อัลกอริทึมการวางวิถีเรบกราฟสำหรับการจำลองฝูงชน

นายปิยะชาติ เศรษฐโอฬาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

REEB GRAPH PATH PLANNING ALGORITHM FOR CROWD SIMULATION

Mr. Piyachart Sresthaolarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อัลกอริทึมการวางวิถีเรบกราฟสำหรับการจำลองฝูงชน
โดย	นายปิยะชาติ เศรษฐโอฬาร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……..คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ชุติสันต์ เกิดวิบูลย์เวช)

ปิยะชาติ เศรษฐโอฬาร : อัลกอริทึมการวางวิถีเรบกราฟสำหรับการจำลองฝูงชน. (Reeb Graph Path Planning Algorithm for Crowd Simulation) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.พิษณุ คนองชัยยศ, 31 หน้า.

งานวิจัยนี้เสนออัลกอริทึมการวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชนโดยอัลกอริทึมในการวางวิถีแบบต่างๆที่ผ่านมาเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการสร้างภาพเคลื่อนไหวฝูงชนนั้น จะพบว่านอกเหนือจากข้อจำกัดต่าง ๆ เช่นการใช้ตารางกริด(Grid-Based search) นั้นวิถีที่ได้จะขึ้นกับความเหมาะสมของการกำหนดขนาดตารางซึ่งไม่มีหลักการตายตัว ส่วนวิถีการเคลื่อนที่ตามวิธีพลังงานสนามศักย์ (Potential field) จะมีข้อจำกัดในเรื่องจุดต่ำสุดเฉพาะที่ (Local minima) ทำให้อาจจะได้วิถีทางตัน ส่วนวิธีเรขาคณิต (Geometric algorithms) หรือวิธีเชิงสุ่ม(Sampling-based algorithm)ก็อาจจะได้วิถีที่ไม่เป็นแนวกลางและซับซ้อนซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของฝูงชนมีการชนมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การออกแบบอัลกอริทึมวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชนที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยและวิถีที่ได้ครอบคลุมสภาพแวดล้อมทั้งหมด เหมาะกับการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนคือวางตัวในแนวกลางของพื้นที่ว่างและไม่มีวิถีที่แตกกิ่งซับซ้อน โดยเริ่มจากประยุกต์ต้นไม้อัฐภาค (Octree) ช่วยในการแบ่งพื้นที่ว่างและสิ่งกีดขวางออกเป็นตารางกริดแปดส่วนจนกว่าในพื้นที่จะว่างหรือมีแต่สิ่งกีดขวางอยู่ ส่วนในการสร้างเรบกราฟ (Reeb graph) สร้าง เรบกราฟขึ้น โดยกำหนดเซตระดับให้กับพื้นที่ว่างแบ่งออกเป็นเซต และกำหนดให้แต่ละเซตระดับสมนัยกับปมของเรบ กราฟ (Reeb node) ซึ่งอยู่กลางปริมาตรของพื้นที่ว่าง แล้วเชื่อมต่อด้วยเส้นเชื่อมของเรบกราฟ (Reeb edges) โดยจะกำหนดปมของเรบ กราฟ ท้ายสุดจะได้วิถีการเคลื่อนที่ ผลจากการทดลองพบว่าวิถีการเคลื่อนที่ที่ได้จากอัลกอริทึมการวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชน แสดงการเชื่อมต่อของพื้นที่ว่างที่เคลื่อนที่ได้และวางตัวในแนวกลางห่างจากสิ่งกีดขวางโดยวิถีที่ได้จะเรียบง่ายเหมาะกับการเคลื่อนที่ฝูงชนและใช้เวลาในการคำนวณน้อย

ภาควิชา : วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต …….....

สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา ..……2554……..

5371466121 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : COMPUTER GRAPHICS / THREE-DIMENSIONAL GRAPHICS AND REALISM / CROWD ANIMATION / PATH PLANNING / REEB GRAPH / OCTREE

PIYACHART SRESTHAOLARN : REEB GRAPH PATH PLANNING ALGORITHM FOR CROWD SIMULATION. ADVISOR PIZZANUKANONGCHAIYOS,Ph.D., 31 pp .

This research proposes an algorithm for Path planning of crowd simulation. Several algorithms such as grid-based search method, potential field and geometric algorithms can be used for path planning. Efficiency of path generated by grid-based method depends on the size of the grid, while path from potential field method may have local minima. Geometric algorithm usually creates path not lying in the central of the free space or too complex which is not proper for animation of the massive crowd because it might lead to high obstacle collision of crowd. In this research proposes a less time-complexity path planning algorithm, create a central path of the free space for the crowd simulation. We represent the path with Reeb graph generated by Octree Space Partition. After using Octree Space Partition to divide space and obstacles into several cubes of free space and obstacle space, we map all free space grids into level sets. Each level set corresponds to a Reeb node connecting to the neighboring node by Reeb edges. We finally obtain the Reeb graph representing central path lying in the central of the free space. The experimental results demonstrate that paths generated from the proposed algorithm can represent free space connectivity and lying in the central of the free space.

Department : Computer Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Computer Science... Advisor's Signature .....

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยดีเพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์ดร.พิษณุ คนองชัยยศซึ่งเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ความรู้เดิมๆเพื่อหลอมรวมกับความรู้รอบตัวในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ๆขึ้นให้เกิดเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้น ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา ซึ่งผู้เป็นประธาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ และ อาจารย์ ดร.ชุติสันต์ เกิดวิบูลย์เวช ซึ่งผู้เป็นกรรมการ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นเกียรติในการชี้แจงถึงข้อบกพร่องรวมถึงแนวทางและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาและสนับสนุนทางด้านเงินทุนในการศึกษาจนจบในระดับบัณฑิตศึกษา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาดีๆในด้านการเรียนในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแห่งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ.....

สารบัญภาพ…….. ฌ

สารบัญตาราง……... ฎ

บทที่ 1 บทนำ…… 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ……... 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ……. 2

ขอบเขตของการวิจัย…….. 2

ขั้นตอนการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ …….. 2

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ …….. 3

ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ …….. 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ……. 4

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ……. 4

1. อัลกอริทึมในการวางวิถี …….. 4

1.1 ตารางกริด (Grid-Based search) …….. 4

1.2 อัลกอริทึมพื้นฐานของวัตถุทางเรขาคณิต (Geometric algorithms) …….. 5

1.3 พลังงานสนามศักย์ (Potential fields) …….. 5

1.4 แซมปลิ้งอัลกอริทึม (Sampling-based algorithms) …….. 5

2. ออคทรี (Octree) ……. 6

3. เรปกราฟ (Reeb graph) …….. 7

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง …….. 7

1. งานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างวิถี …….. 7

1.1 ตารางกริด (Grid-Based search) ……. 8

1.2 อัลกอริทึมพื้นฐานของวัตถุทางเรขาคณิต (Geometric algorithms) ….. 8
1.3 พลังงานสนามศักย์ (Potential fields) …… 9
1.4 แซมปลิ้งอัลกอริทึม (Sampling-based algotithms) ……... 10
บทที่ 3 แนวคิดการทำวิจัย …… 11
ออกแบบอัลกอริทึมการหาวิถีแทนด้วยเรปกราฟ …… 11
ขั้นตอนการสร้างเรปกราฟ …… 11
บทที่ 4 การทดลองผลการทดลอง …… 12
การทดลอง …… 12
1. วัดค่าเฉลี่ยระยะระหว่างเส้นบนวิถีกับผนังสิ่งกีดขวาง…….. 12
2. วัดความยาวของวิถีเมื่อปรับค่าตัวแปร …….. 12
3. วัดเวลาที่ใช้ในการวางวิถี …….. 12
ผลการทดลอง …… 23
1. ผลการทดลองย่อยที่ 1 ……... 23
2. ผลการทดลองย่อยที่ 2 25
3. ผลการทดลองย่อยที่ 3 26
วิเคราะห์ผลการทดลอง 27
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ ……. 28
บทสรุป 28
แนวทางในการพัฒนาต่อ 28
รายการอ้างอิง 29
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 31

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	ทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทน ……..	4
ภาพที่ 2.2	วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีแผนผังความน่าจะเป็น ……	6
ภาพที่ 2.3	การทำงานของออคทรี ……..	6
ภาพที่ 2.4	การทำงานของเรปกราฟ	7
ภาพที่ 2.5	การวางวิถีด้วยเทคนิคเอสตาร์ (A*) ……..	8
ภาพที่ 2.6	การวางวิถีด้วยเทคนิคกราฟการมองเห็น (Visibility Graph) …….	8
ภาพที่ 2.7	(ก) สภาพแวดล้อม (ข) เส้นทางที่ได้จากวิธีวอรอนอยไดอะแกรม ……	9
ภาพที่ 2.8	การวางวิถีด้วยเทคนิคสนามศักย์ (Potential Field) ……	9
ภาพที่ 2.9	การวางวิถีด้วยเทคนิคแผนผังความน่าจะเป็น (Probabilistic roadmaps) …….	10
ภาพที่ 4.1	ฉากที่ 1 มีจำนวนสิ่งกีดขวาง 6 ชิ้น โดยวางตัวขนานกับแนวตารางกริด……..	13
ภาพที่ 4.2	ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 1 (h =1) ……..	14
ภาพที่ 4.3	ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 2 (h =2) ……..	14
ภาพที่ 4.4	ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 3 (h =3) ……..	15
ภาพที่ 4.5	ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 4 (h =4) ……..	15
ภาพที่ 4.6	ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 5 (h =5) ……..	16
ภาพที่ 4.7	ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 6 (h =6) ……..	16
ภาพที่ 4.8	ฉากที่ 1 ปมทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ …….....	17
ภาพที่ 4.9	ฉากที่ 1 เชื่อมจุดทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ ……..	17
ภาพที่ 4.10	ฉากที่ 2 มีจำนวนสิ่งกีดขวาง 3 ชิ้น โดยวางตัวไม่ขนานกับแนวตารางกริด.....	18
ภาพที่ 4.11	ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 1 (h =1) ……..	18
ภาพที่ 4.12	ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 2 (h =2) ……..	19
ภาพที่ 4.13	ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 3 (h =3) ……..	19
ภาพที่ 4.14	ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 4 (h =4) …….....	20
ภาพที่ 4.15	ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 5 (h =5) ……..	20
ภาพที่ 4.16	ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 6 (h =6) ……	21
ภาพที่ 4.17	ฉากที่ 2 ปมทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ ……...	21
ภาพที่ 4.18	ฉากที่ 2 เชื่อมจุดทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ ……	22

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1	ระยะเฉลี่ยวิถีที่สร้างขึ้นจากอัลกอริทึมที่นำเสนอถึงขอบ ……	23
ตารางที่ 4.2	ความยาวของวิถีที่สร้างขึ้นจากอัลกอริทึมที่นำเสนอ……	25
ตารางที่ 4.3	การเปรียบเทียบเวลาในการสร้างวิถีระหว่างวิธีแบ่งตั้งตารางกริดกับแบ่งย่อยเฉพาะส่วน …….....	26
ตารางที่ 4.4	ผลลัพธ์จากการใช้อัลกอริทึมวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชนเปรียบเทียบกับการสร้างวิถีแบบต่างๆ……	27

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อนิเมชั่นฝูงชน (crowd animation) หมายถึงการจำลองการเคลื่อนไหวของวัตถุ ตัวละคร หรือตัวแทนที่มีจำนวนมากๆ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ คอมพิวเตอร์กราฟิกสามมิติสำหรับอุตสาหกรรมภาพยนตร์และเกม การฝึกอบรบและระบบจำลองต่างๆ รวมถึงทางด้านสถาปัตยกรรม ลักษณะการเคลื่อนไหวของฝูงชนที่เหมาะสมจะวางตัวอยู่ในแนวกลางของพื้นที่ว่าง กระจายตัวเต็มพื้นที่ ไม่เบียดไปด้านใดด้านหนึ่ง

ปัญหาที่พบในการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวแทน(agent) อันดับแรกคือสภาพแวดล้อม ซึ่งจะแบ่งเป็นพื้นที่ว่าง(free space) และสิ่งกีดขวาง(obstacle) พื้นที่ว่างนี้จะเป็นส่วนที่ตัวแทนสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ และจะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งในแต่ละสภาพแวดล้อมก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อมาก็คือพฤติกรรมของตัวแทน (configuration space) ถ้าตัวแทนเคลื่อนที่ในพื้นที่ว่างลักษณะพฤติกรรมก็ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงแต่ถ้าตัวแทนต้องเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ว่างในลักษณะที่มีพื้นที่แคบก็ต้องมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของตัวแทน ในการบิดตัว เอี่ยวตัว เพื่อให้ตัวแทนเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ปัญหาต่อมาก็คือ การหาเส้นทางของตัวแทน ซึ่งแยกออกเป็น ขั้นตอนการตัดสินใจ (path planning) และขั้นตอนการปฏิบัติ (path finding) โดยในงานวิจัยนี้จะพูดถึงขั้นตอนการตัดสินใจ(path planning) ซึ่งเป็นขั้นตอนการตัดสินใจในการวางวิถีของการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในสภาพแวดล้อม โดยขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป

ขั้นตอนการตัดสินใจ (path planning) เป็นขั้นตอนการตัดสินใจในการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในสภาพแวดล้อม โดยขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพแวดล้อม รวมถึงการย่อยงานลง เป็นการเคลื่อนที่เป็นช่วงๆแบบไม่ต่อเนื่องด้วย แบ่งออกได้เป็นสี่ประเภทคือ ตารางกริด (Grid-Based search) , อัลกอริทึมพื้นฐานของวัตถุทางเรขาคณิต (Geometric algorithms) ,พลังงานสนามศักย์ (Potential fields) และ แซมปลิ้งอัลกอรึทึม (Sampling-Based algorithms) ซึ่งในแต่ละประเภทจะมีเทคนิควิธีการในการวางวิถีของการเคลื่อนที่แตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิคเหล่านี้ในการวางวิถีของการเคลื่อนที่ ไม่เหมาะกับการเคลื่อนที่ของฝูงชน และมีการใช้เวลาในการคำนวณนาน รวมถึงวิถีของการเคลื่อนที่ที่ได้ไม่ครอบคลุมสภาพแวดล้อมทั้งหมด

งานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาอัลกอริทึมการวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชนที่ใช้เวลาคำนวณน้อยและวิถีที่ได้ครอบคลุมสภาพแวดล้อมทั้งหมด เหมาะกับการเคลื่อนที่ของตัวแทนฝูงชน ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝูงชนที่เหมาะควรจะเคลื่อนที่รวมกลุ่มกันเต็มพื้นที่ ไม่เบียดไปด้านใน

ด้านหนึ่ง และจะเคลื่อนที่รวมกลุ่มบีบอัดกันในพื้นที่แคบ และจะกระจายตัวออกรวมกลุ่มกันเต็มพื้นที่เหมือนเดิม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาอัลกอริทึมในการวางวิถีของการจำลองฝูงชนให้สามารถแก้ไขข้อจำกัดของงานวิจัยก่อนหน้าโดยแก้ไขข้อจำกัดในเรื่อง

1. ขนาดของตารางกริดมีผลต่อลักษณะความละเอียดของเส้นทาง
2. เส้นทางที่ได้มีความชิดกับขอบสิ่งกีดขวางมากเกินไป
3. เส้นทางที่ได้ไม่ครอบคลุมเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสภาพแวดล้อม
4. เส้นทางที่ได้เป็นเส้นทางที่ไม่เหมาะสมที่สุด

ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมในการวางวิถีของการจำลองฝูงชนที่เน้นไปในด้านการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ที่มีความเหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของฝูงชนเท่านั้น จึงไม่ได้แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของฝูงชน

ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างขั้นตอนวิธีที่เหมาะสม
3. พัฒนาอัลกอริทึม
4. ทดสอบและเปรียบเทียบผลการทดลอง
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
6. จัดทำวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ในการวางวิถีการเคลื่อนที่ที่มีความเหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของฝูงชน สามาถนำประยุกต์ใช้ในระบบจำลองการฝึกอบรบต่างๆ นำไปศึกษาและพัฒนาต่อในวงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย 5 บทหลักคือ บทนำ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แนวคิดการทำวิจัย ผลการทดลอง สรุปผลและแนวทางในการพัฒนาต่อ

ในบทแรกจะกล่าวถึงบทนำ วัตถุประสงค์ ขอบเขตในการวิจัย ขั้นตอนการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ และผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ ต่อมาในบทที่ 2 ได้อธิบายถึงอัลกอริทึมในการวางวิธี ต้นไม้อัฐภาค และเรบกราฟ และกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการวางวิถีของการจำลองฝูงชนโดยการใช้อัลกอริทึมการสร้างเรบกราฟ และการประยุกต์การแบ่งต้นไม้อัฐภาค ต่อมาในบทที่ 4 ได้อธิบายถึงการทดลองและผลการทดลอง และสุดท้ายในบทที่ 5 ได้อธิบายถึงบทสรุปของงานวิจัยและแนวทางในการพัฒนาต่อเพื่อปรับปรุงให้งานวิจัยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง “ Reeb Graph Path Planning Algorithm for Crowd Simulation “ โดย ปิยะชาติ เศรษฐโอฬาร และ พิษณุ คนองชัยยศ ในงานประชุมวิชาการ “ The 8th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (Jcsse2011) ” ณ มหาวิทยาลัยมหิดลในระหว่างวันที่ 11พฤษภาคม – 13 พฤษภาคม 2554

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. อัลกอริทึมในการวางวิถี

ทฤษฎีในส่วนนี้จะกล่าวถึงอัลกอริทึมในการวางวิถี ซึ่งแบ่งออกเป็นสี่ประเภท ด้วยกันประกอบด้วย

1.1 ตารางกริด (Grid-Based search)

วิธีนี้เป็นการซ้อนทับตารางกริดบนสภาพแวดล้อม เพื่อใช้ในการวางวิถีบนพื้นที่ ตัวแทนสามารถเคลื่อนที่ได้แค่ในช่องกริดที่ติดกัน เช่นอัลกอริทึมเอสตาร์ (A*) [1] เป็นเทคนิคการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ มีความคล้ายคลึงกับวิธีการสืบค้นหาข้อมูลบนกราฟ โดยขั้นตอนในการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมนี้เริ่มจากการแบ่งพื้นที่ของสภาพแวดล้อมออกเป็นตารางกริดซึ่งมีช่องขนาดตารางกริดที่เท่าๆกัน โดยช่องตารางกริดเหล่านี้จะมีตำแหน่งตรงกับพื้นที่ที่เป็นตำแหน่งที่ตัวแทนยืนอยู่ โดยตัวแทนสามารถเคลื่อนที่ได้แค่ในช่องกริดที่ติดกันซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1 พื้นฐานของการใช้ตารางกริดทำให้ได้เส้นทางที่ไม่ละเอียด เนื่องจากการกำหนดขนาดของตารางกริดมีผลต่อความละเอียดของเส้นทางที่ได้ แต่จะเป็นเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดเหมาะกับพื้นที่สภาพแวดล้อมที่มีมิติที่ต่ำ (Low-dimensional)

รูปที่ 2.1 ทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทน [1]

1.2 อัลกอริทึมพื้นฐานของวัตถุทางเรขาคณิต (Geometric algorithms)

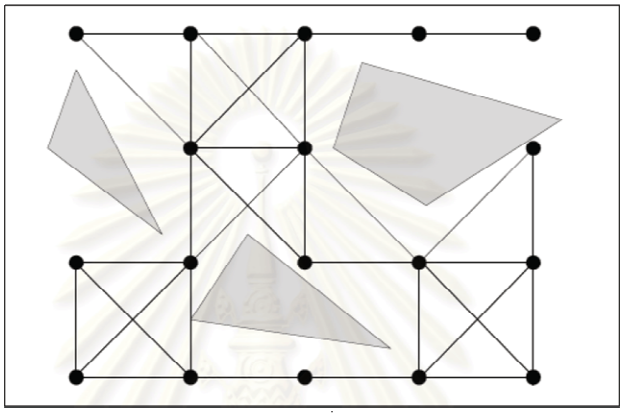
วิธีนี้เป็นการนำลักษณะพื้นฐานของวัตถุทางเรขาคณิตเช่น จุด , เส้น, รูปหลายเหลี่ยม และอื่นๆมาใช้ในการวางวิถี เหมาะสำหรับตัวแทนที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีมิติต่ำ (Low-dimensional) ที่มีอุปสรรคเป็นรูปหลายเหลี่ยม ลักษณะเส้นทางที่ได้จะไม่เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของฝูงชนเส้นทางที่ได้มีความชิดกับสิ่งกีดขวางมาก และเส้นทางที่ได้ไม่ครอบคุลมทั้งหมดของสภาพแวดล้อม

1.3 พลังงานสนามศักย์ (Potential fields)

วิธีนี้เป็นวิธีที่มีหลักการคล้ายกับใช้ค่าศักย์ในการสร้างแรงสำหรับผลักวัตถุให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ ตามหลักแล้วจะเคลื่อนที่จากพื้นที่ที่มีพลังงานศักย์สูงไปพื้นที่ที่มีพลังงานศักย์ต่ำ โดยการนำเอาสนามศักย์ไประบุไว้ในทุกๆตำแหน่งบนพื้นที่ของสภาพแวดล้อม โดยวิธีการนี้จะเปรียบตัวแทนเป็นวัตถุซึ่งถูกผลักไปในทิศทางที่เป็นเป้าหมายที่ตัวแทนเหล่านั้นจะทำการเคลื่อนที่ไป และถูกผลักหนีออกจากสิ่งกีดขวาง เส้นทางที่เกิดจากแรงในสนามศักย์จะเกิดเป็นเส้นทางขึ้นมา เทคนิควิธีการนี้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยแต่มีข้อจำกัดในเรื่องของจุดต่ำสุดในท้องถิ่น (Local minima) คือ ตัวแทนอาจถูกผลักไปตามแรงจากพลังงานศักย์ แล้วไปหยุดอยู่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง โดยที่ตำแหน่งนั้นไม่ใช่เป้าหมายและไม่สามารถย้อนกลับหรือหาเส้นทางต่อได้เนื่องจากแรงที่ถูกกำหนดไว้ และเกิดการล้มแหลวในการหาเส้นทาง

1.4 แซมปลิ้งอัลกอริทึม (Sampling-based algorithms)

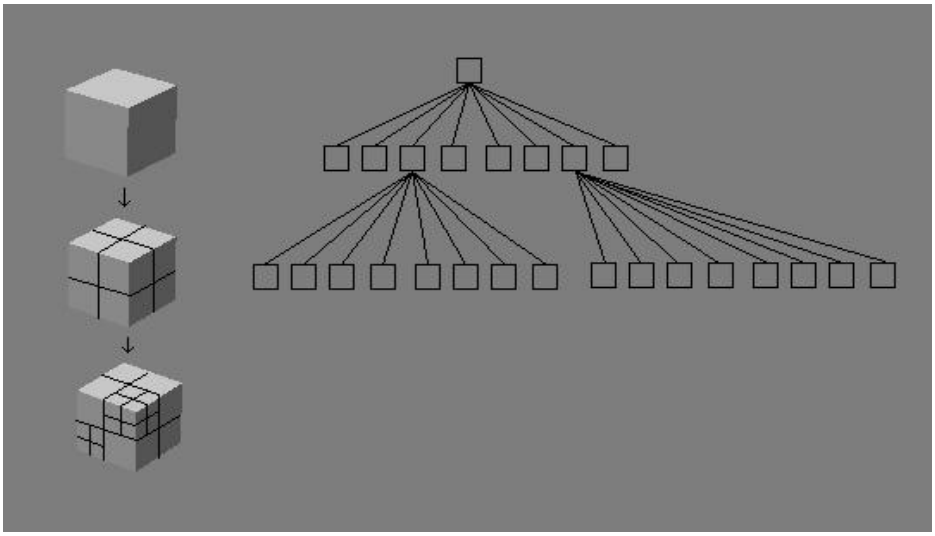
วิธีการนี้จะเป็นการเก็บค่าตัวอย่างจากการกำหนดค่าลงบนพื้นที่สภาพแวดล้อมเช่น อัลกอริทึมแผนผังความน่าจะเป็น (Probabilistic roadmaps) [2] วิธีการนี้เริ่มต้นจากการสุ่มจุดต่างๆลงไปในตำแหน่งต่างๆในสภาพแวดล้อมนั้นๆ และทำการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยการลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดสองจุดที่ถูกสุ่มขึ้นในสภาพแวดล้อมซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 เหมาะกับพื้นที่สภาพแวดล้อมที่มีมิติสูง (High-dimensional) วิธีการนี้หากสุ่มจุดลงบนสภาพแวดล้อมที่น้อยเกินไปจะได้เส้นทางที่ไม่ครอบคลุมทั้งหมด และหากสุ่มจุดลงไปใกล้กับสิ่งกีดขวาง จะทำให้ฝูงชนเดินชิดไปด้านใดด้านหนึ่ง เกิดการเบียดไปด้านเดียว ทั้งๆที่ยังมีพื้นที่ว่างอยู่



รูปที่ 2.2 วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีแผนผังความน่าจะเป็น [2]

2. **ออคทรี (Octree)**

ออคทรี (Octree) เป็นข้อมูลในโครงสร้างต้นไม้ที่แต่ละโหนดภายในจะแบ่งเป็นลูกแปดโหนด แต่ละโหนดแสดงการครอบคลุมพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสดงเป็นแกนจัดชิดขอบเขตกล่อง แต่ละโหนดยังมีจุดตรงกลาง ที่จุดนี้กำหนดระนาบสามระดับ x ,y และ z ลูกแต่ละโหนดของออคทรีจะเป็นหนึ่งในแปดส่วนของพื้นที่ที่สร้างขึ้น โดยการแบ่งพื้นที่ปกครองโดยใช้ระนาบทั้งสาม ออคทรี (Octree) ถูกใช้บ่อยในพาร์ทิชั่นสามมิติ

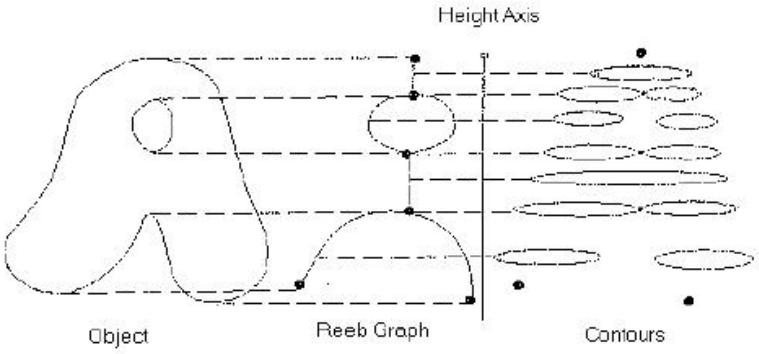


รูปที่ 2.3 การทำงานของออคทรี

3. เรบกราฟ (Reeb graph)

เรบกราฟ (Reeb graph) [4] เป็นฟังก์ชัน ซึ่งสามารถเป็นฟังก์ชันสเกลาร์ หรือฟังก์ชันที่ให้ค่ามิติเดียว หรือฟังก์ชันเวกเตอร์ ที่ให้ค่าเป็นหลายมิติ เรบกราฟแบบฟังก์ชันเวกเตอร์จึงอธิบายการต่อเชื่อมของเซตระดับ หรือเซตของข้อมูลที่อยู่ ระดับเดียวกัน ในรูปแบบของกราฟที่มีหรือไม่มีทิศทางก็ได้ โดย ปมของกราฟจะสมนัยกับ ข้อมูลที่อยู่ในเซตระดับนั้น และ "เส้นเชื่อม" ระหว่างปมจะแทนสภาพเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลแต่ละเซต

ในคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ เรบกราฟสามารถใช้แทนข้อมูลภาวะเชื่อมโยงของสิ่งต่างๆ ได้ เช่น ปริภูมิ รูปร่าง รูปทรง เป็นต้นซึ่ง อัลกอริทึมที่ใช้สร้างเรบกราฟจะขึ้น กับข้อมูลนำเข้า โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ คือ การกำหนดเซตระดับให้กับข้อมูลนำเข้าเพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นเซต เช่น ใช้ฟังก์ชันความสูงวัดค่าความสูง ใช้ฟังก์ชันระยะทาง และกำหนดให้เซตระดับสมนัยกับปมของเรบกราฟ เพื่อเชื่อมต่อด้วยเส้นเชื่อมเป็นเรบกราฟในที่สุด



รูปที่ 2.4 การทำงานของเรบกราฟ [4]

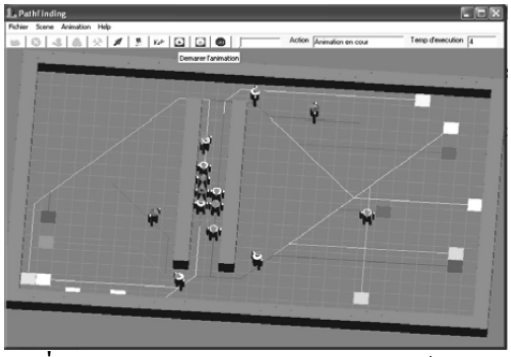
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.งานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างวิถี

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมการวางวิถีซึ่งได้รับการพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่องแบ่งออกเป็นสี่ประเภทด้วยกันดังนี้

1.1 ตารางกริด (Grid-based search)

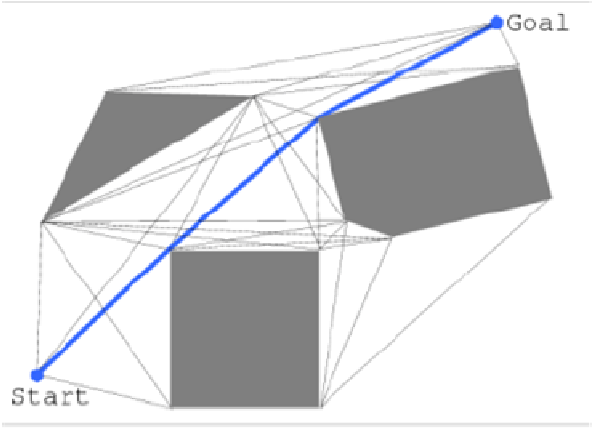
งานวิจัยนี้ [5] จะพูดถึงข้อจำกัดในการเดินชนกันของฝูงชนและข้อจำกัดในการนำทางของตัวแทน โดยแบบจำลองที่ใช้ จะใช้วิธีการหาเส้นทางในการเคลื่อนที่ด้วยวิธี A* ซึ่งผู้วิจัยกล่าวว่า วิธีนี้จะเป็นการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และการใช้พื้นฐานของตารางกริด จะได้เส้นทางที่ไม่ละเอียด แต่จะเป็นเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด



รูปที่ 2.5 การวางวิถีด้วยเทคนิคเอสตาร์ (A*) [5]

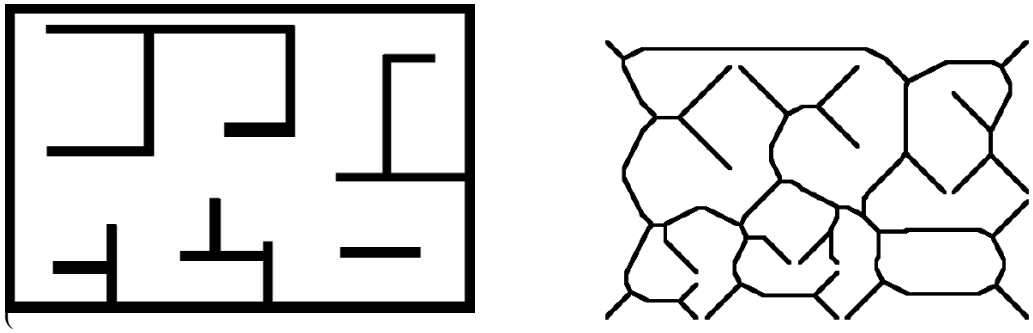
1.2 อัลกอริทึมพื้นฐานของวัตถุทางเรขาคณิต (Geometric algorithms)

งานวิจัยนี้[6] จะพูดถึงการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวิธีการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยอัลกอริทึมกราฟการมองเห็น (Visibility graph) เป็นลักษณะของการมองตรงไปข้างหน้าโดยไม่ชนอุปสรรค โดยจะหักมุมได้ที่ยอดของสิ่งกีดขว้างเท่านั้น ทำให้ลักษณะเส้นทางที่ได้มีความชิดกับสิ่งกีดขวางมากจึงไม่เหมาะกับการเคลื่อนที่ของฝูงชน เพราะจะทำให้ฝูงชนเดินเบียดกันทั้งๆที่ยังมีพื้นที่ว่างอยู่อีก และเส้นทางที่ได้จะไม่ครอบคลุมทั้งหมดของสภาพแวดล้อม วิธีการนี้เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่มีอุปสรรคเป็นรูปหลายเหลี่ยม ใช้เวลาในการคำนวณ $O(N^3)$



รูปที่ 2.6 การวางวิถีด้วยเทคนิคกราฟการมองเห็น (Visibility Graph) [6]

และงานวิจัย [7] ที่ใช้วอรอนอยไดอะแกรม (voronoi diagram) ในการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นอีกเทคนิคที่ใช้เวลาในการคำนวณ O(M) แต่เส้นทางที่ได้จะมีลักษณะการแบ่งแยกออกเป็นสองเส้นทางตามวิธีของวอรอนอยไดอะแกรมซึ่งแสดงดังรูป 2.7 ทั้งๆ ที่พื้นที่บริเวณนั้นเป็นพื้นที่ว่าง ซึ่งมีลักษณะที่ไม่สมจริงกับการเคลื่อนที่ของฝูงชน โดยปกติแล้วฝูงชนจะเคลื่อนที่รวมกลุ่มกันในบริเวณพื้นที่แคบ และจะกระจายตัวออกเมื่อเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่แคบนั้น [8]



ก) (ข)

รูปที่ 2.7 (ก) สภาพแวดล้อม (ข) เส้นทางที่ได้จากวิธีวอรอนอยไดอะแกรม [7]

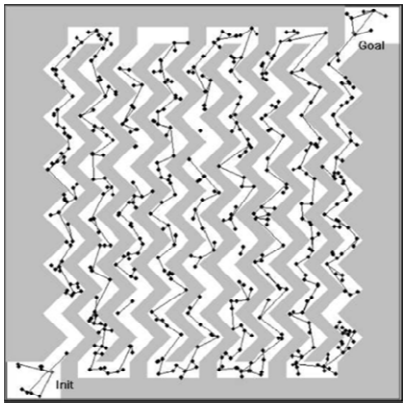
1.3 พลังงานสนามศักย์ (Potential fields)

งานวิจัยนี้[9] จะใช้วิธีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ (Potential field) โดยพื้นที่ที่ถูกแบ่งเป็นตารางกริดจะถูกกำหนดค่าพลังงานศักย์ไว้ โดยหลักการแล้วก็คือจะเคลื่อนที่จากพื้นที่ที่มีพลังงานศักย์สูงไปพื้นที่ที่มีพลังงานศักย์ต่ำ วิธีการนี้จะใช้แรงจากพลังงานศักย์ ในกาผลักตัวแทนออกจากอุปสรรค และแรงดูดเข้าหาเป้าหมาย เส้นทางที่เกิดจากแรงสนามศักย์จะเกิดเป็นเส้นทางขึ้นมา รวมทั้งสามารถแก้ข้อจำกัดการชนกันของตัวแทนได้ด้วย

รูปที่ 2.8 การวางวิถีด้วยเทคนิคสนามศักย์ (Potential Field) [9]

1.4 แซมปลิ้งอัลกอรึทึม (Sampling-based algorithms)

งานวิจัยนี้[10] จะใช้วิธีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธี แผนผังความน่าจะเป็น (Probabilistic roadmaps) หากสุ่มจุดลงในสภาพแวดล้อมที่น้อยเกินไป จะได้วิถีในการเคลื่อนที่ที่ไม่ครอบคุลมพื้นที่ทั้งหมด หรือการสุ่มจุดลงไปใกล้กับสิ่งกีดขวางมากเกินไป จะทำให้ฝูงชนเดินชิดไปด้านใดด้านหนึ่ง เกิดการเบียดไปด้านเดียว ทำให้เส้นทางที่ได้ไม่เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของฝูงชน บางทีก็ไม่สามารถสร้างเส้นทางที่เชื่อมต่อกันได้ และใช้เวลาในการคำนวณ $O(N^2)$



รูปที่ 2.9 การวางวิถีด้วยเทคนิคแผนผังความน่าจะเป็น (Probabilistic roadmaps) [9]

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยตารางกริด (Grid-based algorithms) หรือ การใช้พื้นฐานของวัตถุทางเรขาคณิต (Geometric algorithms) จะสามารถแก้ข้อจำกัดต่างๆได้ในมิติต่ำ (Low-dimensional) ส่วนการสร้างวิถีในมิติสูง (High-dimensional) ที่มีความซับซ้อนมากจะใช้เวลาในการคำนวณมาก ซึ่งวิธีพลังงานสนามศักย์ (Potential field) เป็นวิธีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องจุดต่ำสุดในท้องถิ่น (Local minima) แต่วิธีการสร้างวิถีด้วยแซมปลิ้งอัลกอรึทึม (Sampling-based algorithms) สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดจุดต่ำสุดในท้องถิ่น (Local minima) ได้และสามารถแก้ข้อจำกัดได้อย่างรวดเร็ว

บทที่ 3
แนวคิดการทำวิจัย

จากวิธีการหาวิถีด้วยวิธีต่างๆ ยังมีข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากที่รีวิวงานวิจัยมา จึงออกแบบอัลกอริทึมการหาวิถีใหม่ โดยการใช้อัลกอริทึมในการสร้างเรบกราฟ (Reeb graph) และการกำหนดตำแหน่งของ “ปม” จะประยุกต์ใช้การแบ่งต้นไม้อัฐภาค (Octree)

ออกแบบอัลกอริทึมการหาวิถีแทนด้วยเรบกราฟ โดยสร้างเรบกราฟขึ้นจากข้อมูลนำเข้าซึ่งก็คือสภาวะแวดล้อม ประกอบด้วยพื้นที่ทางเดินและสิ่งกีดขวาง โดยกำหนดเซตระดับให้กับพื้นที่ทางเดินเพื่อแบ่งพื้นที่ใกล้กันออกเป็นเซตตามฟังก์ชันระยะทางจากจุดตั้งต้นไปยังจุดหมายการเคลื่อนที่ในกรณีนี้จะกำหนดให้เซตระดับคือเซตของพื้นที่ว่างที่ใกล้เคียงกันซึ่งจะสมนัยกับปมของเรบ กราฟหนึ่งปม และเชื่อมต่อปมด้วยเส้นเชื่อมของเรบกราฟ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการสร้างเรบกราฟ

- ข้อมูลนำเข้า พิกัดของขอบเขตสภาพแวดล้อม และ พิกัดของสิ่งกีดขวางทุกชิ้น
- ผลลัพธ์ เซตของปมของเรบกราฟ (Reeb node) และเซตของเส้นเชื่อม (Reeb edges)

ขั้นตอนที่ 1 สร้างต้นไม้อัฐภาคครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของสภาพแวดล้อม

ขั้นตอนที่ 2 เพิ่มลำดับความลึก (h) ของต้นไม้อัฐภาคขึ้น 1 ขั้น (h = 1)

ขั้นตอนที่ 3 เพิ่มลำดับความลึก (h) ของต้นไม้อัฐภาคขั้นทีละขั้น แบ่งต้นไม้อัฐภาคออกจนโหนดย่อยของต้นไม้อัฐภาคทั้งหมดไม่มีพื้นที่ว่างและสิ่งกีดขวางอยู่ภายในโหนดย่อยของต้นไม้อัฐภาค

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดปมของเรบกราฟขึ้นที่จุดกึ่งกลางภายในโหนดของพื้นที่ว่างที่ถูกแบ่งโดยต้นไม้อัฐภาค

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าเฉลี่ยของปมที่มีระยะห่างจากจุดตั้งต้นที่อยู่ใกล้เคียงกันและมีพื้นที่ติดกัน สร้างขึ้นเป็นปมใหม่

ขั้นตอนที่ 6 เชื่อมปมทั้งหมดด้วยเส้นเชื่อม (Reeb edges) จะได้เป็นวิถีขึ้นมา

บทที่ 4

การทดลองผลการทดสอง

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการแก้ไขข้อจำกัดในการหาวิถีของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยแก้ไขข้อจำกัดในเรื่อง

1. ผู้ใช้ต้องกำหนดความลึกของต้นไม้ซึ่งมีผลต่อลักษณะความละเอียดของเส้นทาง
2. เส้นทางที่ได้มีความชิดกับขอบสิ่งกีดขวางมากเกินไป
3. เส้นทางที่ได้ไม่ครอบคลุมเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสภาพแวดล้อม
4. เส้นทางที่ได้เป็นเส้นทางที่ไม่เหมาะสมที่สุด

งานวิจัยนี้จึงนำอัลกอริทึมที่ออกแบบมาเพื่อสำหรับวางวิถีขึ้นโดยใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมนำเข้า จำนวน 2 ฉาก เพื่อทำการวัดระยะทางของวิถีที่สร้างได้และเวลาที่ใช้สร้างวิถี เนื่องจากวิถีที่ต้องการสร้างต้องการให้เป็นวิถีที่อยู่กลางพื้นที่ที่เคลื่อนที่ได้และมีเส้นทางที่สั้น การประเมินผลจึงแบ่งออกเป็น 3 การทดลองย่อยคือ

1.วัดค่าเฉลี่ยระยะระหว่างเส้นวิถีกับผนังสิ่งกีดขวาง

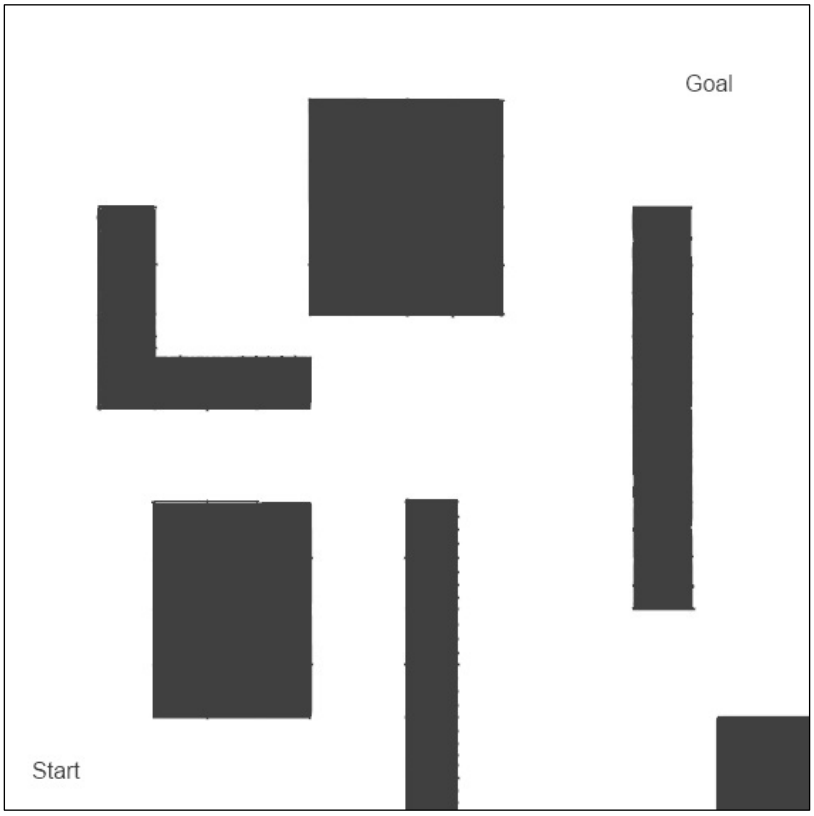
2.วัดความยาวของวิถีเมื่อปรับค่าตัวแปรคือ จำนวนลำดับชั้นที่แบ่งตารางกริด จากหยาบไปละเอียด เทียบระหว่างแบ่งตารางกริดทั้งปริภูมิสามมิติ และ แบ่งตารางกริดแบบเฉพาะส่วนที่มีสิ่งกีดขวาง

3. หาจำนวนโหนดของต้นไม้อัฐภาคที่ใช้ในการวางวิถี

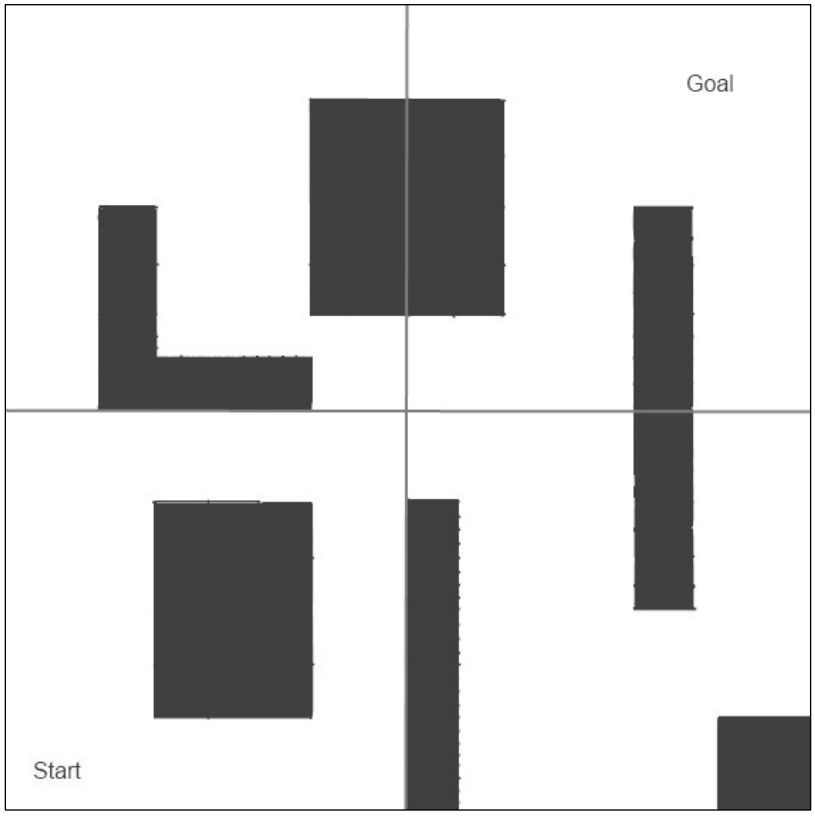
โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. นำเข้าแผนที่สามมิติจำนวน 2 ฉาก ฉากที่ 1 มีจำนวนสิ่งกีดขวางทั้งสิ้น 6 ชิ้น โดยวางตัวขนานกับแนวตารางกริด ดังภาพที่ 4.1 และฉากที่ 2 มีจำนวนสิ่งกีดขวางทั้งสิ้น 3 ชิ้น โดยวางตัวไม่ขนานกับแนวตารางกริด ดังภาพที่ 4.10
2. กำหนดตัวแปรจำนวนครั้งที่ใช้แบ่งย่อยตารางกริด หรือความลึกของต้นไม้อัฐภาค
3. กำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด
4. สร้างวิถีจากอัลกอริทึมที่นำเสนอ

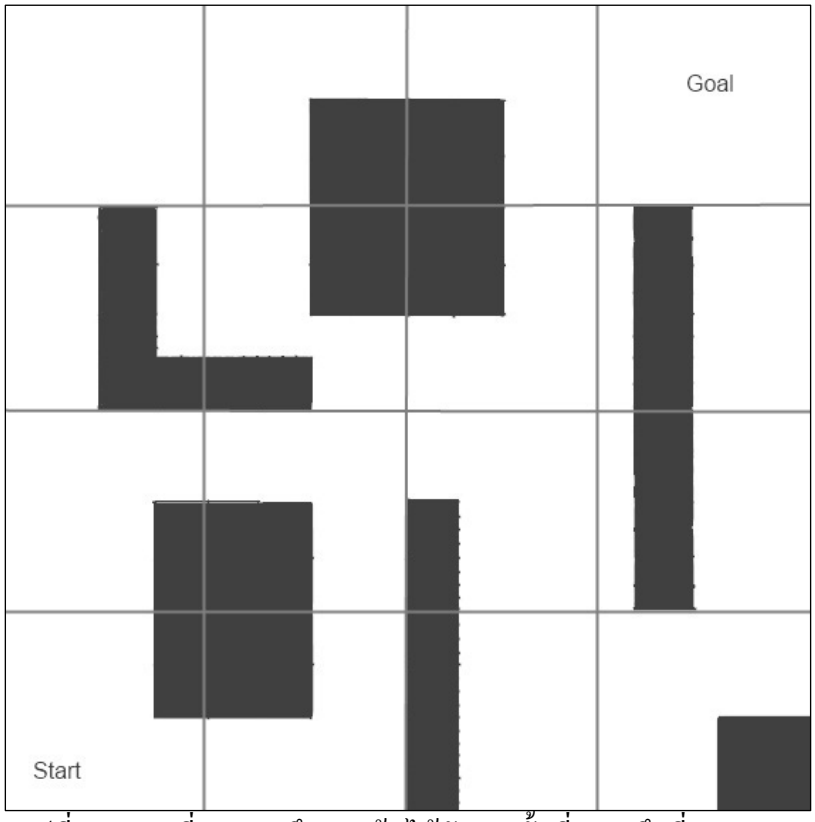
5. วัดค่าความแตกต่างของระยะห่างจากจุดบนวิถีถึงพื้นผิวสิ่งกีดขวาง ว่ามีความแตกต่างกันเท่าไร โดยสุ่มจุดบนวิถีที่ได้ทั้งหมดและหาผลต่างระยะทางแบบยูคลิด (Euclidian) ในแนวเส้นรัศมีของทรงกลมจากจุดบนวิถีที่สุ่มได้ ไปยังผนังสิ่งกีดขวางที่อยู่ใกล้สุดด้านซ้ายและขวา เพื่อเฉลี่ย หากค่าเฉลี่ยใกล้ศูนย์แสดงถึงคุณภาพของวิถีที่สร้างวิถีโดยอัลกอริทึมที่นำเสนอในฉากที่กำหนดขึ้น
6. หาความยาวรวมของวิถีที่สร้างได้โดยใช้ระยะทางแบบยูคลิด (Euclidian distance)
7. หาความยาวของวิถีสั้นสุดด้วยดิจก์สตราอัลกอริทึม (Dijkstra's Algorithm)
8. หาจำนวนโหนดของต้นไม้อัฐภาคในการสร้างวิถี (วัดโดยจำนวนครั้งที่ต้องตรวจว่า vertex อยู่ในตารางหรือไม่)



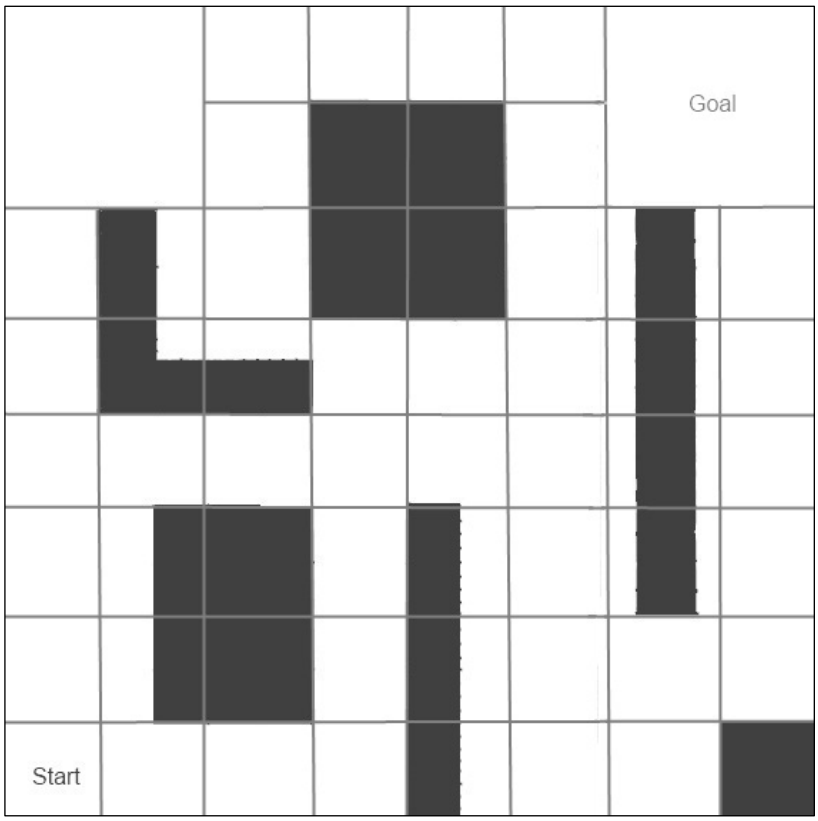
รูปที่ 4.1 ฉากที่ 1 มีจำนวนสิ่งกีดขวางทั้งสิ้น 6 ชิ้น โดยวางตัวขนานกับแนวตารางกริด



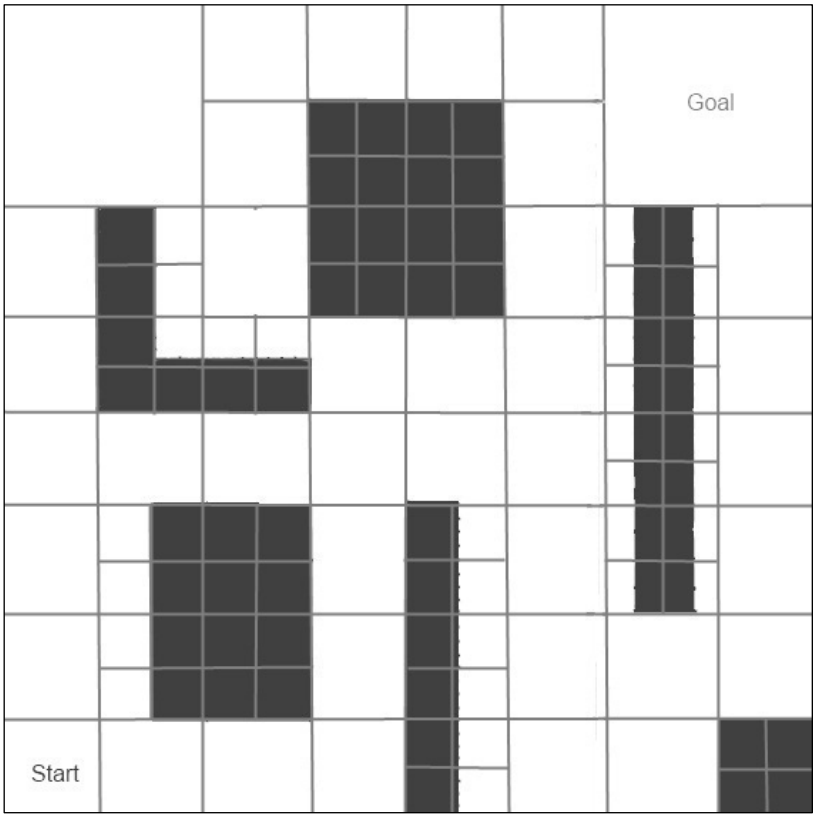
รูปที่ 4.2 ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 1 (h =1)



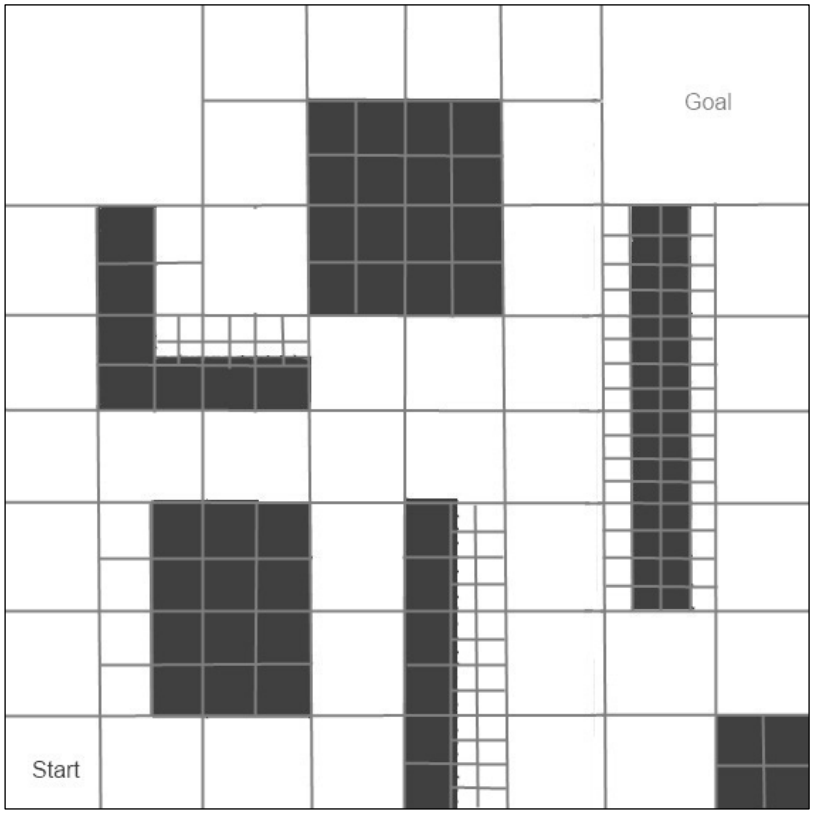
รูปที่ 4.3 ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 2 (h =2)



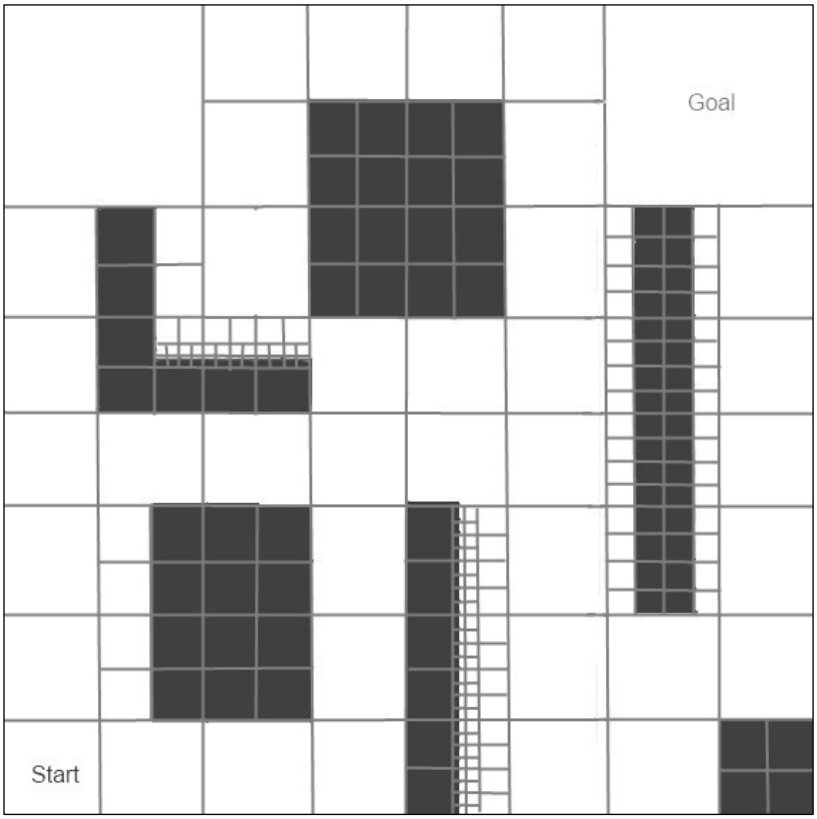
รูปที่ 4.4 ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 3 (h =3)



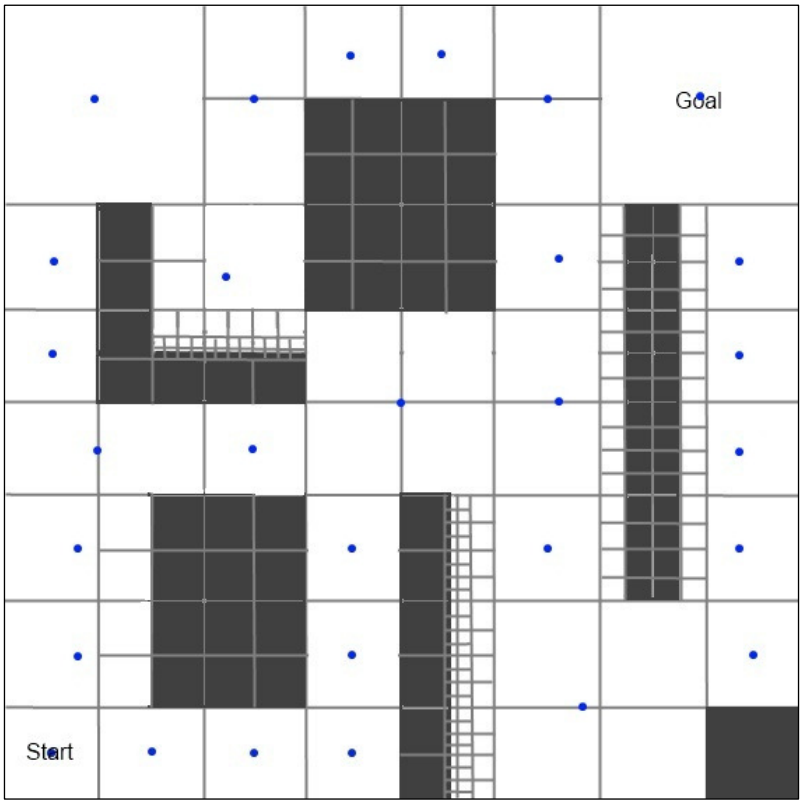
รูปที่ 4.5 ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 4 (h =4)



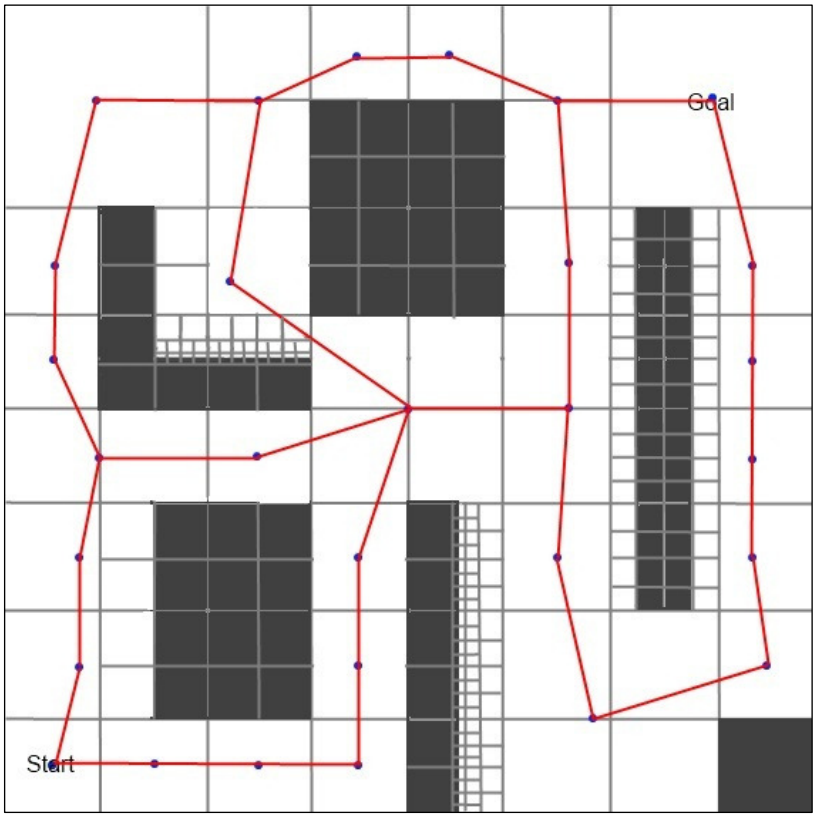
รูปที่ 4.6 ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 5 (h =5)



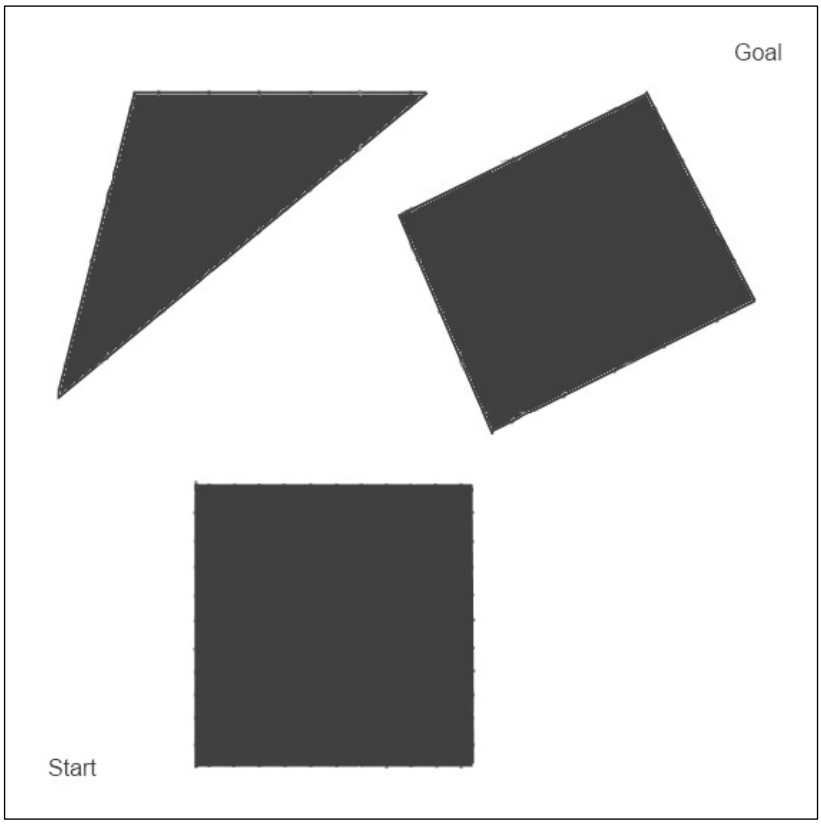
รูปที่ 4.7 ฉากที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 6 (h = 6)



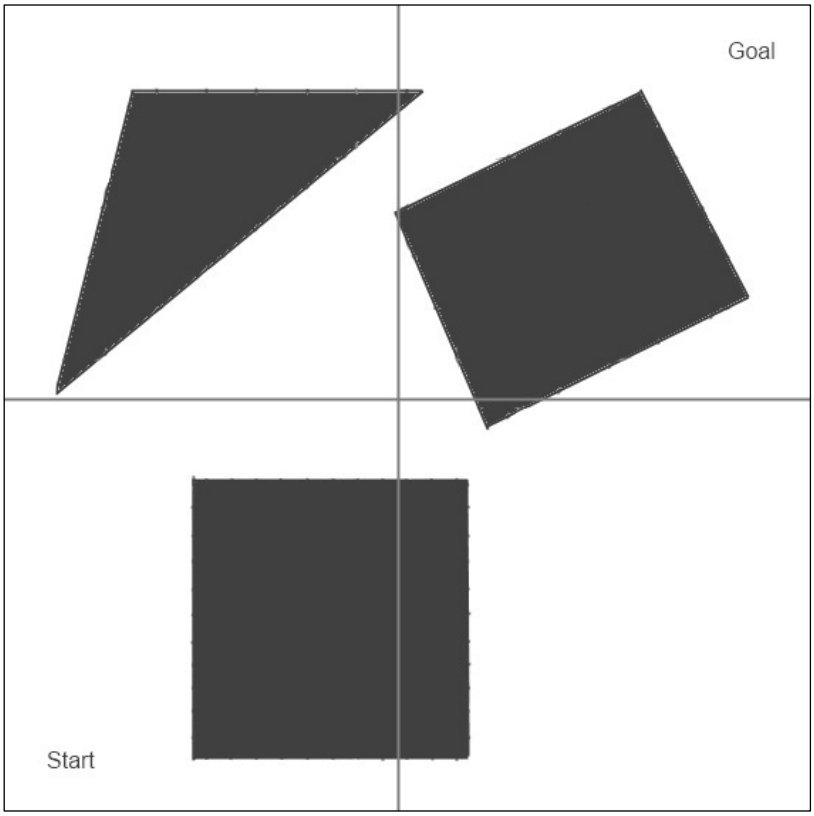
รูปที่ 4.8 ฉากที่ 1 ปมทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ



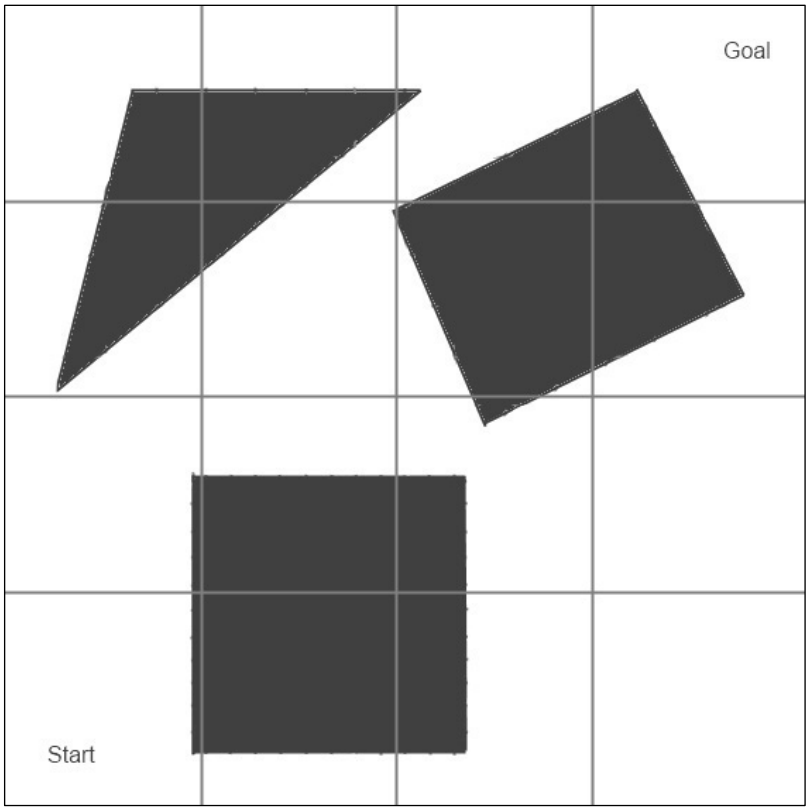
รูปที่ 4.9 ฉากที่ 1 เชื่อมจุดทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ



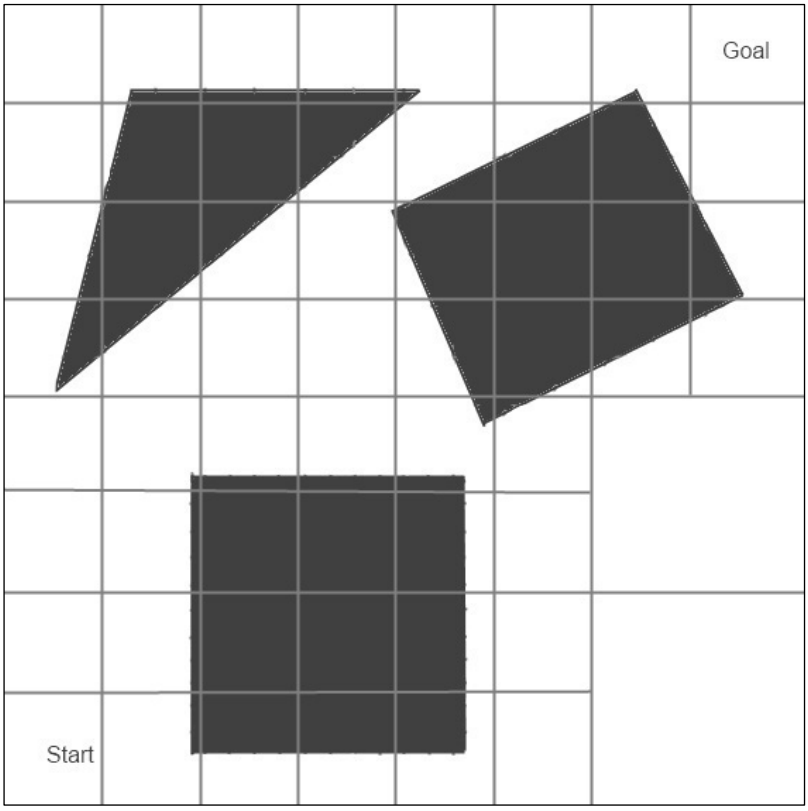
รูปที่ 4.10 ฉากที่ 2 มีจำนวนสิ่งกีดขวางทั้งสิ้น 3 ชิ้น โดยวางตัวไม่ขนานกับแนวตารางกริด



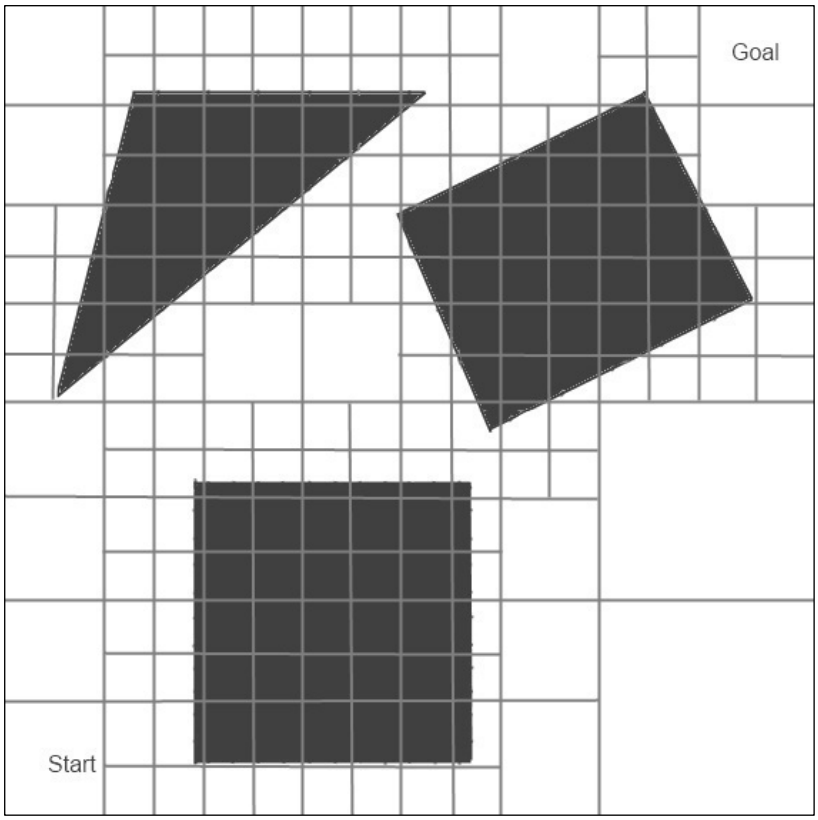
รูปที่ 4.11 ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 1 (h =1)



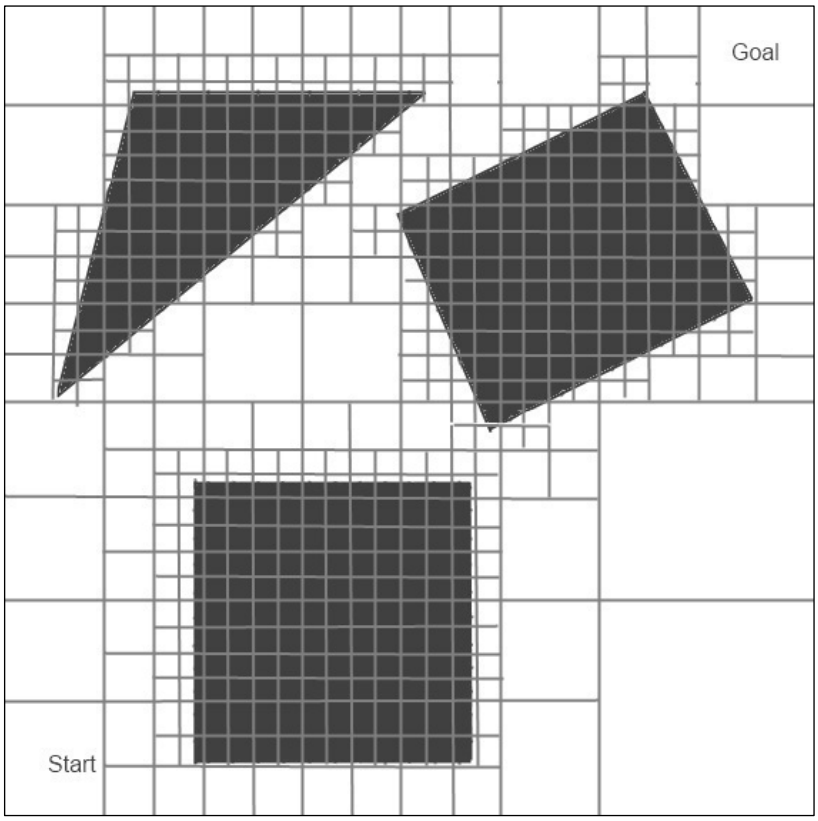
รูปที่ 4.12 ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 2 (h =2)



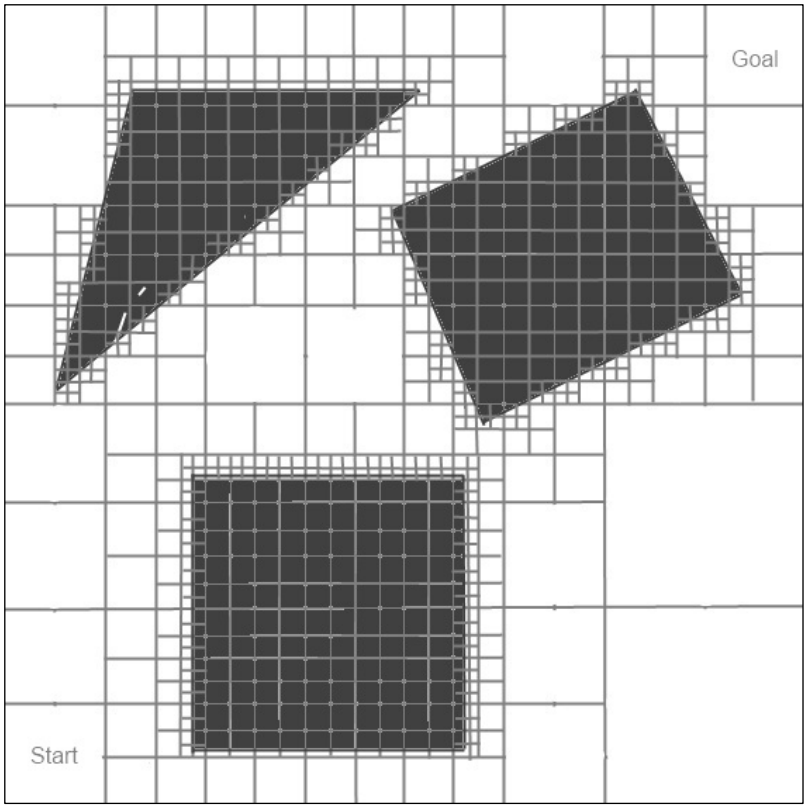
รูปที่ 4.13 ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 3 (h =3)



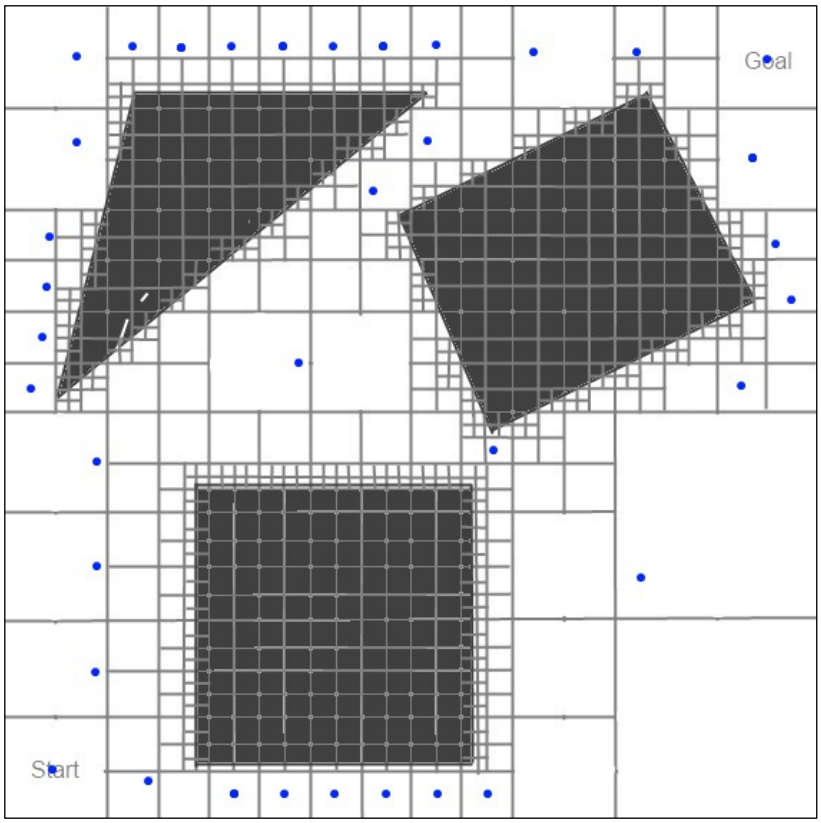
รูปที่ 4.14 ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 4 (h = 4)



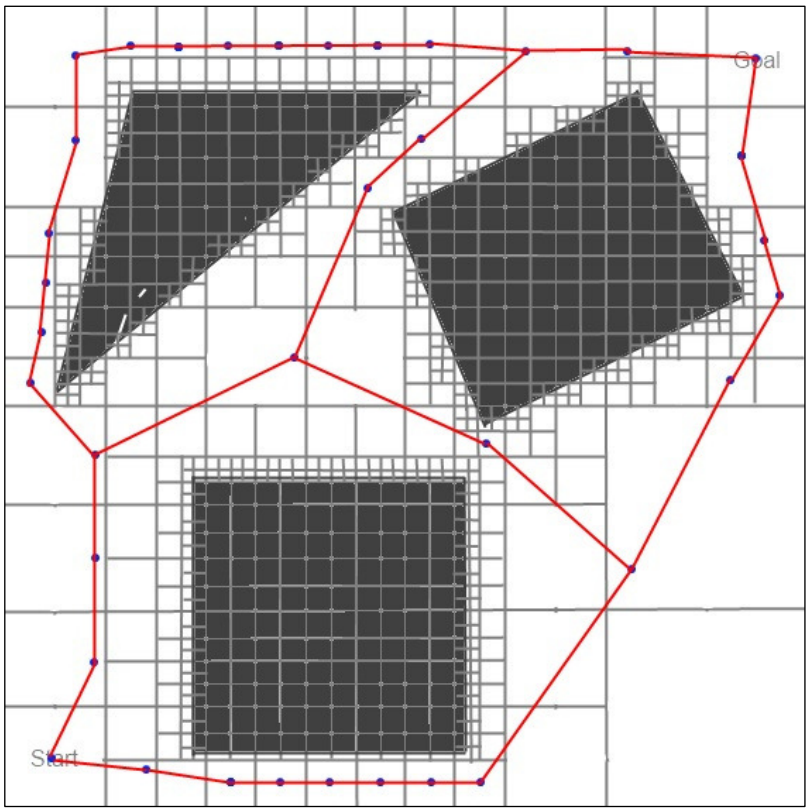
รูปที่ 4.15 ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 5 (h = 5)



รูปที่ 4.16 ฉากที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นที่ความลึกที่ 6 (h = 6)



รูปที่ 4.17 ฉากที่ 2 ปมทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ



รูปที่ 4.18 ฉากที่ 2 เชื่อมจุดทั้งหมดที่ได้จากการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ

4.1 ผลการทดลองย่อยที่ 1

<u>สมมติฐาน 1</u> *วิถีที่สร้างจากอัลกอริทึมที่นำเสนออยู่ใกล้แนวกลางช่องทางที่เคลื่อนผ่านได้มากขึ้นเมื่อแบ่งตารางกริดละเอียดขึ้นอย่างอัตโนมัติ*

ตาราง 4.1 ระยะเฉลี่ยวิถีที่สร้างขึ้นจากอัลกอริทึมที่นำเสนอถึงขอบ

ฉาก	ความลึก	ระยะเฉลี่ยวิถีถึงขอบ											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ฉาก 1 สิ่งกีดขวาง • จำนวน 6 โดยวางตัวขนานกับแนวตารางกริด	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ความลึก	ระยะเฉลี่ยวิถีถึงขอบ											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	4	0	0.3	0.9	1.9	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0.1	0.8	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0.8	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0

ความลึก	ระยะเฉลี่ยวิถีถึงขอบ													
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	μ	σ
4	0.6	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.137037	0.401985
5	0.2	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.107407	0.366086
6	0.05	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.075926	0.267142

ฉาก	ความลึก	ระยะเฉลี่ยวิถีถึงขอบ													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
ฉาก 2 สิ่งกีดขวาง • จำนวน 3 โดยวางตัวไม่ขนานกับแนวตารางกริด	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	5	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.1	0.1		
	6	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1		
	ความลึก	ระยะเฉลี่ยวิถีถึงขอบ													
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	5	0	0	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0		
	6	0	0	0.7	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0		
	ความลึก	ระยะเฉลี่ยวิถีถึงขอบ													
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	μ	σ
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	0	0	0.2	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0	0	-	-	0.083529	0.186641
	6	0	0	0.2	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0	-	-	0.052941	0.126574

จากการทดลอง ย่อยที่ 1 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคในขั้นแรกๆจะยังไม่ได้วิถีตามอัลกอริทึมที่นำเสนอจึงไม่สามารถวัดระยะของวิถีได้ เมื่อความลึกของต้นไม้อัฐภาคเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้วิถีที่เข้าใกล้แนวกลางมากขึ้นจากค่าระยะวิถีถึงขอบเฉลี่ย (μ) และ ค่าความแปรปรวน (σ) ที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งตรงกับสมมุติฐานที่ว่า เมื่อมีการแบ่งตารางกริดละเอียดขึ้น วิถีที่ได้จากอัลกอริทึมที่นำเสนอนั้น จะได้วิถีที่อยู่ใกล้แนวกลางช่องทางที่เคลื่อนผ่านได้มากขึ้น และในความลึกของต้นไม้อัฐภาคที่สูงขึ้นในลำดับถัดไป เช่นความลึกที่ 7 , 8 , 9 จะได้ผลของระยะวิถีที่มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย เนื่องจากการแบ่งพื้นที่ระหว่างสิ่งกีดขวางกับพื้นที่ว่างของอัฐภาคชั้นจะได้พื้นที่ที่มีขนาดเล็กมาก หรือไม่สามารถแบ่งพื้นที่ได้อีกเลย

4.2 ผลการทดลองย่อยที่ 2

<u>สมมติฐาน 2</u> *ความยาวรวมของวิถีทั้งหมดและวิถีสั้นสุดระหว่างจุดสองจุดที่สร้างจากอัลกอริทึมที่นำเสนอจะสั้นขึ้นเมื่อแบ่งตารางกริดละเอียดขึ้นโดยอัตโนมัติ*

ตาราง 4.2 ความยาวของวิถีที่สร้างขึ้นจากอัลกอริทึมที่นำเสนอ

ฉาก	ความลึก	ความยาวรวมวิถี	ความยาววิถีสั้นสุด
ฉาก 1 สิ่งกีดขวาง • จำนวน 6 โดยวางตัวขนานกับแนวตารางกริด	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
	4	77.4	22.8
	5	77.2	22.8
	6	77	22.7
ฉาก 2 สิ่งกีดขวาง • จำนวน 3 โดยวางตัวไม่ขนานกับแนวตารางกริด	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
	4	-	-
	5	69.4	21.4
	6	69.2	21.3

จากการทดลอง ย่อยที่ 2 ความลึกของต้นไม้อัฐภาคในชั้นแรกๆจะยังไม่ได้วิถีตามอัลกอริทึมที่นำเสนอจึงไม่สามารถวัดความยาวรวมวิถีได้ เมื่อความลึกของต้นไม้อัฐภาคเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้ความยาวรวมของวิถีทั้งหมดและวิถีที่สั้นสุดจะสั้นขึ้นเมื่อแบ่งตารางกริดละเอียดขึ้น หรือในบางขั้นความลึกของต้นไม้อัฐภาคที่มีความลึกเพิ่มขึ้นอาจจะไม่ได้ความยาวรวมของวิถีทั้งหมดและวิถีที่สั้นที่สุดที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากในการแบ่งความลึกของต้นไม้อัฐภาคชั้นในลำดับขั้นความลึกที่ใกล้เคียงกันจะมีพื้นที่ว่างและสิ่งกีดขวางที่ถูกแบ่งมีขนาดใกล้เคียงกันมากจึงทำให้ได้ความยาวรวมวิถีและวิถีที่สั้นสุดมีขนาดเท่ากัน

4.3 ผลการทดลองย่อยที่ 3

<u>สมมติฐาน 3</u> *จำนวนโหนดในการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอจะมีจำนวนน้อยขึ้นเมื่อแบ่งตารางกริดเฉพาะส่วนโดยอัตโนมัติ*

ตาราง 4.3 การเปรียบเทียบจำนวนโหนดในการสร้างวิถีระหว่างวิธีแบ่งตั้งตารางกริดกับแบ่งย่อยเฉพาะส่วน

ฉาก	ความลึก	จำนวนโหนดแบบแบ่งโดยการตั้งตารางกริด (จำนวนโหนด)	จำนวนโหนดแบบแบ่งเฉพาะส่วน (จำนวนโหนด)
ฉาก 1 สิ่งกีดขวาง • จำนวน 6 โดยวางตัวขนานกับแนวตารางกริด	1	4	4
	2	16	16
	3	58	56
	4	112	76
	5	187	100
	6	241	72
ฉาก 2 สิ่งกีดขวาง • จำนวน 3 โดยวางตัวไม่ขนานกับแนวตารางกริด	1	4	4
	2	16	16
	3	58	56
	4	184	168
	5	526	452
	6	793	356

จากการทดลอง ย่อยที่ 3 จำนวนโหนดในการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอในการสร้างโหนดเมื่อแบ่งตารางกริดเฉพาะส่วน และการวางตัวของสิ่งกีดขวางก็มีผลต่อระยะจำนวนโหนดในการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอ เช่น การวางตัวของสิ่งกีดขวางที่วางตัวขนานกับแนวตารางกริดจะใช้จำนวนโหนดในการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอน้อยกว่าการวางตัวของสิ่งกีดขวางที่ไม่ขนานกับแนวตารางกริด เนื่องจากการวางตัวของสิ่งกีดขวางที่ไม่ขนานกับแนวตารางกริดจะมีส่วนของสิ่งกีดขวางที่เกินแนวของตารางกริดมากกว่าการวางตัวของสิ่งกีดขวางที่วางตัวขนาดกับแนวตารางกริด ทำให้ต้องใช้จำนวนโหนดในการสร้างวิถีด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอมากขึ้น

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอัลกอริทึมกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยการใช้อัลกอริทึมการวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชนเปรียบเทียบกับการสร้างวิถีแบบต่างๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 ผลจากการทดลองพบว่าวิถีการเคลื่อนที่ที่ได้จากอัลกอริทึมการวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชน สามารถแก้ข้อจำกัดของอัลกอริทึมในการวางวิถีอื่นๆที่ผ่านมา และวิถีการเคลื่อนที่ที่ได้วางตัวอยู่ในแนวกึ่งกลางของพื้นที่ว่างซึ่งเหมาะกับการเคลื่อนที่ของฝูงชน และได้วิถีการเคลื่อนที่ที่ครอบคลุมสภาพแวดล้อมทั้งหมด โดยไม่เกิดข้อจำกัดในเรื่องของจุดต่ำสุดเฉพาะที่ (Local minima)

วิธีการสร้างวิถี / ผลลัพธ์	เอสตาร์ (A*)	กราฟการมองเห็น (Visibility graph)	แผนภาพโวโรนอย (Voronoi diagram)	พลังงานสนามศักย์ (Potential fields)	แผนผังความน่าจะเป็น (Probabilistic roadmaps)	เรบกราฟ (Reeb Graph)
เวลาในการคำนวณ	$O(M)$	$O(N^3)$	$O(M)$	$O(M)$	$O(N^2)$	$O(N+8^h)$
วิถีที่ได้มีความเหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของฝูงชน	X	X	X	√	X	√
เส้นทางที่ได้ครอบคลุมสภาพแวดล้อมทั้งหมด	X	X	√	√	X	√
ไม่เกิด Local minima	√	√	√	X	X	√

หมายเหตุ : M = จำนวน Cell,Grid ที่สร้างขึ้น , N = จำนวนจุดยอดของสิ่งกีดขวาง , h = ความลึกของต้นไม้อัฐภาค
√ = สามารถทำได้ , X = ไม่สามารถทำได้

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์จากการใช้อัลกอริทึมวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชนเปรียบเทียบกับการสร้างวิถีแบบต่างๆ

นอกจากยังแสดงผลการใช้งานกับพื้นที่สามมิติซึ่งสามารถสร้างวิถีในสามมิติได้ ทำให้สามารถประยุกต์การเคลื่อนไหวที่ไม่มีเงื่อนไขต้องเคลื่อนที่บนพื้นเท่านั้น เช่นตัวแทนหรือวัตถุที่บินได้เป็นต้น ต่างจากการทำงานในวิธีประเภทสนามศักย์ หรือการวิถีที่ได้ยังได้วิถีที่สามารถลอดผ่านช่องหรือข้ามสิ่งกีดขวางได้ทำให้สามารถประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ไม่จำกัดเฉพาะแนวราบ

บทที่ 5
บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ

บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอัลกอริทึมในการวางวิถีของการจำลองฝูงชนให้สามารถแก้ไขข้อจำกัดของอัลกอริทึมการวางวิถีในงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องโดยใช้เรบกราฟในการแทนวิถีที่ต้องการและใช้การแบ่งต้นไม้อัฐภาคในการคำนวณหาตำแหน่งของปมของเรบกราฟ ทำการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่ว่า ผู้ใช้ต้องกำหนดความลึกของต้นไม้ซึ่งมีผลต่อลักษณะความละเอียดของเส้นทาง เส้นทางที่ได้มีความชิดกับขอบสิ่งกีดขวางมากเกินไป เส้นทางที่ได้ไม่ครอบคลุมเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสภาพแวดล้อม เส้นทางที่ได้เป็นเส้นทางที่ไม่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่าวิถีที่ได้จากอัลกอริทึมการวางวิถีสำหรับการจำลองฝูงชนจะได้วิถีที่มีทิศทางมุ่งเข้าหาเป้าหมายและได้วิถีที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสภาพแวดล้อม โดยลักษณะวิถีจะวางตัวในแนวกึ่งกลางของพื้นที่ว่าง และการกำหนดความลึกของต้นไม้โดยผู้ใช้จะที่เหมาะสมกับลักษณะความละเอียดของเส้นทางจะช่วยให้มีความเหมาะสมกับลักษณะการจำลองฝูงชนมากกว่าวิธีที่ผ่านมา

แนวทางในการพัฒนาต่อ

ในวิธีนี้สามารถพัฒนาเพิ่มเติมคือการปรับวิถีให้มีความเรียบและต่อเนื่องโดยการประยุกต์การสร้างเส้นโค้ง รวมถึงการสร้างวิถีโดยคำนึงถึงลักษณะเฉพาะของตัวแทน เช่น ขนาด พฤติกรรมการเคลื่อนไหว ซึ่งจะส่งผลให้วิถีการเคลื่อนที่ที่ได้นั้นจะสมจริงมากขึ้นไม่เกิดปัญหาหากตัวแทนนั้นไม่สามารถเคลื่อนผ่านแต่มีบริเวณที่ว่างได้ ซึ่งทำให้การเคลื่อนไหวไม่เป็นธรรมชาติ

รายการอ้างอิง

(1) Muhammad Shafie Abdul Latif and Setyawan Widyarto, The Crowd Simulation for Interactive Virtual Environments. *ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry* (2004):278-281.

(2) Lydia E. Kavraki, Petr Svestka , Jean-Claude Latombe and Mark H. Overmars, Probabilistic Roadmaps for Path Planning in High-Dimensional Configuration Spaces. *IEEE TRANSACTIONSON ROBOTICS AND AUTOMATION* (1996):566-580.

(3) Turner Whitted , A Scan line algorithm for computer display of curved surfaces . *ACM SIGGRAPH Computer Graphics* (1978):8-13.

(4) Pizzanu Kanongchaiyos, Tomoyuki Nishita, Yoshihisa Shinagawa and Tosiyasu Laurence Kunii, Topological Morphing Using Reeb Graphs. *In Proceedings of 1st International Symposium on Cyber Worlds: Theories and Practices (CW2002), Tokyo, Japan* (2002): 465-471.

(5) Cherif Foudil , Djedi Noureddine ,Cedric Sanza and Yves Duthen, Path Finding and Collison Avoidance in Crowd Simulation. *Journal of Computing and Information Technology – CIT* (2009): 217-228.

(6) Jungtae Kim and Daijin Kim, Visibility Graph Path Planning using a Quad-Tree . *In Proceeding of Korea Computer Congress (KCC)* (2009): 24-25.

(7) Garrido S, Moreno L , Abderrahim M and Martin F, Path Planning for Mobile Robot Navigation using Voronoi Diagram and Fast Marching *IEEE Intelligent Robots and Systems (RSJ)* (2006):2376-238.

(8) Weerawat T, Alisara S and Pizzani K , A Crowd Simulation Using Individual-Knowledge-Merge based Path Construction and Smoothed Particle Hydrodynamic *In Proceedings of 15th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision* (2007): 1-8.

(9) He Xiaoxi and Chen Leiting, Path Planning Based on Grid-Potential Fields *International Conference on Computer Science and Software Engineering* (2008): 1114-1116

(10) Zheng Sun, David Hsu, Tingting Jiang, Hanna Kurniawati and John H. Reif, Narrow Passage Sampling for Probabilistic Roadmap Planning. *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS,VOL.21,NO.6.* (2005)*:* 1105-1115.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปิยะชาติ เศรษฐโอฬาร เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2529 ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัยและจบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากสาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปีการศึกษา 2551