บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

นำเสนอวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด โดยกล่าวถึงภาพรวมของการทำงาน การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ และการปรับปรุงการทำงานจากวิธีการประมาณค่าฉากสามมิติจากรูป

3.1 ภาพรวมของการทำงาน

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการสร้างฉากสามมิติจากความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ โดยทำการนิยามความสัมพันธ์ไว้สองประเภท คือความสัมพันธ์แบบเฉพาะคือความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุที่อยู่ติดกัน และความสัมพันธ์แบบวงกว้างคือความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุทั้งหมดภายในฉาก โดยการจำแนกความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนออกเป็นห้าประเภท คือวัตถุเดียวกัน บดบัง ถูกบดบัง วางบน และถูกวางทับ ส่วนความสัมพันธ์แบบวงกว้างทำแสดงโดยการใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ และโครงสร้างต้นไม้อัฐภาค

กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉากในด้านความสูง และความลึก โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในการประมาณจุดสัมผัสพื้น รวมถึงเส้นขอบฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการประมาณค่าความลึกของวัตถุภายในฉาก อีกทั้งใช้ความสัมพันธ์ที่ได้ในการพิจารณาความต่อเนื่องระหว่างวัตถุในฉากสามมิติ

งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานจากงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ ทั้งหมดสี่ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม, ขั้นตอนการสร้างกราฟฉาก, ขั้นตอนการประมาณค่าความลึก และขั้นตอนการสร้างฉากสามมิติ

โดยในงานวิจัยนี้จะจำกัดคำนิยามของตัวแปรต่างๆดังนี้

นิยาม 1 รูปภาพนำเข้า I คืออาเรย์สองมิติที่แต่ละคู่อันดับ (x, y)
นิยาม 2 ซูเปอร์พิกเซล S คือเซตของคู่อันดับ (x, y) ใน I ที่มีลักษณะคล้ายกันตามที่กำหนดในขั้นตอนการแบ่งย่อยรูปภาพ
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 ในขณะที่ความสัมพันธ์แบบวงกว้างคือโครงสร้างของข้อมูลที่ทำการเก็บความสัมพันธ์ด้านตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดภายในฉาก

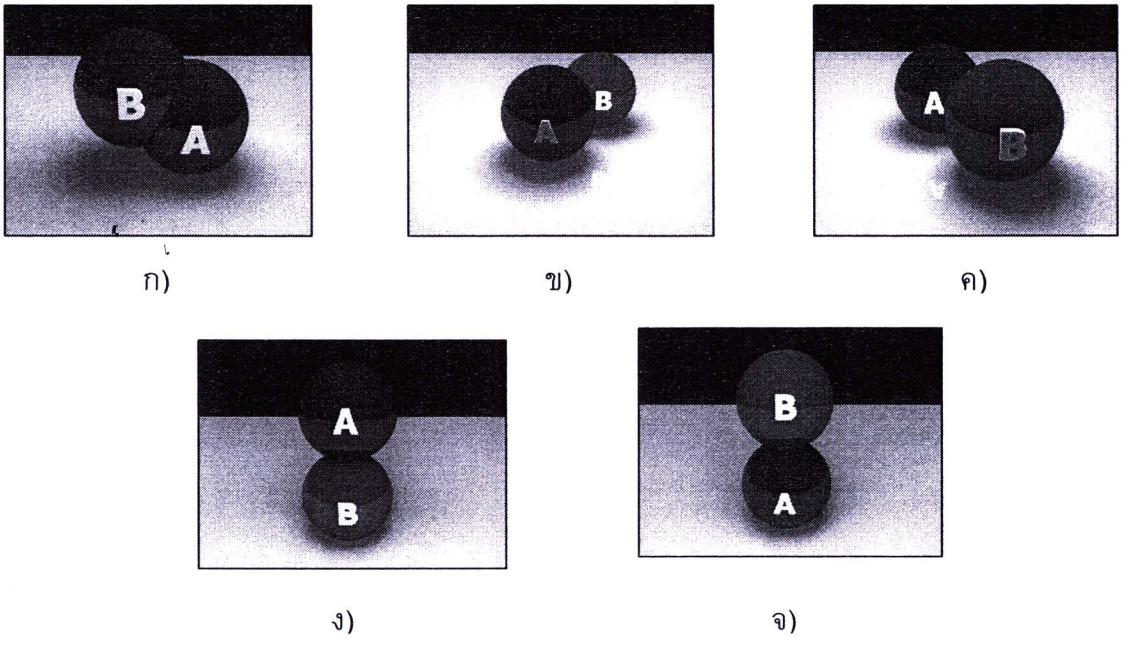
3.2.1 ความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน

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) คือมีซูเปอร์พิกเซลหนึ่งอยู่บนอีกซูเปอร์พิกเซลหนึ่ง โดยความสัมพันธ์ในลักษณะนี้จะทำให้ซูเปอร์พิกเซลที่อยู่ด้านบนมีค่าความลึกเท่ากับซูเปอร์พิกเซลที่อยู่ด้านล่าง



ก) ข) ค)

ง) จ)

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

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอคุณสมบัติของแต่ละความสัมพันธ์ เพื่อให้ความสัมพันธ์ที่ได้ปราศจากความซ้ำซ้อนไว้ดังนี้

คุณสมบัติการสลับที่ของความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยหากความสัมพันธ์ของ S_i และS_j เป็นแบบวัตถุเดียวกันแล้ว ความสัมพันธ์ของ S_j และS_i ย่อมเป็นแบบวัตถุเดียวกันด้วย โดยแสดงดังสมการ

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

คุณสมบัติของความสัมพันธ์แบบบดบังกับถูกบดบัง และคุณสมบัติของความสัมพันธ์แบบวางบนและถูกวางทับนั้นมีความสัมพันธ์แบบตรงกันข้าม โดยหากความสัมพันธ์ของ S_i และS_j เป็นความสัมพันธ์แบบบดบังแล้ว ความสัมพันธ์ของ S_j และS_i ย่อมเป็นแบบถูกบดบัง โดยแสดงดังสมการ

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

คุณสมบัติของการถ่ายทอดของความสัมพันธ์กันโดยหากความสัมพันธ์ของ S_i และS_j เป็นความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันและความสัมพันธ์ของ S_j และS_k เป็นแบบวัตถุเดียวกันแล้ว ความสัมพันธ์ของ S_i และS_k ย่อมเป็นแบบวัตถุเดียวกัน โดยแสดงดังสมการ

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

สุดท้ายความสัมพันธ์แบบบดบัง, ถูกบดบัง, วางบน และถูกวางทับโดยหากความสัมพันธ์ของ S_i และS_j เป็นความสัมพันธ์แบบเดียวกับความสัมพันธ์ของ S_j และS_k แล้ว ความสัมพันธ์ของ S_k และS_i ห้ามมีความสัมพันธ์เดียวกับความสัมพันธ์ข้างต้น โดยแสดงดังสมการ

$$R_{ij} = OC \; and \; R_{jk} = OC \rightarrow {\sim}R_{ki} = OC$$
$$R_{ij} = OB \; and \; R_{jk} = OB \rightarrow {\sim}R_{ki} = OB$$
$$R_{ij} = PO \; and \; R_{jk} = PO \rightarrow {\sim}R_{ki} = PO$$
$$R_{ij} = PB \; and \; R_{jk} = PB \rightarrow {\sim}R_{ki} = PB$$

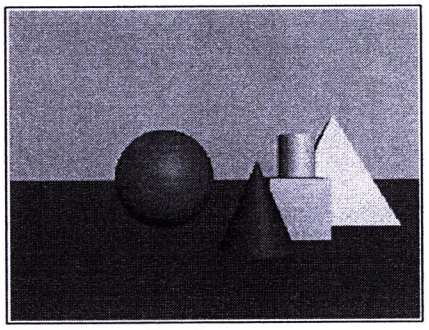
ซึ่งหากคู่ความสัมพันธ์ใดขัดกับคุณสมบัติดังกล่าวจะถือว่าเกิดความขัดแย้งขึ้นในความสัมพันธ์ที่หามาได้ เพราะจะทำให้ไม่สามารถสรุปคุณสมบัติของคู่ความสัมพันธ์ทั้งหมดภายในฉาก

3.2.2 ความสัมพันธ์แบบวงกว้าง

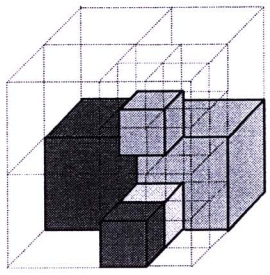
ในงานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้ความสัมพันธ์แบบวงกว้างไว้ในหลายลักษณะโดยแบ่งเป็นความสัมพันธ์วงกว้างของแต่ละประเภทของความสัมพันธ์ และความสัมพันธ์วงกว้างสำหรับการแทนความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉาก

ความสัมพันธ์วงกว้างสำหรับแต่ละประเภทความสัมพันธ์ โดยจะใช้ข้อมูลกราฟในการแทนความสัมพันธ์ โดยจุดยอดของกราฟจะแทนแต่ละซูเปอร์พิกเซลในภาพ และเส้นเชื่อมจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลข้างเคียง โดยความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันจะใช้กราฟแบบไม่ระบุทิศทางในการแทน และความสัมพันธ์แบบบดบังกับถูกบดบังและความสัมพันธ์แบบวางบนกับถูกวางทับจะใช้กราฟแบบระบุทิศทางในการแทน

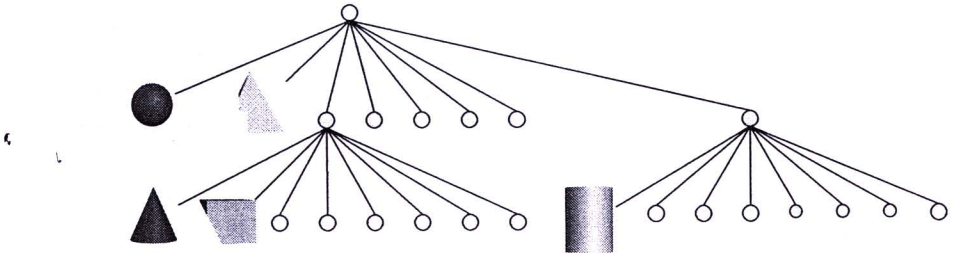
การสร้างกราฟฉากในการแทนความสัมพันธ์ของวัตถุทั้งฉาก การสร้างกราฟฉากสามารถสร้างได้โดยวิธีการแบ่งมิติเพื่อสร้างทำการสร้างโครงสร้างโครงสร้างข้อมูลที่อธิบายความสัมพันธ์ของวัตถุต่างๆภายในฉาก โดยการใช้ต้นไม้แบบอัฐภาค ในการแทนความสัมพันธ์ด้านตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดภายในฉาก



ก)



ข)

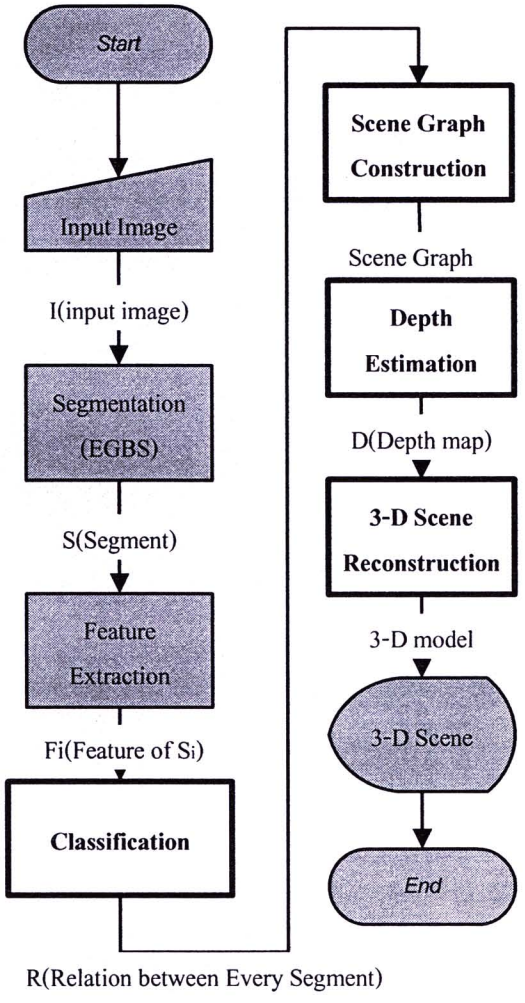


ค)

รูปที่ 3.2 การสร้างกราฟฉากสำหรับการนิยามความสัมพันธ์แบบวงกว้างโดยใช้โครงสร้างต้นไม้แบบอัฐภาค ก) ภาพนำเข้า ข) การตัดแบ่งฉากสามมิติเพื่อการสร้างต้นไม้อัฐภาค ค) ต้นไม้อัฐภาคที่แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุภายในภาพ

3.3 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการทำงาน

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



รูปที่ 3.3 ผังแสดงการทำงานทั้งหมด ขั้นตอนที่ไม่ถูกแรเงาแสดงขั้นตอนการทำงานที่ทำการปรับปรุงจากงานวิธีการประมาณฉากสามมิติโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

3.3.1 การแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์

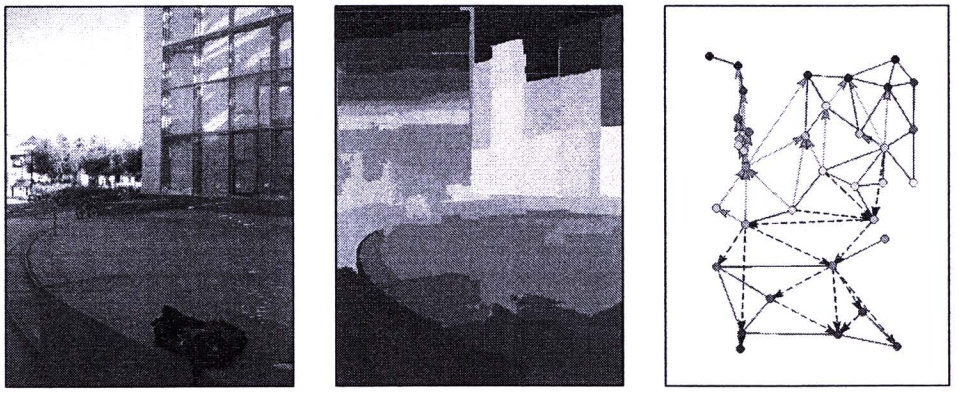
ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ (Classification) เป็นขั้นตอนในการหาความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลเพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของวัตถุภายในฉาก โดยประกอบไปด้วยสองขั้นตอนย่อย คือการหาความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน (Local Relation Classification), และการกำจัดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน (Conflict Elimination)

3.3.1.1 การหาความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน

ในขั้นตอนนี้จะทำการจำแนกคลาสของความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วนของทุกๆคู่ซูเปอร์พิกเซล ที่เป็นเพื่อนบ้านกัน โดยจะทำการแบ่งคลาสของความสัมพันธ์ออกเป็นทั้งหมดห้าความสัมพันธ์ตามหัวข้อที่ 3.2.1 และใช้ค่าจุดเด่นทั้งหมด 83 ค่าตามงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ เป็นข้อมูลฐานในการจำแนกคลาส

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ในการทำการหาคลาสของความสัมพันธ์ โดยวิธีดังกล่าวจะให้ค่าความน่าจะเป็นที่ความสัมพันธ์ตกอยู่ในแต่ละคลาสของความสัมพันธ์ โดยจะกำหนดให้คลาสที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดเป็นคลาสสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างคู่ซูเปอร์พิกเซลนั้น

สุดท้ายในขั้นตอนนี้จะได้ความสัมพันธ์สำหรับทุกซูเปอร์พิกเซลที่เป็นเพื่อนบ้านกัน แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ที่ได้ยังมีความขัดแย้งซึ่งขัดกับคุณสมบัติที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1 เนื่องจากการพิจรณาหาความสัมพันธ์นั้นทำเพียงหาความสัมพันธ์กับซูเปอร์พิกเซลข้างเคียงเท่านั้น



ก) ข) ค)

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

3.3.1.2 การกำจัดความขัดแย้งระหว่างความสัมพันธ์แบบเฉพาะส่วน

ในขั้นตอนนี้จะทำการแก้ไขความขัดแย้งที่เกิดขึ้นระหว่างความสัมพันธ์ โดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งความขัดแย้งที่เกิดขึ้นเป็นสองลักษณะ คือความขัดแย้งภายใน และความขัดแย้งภายนอก โดยแยกตามประเภทของความสัมพันธ์ที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งนั้นขึ้น

ความขัดแย้งภายในคือความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในกลุ่มซูเปอร์พิกเซลที่เป็นวัตถุเดียวกัน ระหว่างความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันกับความสัมพันธ์แบบอื่นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติการถ่ายทอดของความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยหากมีความสัมพันธ์แบบอื่นอยู่ภายในกลุ่มของความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันแล้วจะเกิดความขัดแย้งขึ้น

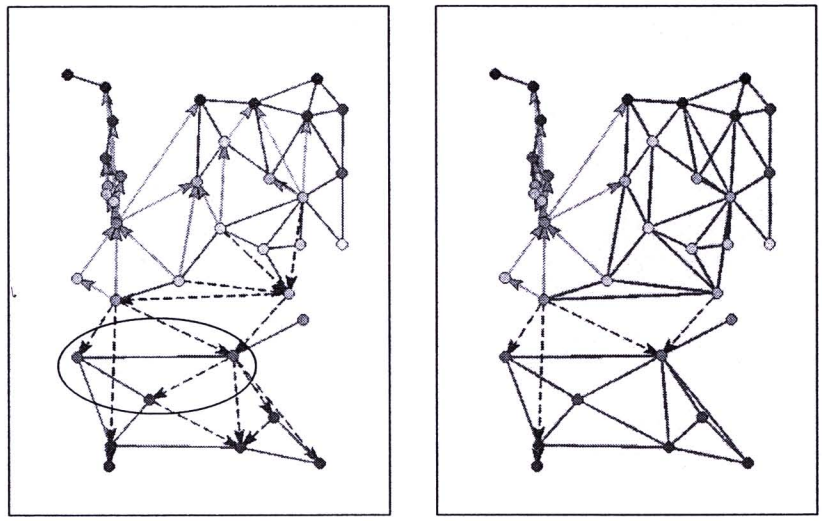
ความขัดแย้งภายนอกคือความขัดแย้งที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มของซูเปอร์พิกเซลที่อยู่คนละวัตถุกัน โดยจะเกิดขึ้นระหว่างความสัมพันธ์แบบบดบังกับถูกบดบัง และความสัมพันธ์แบบวางบนกับถูกวางทับ โดยความสัมพันธ์ในประเภทนี้จะไม่สามารถมีความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นวงได้

ขั้นตอนการกำจัดความขัดแย้งที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนย่อย คือการกำจัดความขัดแย้งภายใน, การควบรวมซูเปอร์พิกเซล และการกำจัดความขัดแย้งภายนอก

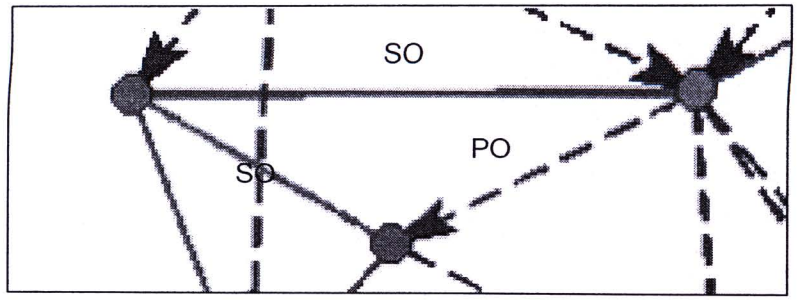
ขั้นตอนแรกคือการกำจัดความขัดแย้งภายใน โดยทำการแทนที่ความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันด้วยกราฟไม่ระบุทิศทาง โดยกำหนดให้จุดยอดของกราฟบ่งบอกถึงซูเปอร์พิกเซลทั้งหมด และเส้นเชื่อมบ่งบอกถึงความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยมีค่าน้ำหนักคือความน่าจะเป็นที่ความสัมพันธ์ตกอยู่คลาสความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน โดยกำหนดให้จุดยอดที่ความเชื่อมต่อ (Connectivity) กันแสดงถึงวัตถุที่เป็นวัตถุเดียวกัน และทำการแบ่งออกเป็นกราฟย่อยตามความเชื่อมต่อที่เกิดขึ้น โดยหากมีความสัมพันธ์ใดที่อยู่ระหว่างจุดยอดที่เป็นวัตถุเดียวกัน และไม่ได้ตกอยู่ในคลาสความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกันจะเป็นตำแหน่งของความสัมพันธ์ที่เกิดความขัดแย้ง ,

เมื่อทำการค้นหาความสัมพันธ์ที่เกิดความขัดแย้งภายในทั้งหมดแล้วจะทำการกำจัดความสัมพันธ์นั้นโดยพิจารณากลุ่มของเส้นเชื่อมที่เป็นจุดตัดต่ำสุดของกราฟย่อยที่ครอบคลุมความสัมพันธ์ที่ขัดแย้ง และทำการเปรียบเทียบผลรวมของน้ำหนัก ระหว่างการเปลี่ยนความสัมพันธ์ที่ขัดแย้งเป็นความสัมพันธ์แบบวัตถุเดียวกัน กับการเปลี่ยนความสัมพันธ์

ของจุดตัดต่ำสุดเป็นความสัมพันธ์ประเภทเดียวกับความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ที่ขัดแย้ง โดยเลือกกราฟที่มากกว่าเป็นกราฟที่ถูกต้อง



ก) ข)

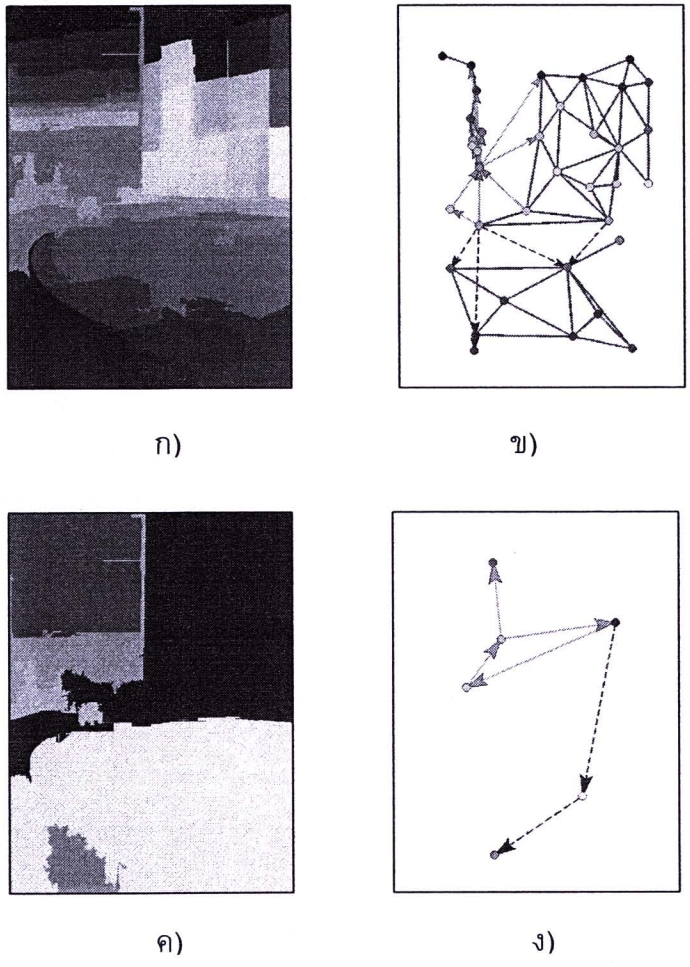


ค)

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

ขั้นตอนต่อมาคือการควบรวมซูเปอร์พิกเซล จากขั้นตอนก่อนหน้าความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุเดียวกันนั้นจะถูกกำจัดความขัดแย้งจนหมด ซึ่งสามารถทำให้ควบรวมจากกลุ่มของซูเปอร์พิกเซลที่มีความสัมพันธ์กันในแบบวัตถุเดียวกันให้เป็นคอมโพเนนท์

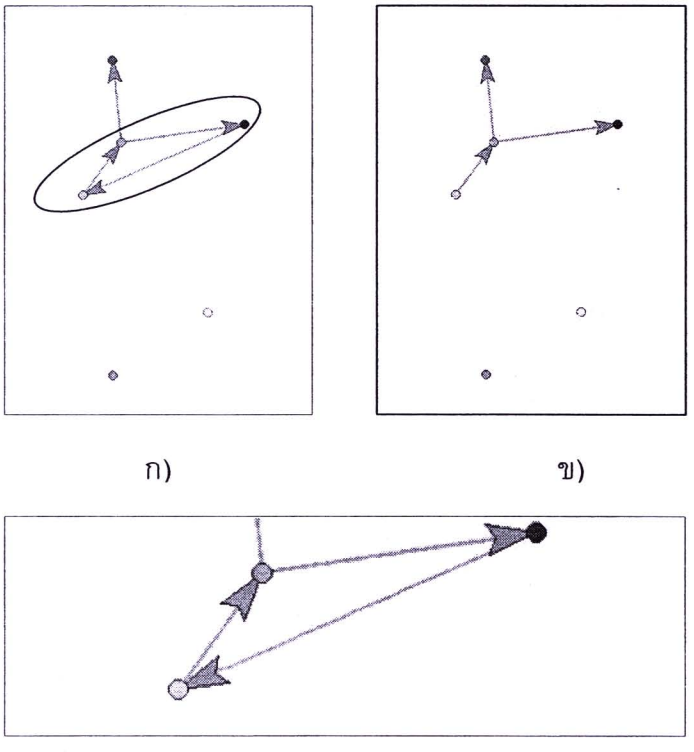
(Component) โดยทำการหาค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละของความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลที่อยู่ในคนละคอมโพเนนท์ เพื่อหาความน่าจะเป็นที่ความสัมพันธ์ระหว่างคอมโพเนนท์ที่จะตกอยู่ในคลาสใดๆ และเลือกคลาสที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดเป็นคลาสของความสัมพันธ์ระหว่างคอมโพเนนท์ที่ติดกัน



รูปที่ 3.6 ผลลัพธ์การควบรวมซูเปอร์พิกเซล ก) ซูเปอร์พิกเซลของรูป ข) ความสำพันธ์ของแต่ละซูเปอร์พิกเซล ค) คอมโพเนนท์ของรูปโดยแต่ละสีจะแสดงถึงวัตถุเพียงวัตถุเดียว ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคอม่โพเนนท์ที่ติดกัน ลูกศรสีเขียวแสดงความสัมพันธ์แบบบดบังและลูกศรสีน้ำเงินแสดงความสัมพันธ์แบบวางทับ โดยทิศทางแสดงถึงทิศทางของความสัมพันธ์

ขั้นตอนสุดท้ายคือการกำจัดความขัดแย้งภายนอก โดยจะแบ่งเป็นสองกลุ่มความสัมพันธ์คือกลุ่มความสัมพันธ์แบบการบดบัง ประกอบด้วยความสัมพันธ์แบบบดบังและถูก

บดบัง และกลุ่มความสัมพันธ์แบบการวาง ประกอบด้วยความสัมพันธ์แบบวางบนและถูกวางทับ โดยแทนความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยกราฟแบบระบุทิศทาง โดยให้จุดยอดบ่งบอกถึงคอมโพเนนท์ ทั้งหมด เส้นเชื่อมแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคอมโพเนนท์ โดยมีน้ำหนักคือความน่าจะเป็นที่องค์ประกอบจะตกอยู่ในคลาส และมีทิศทางคือทิศของการบดบัง หรือการวางบน โดยจะแยกทำออกเป็นสองกราฟคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์แบบบดบัง และกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง โดยความขัดแย้งสามารถหาได้โดยการหาวัฏจักรที่เกิดขึ้น ซึ่งหมายความว่ากราฟที่ปราศจากความขัดแย้งจะต้องเป็นกราฟอวัฏจักรระบุทิศทางนั่นเอง โดยหากไม่เป็นจะทำการแปลงโดยอาศัยกราฟเสมือนต้นไม้ใหญ่สุดเพื่อให้ได้กราฟที่ปราศจากความขัดแย้งภายนอก



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

กล่าวโดยสรุปในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจจับความขัดแย้งที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ โดยทำการรวมกลุ่มของซูเปอร์พิกเซลให้เป็นคอมโพเนนท์ที่แสดงถึงวัตถุที่เป็นวัตถุเดียว โดยความสัมพันธ์ระหว่างคอมโพเนนท์จะถูกแสดงอยู่ในรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบบดบัง และกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงลำดับชั้นของการเรียงตัวของวัตถุทั้งหมดภายในฉาก

3.3.2 การสร้างกราฟฉาก

ขั้นตอนการสร้างกราฟฉาก (Scene Graph Construction) เป็นขั้นตอนในการสร้างกราฟฉากโดยการใช้ต้นไม้แบบอัฐภาคเพื่อแสดงถึงตำแหน่งของแต่ละวัตถุ โดยประกอบไปด้วยสองขั้นตอนย่อย คือการการประมาณค่าตำแหน่งสำผัสพื้นของแต่ละซูเปอร์พิกเซล (Ground Contact Position Estimation) และการสร้างกราฟฉาก (Scene Graph Construction)

3.3.2.1 การประมาณค่าตำแหน่งสำผัสพื้น

ตำแหน่งสัมผัสพื้นคือตำแหน่งในแนวความสูงของรูปที่วัตถุทำการสำผัสกับพื้นระนาบ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการประมาณค่าความลึก โดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคอมโพเนนท์มาเป็นข้อมูลเบื้องต้น โดยแบ่งออกเป็นห้าขั้นตอนย่อย ได้แก่การหาคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้นและฉากหลัง, การหาตำแหน่งเส้นขอบฟ้า, การหาคอมโพเนนท์พื้น, การหาตำแหน่งสำผัสพื้น และการปรับปรุงตำแหน่งสำผัสพื้น

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

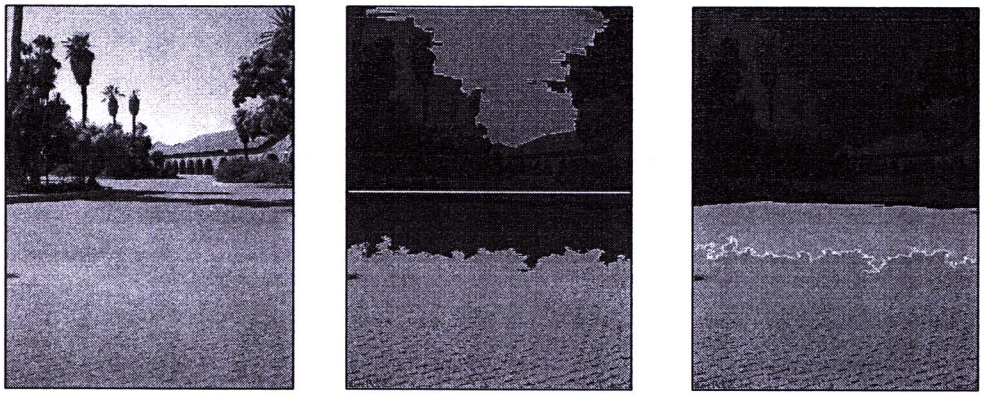
การหาตำแหน่งเส้นขอบฟ้า (Horizon Line) เส้นขอบฟ้าคือตำแหน่งที่พื้นดินติดกับท้องฟ้าภายในรูป ซึ่งแสดงถึงจุดสิ้นสุดของความลึกภายในรูป โดยหาจากค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่คอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้น และฉากหลังต่อเนื่องกัน โดยหากคอมโพเนนท์ทั้งสองไม่ติดกันจะทำการหาจากค่าเฉลี่ยของตำแหน่งสูงสุดของคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้น และตำแหน่งต่ำที่สุดของคอมโพเนนท์ฉากหลัง

คอมโพเนนท์พื้น (Ground) คือคอมโพเนนท์ที่ตั้งอยู่ในแนวระนาบกับกล้อง ซึ่งมีส่วนต่อความถูกต้องของฉากที่สร้าง การกำหนดซูเปอร์พิกเซลพื้นทำโดยหาคอมโพเนนท์ที่ตั้งอยู่บนคอมโพเนนท์เริ่มต้นของพื้นตามกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง และมีตำแหน่งสูงสุดไม่เกินตำแหน่งเส้นขอบฟ้า

การประมาณจุดสัมผัสพื้นทำโดยการพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง โดยวัตถุที่มีการวางอยู่บนวัตถุอื่นจะมีจุดสัมผัสพื้นที่ต่ำที่สุดเท่ากับจุดสัมผัสพื้นของวัตถุที่อยู่ด้านล่างสุด การประมาณจุดสัมผัสพื้นของแต่ละคอมโพเนนท์ ทำโดยการหาตำแหน่งที่ต่ำสุดของคอมโพเนนท์ที่ถูกคอมโพเนนท์ที่สนใจนั้นวางทับอยู่ที่สำผัสกับคอมโพเนนท์พื้น หรือคอมโพเนนท์ที่อยู่ปลายสุดของกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบวาง ที่มีตำแหน่งในแนวความกว้างเท่ากับตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของคอมโพเนนท์ที่สนใจ โดยหากตำแหน่งที่ได้สูงกว่าตำแหน่งเส้นขอบฟ้าให้กำหนดตำแหน่งจุดสัมผัสไว้ที่ตำแหน่งเส้นขอบฟ้า

การปรับปรุงตำแหน่งสำผัสพื้นทำเพื่อปรับปรุงตำแหน่งสัมผัสพื้นที่หามาได้ให้เป็นไปตามความสัมพันธ์แบบบดบัง โดยการทำการพิจารณาตามลำดับชั้นของกราฟแสดงการบดบัง โดยคอมโพเนนท์ที่บดบังจะต้องมีตำแหน่งสำผัสพื้นน้อยกว่าคอมโพเนนท์ที่ถูกบดบัง โดยหากไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ดังกล่าวจะทำการเลื่อนตำแหน่งของจุดสำผัสออกไป และสุดท้ายทำการเลื่อนตำแหน่งเส้นขอบฟ้าไปยังตำแหน่งจุดสัมผัสที่สูงที่สุด

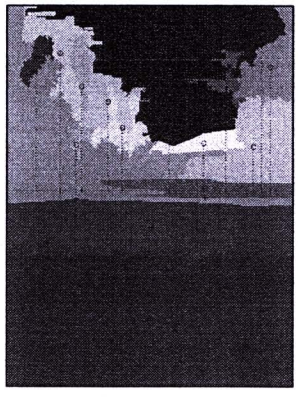
โดยสรุปแล้วในขั้นตอนของการประมาณค่าจุดสัมผัสพื้นจะทำการประมาณค่าจุดสัมผัสพื้นโดยให้สอดคล้องกราฟของความสัมพันธ์บดบัง และวางอยู่ เพื่อการประมาณค่าความลึกที่ถูกต้อง



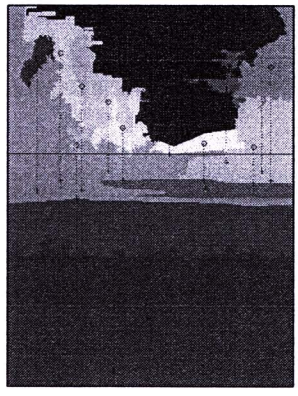
ก)

ข)

ค)



ง)



จ)

รูปที่ 3.8 ผลลัพธ์การประมาณจุดสัมผัสพื้น ก) รูปนำเข้า ข) คอมโพเนนท์พื้นเริ่มต้นและคอมโพเนนท์ฉากหลัง ค) คอมโพเนนท์พื้น ง) จุดสัมผัสพื้นก่อนการปรับปรุง วงกลมแสดงจุดศูนย์กลางของคอมโพเนนท์ กากบาทแสดงตำแหน่งสัมผัสพื้น จ) จุดสัมผัสพื้นหลังการปรับปรุง

3.3.2.2 การสร้างกราฟฉาก

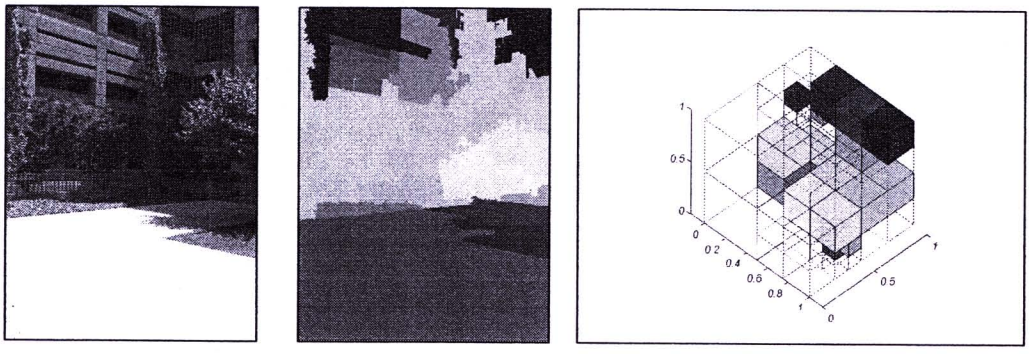
ความสัมพันธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมานั้นจะสามารถบ่งบอกได้ถึงความสัมพันธ์ด้านตำแหน่งที่มีความอิสระต่อกันในด้านความสูงและความลึก ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างกราฟฉากเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ทางด้านตำแหน่งระหว่างวัตถุทั้งหมดภายในฉาก โดยครอบคลุมความสัมพันธ์ในทุกแนวแกนด้วยการใช้ต้นไม้แบบอัฐภาค

การสร้างต้นไม้แบบอัฐภาคนั้นจะต้องทำการแบ่งมิติออกในแนวแกนทั้งสามคือ ความกว้าง ความสูง และความลึก แต่เนื่องจากข้อมูลภาพนั้นมีความสัมพันธ์ที่ได้เพียงสอง

แนวแกนคือความกว้าง และความสูง งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวคิดการสร้างส่วนแทนฉากจากรูปภาพโดยใช้การตัดแบ่งในแนวแกนต่างๆดังนี้

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

โดยจะทำการตัดครึ่งตามระนาบที่กำหนดไปจนกว่าจุดศูนย์กลางของทุกๆคอมโพเนนท์ภายในภาพจะถูกแบ่งแยกกันโดยสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ได้โครงสร้างข้อมูลที่แสดงถึงตำแหน่งของวัตถุทั้งหมดที่อยู่ภายในภาพ



ก) ข) ค)

รูปที่ 3.9 ผลลัพธ์การสร้างกราฟฉากแสดงความสัมพันธ์ของวัตถุ ก) รูปนำเข้า ข) คอมโพเนนท์ของรูป ค) การแบ่งมิติของต้นไม้แบบอัฐภาคสำหรับรูปนำเข้า

3.3.3 การประมาณความลึกของแต่ละจุดภาพ

ในการหาความลึกของแต่ละจุดภาพ สามารถทำได้โดยการใช้คุณสมบัติของการฉายแบบทัศนมิติ โดยอาศัยค่าคงที่คือ ความสูงของกล้อง h_c , ความยาวโฟกัส f และตำแหน่งของเส้นขอบฟ้า y_hดังสมการ

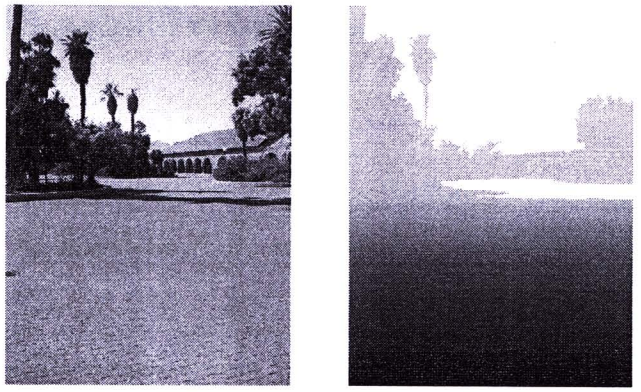
$$d(x,y) = \frac{h_c f}{|y_h - y|}$$

โดยการประมาณค่าความลึกจะแบ่งเป็นสามลักษณะคือการหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์พื้น คอมโพเนนท์ติดพื้นและค่าความลึกของคอมโพเนนท์ปกติ

- การหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์พื้นจะทำโดยการหาค่าความลึกตามแนวแกนความสูงของภาพโดยที่ทุกจุดภาพที่มีตำแหน่งความสูงในภาพเท่ากันจะมีความลึกที่เท่ากัน

- การหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์ที่ติดพื้น โดยคอมโพเนนท์ที่ติดพื้นคือคอมโพเนนท์อยู่ในระดับที่ติดกับคอมโพเนนท์พื้นในกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบการวาง โดยจะให้ค่าความลึกของทุกจุดภาพในคอมโพเนนท์มีค่าเท่ากับคอมโพเนนท์พื้นที่สูงที่สุดที่มีความตำแหน่งในแนวแกนความกว้างเท่ากับตำแหน่งจุดภาพนั้น

- การหาค่าความลึกของคอมโพเนนท์ปกติ โดยคอมโพเนนท์ปกติคือคอมโพเนนท์ที่นอกหนือจากคอมโพเนนท์ข้างต้น โดยในประเภทนี้จะมีค่าความลึกเท่ากันทั้งคอมโพเนนท์ โดยคำนวณจากตำแหน่งสัมผัสพื้นที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.2.1



ก) ข)

รูปที่ 3.10ผลลัพธ์การประมาณค่าความลึกของแต่ละจุดภาพ 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

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

คุณสมบัติทางความลึกทำเพื่อคงการเปลี่ยนแปลงทางความลึกให้มีการเปลี่ยนแปลงที่คงที่ทำโดยการสุ่มอย่างสม่ำเสมอจากทุกจุดภาพตามแนวตั้งและแนวนอน

โดยการนำจุดยอดที่มีคุณสมบัติทั้งสองมารวมกัน จะได้เซตของจุดยอดที่สามารถนำไปสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมได้โดยที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก

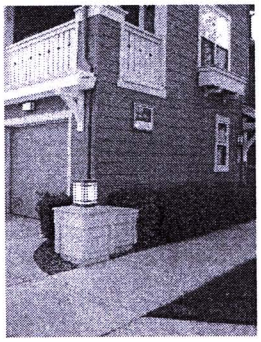
3.3.4.2 การแปลงพิกัดของจุดยอด

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

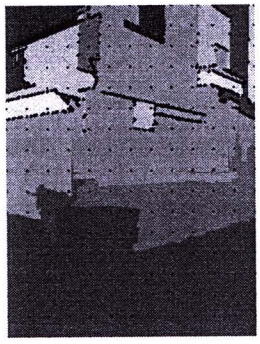
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z \end{bmatrix}_{3d} = \begin{bmatrix} \frac{d(x,y)}{f} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{d(x,y)}{f} & 0 \\ 0 & 0 & d(x,y) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}_{2d} \quad (1)$$

3.3.4.3 การสร้างวัตถุโดยการสร้างสามเหลี่ยม

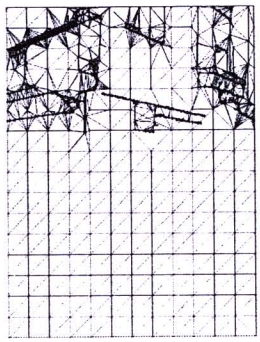
จากจุดยอดที่เลือก จะสามารถนำมาสร้างเป็นโมเดลสามมิติโดยใช้การสร้างสามเหลี่มเพื่อสร้างหน้า (Face) สำหรับแบบจำลองสามมิติ เนื่องจากแบบจำลองที่ได้จะเป็นลักษณะพื้นผิวเปิดการสร้างแบบจำลองสามมิติจึงสามารถทำได้โดยใช้การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไนในสองมิติได้ ซึ่งในงานวิจัยได้เลือกใช้การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไนแบบมีเงื่อนไข โดยตั้งเงื่อนไขของรูปทรงตามเส้นขอบของกลุ่มคอมโพเนนท์ซึ่งทำให้ขอบแบบจำลองสามารถเป็นรูปเว้า (Convex) ได้



ก)



ข)



ค)

3.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพความซับซ้อนเชิงเวลา

ในหัวข้อนี้จะทำกาวิเคราะห์ประสิทธิภาพความซับซ้อนเชิงเวลาในแต่ละขั้นตอน โดยจะแสดงอยู่ในรูปของสัญกรณ์โอใหญ่

- การแบ่งย่อยรูปภาพ การแบ่งย่อยรูปภาพด้วยวิธีการแบ่งรูปด้วยกราฟอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความซับซ้อน $O(nlogn)$ โดย n คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ

- การสกัดค่าจุดเด่น การสกัดค่าจุดเด่นตามงานวิจัยการประมาณฉากสามมิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ 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 ซึ่งในกรณีที่แย่ที่สุดจะมีความสัมพันธ์ระหว่างซูเปอร์พิกเซลรวม $\frac{n_s(n_s-1)}{2}$ ความสัมพันธ์ ซึ่งจำนวนซูเปอร์พิกเซลนั้นจะไม่เกิน 200 เนื่องจากได้ถูกกำหนดไว้ในขั้นตอนวิธีการแบ่งรูป ดังนั้นจะประมาณความซับซ้อนได้เป็น $O(1)$

- การกำจัดความขัดแย้ง ในกรณีแย่ที่สุดมีความซับซ้อน $O(n_s^6)$ คือการหาจุดตัดต่ำสุดของทุกคู่ความสัมพันธ์ โดยการหาจุดตัดต่ำสุดในแต่ละครั้งจะมีความซับซ้อนที่แย่ที่สุด $O(n_s^4)$ โดย n_s คือจำนวนซูเปอร์พิกเซลซึ่งจำนวนซูเปอร์พิกเซลนั้นจะไม่เกิน 200 เนื่องจากได้ถูกกำหนดไว้.ในขั้นตอนวิธีการแบ่งรูป ดังนั้นจะประมาณความซับซ้อนได้เป็น $O(1)$

- การหาความลึกแต่ละจุดภาพ ในกรณีที่แย่ที่สุดคือ กรณีที่ต้องหาความลึกของทุกจุดภาพ โดยมีความซับซ้อน $O(n)$ โดย n คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ

- การสร้างแบบจำลองสามมิติมีความซับซ้อนเชิงเวลาเป็น $O(n_v^2)$ โดย n_v คือจำนวนจุดยอด ซึ่งในกรณีแย่ที่สุดแบบจำนวนจุดยอดจะเท่ากับ n โดย n คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในรูปภาพ ความซับซ้อนกรณีแย่ที่สุดอยู่ที่ $O(n^2)$

สรุปรวมความซับซ้อนเชิงเวลาของการทำงาน กรณีที่ดีที่สุดอยู่ที่ $O(nlogn)$ และแย่ที่สุดที่ $O(n^2)$