคลาส

	SO	OC	OB	PO	PB
จำนวนความสัมพันธ์ที่แบ่งกลุ่มถูกต้อง	713	82	74	57	63
จำนวนความสัมพันธ์ทั้งหมด	1490	137	137	102	102
เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ	47.85	59.85	54.01	55.88	61.76

ความแม่นยำในการแบ่งแยกของแต่ละคลาสของความสัมพันธ์ แสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 โดยคลาสที่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงสุดคือคลาสถูกวางทับ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำอยู่ที่ 61.76% และต่ำสุดคือคลาสวัตถุเดียวกันโดยมีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำอยู่ที่ 47.85 % โดยจะเห็นได้ว่าคลาสวัตถุเดียวกันมีขนาดใหญ่กว่าคลาสอื่นอย่างเห็นได้ชัดทำให้การกระจายตัวของค่าจุดเด่นนั้นสูงจึงทำให้มีความผิดพลาดที่สูงกว่าคลาสอื่น

### 4.3 การทดสอบความแม่นยำการประมาณค่าความลึก

การทดสอบความแม่นยำจะทำการทดสอบค่าความลึกที่ได้จากการประมาณหาค่าความลึก เปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่ได้จากการวัดด้วยเลเซอร์ โดยทำการวัดผลเพื่อทดสอบ



ว่างานวิจัยที่ได้สามารถนำไปใช้ในการสร้างฉากสามมิติที่เสมือนจริงได้ โดยทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

#### 4.3.1 วิธีการทดสอบความแม่นยำการประมาณค่าความลึก

การทดสอบความแม่นยำจะทำได้โดยการใช้มาตรวัดสองอย่างคือ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ และค่าเบี่ยงเบนรากกำลังสองเฉลี่ย ซึ่งมาตรวัดแบบค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์จะแสดงถึงความผิดพลาดของความลึกโดยเทียบกับค่าความลึกตั้งต้นตามสมการ

$$Relative\ Error = \frac{\sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^n \left| \frac{d_s(x,y) - d(x,y)}{d_s(x,y)} \right|}{n}$$

โดย  $d_s(x,y)$  คือค่าความลึกที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  จากข้อมูลจริงและ  $d(x,y)$  คือค่าความลึกที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  ที่ได้จากการประมาณค่าความลึกจากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยตั้งสมการ

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^n (d(x,y) - ds(x,y))^2}{n}}$$

#### 4.3.2 ผลการทดสอบความแม่นยำในการประมาณค่าความลึก

ข้อมูลทดสอบในการทดสอบนี้ประกอบด้วยรูปทั้งหมด 134 รูปจากโดยทำการเลือกจากฐานข้อมูลของงานวิจัยการเรียนรู้โครงสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว [3-5] โดยประกอบไปด้วยรูปภาพนำเข้า และความลึกของแต่ละจุดภาพที่ได้จากการสแกนด้วยเลเซอร์ โดยรูปที่ใช้จะถูกแสดงในภาคผนวก

จากผลการทดลอง ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ มีผลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.5450 โดยมีภาพที่ให้ค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.4562 และภาพที่ให้ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.2291

สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย มีผลเฉลี่ยอยู่ที่ 23.9478 เมตร ภาพที่ให้ค่าสูงสุดอยู่ที่ 48.8284 เมตรและภาพที่ให้ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1.6289 เมตร

สำหรับค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ ผลลัพธ์ที่มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำสุดสามอันดับถูกแสดงในตารางที่ 4.3 และสูงที่สุดสามอันดับถูกแสดงในตารางที่ 4.4 สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำสุดสามอันดับถูกแสดงในตารางที่ 4.5 และสูงที่สุดสามอันดับถูกแสดงในตารางที่ 4.6 โดยผลการทดลองโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก สุดท้ายทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับงานวิจัยอื่น โดยผลสรุปแสดงในตารางที่ 4.7 โดยผลการทดลองละเอียดจะถูกแสดงในภาคผนวก












ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ที่มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำสุดสามอันดับ

รูปนำเข้า	ค่าความลึกจริง	ค่าความลึกที่ประมาณได้	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
			<b>0.2291</b>	2.7241
			<b>0.2384</b>	2.2336
			<b>0.2540</b>	1.6289

ในตารางที่ 4.3 แสดงรูปที่มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำสุด โดยรูปที่ดีที่สุดที่สุด จะมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 0.2291 โดยรองลงมาคือ 0.2384 และ 0.2540 ตามลำดับ โดยรูปที่มีความผิดพลาดต่ำจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือเป็นรูปที่มีเส้นรวมสายตาเพียงจุดเดียว และมีขนาดของฉากที่ไม่ใหญ่มาก

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ที่มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดสามอันดับ

รูปนำเข้า	ค่าความลึกจริง	ค่าความลึกที่ ประมาณได้	ค่าความ ผิดพลาด สัมพัทธ์	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน กำลังสอง เฉลี่ย (เมตร)
			1.4562	15.136
			1.4077	18.9493
			1.2929	6.4630

ในตารางที่ 4.3 แสดงรูปที่มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์สูงสุด โดยรูปที่ได้ผลลัพธ์แย่ที่สุดที่ 1.4562 โดยรองลงมาคือ 0.2384 และ 0.2540 ตามลำดับ โดยรูปแรกเกิดจากการมีวัตถุบังหน้ารูป ซึ่งส่งผลให้ส่วนล่างของวัตถุซึ่งคือเสาด้านซ้ายถูกควมรวมไปกับพื้น เนื่องจากตำแหน่งนั้นต่ำกว่าเส้นขอบฟ้า ส่งผลให้การหาค่าความลึกส่วนของป้ายทั้งหมด



ผิดพลาด รูปต่อมาเกิดจากการตัดแบ่งรูปที่ผิดพลาดเนื่องจากค่าสีในรูปมีความใกล้เคียงกันมาก ทำให้บริเวณด้านบนทั้งหมดถูกควมรวมเป็นชั้นเดียวทำให้การหาตำแหน่งผิดพลาด ทั้งความสัมพันธ์ที่ได้ รวมไปถึงการประมาณเส้นขอบฟ้า รูปสุดท้ายเกิดจากการเลือกพื้นที่ผิดพลาด โดยการเลือกพิกเซลที่แสดงบ้านด้านขวาเป็นส่วนพื้น และนำส่วนพื้นตั้งขึ้นมาความผิดพลาดที่ได้จึงมาก

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุดสามอันดับ

รูปนำเข้า	ค่าความลึกจริง	ค่าความลึกที่ประมาณได้	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
			0.254	<b>1.6289</b>
			0.2384	<b>2.2336</b>
			0.3185	<b>2.6869</b>



ในตารางที่ 4.5 แสดงรูปที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด โดยรูปที่ดีที่สุดจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยที่ 1.6289 เมตร โดยรองลงมาคือ 2.2336 เมตร และ 2.6869 เมตร ตามลำดับ โดยรูปที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยต่ำจะมีความสอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำ

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยสูงสุดสามอันดับ

รูปนำเข้า	ค่าความลึกจริง	ค่าความลึกที่ประมาณได้	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
			0.623	<b>48.8284</b>
			0.6599	<b>48.5763</b>
			0.5967	<b>47.3977</b>

ในตารางที่ 4.6 แสดงรูปที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ยสูงสุดโดยรูปที่แย่งที่สุดสุดจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองที่ 48.8284 โดยรองลงมาคือ 48.5763 และ 47.3977 ตามลำดับ โดยรูปที่มีความผิดพลาดสูงนั้นจะแตกต่างไปจากผลการทดลองค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เฉลี่ย โดยในมาตรวัดนี้รูปที่มีความผิดพลาดสูงจะได้แก่รูปที่มีค่าความลึกที่มาก หรือฉากที่ได้มีความไกล เนื่องจากสมการในการหาค่าความลึก ในระยะไกลจะมีอัตราการเพิ่มของระยะทางที่สูง ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางจึงมาก ซึ่งรูปที่มีขนาดใหญ่และมีเพียงวัตถุที่อยู่ไกลหากหาระยะทางของจุดสัมผัสพื้นที่อยู่ไกลผิดพลาดไปเล็กน้อย ค่าที่คำนวณได้จะผิดพลาดไปมาก

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความแม่นยำการประมาณค่าความลึกกับงานวิจัยอื่น

งานวิจัย	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย(เมตร)
<b>งานวิจัยของเรา</b>	<b>0.5450</b>	<b>23.9478</b>
งานวิจัยของฟูตระกูล [6,7]	0.6685	25.53
งานวิจัยของแซกซีน่า (2006) [3]	0.530	16.7
งานวิจัยของแซกซีน่า (2007) มาร์คอฟแรนคอมฟิลต์แบบจุด [4,5]	0.458	ไม่ได้รายงาน
งานวิจัยของแซกซีน่า 2007 มาร์คอฟแรนคอมฟิลต์แบบซูเปอร์พิกเซล [4,5]	0.370	ไม่ได้รายงาน
งานวิจัยของลิว [24]	0.375	ไม่ได้รายงาน
งานวิจัยของโฮเอ็ม [22]	1.423	ไม่ได้รายงาน

ในตารางที่ 4.7 ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณค่าความลึกกับงานวิจัยอื่น โดยทำการเฉลี่ยมาตรวัดทั้งสองภายในฐานข้อมูลทั้ง 134 รูป โดยจากตารางจะเห็นได้ว่าค่าความลึกที่ประมาณได้ในงานวิจัยนี้ ดีกว่างานวิจัยการประมาณจากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุทั้งสองมาตรวัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงการทำงานโดยการเพิ่มความสัมพันธ์แบบวงกว้างสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ โดยหาก

เทียบเคียงกับงานวิจัยอื่น งานวิจัยที่ทำได้ดีกว่าคืองานวิจัยของโฮเอม และที่แย่กว่าคือของแซกซีนาและของลิว ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของแซกซีนาและลิว แล้วงานวิจัยของแซกซีนาและลิวทำการเรียนรู้ค่าที่สามารถแปลงไปเป็นค่าความลึกได้โดยตรง ซึ่งต่างจากงานวิจัยของเราที่ทำการหาค่าความลึกโดยการประมาณการโดยสังเขป ซึ่งส่งผลให้ค่าความลึกที่หามาได้แม่นยำกว่า แต่ในทางกลับกันเมื่อเทียบกับงานวิจัยของโฮเอมที่ค่าที่ทำการเรียนรู้ไม่ได้บ่งบอกถึงค่าความลึกโดยตรงแล้ว งานวิจัยของเราให้ผลดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด

#### 4.4 วิเคราะห์รูปร่างของแบบจำลองสามมิติ

จากงานวิจัยของเราได้เสนอวิธีการสร้างฉากสามมิติโดยการปรับปรุงวิธีการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุโดยการเพิ่มความสัมพันธ์แบบวงกว้าง โดยผลลัพธ์การสร้างฉากสามมิติแสดงในรูปที่ 4.1, รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 โดยแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างงานวิจัยนี้, พูตระกูล และแซกซีนา

โดยฉากสามมิติที่ได้มีลักษณะคือเป็นฉากซ้อนทับกันไป โดยจะมีส่วนที่ถูกแยกออกจากกัน เช่นระหว่างวัตถุกับท้องฟ้า เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของพูตระกูลจะพบว่าผลที่ได้ดีกว่าและมีความบิดเบี้ยวของฉากที่ได้น้อยกว่า เนื่องมาจากการพิจารณาความสัมพันธ์ที่ครบถ้วน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ความสัมพันธ์ที่ได้มาสร้างฉากสามมิติ และเมื่อเทียบกับงานของแซกซีนาจะเห็นว่างานของแซกซีนสามารถสร้างฉากสามมิติได้เพียงแค่ระนาบเดียวที่ต่อกันไป ดังนั้นจะไม่มีกรแบ่งแยกระหว่างวัตถุอย่างชัดเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

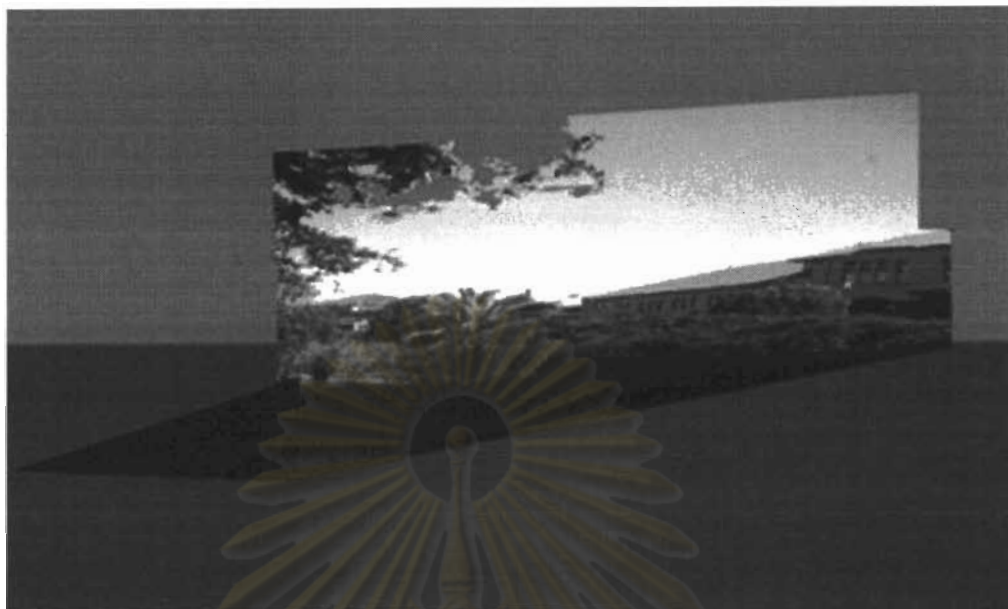


ก)



ข)

รูปที่ 4.1 ผลลัพธ์การสร้างฉากสามมิติจากรูปเดี่ยว ก) รูปนำเข้า ข) ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้



ก)



ข)

รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์การสร้างฉากสามมิติจากรูปเดี่ยวจากงานวิจัยอื่นๆ ก) ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยของฟูตระกูล ข) ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยของแซกซีนา





ก)



ข)



ค)

รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์การสร้างจากสามมิติจากรูปเดี่ยวที่มีความขัดแย้งในความสัมพันธ์ ก) รูป  
นำเข้า ข) ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ค) ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยของฟูตระกูล

#### 4.5 อภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอทั้งหมดสามด้าน ได้แก่ความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์, ความแม่นยำในการประมาณค่าความลึก และรูปร่างของแบบจำลองสามมิติ

ในการหาความแม่นยำการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ คลาสที่มีการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์แม่นยำที่สุดคือคลาสวางทับ และน้อยที่สุดคือคลาสวัตถุเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม คลาสวัตถุเดียวกันที่พบนั้นมีมากกว่าคลาสอื่นถึงสิบเท่า ซึ่งเกิดจากการแบ่งส่วนรูปที่มากเกินไป โดยวัตถุหนึ่งภายในฉากจะถูกแบ่งเป็นหลายซูเปอร์พิกเซล จึงทำให้เกิดการกระจายตัวของค่าจุดเด่นที่มากกว่าคลาสอื่นๆ จึงทำให้การแบ่งกลุ่มคลาสดังกล่าวไม่แม่นยำ อีกทั้งการที่แบ่งส่วนรูปมากยังส่งผลต่อความสัมพันธ์แบบบดบัง และถูกบดบัง ซึ่งใช้ค่าจุดเด่นด้านเส้นขอบเป็นตัวเลือกหลัก โดยเส้นขอบนั้นเมื่อถูกแบ่งส่วนจนเล็ก จะไม่บ่งบอกถึงลักษณะของวัตถุ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่มคลาสดังกล่าว

นอกจากนี้ค่าจุดเด่นที่ใช้ยังไม่สามารถแยกข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ โดยใช้ทั้งหมดสี่กลุ่ม ได้แก่ พื้นผิว, เส้นขอบ, เส้นตรง และตำแหน่ง ซึ่งค่าจุดเด่นทางพื้นผิวนั้นใช้เพียงแค่ความแตกต่างของสี ซึ่งไม่เพียงพอ เมื่อใช้ในฐานะข้อมูลภาพของงานวิจัย การเรียนรู้โครงสร้างฉากสามมิติจากรูปภาพเดี่ยว ซึ่งรูปแต่ละส่วนค่อนข้างมีค่าสีใกล้เคียงกันมาก รวมถึงค่าจุดเด่นทางก้านเส้นขอบยังขึ้นตรงกับคุณภาพของซูเปอร์พิกเซลอย่างมาก

การหาความแม่นยำในการประมาณค่าความลึก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความสัมพันธ์แบบวงกว้างนั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่างานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ ที่ใช้เพียงแค่ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน แต่เมื่อเทียบกับงานที่ทำการหาค่าความลึกโดยตรงแล้ว งานวิจัยในกลุ่มการประมาณค่าความลึกจากความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุนั้นให้ผลลัพธ์ที่แย่กว่า เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุนั้นสามารถบอกได้เพียงช่วงของค่าความลึก ซึ่งแตกต่างจากการหาความลึกโดยตรง โดยความแม่นยำนั้นขึ้นกับการประมาณค่าความลึกนั้นขึ้นอยู่กับความถูกต้องในการหาส่วนคอมโพเนนท์พื้น โดยสังเกตได้ว่ารูปที่มีค่าความแม่นยำสูงจะมีส่วนพื้นี่ชัดเจนและคาดเดาดำแหน่งเส้นขอบฟ้าได้ถูกต้อง ส่วนรูปที่มีค่าผิดพลาดสูงจะเป็นฉากที่มีวัตถุบังอยู่ด้านหน้า มีส่วนพื้นี่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ในรูปที่มีค่าสีใกล้เคียงกันทั้งรูปการแบ่งรูปที่ได้ซูเปอร์พิกเซลที่ได้มีน้อยเกินไปโดยควรรวมวัตถุหลายชิ้นเข้าไปด้วยกัน การหาค่าความลึกจะมีค่าผิดพลาดที่มาก

สุดท้ายคือการพิจารณารูปร่างของฉากสามมิติ โดยในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการสร้างฉากสามมิติที่มีคุณลักษณะคือ มีพื้นติดต่อกันเพียงชั้นเดียว โดยที่วัตถุต่างๆในภาพซ้อนทับกันไปเป็นชั้นๆโดยขนานไปกับระนาบกล้อง ซึ่งต่างจากงานวิจัยของแซกซีนาที่ฉากที่สร้างได้จะติดกันเป็นชั้นเดียว แต่สามารถบิดงอได้อย่างอิสระ และต่างจากงานของโฮเอ็มที่สามารถสร้างฉากที่มีวัตถุเพียงชั้นเดียว



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการปรับปรุงวิธีการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุโดยการเพิ่มความสัมพันธ์กว้างในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุทั้งหมดภายในฉาก เนื่องด้วยการใช้ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนระหว่างคู่วัตถุ นั้นไม่สามารถสร้างใช้เป็นข้อมูลในการประมาณฉากสามมิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการระบุความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนนั้นทำเพียงการหารความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุที่ติดกันโดยไม่สามารถรับรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุที่ไกลกันออกไป จึงทำให้เกิดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์ที่ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้นิยามความขัดแย้งที่เกิดขึ้นไว้สองประเภทได้แก่ความขัดแย้งภายใน และความขัดแย้งภายนอก โดยทำการใช้กราฟเป็นข้อมูลหลักในการกำหนดความสัมพันธ์แบบวงกว้าง โดยที่ได้กราฟระบุทิศทางแบบอวัฏจักรที่แสดงถึงความสัมพันธ์แบบบดบัง และแบบวางบน ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุทุกชิ้นภายในฉาก ในแนวความลึก และความสูง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเสนอการใช้ต้นไม้แบบอัฐภาคเพื่อแสดงถึงโครงสร้างข้อมูลที่แสดงถึงตำแหน่งของวัตถุทุกชิ้นภายในรูปในทศวรรษ และสุดท้ายทำการประมาณค่าความลึก และทำการประมาณฉากสามมิติ โดยทำการทดลองประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีดังนี้

โดยงานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงวิธีจากงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยปรับปรุง และเพิ่มเติมขั้นตอนทั้งหมดสี่ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม, ขั้นตอนการสร้างกราฟฉาก, ขั้นตอนการประมาณค่าความลึก และขั้นตอนการสร้างฉากสามมิติ โดยทำการหาความสัมพันธ์แบบวงกว้าง และนำไปประยุกต์ในการประมาณค่าความลึก และการสร้างฉากสามมิติ

การทดลองหาค่าความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการแบ่งกลุ่มแบบเบย์มาประยุกต์ใช้ในการจำแนกความสัมพันธ์ระหว่างคู่ซูเปอร์พิกเซล ทำการวัดโดยหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการแบ่งกลุ่ม โดยที่สามารถวัดค่าความแม่นยำได้เฉลี่ย 50.25 % โดยที่จำแนกความสัมพันธ์แบบถูกวางทับได้ดีที่สุด ถึงอย่างไรก็ตามความแม่นยำที่ได้ยังไม่ถือว่าแม่นยำนักเนื่องจากค่าจุดเด่นที่ใช้ไม่ได้สามารถแบ่งแยกฉากได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในฐานข้อมูลทดสอบรูปนั้นมีความไม่ชัดเจนด้านโครงสร้างมากนัก เช่นค่าสีภายในรูปมีความใกล้เคียงกัน หรือวัตถุมีความเรียวบางมากจนไม่สามารถแบ่งรูปออกจากฉากหลังได้

ในขั้นตอนการประมาณค่าความลึก ในงานวิจัยได้ใช้มาตรวัดสองมาตรฐานได้แก่ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย โดยได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนในทั้งสองมาตรวัด โดยค่าที่ได้จะสูงในรูปที่มีความชัดเจนของส่วนพื้นมาก และไม่มีวัตถุที่อยู่ติดกับกล้อง ซึ่งทำให้การหาส่วนพื้นของภาพผิดไป โดยความถูกต้องของการเลือกคอมโพเนนท์พื้นนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าความลึกที่ถูกต้อง

ขั้นตอนการสร้างฉากสามมิติได้ถูกปรับปรุงให้เป็นระบบมากขึ้น โดยการพิจารณาจากความสัมพันธ์ของทั้งฉากซึ่งทำให้ผลการสร้างฉากสามมิติพัฒนาขึ้น โดยฉากสามมิติที่ได้มีลักษณะเป็นที่ตั้งฉากกับพื้น ในลักษณะซ้อนกันไป นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังสามารถสร้างโครงสร้างข้อมูลจากรูปภาพโดยใช้ต้นไม้ฮิสโทแกรมได้อย่างอัตโนมัติ โดยสามารถหาความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉากตามความลึกที่ประมาณค่ามาได้

โดยสรุปแล้วการปรับปรุงขั้นตอนวิธีโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุแบบวงกว้าง สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นทั้งในด้านการประมาณค่าความลึกของภาพ รวมไปถึงพัฒนาคุณภาพของฉากสามมิติ ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น อีกทั้งความสัมพันธ์แบบวงกว้างที่ได้ยังสามารถใช้ในการระบุความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉากได้จากรูปภาพเพียงภาพเดียว

## 5.1 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ยังมีความน่าสนใจในการนำไปพัฒนาเพื่อประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี โดยในส่วนนี้จะนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนวิธีเพิ่มเติม และการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้

ขั้นตอนการแบ่งภาพ ถึงแม้ขั้นตอนวิธีการแบ่งรูปด้วยกราฟมีประสิทธิภาพจะให้ผลลัพธ์ที่ดี แต่การใช้งานในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความละเอียดในการแบ่งรูปเพียงความละเอียดเดียว ส่งผลให้วัตถุที่อยู่ใกล้จะประกอบไปด้วยซูเปอร์พิกเซลจำนวนมาก ในขณะที่วัตถุที่อยู่ไกลกลับถูกควบรวมกันเพราะมีขนาดเล็ก การทำการแยกรูปแบบหลายความละเอียดจึงช่วยในการกำจัดปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งยังส่งผลทำให้ค่าจุดเด่นที่ได้จากแต่ละซูเปอร์พิกเซลนั้นแสดงถึงคุณลักษณะของแต่ละคลาสมากขึ้น อีกทั้งค่าจุดเด่นที่ใช้ได้แก่ ค่าจุดเด่นด้านพื้นผิว, ค่าจุดเด่นด้านเส้นขอบ, ค่าจุดเด่นด้านเส้นตรง และจุดเด่นด้านตำแหน่ง โดยจุดเด่นที่ใช้ยังไม่สามารถ



แบ่งแยกคลาสของความสัมพันธ์ได้ ส่งผลให้ความสัมพันธ์ที่ได้มีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะคลาสความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน เนื่องจากค่าจุดเด่นด้านพื้นผิว ใช้เพียงค่าสีในการหาทำให้ไม่สามารถแบ่งแยกความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุขึ้นเดี่ยวที่มีความซับซ้อนด้านสีมากได้

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ เนื่องจากต้องการค่าความน่าจะเป็นของความสัมพันธ์แต่ละคลาส ซึ่งได้ให้ผลดีในระดับหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามโมเดลการแบ่งกลุ่มแบบเบย์นั้นมีความแม่นยำที่ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับโมเดลการแบ่งกลุ่มที่มีความซับซ้อนสูงกว่า เช่นโมเดลแบบอาดาบัสต์ ความแม่นยำที่ได้จะเป็นที่น่าพอใจ

นอกจากนี้จากผลการทดลองจะเห็นว่าการหาส่วนพื้นนั้นมีผลต่อคุณภาพของฉากสามมิติอย่างมาก การประยุกต์ใช้การหาค่าเลเบลของแต่ละจุดภาพจึงเป็นแนวคิดที่น่านำมาประยุกต์ใช้กับงาน เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ความสัมพันธ์แบบซ้อนทับเป็นอันดับแรก และใช้ตำแหน่งต่ำสุดในแนวความสูงมาทำการเลือกพื้น ซึ่งอาจมีส่วนที่เข้าเกณฑ์ดังกล่าวมากกว่าหนึ่งส่วนซึ่งทำให้การเลือกมีความกำกวม โดยการประยุกต์ใช้การหาค่าเลเบลจะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดจากจุดนี้ได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายส่วนที่น่าสนใจของงานวิจัยนี้คือการแสดงความสัมพันธ์ของวัตถุภายในรูปโดยการใช้ต้นไม้แบบอัญภาค โดยการที่การสร้างโครงสร้างข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะในแนวแกนความลึกได้จากภาพเดี่ยวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลากหลาย เช่น การค้นหารูปภาพ, การค้นหาเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] Snavely, N., Seitz, S. M., and Szeliski, R., Photo tourism: exploring photo collections in 3D, ACM SIGGRAPH 2006 Papers, pp. 835-846, 2006.
- [2] Hoiem, D., Efros, A. a, and Hebert, M., Automatic photo pop-up, ACM Transactions on Graphics, 24 (July 2005): 577.
- [3] Saxena, A., Chung, S. H., and Ng, A., Learning depth from single monocular images, Advances in Neural Information Processing Systems, 18 (2006): 1161.
- [4] Saxena, A., Sun, M., and Ng, A. Y., Learning 3-D Scene Structure from a Single Still Image, 2007 IEEE 11th International Conference on Computer Vision, pp. 1-8, 2007.
- [5] Saxena, A., Chung, S. H., and Ng, A. Y., 3-D Depth Reconstruction from a Single Still Image, International Journal of Computer Vision, 76 (August 2007): 53-69.
- [6] Futragoon, N. and Kanongchaiyos, P., 3-D Scene Approximation Using Object Placement Relation, Proceedings of the IV Iberoamerican Symposium in Computer Graphics, 2009.
- [7] Futragoon, N. and Kanongchaiyos, P., Enhanced depth estimation by using object placement relation, Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2008. IEEE International Conference on, pp. 1899-1904, 2009.
- [8] Felzenszwalb, P. and Huttenlocher, D., Efficient Graph-Based Image Segmentation, International Journal of Computer Vision, 59 (2004): 167-181.
- [9] Good, I. J., *Probability and the Weighing of Evidence*.
- [10] Ford Jr, L. R. and Fulkerson, D. R., Constructing maximal dynamic flows from static flows, Operations Research, 6 (1958): 419-433.
- [11] Tarjan, R., Depth-First Search and Linear Graph Algorithms, SIAM Journal on Computing, 1 (1972): 146.
- [12] Chu, Y. J. and Liu, T. H., On the shortest arborescence of a directed graph, Science Sinica, 14 (1965): 270.

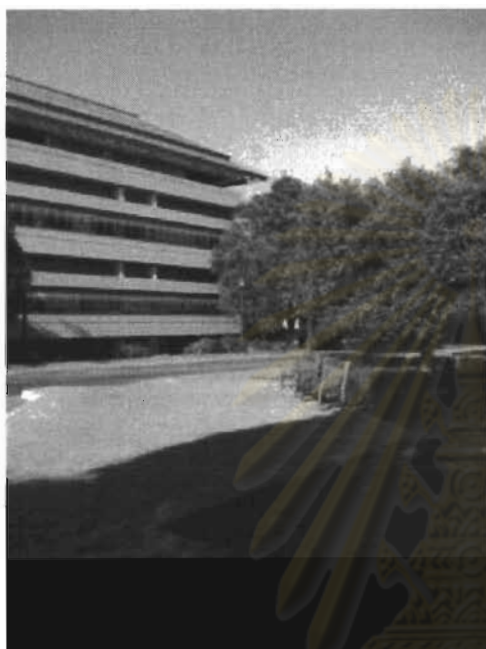
- [13] Lee, D. T. and Schachter, B. J., Two algorithms for constructing a Delaunay triangulation, International Journal of Computer & Information Sciences, 9 (June 1980): 219-242.
- [14] Kutulakos, K. N. and Seitz, S. M., A theory of shape by space carving, Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, IEEE, , pp. 307-314, 1999.
- [15] Holroyd, M., Lawrence, J., and Zickler, T., A coaxial optical scanner for synchronous acquisition of 3D geometry and surface reflectance, ACM Transactions on Graphics, 29 (July 2010): 1.
- [16] Prados, E. and Faugeras, O., Shape from Shading: A Well-Posed Problem?, 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR05), pp. 870-877, 2005.
- [17] Ping-Sing, T. and Shah, M., Shape from shading using linear approximation, Image and Vision Computing, 12 (October 1994): 487-498.
- [18] Lions, P. L., Rouy, E., and Tourin, a, Shape-from-shading, viscosity solutions and edges, Numerische Mathematik, 64 (December 1993): 323-353.
- [19] Funkhouser, T., Min, P., Kazhdan, M., Chen, J., Halderman, A., Dobkin, D., and Jacobs, D., A search engine for 3D models, ACM Transactions on Graphics, 22 (January 2003): 83-105.
- [20] Hoiem, D., Efros, A. a, and Hebert, M., Geometric context from a single image, Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV05), pp. 654-661, 2005.
- [21] Hoiem, D., Efros, A. a, and Hebert, M., Putting Objects in Perspective, 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR06), pp. 2137-2144, 2006.
- [22] Hoiem, D., Efros, A. A., and Hebert, M., Recovering Surface Layout from an Image, International Journal of Computer Vision, 75 (2007): 151-172. .
- [23] Collins, M., Schapire, R. E., and Singer, Y., Logistic Regression, AdaBoost and Bregman Distances, Machine Learning, 48 (2002): 253-285.
- [24] Liu, B., Gould, S., and Koller, D., Single Image Depth Estimation From Predicted Semantic Labels, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2008), 2010.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาพที่ใช้เป็นฐานข้อมูลในกระบวนการเรียนรู้มีทั้งหมด 30 รูป จากฐานข้อมูลของงานวิจัยการเรียนรู้จากสามมิติจากภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยความสัมพันธ์ทั้งหมด 4420 ความสัมพันธ์ ดังนี้



1)



2)



3)



4)

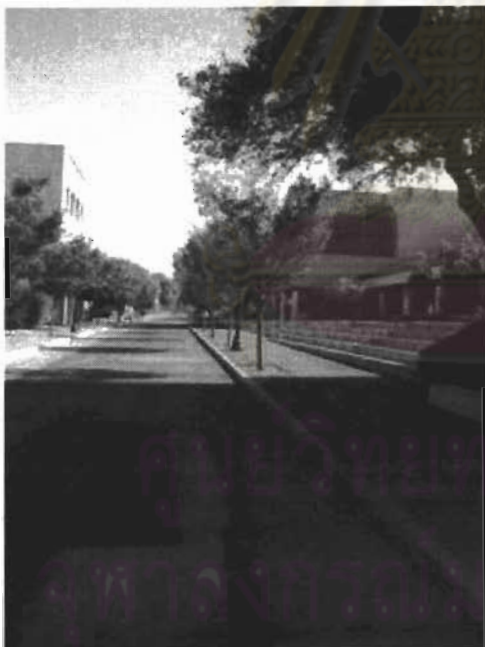




5)



6)



7)



8)



9)



10)



11)



12)



13)



14)



15)



16)



17)



18)



19)



20)





21)



22)



23)

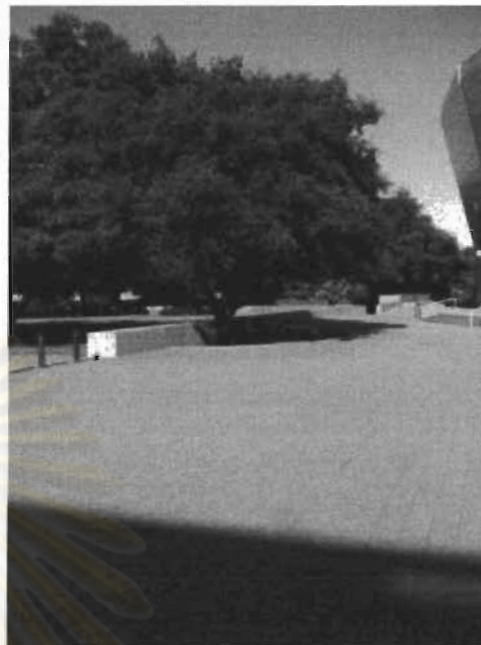


24)





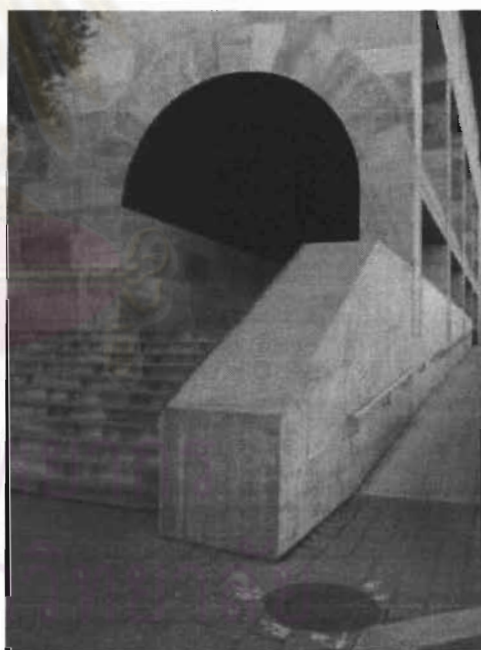
25)



26)



27)



28)



29)



30)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

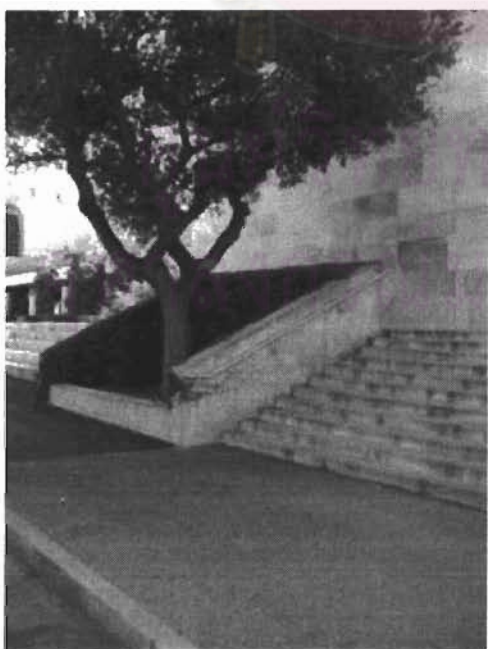
รูปภาพที่ใช้ในกระบวนการทดลองทั้งหมด 134 รูป จากฐานข้อมูลของงานวิจัย การเรียนรู้จากสามมิติจากภาพ โดยใช้ 13 รูปแรกในการทดสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่ม ความสัมพันธ์ และรูปภาพทั้งหมดในการทดสอบความแม่นยำในการประมาณค่าความลึก



1)



2)



3)



4)



5)



6)



7)



8)





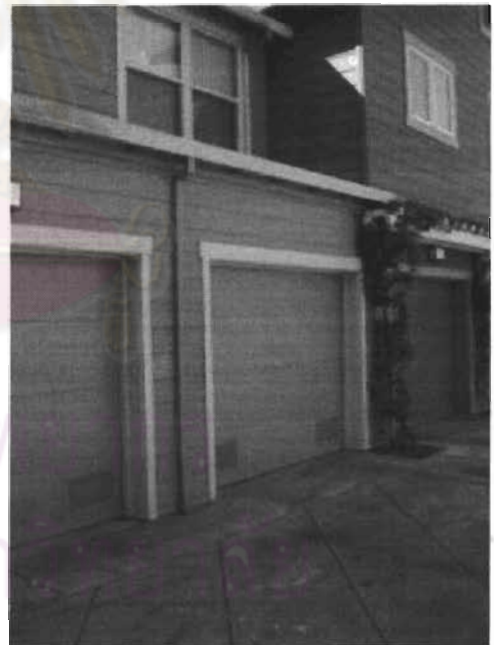
9)



10)



11)



12)





13)



14)



15)



16)



17)



18)



19)



20)



21)



22)



23)



24)





25)



26)



27)



28)



29)



30)



31)



32)





33)



34)



35)



36)



37)



38)



39)



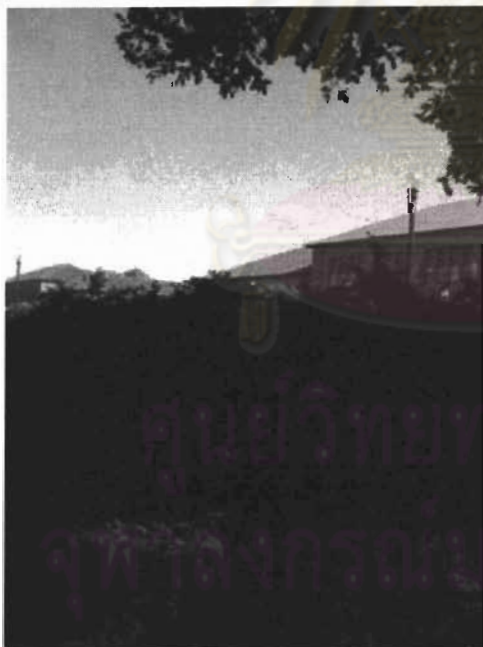
40)



41)



42)



43)



44)





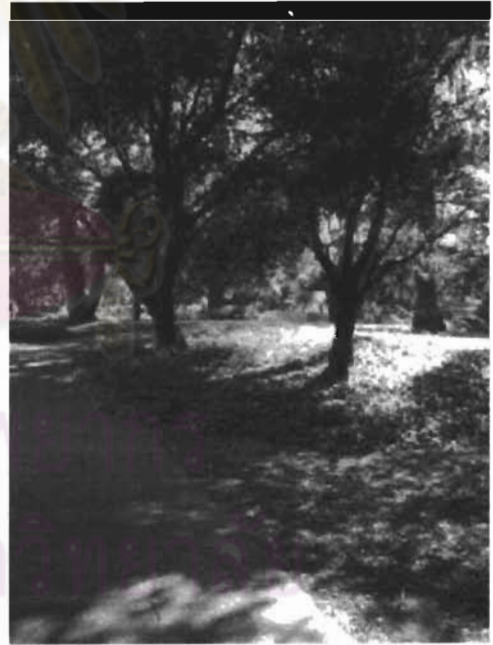
45)



46)



47)



48)



49)



50)



51)



52)





53)



54)



55)



56)



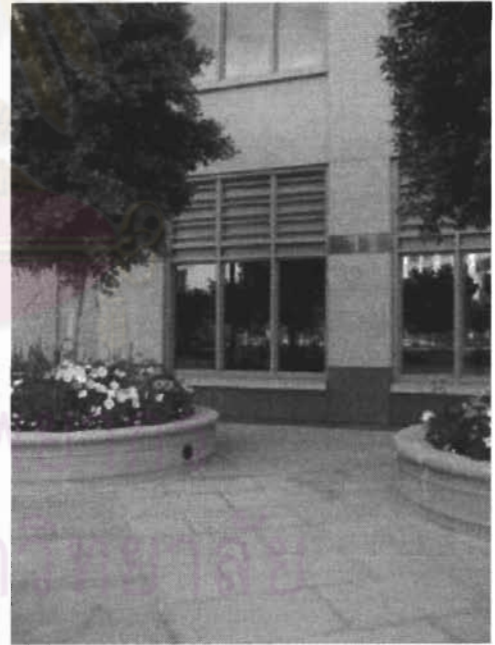
57)



58)



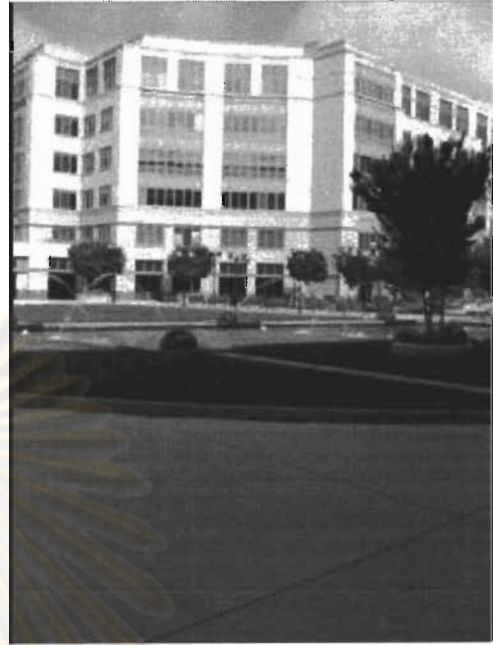
59)



60)



61)



62)



63)



64)





65)



66)



67)



68)



69)



70)



71)



72)





73)



74)



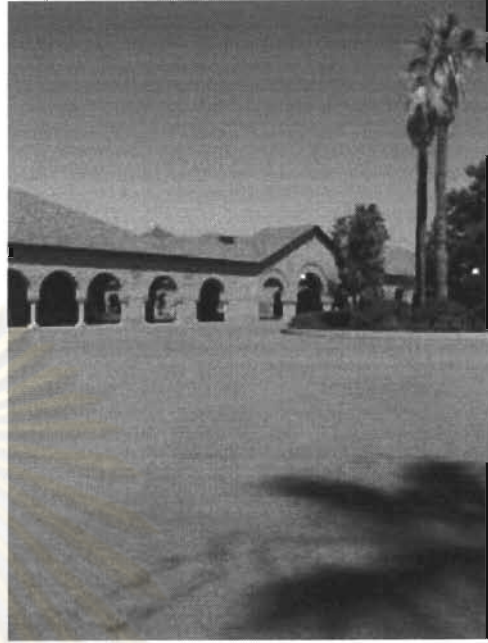
75)



76)



77)



78)



79)



80)



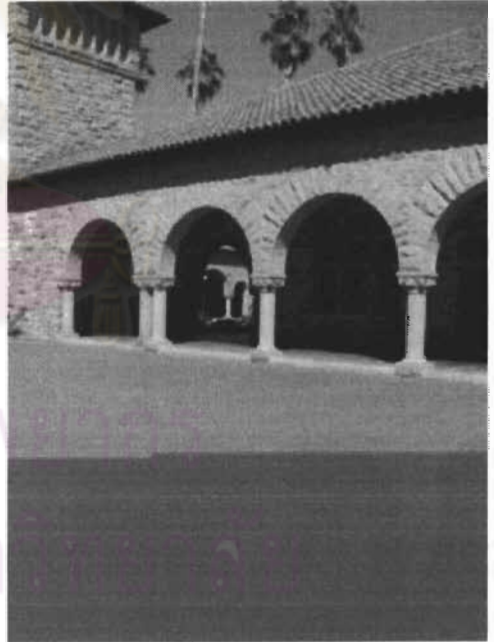
81)



82)



83)



84)





85)



86)



87)



88)





89)



90)



91)



92)



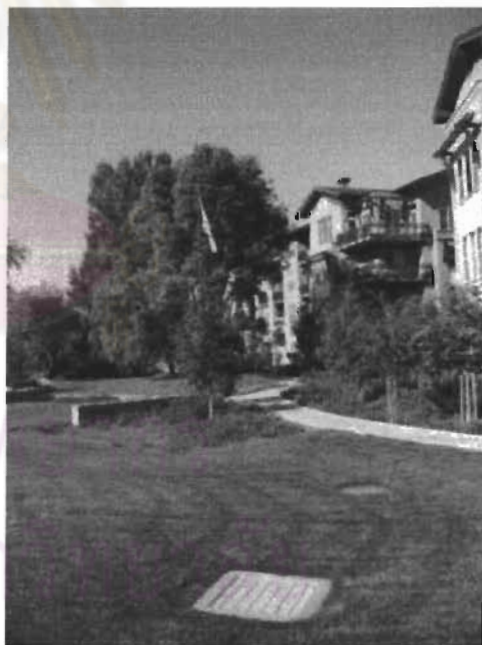
93)



94)



95)



96)



97)



98)

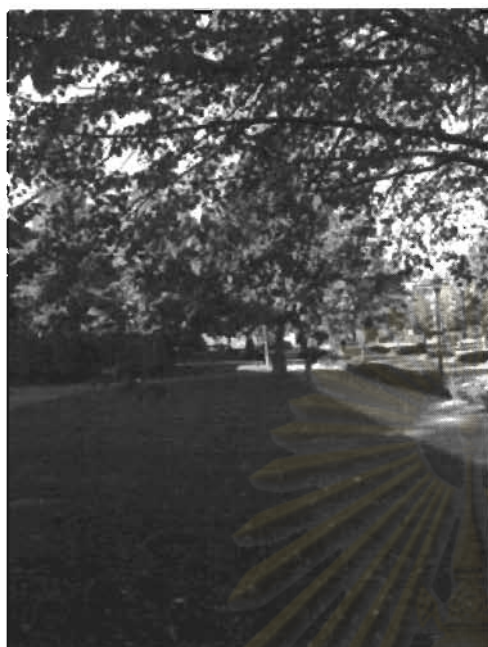


99)



100)





101)



102)



103)



104)





105)



106)



107)



108)



109)



110)



111)



112)



113)



114)



115)



116)





117)



118)



119)



120)





121)



122)



123)



124)



125)



126)



127)



128)





129)



130)



131)



132)



133)



134)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางต่อไปแสดงผลการทดลองการวัดความแม่นยำของการแบ่งกลุ่ม โดยทำการทดลองกับรูป 13 รูปแรกในฐานข้อมูลการทดสอบ โดยแสดงจำนวนความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

รหัสรูป	จำนวนความสัมพันธ์ในภาพ	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์
1	138	49.28
2	118	61.86
3	96	44.79
4	154	59.74
5	112	36.61
6	200	68.00
7	76	40.79
8	132	56.82
9	76	53.95
10	176	23.86
11	234	61.97
12	230	55.22
13	226	33.19
รวม	1968	50.25

ตารางต่อไปแสดงผลการทดลองการวัดความแม่นยำของการประมาณความลึก  
โดยทำการทดลองกับรูป 134 รูปในฐานข้อมูลการทดสอบ

รหัสรูป	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
1	0.5596	39.9604
2	0.5109	35.7234
3	0.3513	10.196
4	0.7156	32.8517
5	0.5962	43.8738
6	0.5088	26.1878
7	0.3933	30.6515
8	0.4413	16.6124
9	0.5652	43.057
10	0.5574	20.1483
11	0.3185	2.6869
12	0.315	5.5989
13	1.2929	6.463
14	0.4218	5.7309
15	1.4562	15.136
16	1.098	25.5771
17	0.254	1.6289
18	0.3522	21.8385
19	0.6647	31.5911
20	0.6255	36.351
21	0.7293	36.6213
22	0.8465	30.1071
23	0.5603	24.515
24	0.5803	29.6498
25	0.3719	10.1875
26	0.4725	22.1028
27	0.3163	4.2759

รหัสรูป	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
28	0.6836	46.2152
29	0.4279	22.4724
30	0.3267	14.0167
31	0.4298	14.831
32	0.539	21.2754
33	0.4055	15.2476
34	1.0839	7.477
35	0.4649	23.7861
36	0.4889	20.3504
37	0.444	16.4825
38	0.4328	14.2573
39	0.488	26.2325
40	0.4332	13.3197
41	0.4806	19.7912
42	0.4756	27.0687
43	1.0237	39.6172
44	0.8399	9.9899
45	0.5374	41.1257
46	0.5029	20.2968
47	0.3828	13.4832
48	0.3886	14.1984
49	0.4548	16.1798
50	0.4684	25.0014
51	0.9837	11.901
52	0.4272	23.3517
53	0.53	19.3895
54	0.485	20.0945
55	0.4594	20.6851
56	0.5188	21.5052
57	0.423	13.9042

รหัสรูป	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
58	0.3781	13.1588
59	0.3417	6.6839
60	0.3585	9.694
61	0.6211	43.9733
62	0.5895	44.557
63	0.4833	35.0319
64	0.5761	37.3335
65	0.2384	2.2336
66	0.4323	19.8572
67	0.5967	47.3977
68	0.4879	41.5941
69	0.5769	35.4594
70	0.623	8.8105
71	0.3101	12.2121
72	0.3086	5.3445
73	0.293	3.9128
74	0.2291	2.7241
75	0.3445	6.9699
76	0.5581	34.1752
77	0.5305	41.2324
78	0.623	48.8284
79	0.6037	42.6459
80	0.5618	40.2619
81	0.5998	37.711
82	0.3734	29.3638
83	0.5527	34.7426
84	0.4512	21.34
85	0.3195	11.6184
86	0.4323	13.291
87	0.511	32.8362



รหัสรูป	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
88	0.5596	27.8582
89	0.5488	41.2921
90	0.4402	16.8797
91	0.3964	23.6678
92	0.4364	21.2069
93	0.4578	40.0371
94	0.3966	31.7718
95	0.3443	27.5843
96	0.6599	48.5763
97	0.4214	20.863
98	0.3134	25.7882
99	0.4653	35.5477
100	0.5621	23.8403
101	0.9472	18.1568
102	0.6072	46.393
103	0.4754	29.4976
104	0.6144	42.2
105	0.5837	45.3261
106	0.5896	46.2414
107	0.3398	20.5232
108	0.7773	43.518
109	0.5443	24.5674
110	0.3708	7.1266
111	0.6454	45.8253
112	0.7921	15.8371
113	1.1483	30.4526
114	0.4558	28.6816
115	0.9859	18.4575
116	1.0189	12.5295
117	0.3684	24.823

รหัสรูป	ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังสองเฉลี่ย (เมตร)
118	0.4359	28.0209
119	0.666	34.7568
120	0.5231	25.0817
121	0.3702	13.4841
122	0.462	19.9441
123	0.7092	28.2952
124	0.9413	17.8177
125	1.4077	18.9493
126	0.5038	18.9988
127	0.3631	18.3081
128	0.7058	16.6664
129	0.5355	21.7988
130	0.385	17.0036
131	0.4118	14.9147
132	0.3	11.9978
133	0.4124	3.292
134	0.8197	26.7381

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอาชวี สรรพอาษา เกิดวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนเซนต์คาเบรียล จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษาที่ 2548 และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาคอมพิวเตอร์ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตต่อในปีการศึกษา 2552 ในภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย