การจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนโดยใช้เรบกราฟ

นายศรัณย์ ศิลปภิรมย์สุข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CROWD ANIMATION USING REEB GRAPH

Mr. Saran Sillapaphiromsuk

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนโดยใช้เรบกราฟ
โดย	นายศรัณย์ ศิลปภิรมย์สุข
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ คนองชัยยศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์)

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

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ชาคริต วัชโรภาส)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศรัณย์ ศิลปภิรมย์สุข : การจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนโดยใช้เรบกราฟ. (CROWD ANIMATION USING REEB GRAPH) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. พิษณุ คนองชัยยศ, 55 หน้า.

ในการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน เมื่อจำนวนตัวตนจำลองในฉากเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจะทำให้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นแล้วยังยากต่อการควบคุมตัวตนจำลองเหล่านั้นให้แสดงพฤติกรรมตามที่ผู้ใช้ต้องการ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เรบกราฟในการแทนกลุ่มของตัวตนจำลองเป็นกราฟโครงสร้างของกลุ่ม โดยแทนจุดยอดของเรบกราฟเป็นตัวแทนของกลุ่มซึ่งมีหน้าที่ในการคำนวณหาเส้นทาง และใช้เส้นเชื่อมของเรบกราฟเป็นเค้าโครงแทนลักษณะรูปร่างของกลุ่มตัวตนจำลอง ตัวตนจำลองตัวอื่นๆที่ไม่ใช่ตัวแทนกลุ่ม จะเคลื่อนที่ตามตัวแทนกลุ่มและเส้นเชื่อมของเรบกราฟที่อยู่ใกล้ที่สุด การคำนวณหาเส้นทางจะคำนวณเฉพาะตัวแทนกลุ่มซึ่งโดยปกติจะคำนวณหาเส้นทางของทุกตัวตนจำลอง การคำนวณในลักษณะนี้สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณลงได้ นอกจากนั้นผู้ใช้ยังสามารถควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่โดยใช้กราฟโครงสร้างนี้ควบคุมการกระจายตัวของกลุ่มและยังสามารถสร้างพฤติกรรมการแยกกลุ่มและรวมกลุ่มได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553

5270516621 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : REEB GRAPH , CROWD ANIMATION , GRAPH REPRESENTATION

SARAN SILLAPAPHIROMSUK : CROWD ANIMATION USING REEB GRAPH.

ADVISOR : ASST.PROF. PIZZANU KANONGCHAIYOS, Ph.D., 55 pp.

The simulation of human massive crowds takes much computational time when the size of crowds and the complexity of environment increase, not only the computational time but also the crowd control. It is difficult to control the crowd in the complex scene. In this paper, we present crowd representation by using Reeb graph as crowd structure. Vertices of Reeb graph represent group leaders responsible for determining the route and edges of Reeb graph represent the shape of crowd. The other characters which are not leaders will follow the nearest leader and edge of crowd structure. In our model, only the leaders of group will be assigned for computing the route, which is the process that takes high time, while others assign it in all characters therefore our model can reduce computational time. Moreover, the movement of crowd can be controlled by using the crowd structure such as scattering, splitting and rejoining.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ (AS585A) ได้รับการสนับสนุนบางส่วนจาก โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และทุนกันตนาวิทยานิพนธ์ ปี พ.ศ. 2552

ขอบพระคุณ ผศ.ดร. พิษณุ คนองชัยยศ ที่ปรึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ ขอบคุณอาจารย์ที่ช่วยชี้แนะ สั่งสอน ตลอดมา

ขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้ข้อคิดและข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ที่ทั้งในห้องวิจัยคอมพิวเตอร์กราฟฟิก และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่แบ่งปันความรู้ ช่วยเหลือกัน และเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมารดาและบิดาของข้าพเจ้าที่เลี้ยงดู สนับสนุน ทำให้ข้าพเจ้ามีโอกาสได้เข้ามาศึกษาที่นี้จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 4

1.6 คำจำกัดความ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1.1 การหาเส้นแบ่งจุดของกลุ่มจุดโดยวิธีแผนภาพโวโรนอย 7

2.1.2 การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไน 8

2.1.3 การสร้างเส้นขอบจากกลุ่มจุดโดยวิธีอัลฟา 9

2.1.4 การหาโครงสร้างของรูปทรงโดยวิธีเรบกราฟ 11

2.1.4.1 ทอพอโลยี 11

2.1.4.2 ทฤษฎีมอร์ส 12

2.1.4.3 เรบกราฟ 12

2.1.5 เส้นโค้งแคทมัล-รอม 13

หน้า

2.1.6 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ 15
2.1.6.1 พฤติกรรมแบบเดี่ยว 15
2.1.6.1.1 การเคลื่อนที่เข้าหาและออกจากเป้าหมาย 15
2.1.6.1.2 การติดตามและหลบหนีออกจากเป้าหมาย 16
2.1.6.1.3 การเคลื่อนที่แบบสุ่ม 17
2.1.6.1.4 การเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายแบบลดทอนความเร็ว 18
2.1.6.1.5 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง 19
2.1.6.1.5.1 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่หยุดนิ่ง 19
2.1.6.1.5.2 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่ 20
2.1.6.1.6 การเคลื่อนที่ตามเส้นทาง 20
2.1.6.2 พฤติกรรมแบบกลุ่ม 21
2.1.6.2.1 การเคลื่อนที่ตามผู้นำกลุ่ม 21
2.1.6.2.2 การเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม 22
2.1.6.2.3 การเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม 23
2.1.6.2.4 การเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม 25
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
2.2.1 การเลือกตัวแทนกลุ่ม 27
2.2.2 พฤติกรรมของกลุ่มคน 28
บทที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี 30
3.1 ภาพรวมของแบบจำลอง 30
3.2 โครงสร้างข้อมูลในการจำลองฝูงชน 30
3.2.1 กลุ่มคน 30
3.2.2 แผนที่หรือฉาก 31
3.2.3 เส้นทางเดิน 33
3.2.4 โครงสร้างของกลุ่มคน 33

หน้า

3.3 การหาโครงสร้างของกลุ่มคน 34
3.3.1 การหารูปร่างของกลุ่มคน 34
3.3.2 การหาโครงสร้างจากรูปร่างของกลุ่มคน 35
3.3.3 การเลือกตัวแทนกลุ่ม 37
3.3.4 การปรับโครงสร้างให้เหมาะสม 38
3.3.5 สรุปการหาโครงสร้างของกลุ่มคน 38
3.4 การเคลื่อนไหวของกลุ่มคน 39
3.4.1 คุณสมบัติของโครงสร้างของกลุ่ม 39
3.4.2 พฤติกรรมของกลุ่มคน 39
3.4.2.1 สมการการเคลื่อนที่ 40
3.4.2.2 การแยกกลุ่ม 41
3.4.2.3 การรวมกลุ่ม 43
3.4.2.4 การกระจายตัวและคงรูปร่างของกลุ่ม 43
3.4.3 สรุปการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน 44
3.5 สรุปแบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี 44
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล 45
4.1 ภาพรวมของการทดลอง 45
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา 45
4.2.1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา 45
4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา 45
4.2.3 สรุปการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา 46
4.3 การทดสอบทางด้านพฤติกรรม 46
4.3.1 วิธีการทดสอบทางด้านพฤติกรรม 46
4.3.2 ผลการทดสอบทางด้านพฤติกรรม 47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.3.3 สรุปการทดสอบทางด้านพฤติกรรม 50
4.4 อภิปรายผลการทดลอง 50
4.5 สรุป 50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 51
5.1 สรุปผลการวิจัย 51
5.2 ข้อเสนอแนะ 52
รายการอ้างอิง 53
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนงานในการดำเนินงานวิจัย 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 การจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน 1

รูปที่ 2.1 โวโรนอยไดอะแกรมของกลุ่มจุด 11 จุด 7

รูปที่ 2.2 ซ้าย: เซตของจุดและแผนภาพโวโรนอย, ขวา: สามเหลี่ยมเดลาอูไน (เส้นประ) 9

รูปที่ 2.3 ซ้าย: เส้นเชื่อมที่ถูกเลือกให้เป็นเส้นขอบ, ขวา: เส้นเชื่อมที่ไม่ถูกเลือกให้เป็นเส้นขอบ 9

รูปที่ 2.4 เส้นที่ถูกตัดออกจากวิธีการสร้างเส้นขอบโดยวิธีอัลฟา (เส้นสีแดง) 10

รูปที่ 2.5 เส้นขอบที่ใหญ่ที่สุด (สีน้ำเงิน) และเส้นเชื่อมที่เกิดจากวิธีเดลาอูไน (สีดำ) 10

รูปที่ 2.6 การสร้างเส้นขอบด้วยวิธีอัลฟา 11

รูปที่ 2.7 ซ้าย: วัตถุและจุดวิกฤติของวัตถุ, กลาง: ส่วนประกอบของการเชื่อมต่อเดียวกัน, ขวา: เรบกราฟของวัตถุโดยใช้ฟังก์ชันความสูง 13

รูปที่ 2.8 เส้นโค้งแคทมัล-รอม 15

รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่แบบสุ่มโดยวงกลมเล็กเป็นอัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงทิศทางในแต่ละเฟรมและวงกลมใหญ่เป็นขอบเขตสูงสุดของการเปลี่ยนทิศทาง 18

รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายแบบลดทอนความเร็ว 19

รูปที่ 2.11 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่หยุดนิ่ง 20

รูปที่ 2.12 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่ 20

รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่ตามเส้นทาง 21

รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่ตามผู้นำกลุ่ม 22

รูปที่ 2.15 การเคลื่อนที่เข้าหากลุ่มของตัวตนจำลอง โดยเวกเตอร์สีแดงเป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เพื่อเข้าหากลุ่ม 22

รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ออกจากกลุ่มของตัวตนจำลอง โดยเวกเตอร์สีแดงเป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เพื่อออกจากกลุ่ม 24

รูปที่ 2.17 การเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม โดยเวกเตอร์สีแดงเป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เพื่อให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม 25

หน้า

รูปที่ 3.1 กลุ่มคนสองกลุ่มในฉาก(สีน้ำเงินและสีชมพู) 31

รูปที่ 3.2 แผนที่หรือฉาก 32

รูปที่ 3.3 การแทนข้อมูลแผนที่แบบกริด ช่องกริดสีแดงแทนสิ่งก่อสร้างและช่องกริดที่ไม่มีสีแทนพื้นซึ่งยอมให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ผ่านได้ 32

รูปที่ 3.4 เส้นทางเดินของกลุ่มคน ซึ่งเป็นเส้นโค้งสีขาวโดยมีวงกลมทึบสีน้ำเงินเป็นจุดควบคุมความโค้งของเส้น 33

รูปที่ 3.5 โครงสร้างของกลุ่มคน 34

รูปที่ 3.6 รูปร่างของกลุ่มคน โดยรูปด้านซ้ายเป็นกลุ่มของตัวตนจำลองที่อยู่ในฉาก และเส้นขอบสีขาวในรูปด้านขวาแสดงรูปร่างของกลุ่มของตัวตนจำลอง 35

รูปที่ 3.7 รูปร่างของกลุ่มคนสองกลุ่มซึ่งมีขนาดต่างกัน โดยเส้นสีขาวคือเส้นขอบรูปร่างของกลุ่ม 36

รูปที่ 3.8 เรบกราฟของกลุ่มคนสองกลุ่มที่มีขนาดต่างกัน 36

รูปที่ 3.9 ซ้าย: เรบกราฟที่คำนวณจากล่างไปบน, ขวา: เรบกราฟที่คำนวณจากซ้ายไปขวา 37

รูปที่ 3.10 ซ้าย: ตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับจุดยอดของเรบกราฟ (วงกลมสีเหลือง), ขวา: โครงสร้างของกลุ่มคน (วงแลมและเส้นตรงสีเหลือง) 38

รูปที่ 3.11 ซ้าย: โครงสร้างกลุ่มก่อนการปรับ, ขวา: โครงสร้างกลุ่มหลังการปรับ 39

รูปที่ 3.12 พฤติกรรมการแยกกลุ่มและรวมกลุ่ม 42

ก. กลุ่มคนกำลังเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางด้านล่าง, ข. การแยกกลุ่ม, ค. การรวมกลุ่ม 42

รูปที่ 3.13 การกระจายตัวและคงรูปร่างของกลุ่มคน 43

รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา 46

รูปที่ 4.2 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบไม่มีทอพอโลยี 48

รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี 49

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

รูปที่ 1.1 การจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน

การจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน หมายถึง กระบวนการในการจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือตัวละครที่มีจำนวนมาก ซึ่งจะเห็นได้จากในเกมส์คอมพิวเตอร์และภาพยนตร์เป็นส่วนใหญ่ การจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนนั้นจะคำนึงถึงสองปัจจัยด้วยกัน คือ ความเหมือนจริงของลักษณะการเคลื่อนที่ และคุณภาพของภาพ ความเหมือนจริงของลักษณะการเคลื่อนที่จะพิจารณาแค่ทิศทางเท่านั้น โดยไม่สนใจว่าตัวตนจำลองจะทำท่าทางแบบไหน โดยส่วนใหญ่จะแทนตัวตนจำลองด้วยวัตถุทรงกระบอก และดูเฉพาะการเคลื่อนที่เท่านั้น ส่วนคุณภาพของภาพเป็นการแสดงทั้งความเหมือนจริงของท่าทางของตัวตนจำลอง และความเหมือนจริงของทิศทางด้วย ซึ่งจะเห็นได้ในภาพยนตร์เพราะต้องการความเหมือนจริงสูง ขั้นตอนในการสร้างภาพเคลื่อนไหวของกลุ่มคนจำนวนมากนั้นจะแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนคือ การควบคุม การประมวลผล และการเรนเดอร์ การควบคุมจะแบ่งออกเป็นสองแบบคือการควบคุมเฉพาะที่และการควบคุมแบบภาพรวม ซึ่งการควบคุมแบบเฉพาะที่นั้น ผู้ใช้จะทำการควบคุมลักษณะการเคลื่อนไหวของแต่ละตัวตนจำลองโดยคำนึงสิ่งแวดล้อมล้อมรอบตัวของตัวตนจำลองเพียงเท่านั้น แต่การควบคุมแบบภาพรวมนั้น ผู้ใช้จะทำการควบคุมลักษณะการเคลื่อนไหวโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมทั้งหมดในแผนที่ เมื่อผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลในส่วนของการควบคุมแล้ว ระบบจะทำการประมวลผล ซึ่งการประมวลผลนี้จะมีหน้าที่ในการหาทิศทางการ

เคลื่อนไหวในแต่ละช่วงเวลาในการคำนวณของแต่ละตัวตนจำลอง โดยพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมในแผนที่ การชนกัน ทิศทาง ความเร็ว เป็นต้น เมื่อได้ทิศทางใหม่แล้ว จะทำการเรนเดอร์ออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหว การเรนเดอร์จะทำการสร้างภาพเคลื่อนไหวในแต่ละเฟรมๆ โดยที่ตำแหน่งการเคลื่อนที่ จะได้มาจากการประมวลผลนั่นเอง

ในการสร้างท่าทางและพฤติกรรมของตัวตนจำลองในกลุ่ม จะเป็นพฤติกรรมแบบอัตโนมัติ (Autonomous Behavior) โดยที่แต่ละตัวตนจำลองจะพิจารณาถึงสิ่งแวดล้อมภายนอก เมื่อพิจารณาแล้วจะทำการประมวลผล และพิจารณาว่าจะเคลื่อนที่ไปที่ไหน หลังจากนั้นจะทำการพิจารณาว่าจะเคลื่อนที่ไปที่นั่นอย่างไร เมื่อเคลื่อนที่แล้ว ก็จะพิจารณาสิ่งแวดล้อมอีกครั้ง และก็ทำการเคลื่อนที่ ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงตำแหน่งที่ต้องการ ถ้าสิ่งแวดล้อมมีความซับซ้อนและขนาดของกลุ่มคนมีจำนวนมากขึ้น การควบคุมพฤติกรรมของกลุ่มคนก็จะเป็นไปได้ยาก และเวลาในการคำนวณก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการในการสร้างภาพเคลื่อนไหวโดยใช้กราฟในการแทนโครงสร้างของกลุ่มคน เนื่องจากโครงสร้างของกลุ่มคนนั้นมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม และกราฟสามารถแทนโครงสร้างแบบนี้ได้ดี โดยจะอธิบายลักษณะโครงสร้างได้ดีกว่าแบบจุด นอกจากนั้นยังช่วยลดการประมวลผล อันเนื่องมาจาก แทนที่จะคำนวณทุกๆ ตัวตนจำลองในกลุ่ม ก็คำนวณเฉพาะเส้นโครงสร้างเท่านั้น ซึ่งผลที่ตามมาคือ ช่วยเพิ่มจำนวนตัวตนจำลองเข้ามาในแผนที่ได้มากขึ้นกว่าเดิม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1 ศึกษาและทดลองเฉพาะทิศทางการเดินของตัวตนจำลองเท่านั้น ไม่ได้สนใจท่าทางของตัวตนจำลอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสามารถแทนตัวตนจำลองเป็นทรงกระบอกที่สามารถเคลื่อนที่ได้

2 ทางเดินหรือพื้นในแผนที่ไม่มีการยกระดับ

3 ผู้ใช้ต้องกำหนดรูปร่างของกลุ่มคน

4 ตัวตนจำลองสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวระนาบกับฉากเท่านั้น

5 ศึกษาและวิจัยเฉพาะการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนซึ่งแต่ละกลุ่มจะต้องเดินไปยังจุดหมายที่เหมือนกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6 เส้นทางการเดินของกลุ่มคนจะถูกป้อนโดยผู้ใช้เท่านั้น และกลุ่มคนแต่ละกลุ่มจะมีเส้นทางได้แค่ 1 เส้นทาง

7 โปรแกรมที่ใช้ทำการทดลองนี้พัฒนาด้วยภาษาซีพลัสพลัสโดยใช้ออร์คไลบราลี และพัฒนาบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์เซเว่น (Window 7)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1 เกมส์คอมพิวเตอร์และภาพยนตร์สามารถเพิ่มจำนวนตัวละครในฉากได้มากขึ้น เนื่องมาจากการลดการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่งานวิจัยนี้นำเสนอ

2 ช่วยให้แอนิเมเตอร์สร้างภาพเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ซับซ้อนได้ง่ายขึ้น เพราะแอนิเมเตอร์สามารถใช้กราฟในการปรับเปลี่ยนรูปร่างลักษณะของกลุ่มคนได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยจะแบ่งออกเป็นเจ็ดขั้นตอนดังนี้ ศึกษางานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์ และออกแบบอัลกอริทึม ออกแบบโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ทดสอบ พัฒนา และทดสอบโปรแกรมประยุกต์ ทดลองและประเมินผล สรุปผลการดำเนินงาน และจัดทำวิทยานิพนธ์ โดยที่แต่ละขั้นตอนมีช่วงเวลาดังนี้

	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																					■	■

ตารางที่ 1.1 แผนงานในการดำเนินงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 คำจำกัดความ

1 แผนที่หรือฉาก คือ พื้นและสิ่งกีดขวางที่อยู่นิ่ง สิ่งกีดขวางในงานวิจัยนี้หมายถึงสิ่งก่อสร้างซึ่งตัวตนจำลองไม่สามารถเดินผ่านได้ แต่ตัวตนจำลองสามารถเดินบนพื้นได้

2 ตัวตนจำลอง คือ วัตถุเสมือนที่ถูกใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ในฉาก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีรูปร่างของตัวตนจำลองอยู่สองแบบคือวัตถุทรงกระบอกและวัตถุรูปร่างเหมือนคน

3 แผนที่กริด คือ การแทนแผนที่ให้อยู่ในรูปแบบช่องตาราง โดยช่องตารางจะยอมให้ตัวตนจำลองสามารถเดินบนช่องนั้นได้ก็ต่อเมื่อช่องนั้นแทนพื้นของแผนที่ และจะไม่ยอมให้ตัวตนจำลองเดินบนช่องตารางช่องนั้นได้ก็ต่อเมื่อช่องนั้นแทนสิ่งกีดขวาง

4 ทอพอโลยี คือ ความสัมพันธ์ที่ว่าด้วยการเชื่อมต่อกันระหว่างข้อมูลของวัตถุ ข้อมูลเชิงทอพอโลยีไม่เพียงแต่จะเก็บการเชื่อมต่อกันระหว่างข้อมูลเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องถึงความสัมพันธ์ต่างๆบนวัตถุอีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้รูปร่างลักษณะของกลุ่มคนหรือกลุ่มของตัวตนจำลองจะถูกอธิบายด้วยกราฟ เราเรียกกราฟนี้ว่าเป็นข้อมูลเชิงทอพอโลยี

5 ตัวแทนกลุ่ม คือ ตัวตนจำลองที่เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ซึ่งมีหน้าที่เสมือนกับว่าเป็นหัวหน้าของกลุ่มและจะเคลื่อนที่นำตัวตนจำลองตัวอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยในกลุ่มสามารถมีตัวแทนกลุ่มได้หลายตัว และตัวแทนกลุ่มเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กัน

6 ตัวตาม คือ ตัวตนจำลองที่เคลื่อนที่ตามตัวแทนกลุ่ม

7 การเรนเดอร์ คือ กระบวนการสร้างภาพสองมิติจากแบบจำลองกราฟิกในระบบ โดยเริ่มจากการนำเข้าแบบจำลองกราฟิกซึ่งจะบรรยายวัตถุสองมิติหรือสามมิติโดยบอกโครงสร้างข้อมูลของวัตถุสามมิติ อันประกอบด้วยข้อมูลเชิงเรขาคณิต ได้แก่พิกัด มุมมอง พื้นผิวลวดลาย และข้อมูลเกี่ยวกับความสว่าง และคำนวณเพื่อแสดงผลลัพธ์เป็นภาพสองมิติบนจอ

8 เฟรม คือ ภาพหนึ่งภาพที่ถูกแสดงหรือถูกเรนเดอร์ออกมา โดยถ้านำเฟรมหลายๆ เฟรมมาต่อกันจะทำให้เกิดภาพเคลื่อนไหวขึ้น

9 กราฟ คือ เซตของวัตถุที่เรียกว่าจุดยอดซึ่งเชื่อมต่อกันโดยเส้นเชื่อม

1 0 โครงสร้างของกลุ่ม คือ กราฟของกลุ่มซึ่งใช้ตัวแทนกลุ่มเป็นจุดยอดของกราฟและใช้เส้นเชื่อมแทนความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแทนกลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

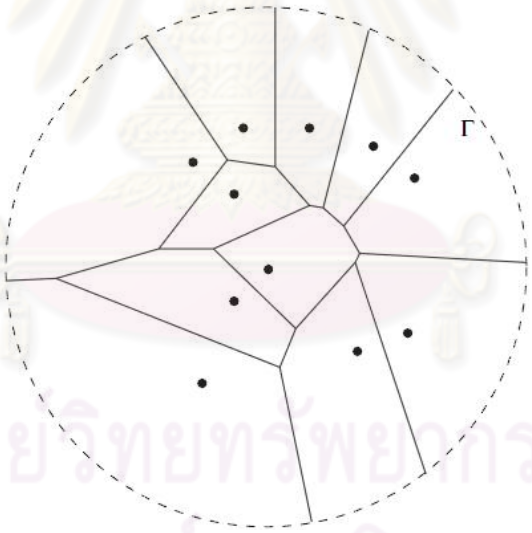
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจะแบ่งออกเป็นสามหัวข้อ คือ การหาเส้นแบ่งจุดของกลุ่มจุดโดยวิธีแผนภาพโวโรนอย การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไน การสร้างเส้นขอบจากกลุ่มจุดโดยวิธีอัลฟ่า การหาโครงสร้างของรูปทรงโดยวิธีเรบกราฟและพฤติกรรมการเคลื่อนที่ โดยในแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การหาเส้นแบ่งจุดของกลุ่มจุดโดยวิธีแผนภาพโวโรนอย

แผนภาพโวโรนอย (Voronoi diagram) เป็นแผนภาพของเส้นตรงที่แบ่งกลุ่มจุดออกจากกัน ซึ่งผลลัพธ์ของวิธีนี้จะได้เส้นแบ่งขอบเขตของแต่ละคู่จุดโดยระยะระหว่างเส้นแบ่งถึงคู่จุดที่ใกล้เส้นแบ่งนั้นมีขนาดเท่ากัน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โวโรนอยไดอะแกรมของกลุ่มจุด 11 จุด

เรียกจุดสีดำในรูปที่ 2.1 ว่าไซต์ และเรียกพื้นที่ที่ได้จากการแบ่งว่าเซลล์ จุดใดๆในแต่ละเซลล์จะอยู่ใกล้กับไซต์ของเซลล์นั้นๆ มากกว่าไซต์อื่นๆ

ให้ $S = \{p, q, r, \dots\}$ เป็นเซตของไซต์ทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ

n เป็นจำนวนไซต์ทั้งหมดใน S ซึ่ง $n \geq 3$

$d(p, q)$ เป็นระยะห่างระหว่างจุด p และจุด q

ซึ่ง $d(p,q) = \sqrt{(x_p - x_q)^2 - (y_p - y_q)^2}$

$\overline{pq}$ เป็นเส้นตรงที่ลากจากจุด p ไปยังจุด q

$\bar{A}$ เป็นเส้นขอบของเซต A

บทนิยามของโวโรนอยไดอะแกรม

ให้ $p, q \in S$

$$B(p,q) = \{x | d(p,x) = d(q,x)\}$$

$B(p,q)$ เป็นเส้นแบ่งครึ่งจุด p และจุด q หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ

$$B(p,q) \quad \overline{pq}$$

$$D(p,q) = \{x | d(p,x) < d(q,x)\}$$

$D(p,q)$ เป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้จุด p และในทำนองเดียวกัน $D(q,p)$ เป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้จุด q เราจะได้ว่าพื้นที่ของโวโรนอย (Voronoi Region) ของจุด p หรือเรียกอีกอย่างว่าเซลล์ของจุด p เป็นดังนี้

$$VR(p,S) = \bigcap_{q \in S, q \neq p} D(p,q)$$

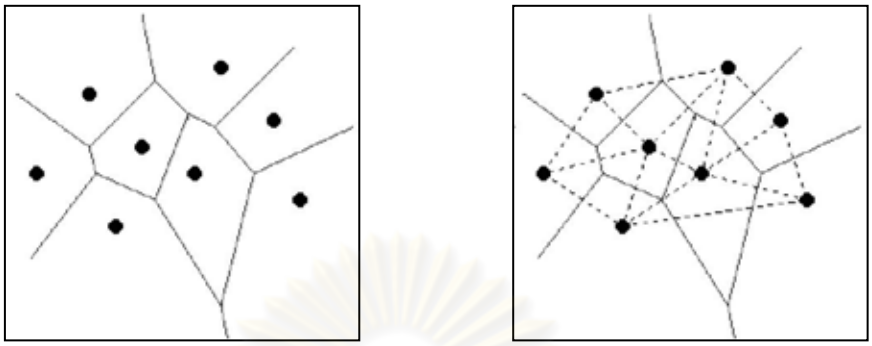
เพราะฉะนั้นโวโรนอยไดอะแกรมของ S เป็นดังนี้

$$V(S) = \bigcup_{p,q \in S, p \neq q} \overline{VR(p,S)} \cap \overline{VR(q,S)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 การสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไน

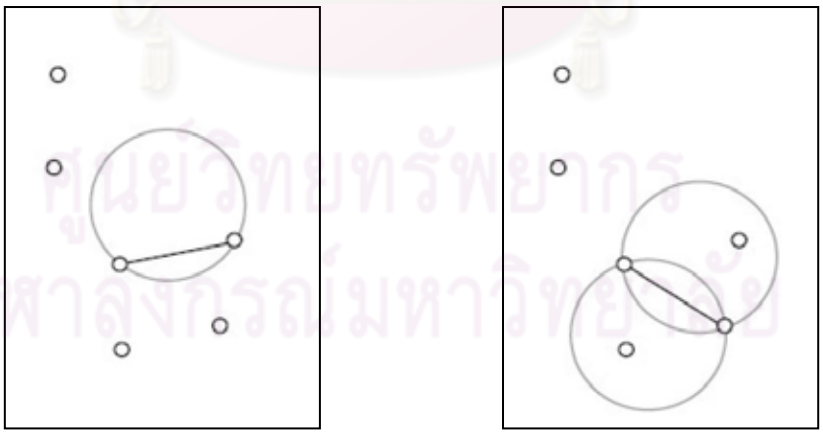
การสร้างสามเหลี่ยมเป็นวิธีการในการสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มจุด โดยที่จะพยายามสร้างให้สามหลี่ยมที่มีมุมภายในที่น้อยที่สุดให้มีค่ามากที่สุด หลักการในการสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไนจะใช้หลักการของแผนภาพโวโรนอย โดยที่คู่จุดใดๆที่มีขอบเขตของเซลล์ในแผนภาพโวโรนอยติดกัน ให้ลากเส้นเชื่อมคู่จุดนั้น เส้นเชื่อมที่ได้ทั้งหมดจะเป็นการสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไนดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ซ้าย: เซตของจุดและแผนภาพโวโรนอย, ขวา: สามเหลี่ยมเดลาอูไน (เส้นประ)

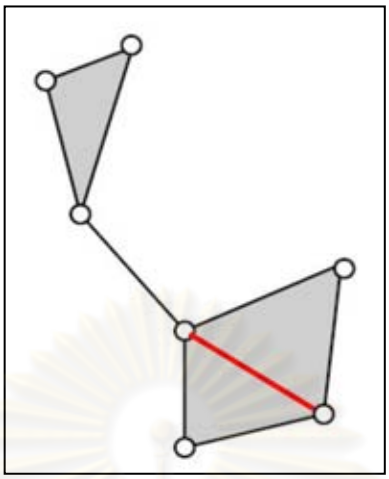
2.1.3 การสร้างเส้นขอบจากกลุ่มจุดโดยวิธีอัลฟา

การสร้างเส้นขอบโดยวิธีอัลฟา (Alpha Shape) เป็นวิธีในการสร้างรูปร่างจากกลุ่มจุด ซึ่งเส้นขอบที่ได้นั้นจะเป็นเส้นที่ถูกเลือกมาจากเส้นที่สร้างจากวิธีเดลาอูไน เพราะฉะนั้นกลุ่มจุดที่พิจารณาจะต้องทำการสร้างสามเหลี่ยมแบบเดลาอูไนก่อน หลังจากนั้นจะใช้วงกลมรัศมี α ทดสอบทีละเส้นเชื่อม ถ้าวงกลมไม่มีจุดอยู่ภายใน ให้เลือกเส้นเชื่อมนั้นเป็นเส้นขอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



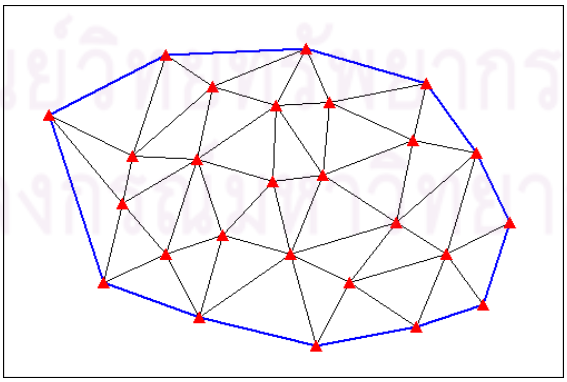
รูปที่ 2.3 ซ้าย: เส้นเชื่อมที่ถูกเลือกให้เป็นเส้นขอบ, ขวา: เส้นเชื่อมที่ไม่ถูกเลือกให้เป็นเส้นขอบ

เมื่อได้เส้นที่ถูกทดสอบโดยวงกลมรัศมี α แล้ว ให้ตัดเส้นที่อยู่ภายในรูปหลายเหลี่ยมออกดังรูปที่ 2.4

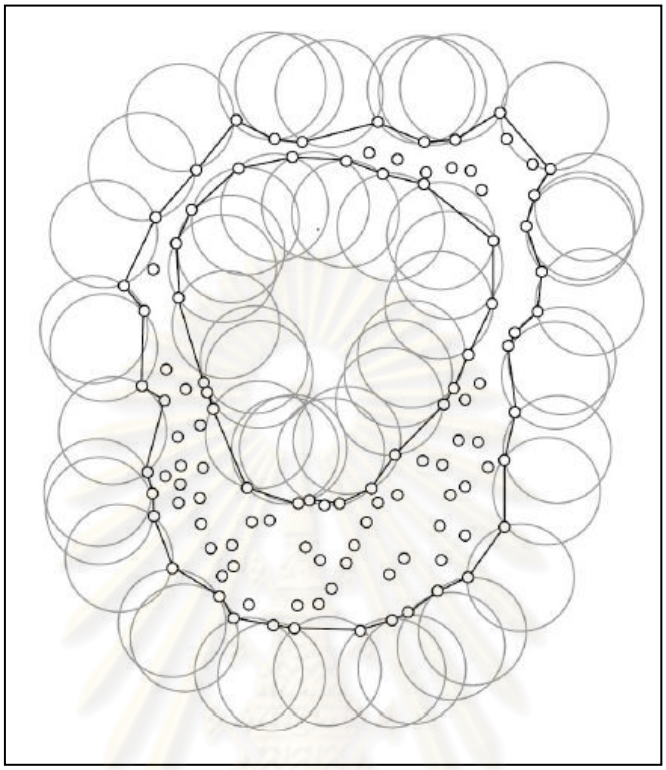


รูปที่ 2.4 เส้นที่ถูกตัดออกจากวิธีการสร้างเส้นขอบโดยวิธีอัลฟา (เส้นสีแดง)

เส้นขอบที่ได้จะขึ้นอยู่กับรัศมีของวงกลม (α) ที่ใช้ทดสอบ ถ้ารัศมีวงกลมใหญ่มากเส้นขอบที่ได้จะเป็นเส้นขอบที่ใหญ่ที่สุดของกลุ่มจุด (Convex hull) ดังรูปที่ 2.5 แต่ถ้ารัศมีของวงกลมมีขนาดเล็กมากๆ ก็อาจจะไม่สามารถเกิดเส้นขอบของกลุ่มจุดได้ เพราะฉะนั้นจะต้องเลือกค่ารัศมีให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ว่าต้องการให้กลุ่มจุดที่สนใจมีลักษณะรูปร่างเป็นอย่างไร โดยตัวอย่างที่เหมาะสมของการสร้างเส้นขอบโดยวิธีอัลฟาได้แสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งเส้นสีดำเป็นเส้นขอบซึ่งแต่ละเส้นเกิดจากการทดสอบด้วยวงกลมที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.5 เส้นขอบที่ใหญ่ที่สุด (สีน้ำเงิน) และเส้นเชื่อมที่เกิดจากวิธีเดลาอูไน (สีดำ)



รูปที่ 2.6 การสร้างเส้นขอบด้วยวิธีอัลฟา

2.1.4 การหาโครงสร้างของรูปทรงโดยวิธีเรบกราฟ

การหาโครงสร้างของรูปทรงโดยวิธีเรบกราฟเป็นการวิเคราะห์และแทนรูปทรงนั้นด้วยกราฟ ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถอธิบายลักษณะและคุณสมบัติของรูปทรงได้ นอกจากนี้วิธีเรบกราฟยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับทอพอโลยีและทฤษฎีมอร์สอีกด้วย

2.1.4.1 ทอพอโลยี

ทอพอโลยี เป็นความสัมพันธ์ที่ว่าด้วยการเชื่อมต่อกันระหว่างข้อมูลของวัตถุ ข้อมูลเชิงทอพอโลยีไม่เพียงแต่จะเก็บการเชื่อมต่อกันระหว่างข้อมูลเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องถึงความสัมพันธ์ต่างๆบนวัตถุอีกด้วย โดยที่ทอพอโลยีบนเซต X คือซับเซต $T \subseteq 2^X$ และเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

1. ถ้า $S_1, S_2 \in Y$ แล้ว $S_1 \cap S_2 \in Y$
2. ถ้า $S_1, S_2 \in Y$ แล้ว $S_1 \cup S_2 \in Y$

3. $\emptyset, X \in Y$

ปริภูมิเชิงทอพอโลยี (Topological space) เป็นเซตของข้อมูล (X, Y) โดยที่ X เป็นเซตข้อมูล และ Y เป็นข้อมูลเชิงทอพอโลยีของเซต X

2.1.4.2 ทฤษฎีมอร์ส

ทฤษฎีมอร์ส จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ของจุดวิกฤตบนฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่อง กับข้อมูลเชิงทอพอโลยีของพื้นผิวนั้น ซึ่งจุดวิกฤตบนฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่องจะเป็นจุดที่ความชันมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยฟังก์ชันจำนวนจริงต่อเนื่องนี้จะเรียกว่าฟังก์ชันมอร์ส (Morse function) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ฟังก์ชัน f เป็นฟังก์ชัน n ตัวแปร

$$f = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

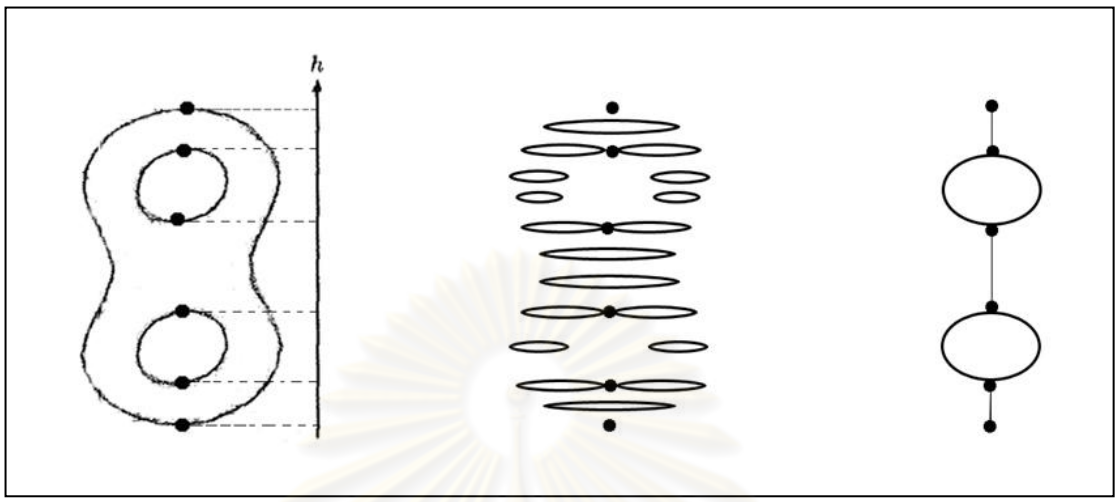
เมตริกซ์เฮสเซียน H จะมีค่าเป็น

$$H(f) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}$$

บทนิยามพื้นฐานของทฤษฎีมอร์สว่าด้วย ให้ฟังก์ชัน $f: M \longrightarrow R$ คือฟังก์ชันมอร์สที่อธิบายความสัมพันธ์เชิงทอพอโลยีของแมนิโฟลด์ M โดยที่แมนิโฟลด์ M คือกลุ่มของข้อมูลที่อยู่ในปริภูมิเชิงทอพอโลยี และจุดวิกฤตทุกๆจุดบนฟังก์ชัน f จะเป็นจุดที่สามารถนำมาใช้อธิบายข้อมูลเชิงทอพอโลยีได้

2.1.4.3 เรบกราฟ

เรบกราฟเป็นวิธีในการแทนข้อมูลเชิงทอพอโลยีในรูปแบบของกราฟ โดยระบุตำแหน่งบนกราฟด้วยจุด (Node) และเส้นเชื่อม (Edge) โดยจุดที่อยู่บนวัตถุจะต้องมีจุดวิกฤตที่ได้จากฟังก์ชันมอร์สที่ใช้แทนข้อมูลเชิงทอพอโลยีนั้นๆ ซึ่งข้อดีของเรบกราฟคือสามารถรักษาข้อมูลเชิงทอพอโลยีไว้ได้ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุก็ตาม



รูปที่ 2.7 ซ้าย: วัตถุและจุดวิกฤติของวัตถุ, กลาง: ส่วนประกอบของการเชื่อมต่อเดียวกัน, ขวา: เรบกราฟของวัตถุโดยใช้ฟังก์ชันความสูง

กำหนดให้ฟังก์ชัน $f: M \longrightarrow R$ เป็นฟังก์ชันจำนวนจริงที่อยู่บนแมนิโฟลด์ M ซึ่งแมนิโฟลด์เป็นข้อมูลเชิงทอพอโลยีที่สนใจ เรบกราฟของแมนิโฟลด์ M นี้ จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชัน f ที่สามารถนิยามได้ว่าเป็นปริภูมิผลหารของ $M \times R$ และจะกำหนดใช้สัญลักษณ์ $\sim$ แทนความสัมพันธ์ของการสมมูลกัน เมื่อ

$$(X_1, f(X_1)) \sim (X_2, f(X_2))$$

โดยที่

$$f(X_1) = f(X_2)$$

X_1, X_2 เป็นส่วนประกอบของการเชื่อมต่อเดียวกันของ $f^{-1}(f(X_1))$ และเรบกราฟสามารถแทนค่าของข้อมูล $(X_1, f(X_1))$ และ $(X_2, f(X_2))$ ด้วยจุดๆเดียวเมื่อ $f(X_1) = f(X_2)$ และX_1, X_2 เป็นส่วนประกอบของการเชื่อมต่อเดียวกัน (Contour เดียวกัน)

2.1.5 เส้นโค้งแคทมัล-รอม

เส้นโค้งแคทมัล-รอมเป็นเส้นโค้งที่เกิดจากฟังก์ชั่นพหุนามกำลังสาม โดยที่จะแทนการเชื่อมต่อของจุดต้นและจุดปลายด้วยฟังก์ชั่นนี้

กำหนดให้ $P(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$ เป็นฟังก์ชั่นพหุนามกำลังสาม

โดยที่ $0 \leq t \leq 1$

ถ้า $t = 0$ จะเป็นตำแหน่งของจุดต้น

$t = 1$ จะเป็นตำแหน่งของจุดปลาย

จากสมการพหุนามกำลังสามข้างต้นจะได้ว่า

$$P(0) = a_0$$

$$P(1) = a_0 + a_1 + a_2 + a_3$$

$$P'(0) = a_1$$

$$P'(1) = a_1 + 2a_2 + 3a_3$$

แก้สมการข้างต้นเพื่อหาค่าของ a_0, a_1, a_2, a_3 จะได้

$$a_0 = \mathrm{P}(0)$$

$$a_1 = P'(0)$$

$$a_2 = 3[P(1) - P(0)] - 2P'(0) - P'(1)$$

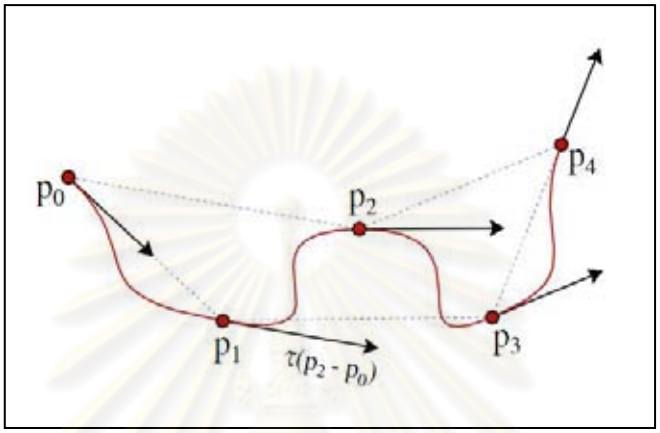
$$a_3 = 2[P(0) - P(1)] + P'(0) + P'(1)$$

เพราะฉะนั้นจะได้สมการในการวาดเส้นโค้งดังนี้

$$P(u) = [1 \quad t \quad t^2 \quad t^3] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P(0) \\ P(1) \\ P'(0) \\ P'(1) \end{bmatrix}$$

โดยที่ $P(0)$เป็นจุดเริ่มต้น $P(1)$ เป็นจุดปลาย และ $P(u)$เป็นจุดที่เชื่อมต่อระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายและ $0 \leq t \leq 1$

สมการข้างต้นใช้ได้กับการประมาณเส้นโค้งในช่วงสองจุดเท่านั้น ถ้าต้องการวาดเส้นโค้งที่มีจุดเชื่อมต่อหลายจุด จำเป็นจะต้องแบ่งช่วงการคิด จากรูปที่ 2.8 ให้แบ่งการคำนวณออกเป็นสี่ช่วงคือ$p_0 \rightarrow p_1$,$p_1 \rightarrow p_2$, $p_2 \rightarrow p_3$และ $p_3 \rightarrow p_4$



รูปที่ 2.8 เส้นโค้งแคทมัล-รอม

2.1.6 พฤติกรรมการเคลื่อนที่

พฤติกรรมการเคลื่อนที่ คือ การกระทำของตัวตนจำลองที่มีต่อสภาพแวดล้อมรอบๆตัวของตัวตนจำลองเอง โดยที่ตัวตนจำลองจะวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและประมวลผลว่าจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อคือ พฤติกรรแบบเดี่ยวและพฤติกรรมแบบกลุ่ม

2.1.6.1 พฤติกรรมแบบเดี่ยว

พฤติกรรมแบบเดี่ยวเป็นการกระทำของตัวตนจำลองซึ่งการกระทำนั้นไม่มีความสัมพันธ์ใดๆกับตัวตนจำลองตัวอื่น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือตัวตนจำลองไม่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะกลุ่ม

2.1.6.1.1 การเคลื่อนที่เข้าหาและออกจากเป้าหมาย

การเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย (Seek) เป็นพฤติกรรมที่ตัวตนจำลองจะเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่ต้องการ โดยในแต่ละเฟรม ตัวตนจำลองจะค่อยๆเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จนสุดท้ายแล้วตัวตนจำลองจะเข้าถึงตำแหน่งที่ต้องการ

การเคลื่อนที่ออกจากเป้าหมาย (Flee) เป็นพฤติกรรมที่ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ออกห่างจากตำแหน่งที่ต้องการ โดยทิศทางที่จะเคลื่อนที่จะตรงข้ามกับทิศทางที่ได้จากการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย

บทนิยามการเคลื่อนที่เข้าหาและออกจากเป้าหมาย

ให้ $\vec{v}_t^i$ เป็นความเร็วของตัวตนจำลอง i^{th} ณ เวลา t

$\vec{v}_{\text{desired}}^{\text{i}}$ เป็นความเร็วที่ต้องการของตัวตนจำลอง i^{th}

loc_t^i เป็นตำแหน่งของตัวตนจำลอง i^{th} ณ เวลา t

$\text{max_}speed$ เป็นความเร็วสูงสุดที่ตัวตนจำลองสามารถเคลื่อนที่ได้

$target_{static}$ เป็นตำแหน่งของเป้าหมายที่หยุดนิ่งที่ตัวตนจำลองต้องการเคลื่อนที่ไป

$\overrightarrow{steer}_{seek}$ เป็นทิศทางในการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้เข้าหาเป้าหมาย

$\overrightarrow{steer}_{flee}$ เป็นทิศทางในการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้ออกจากเป้าหมาย

$norm(\vec{f})$ เป็นฟังก์ชันในการทำให้เวกเตอร์ $\vec{f}$ มีขนาดหนึ่งหน่วย

เพราะฉะนั้น

$$\vec{v}_{\text{desired}}^{\text{i}} = \text{max_speed} \times norm(target_{static} - loc_t^i)$$

$$\overrightarrow{steer}_{seek} = \vec{v}_{\text{desired}}^{\text{i}} - \vec{v}_t^i$$

$$\overrightarrow{steer}_{flee} = -(\vec{v}_{\text{desired}}^{\text{i}} - \vec{v}_t^i)$$

2.1.6.1.2 การติดตามและหลบหนีออกจากเป้าหมาย

การติดตามเป้าหมาย (Pursuit) เป็นพฤติกรรมที่คล้ายๆกับการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย (Seek) แต่ต่างกันตรงที่เป้าหมายที่ใช้ในการติดตามเป้าหมาย (Pursuit) นั้นเป็นเป้าหมายที่เคลื่อนที่ได้ ซึ่งในการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย (Seek) จะเป็นเป้าหมายที่หยุดนิ่ง

โดยในการคำนวณหาทิศทางการเคลื่อนที่ จะต้องนำตำแหน่งในอนาคตของเป้าหมายมาคำนวณด้วย

การหลบหนีออกจากเป้าหมาย (Evasion) เป็นพฤติกรรมที่ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ออกห่างจากเป้าหมายซึ่งหลักการคล้ายๆกับการเคลื่อนที่ออกจากเป้าหมาย (Flee) แต่ต่างกันตรงที่เป้าหมายเป็นเป้าหมายที่เคลื่อนที่ได้ และในการคำนวณ จำเป็นจะต้องนำตำแหน่งในอนาคตของเป้าหมายมาคำนวณด้วย

บทนิยามการติดตามและหลบหนีออกจากเป้าหมาย

ให้ $\vec{v}_t^{\,i}$ เป็นความเร็วของตัวตนจำลอง i^{th} ณ เวลา t

$\vec{v}_{\text{desired}}^{\,\text{i}}$ เป็นความเร็วที่ต้องการของตัวตนจำลอง i^{th}

loc_t^i เป็นตำแหน่งของตัวตนจำลอง i^{th} ณ เวลา t

$\text{max_}speed$ เป็นความเร็วสูงสุดที่ตัวตนจำลองสามารถเคลื่อนที่ได้

$loc_{\text{t+1}}^{\text{target}}$ เป็นตำแหน่งของเป้าหมาย ณ เวลา $t+1$

$\overrightarrow{steer}_{pursuit}$ เป็นทิศทางในการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้ติดตามเป้าหมาย

$\overrightarrow{steer}_{evasion}$ เป็นทิศทางในการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้หลบหนีเป้าหมาย

$norm(\vec{f})$ เป็นฟังก์ชันในการทำให้เวกเตอร์ $\vec{f}$ มีขนาดหนึ่งหน่วย

เพราะฉะนั้น

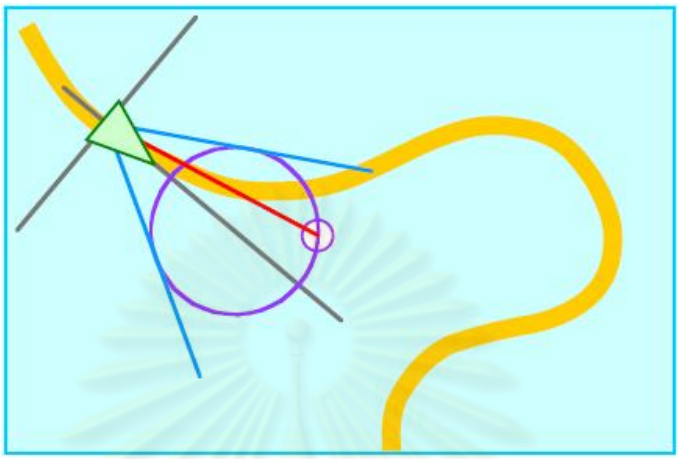
$$\vec{v}_{\text{desired}}^{\,\text{i}} = \text{max_speed} \times norm(loc_{\text{t+1}}^{\text{target}} - loc_t^i)$$

$$\overrightarrow{steer}_{pursuit} = \vec{v}_{\text{desired}}^{\,\text{i}} - \vec{v}_t^{\,i}$$

$$\overrightarrow{steer}_{evasion} = -(\vec{v}_{\text{desired}}^{\,\text{i}} - \vec{v}_t^{\,i})$$

2.1.6.1.3 การเคลื่อนที่แบบสุ่ม

ในการสร้างพฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบสุ่ม สามารถทำได้ง่ายๆโดยการเปลี่ยนทิศทางของตัวตนจำลองในปริมาณน้อยในแต่ละช่วงเวลาหรือในแต่ละเฟรม

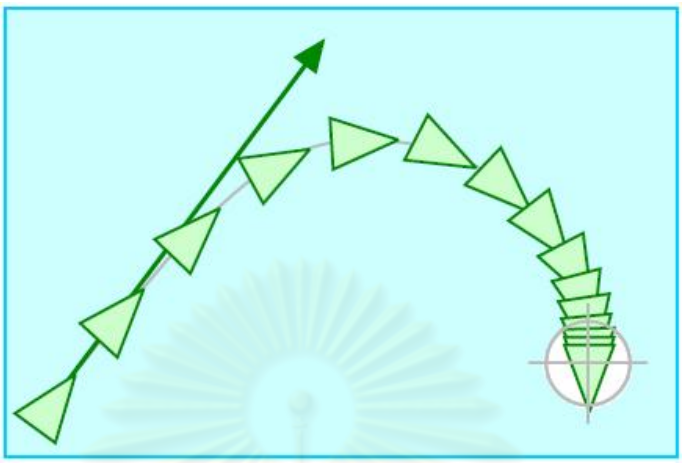


รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่แบบสุ่มโดยวงกลมเล็กเป็นอัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงทิศทางในแต่ละเฟรมและวงกลมใหญ่เป็นขอบเขตสูงสุดของการเปลี่ยนทิศทาง

จากรูปที่ 2.9 ในแต่ละเฟรม ตัวตนจำลองจะถูกสุ่มขนาดทิศทางซึ่งขอบเขตในการสุ่มจะอยู่ในช่วงรัศมีของวงกลมเล็ก หลังจากนั้นเป้าหมายที่ตัวตนจำลองจะเคลื่อนที่ไปคือตำแหน่งของจุดศูนย์กลางวงกลมเล็ก

2.1.6.1.4 การเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายแบบลดทอนความเร็ว

การเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายแบบลดทอนความเร็ว (Arrival) เป็นพฤติกรรมที่คล้ายกับการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย (Seek) โดยที่เมื่อตัวตนจำลองอยู่ห่างจากเป้าหมายมากๆ ตัวตนจำลองจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วพิกัด แต่ในขณะที่ตัวตนจำลองเข้าใกล้เป้าหมาย ตัวตนจำลองจะลดความเร็วลง และจะหยุดเคลื่อนไหวเมื่อถึงเป้าหมายแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายแบบลดทอนความเร็ว

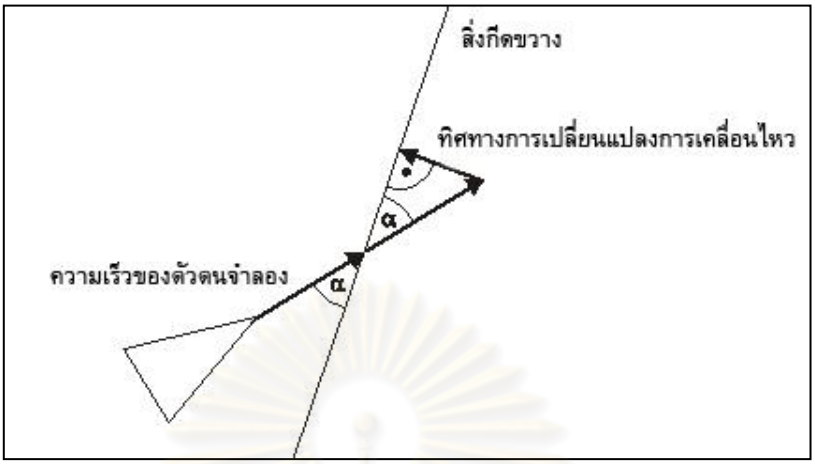
2.1.6.1.5 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เป็นพฤติกรรมที่ตัวตนจำลองเคลื่อนที่เพื่อไม่ให้เกิดการชนกับวัตถุหรือตัวตนจำลองตัวอื่น ซึ่งสิ่งกีดขวางที่ถูกพิจารณาสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิด คือสิ่งกีดขวางที่หยุดนิ่งและสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่

2.1.6.1.5.1 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่หยุดนิ่ง

ตัวตนจำลองจะเปลี่ยนทิศทางเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่อยู่นิ่งก็ต่อเมื่อทิศทางความเร็วของตัวตนจำลองชี้ไปยังสิ่งกีดขวางที่อยู่นิ่งนั้น หลังจากนั้นก็สร้างเวกเตอร์ที่เปรียบเสมือนแรงผลักที่พุ่งออกมาจากสิ่งกีดขวาง ทิศทางที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางคือเวกเตอร์ที่เปรียบเสมือนแรงผลักนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

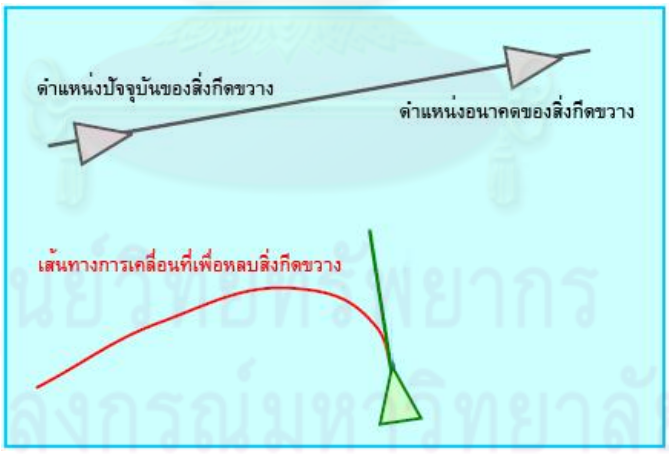
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่หยุดนิ่ง

2.1.6.1.5.2 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่

การหลบสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่เป็นพฤติกรรมที่เหมือนกับการเคลื่อนที่หลบหนีออกจากเป้าหมาย (Evasion) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.12

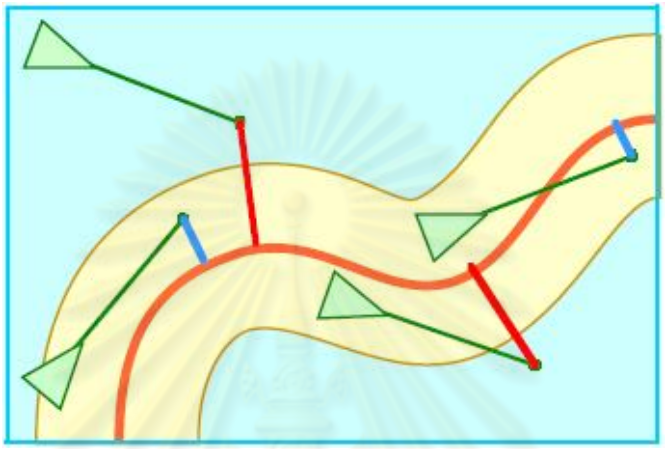


รูปที่ 2.12 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่

2.1.6.1.6 การเคลื่อนที่ตามเส้นทาง

การเคลื่อนที่ตามเส้นทาง (Path Following) เป็นพฤติกรรมที่ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ตามแนวทางเดินที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งเส้นทางที่ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ตามนั้น มักจะถูก

แทนด้วยเส้นโค้งเป็นเส้นกึ่งกลางของทางเดินและพื้นที่ของเส้นทางเดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.13 พื้นที่สีเหลืองเป็นเส้นทางที่ตัวตนจำลองพยายามเคลื่อนที่ให้อยู่ภายในพื้นที่นี้ โดยมีเส้นโค้งสีแดงเป็นเส้นกึ่งกลางทางเดิน



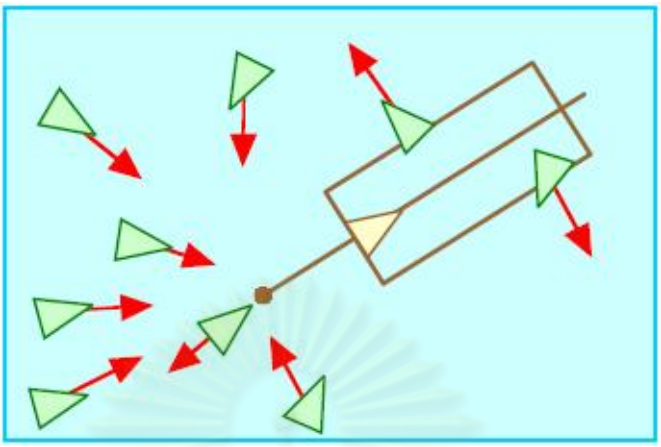
รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่ตามเส้นทาง

ในการเคลื่อนที่ตามเส้นทางนั้น จะใช้ตำแหน่งในอนาคตของตัวตนจำลองมาคำนวณหาทิศทางที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ ถ้าตำแหน่งในอนาคตอยู่ภายในพื้นที่ของเส้นทางเดิน ตัวตนจำลองไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ แต่ถ้าตำแหน่งในอนาคตอยู่นอกพื้นที่เส้นทางเดิน ตัวตนจำลองจะเปลี่ยนแปลงทิศการเคลื่อนที่ โดยเคลื่อนที่ไปยังจุดที่อยู่บนเส้นกึ่งกลางและอยู่ใกล้ที่สุดกับตำแหน่งในอนาคตของตัวตนจำลอง ในรูปที่ 2.13 ตัวตนจำลองที่มีตำแหน่งในอนาคตอยู่นอกพื้นที่ทางเดิน จะถูกเปลี่ยนทิศทางเดิน โดยทิศทางที่จะเปลี่ยนแปลงจะอยู่ในแนวเดียวกับเส้นตรงสีแดง ส่วนตัวตนจำลองที่มีตำแหน่งในอนาคตอยู่ภายในพื้นที่ทางเดิน (ตัวตนจำลองที่มีเส้นตรงสีฟ้า) ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนทิศทางการเดิน

2.1.6.2 พฤติกรรมแบบกลุ่ม

2.1.6.2.1 การเคลื่อนที่ตามผู้นำกลุ่ม

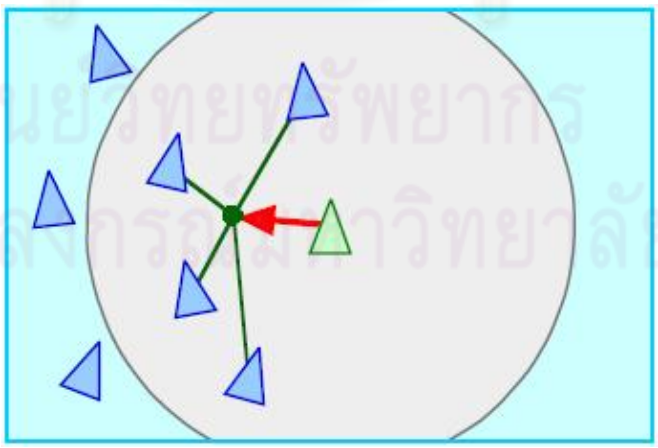
การเคลื่อนที่ตามผู้นำกลุ่ม (Leader following) เป็นการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองที่จะพยายามเคลื่อนที่ตามตัวตนจำลองซึ่งเป็นผู้นำหรือตัวแทนกลุ่ม โดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ตามผู้นำกลุ่มจะเคลื่อนที่ให้อยู่ใกล้กับผู้นำกลุ่มและจะไม่กีดขวางเส้นทางเดินของผู้นำกลุ่ม ถ้าในกลุ่มมีตัวตามมากกว่าหนึ่งตัว ตัวตามจะต้องเคลื่อนที่หลบหลีกตัวตามด้วยกันเองอีกด้วย



รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่ตามผู้นำกลุ่ม

จากรูปที่ 2.14 สามเหลี่ยมสีเหลืองเป็นผู้นำของกลุ่ม และสามเหลี่ยมสีเขียวเป็นผู้ตามซึ่งมีจำนวนเก้าตัว และด้านหน้าของผู้นำกลุ่มจะมีกรอบสี่เหลี่ยมซึ่งมีหน้าที่สำหรับให้ตัวตนจำลองรู้ว่ากำลังกีดขวางเส้นทางเดินของผู้นำกลุ่ม ผู้ตามทั้งหมดจะเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่อยู่ด้านหลังของผู้นำกลุ่ม (จุดสีน้ำตาลในรูปที่ 2.14) โดยใช้วิธีการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายแบบลดทอนความเร็ว (Arrival) ถ้าผู้ตามอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของผู้นำกลุ่มหรืออยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม ผู้ตามตัวนั้นจะเคลื่อนที่ออกจากกรอบสี่เหลี่ยมนั้น ก่อนที่จะพยายามเคลื่อนที่เข้าหาจุดที่อยู่ด้านหลังของผู้นำกลุ่ม

2.1.6.2.2 การเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม



รูปที่ 2.15 การเคลื่อนที่เข้าหากลุ่มของตัวตนจำลอง โดยเวกเตอร์สีแดงเป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เพื่อเข้าหากลุ่ม

การเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม (Cohesion) เป็นพฤติกรรมของตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ให้อยู่ใกล้กับกลุ่มของตัวเอง โดยจะใช้วงกลม (วงกลมสีเทาในรูปที่ 2.15) ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่จะเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม (สามเหลี่ยมสีเขียวในรูปที่ 2.15) เป็นตัวบอกว่าตัวตนจำลองตัวไหนที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาตำแหน่ง (จุดสีเขียวในรูปที่ 2.15) ที่ตัวตนจำลองควรจะเคลื่อนที่ไปเพื่อเข้าใกล้กับกลุ่ม ซึ่งวิธีการในการหาตำแหน่งดังกล่าวมีดังนี้

ให้ S เป็นเซตของตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม หรือเป็นเซตของตัวตนจำลองที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม

n เป็นจำนวนของตัวตนจำลองทั้งหมดที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม หรือเป็นจำนวนของตัวตนจำลองทั้งหมดที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม

me เป็นตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม

$other$ เป็นตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม หรือเป็นตัวตนจำลองที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม ซึ่ง $other \in S$

loc_{i} เป็นตำแหน่งของตัวตนจำลอง i

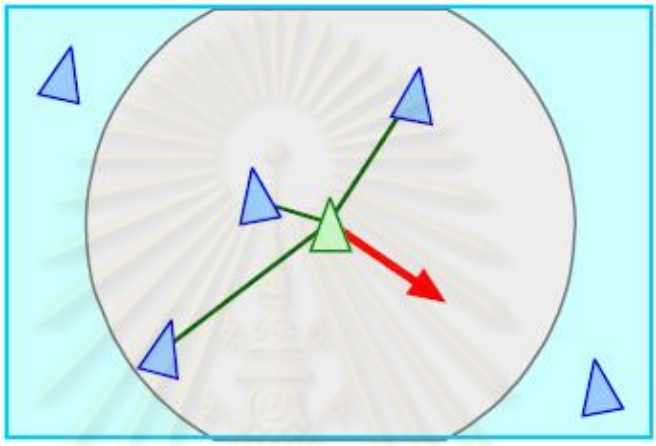
$\overrightarrow{steer}_{cohesion}$ เป็นทิศทางในการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้เคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม

$$\therefore \quad \overrightarrow{steer}_{cohesion} = \frac{(\sum_{other \in S} loc_{other})}{n} - loc_{me}$$

2.1.6.2.3 การเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม

การเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม (Separation) เป็นพฤติกรรมของตัวตนจำลองที่จะพยายามเคลื่อนที่ออกห่างจากตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้และอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้วงกลมเป็น

ตัวบอกว่าตัวตนจำลองตัวไหนที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่ต้องการเคลื่อนที่ออกห่าง จากรูปที่ 2.16 ตัวตนจำลองที่ต้องการเคลื่อนที่ออกห่างถูกแทนด้วยรูปสามเหลี่ยมสีเขียว และทิศทางที่ตัวตนจำลองตัวนี้ต้องเคลื่อนที่ไปคือทิศทางตามลูกศรสีแดง ซึ่งจากรูปจะมีตัวตนจำลองที่อยู่บริเวณใกล้เคียงอยู่สามตัว



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ออกจากกลุ่มของตัวตนจำลอง โดยเวกเตอร์สีแดงเป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เพื่อออกจากกลุ่ม

วิธีการหาทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เพื่อออกจากกลุ่มมีดังนี้

ให้ S เป็นเซตของตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม หรือเป็นเซตของตัวตนจำลองที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม

n เป็นจำนวนของตัวตนจำลองทั้งหมดที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม หรือเป็นจำนวนของตัวตนจำลองทั้งหมดที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม

me เป็นตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม

$other$ เป็นตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม หรือเป็นตัวตนจำลองที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุด

ศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม ซึ่ง $other \in S$

loc_{i} เป็นตำแหน่งของตัวตนจำลอง i

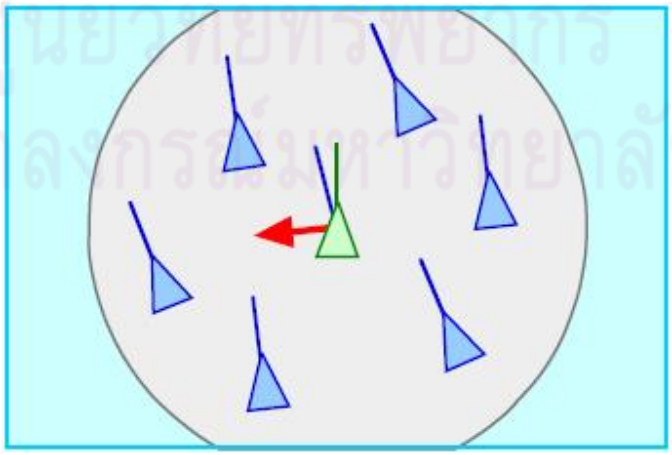
$\overrightarrow{steer}_{separation}$ เป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้เคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม

$$\therefore \quad \overrightarrow{steer}_{separation} = \frac{\sum_{other \in S}\left(\frac{loc_{me} - loc_{other}}{\|loc_{me} - loc_{other}\|^2}\right)}{n}$$

โดยที่ $\frac{1}{\|loc_{me} - loc_{other}\|^2}$ เป็นค่าน้ำหนักชดเชย

2.1.6.2.4 การเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม

การเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม (Alignment) เป็นพฤติกรรมที่ตัวตนจำลองจะพยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับตัวตนจำลองที่อยู่รอบ ๆและอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ตัวตนจำลองสีน้ำเงินเป็นตัวตนจำลองที่อยู่รอบ ๆ ตัวตนจำลองสีเขียวซึ่งเป็นตัวตนจำลองที่จะพยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม เส้นตรงสีน้ำเงินที่อยู่หน้าตัวตนจำลองสีน้ำเงินแทนความเร็วของมัน ส่วนเส้นสีเขียวที่อยู่หน้าตัวตนจำลองสีเขียวแทนความเร็วของมันเช่นกัน ส่วนเส้นสีน้ำเงินที่อยู่หน้าตัวตนจำลองสีเขียวเป็นความเร็วที่ตัวตนจำลองสีเขียวต้องการ เพราะฉะนั้นตัวตนจำลองสีเขียวจะเปลี่ยนทิศทางความเร็วตามลูกศรสีแดงเพื่อให้ความเร็วของมันมีทิศทางใกล้เคียงกับความเร็วที่ต้องการ



รูปที่ 2.17 การเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม โดยเวกเตอร์สีแดงเป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เพื่อให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม

ให้ S เป็นเซตของตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม หรือเป็นเซตของตัวตนจำลองที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม

n เป็นจำนวนของตัวตนจำลองทั้งหมดที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม หรือเป็นจำนวนของตัวตนจำลองทั้งหมดที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม

me เป็นตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม

$other$ เป็นตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม หรือเป็นตัวตนจำลองที่อยู่ภายในวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตัวตนจำลองที่พยายามเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม ซึ่ง $other \in S$

$\overrightarrow{vel}_{\mathrm{i}}$ เป็นความเร็วของตัวตนจำลอง i

$\overrightarrow{steer}_{alignment}$ เป็นทิศทางในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม

$norm(\vec{f})$ เป็นฟังก์ชันในการทำให้เวกเตอร์ $\vec{f}$ มีขนาดหนึ่งหน่วย

$$\therefore \quad \overrightarrow{steer}_{alignment} = \frac{\sum_{other \in S} norm\left(\overrightarrow{vel}_{other}\right)}{n} - norm\left(\overrightarrow{vel}_{me}\right)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ได้นำเสนอนี้ แบ่งออกเป็นสองหัวข้อ ได้แก่ การเลือกตัวแทนกลุ่มและพฤติกรรมกลุ่ม กลุ่มงานวิจัยที่เป็นการเลือกตัวแทนกลุ่มจะเป็นการจำลองโดยที่แต่ละกลุ่มมีตัวแทนซึ่งตัวแทนนี้จะทำหน้าที่ในการวิเคราะห์เส้นทางการเดิน วิเคราะห์พฤติกรรมที่จะแสดงและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมรอบ ๆตัว ส่วนกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของกลุ่มคน จะเป็นการจำลองการเคลื่อนไหวโดยใช้วิธีต่าง ๆ เพื่อสร้างลักษณะท่าทางการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองให้มีความเสมือนจริงมากที่สุด

2.2.1 การเลือกตัวแทนกลุ่ม

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเลือกตัวแทนกลุ่มส่วนใหญ่จะจำลองการเคลื่อนไหวของตัวตนจำลองโดยที่ตัวตนจำลองทุกตัวในแต่ละกลุ่มเป็นตัวแทนกลุ่ม นั่นหมายความว่าทุกตัวตนจำลองต้องวิเคราะห์เส้นทางการหลบหลีกและเส้นทางในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือทุกตัวตนจำลองมีความสามารถในการรับรู้เท่าๆกัน ไม่มีการถ่ายโอนหรือเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งในปี ค.ศ. 2007 เปเลซาโน่และคณะ [1] ได้ทำการเสนอแบบจำลองในการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองในฉากโดยที่ทุกตัวตนจำลองเป็นตัวแทนกลุ่ม และแต่ละตัวตนจำลองมีพฤติกรรมของตัวมันเอง ตัวตนจำลองทุกตัวจะทำการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อเลือกท่าทางให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งสามารถสร้างพฤติกรรมที่หลากหลายได้อันเนื่องมาจากที่ทุกตัวตนจำลองมีพฤติกรรมที่ไม่เหมือนกัน แต่ข้อเสียคือใช้เวลาในการคำนวณสูงเพราะต้องคำนวณหาเส้นทางเดินและพฤติกรรมของทุกตัวตนจำลอง นอกจากนี้ผู้ใช้ยากที่จะควบคุมพฤติกรรมในลักษณะกลุ่ม ยกตัวอย่างเช่น ต้องการให้กลุ่มมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันหรือต้องการให้กลุ่มเคลื่อนที่ในลักษณะกระจายออกจากกัน ต่อมาในปี ค.ศ. 2008 เจอร์แวนเดนเบิร์ก [2] ได้เสนอวิธีในการจำลองโดยที่ทุกตัวตนจำลองยังคงเป็นตัวแทนกลุ่มซึ่งไม่มีการเชื่อมโยงข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างตัวตนจำลอง โดยหลักการของงานวิจัยนี้คือการเคลื่อนที่หลบหลีกตัวตนจำลองตัวอื่นโดยใช้ตำแหน่งและความเร็วในการพิจารณาเท่านั้น และแต่ละรอบในการคำนวณ ทุกตัวตนจำลองจะคำนวณหาตำแหน่งต่อไปเหมือนๆกันทุกตัว ซึ่งจะส่งผลให้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นถ้าตัวตนจำลองเพิ่มขึ้น เพราะว่าทุกตัวเป็นตัวแทนของกลุ่มและมีการคำนวณที่เหมือนๆกันซึ่งข้อดีของงานวิจัยนี้คือสามารถสร้างการเคลื่อนที่ได้ดีโดยไม่เกิดการหยุดนิ่งของตัวตนจำลอง แต่ก็ยังใช้เวลาในการคำนวณสูงและไม่สามารถสร้างพฤติกรรมแบบกลุ่มได้ ในปีเดียวกันนี้ ลินโบ ลูโอ และคณะ [3] ได้จำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนในสถานการณ์การต่างๆ ซึ่งในกลุ่มมีทั้งตัวแทนกลุ่มและตัวตาม โดยตัวตามจะเคลื่อนที่ตามตัวแทนกลุ่มที่รู้เส้นทางเดินที่แน่นอน เพราะฉะนั้นตัวตามไม่จำเป็นต้องคำนวณหาเส้นทางเอง จึงทำให้เวลาในการคำนวณลดลง แต่ปัญหาก็คือการจำลองนี้ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ เพราะตัวตามจะเคลื่อนที่แบบสุ่มและใช้ความรู้ในการหาเส้นทางเดินเองซึ่งไม่รู้ว่าเป็นเส้นทางที่ถูกต้อง จนกว่าจะเคลื่อนที่เจอผู้นำ นอกจากนั้นในปี ค.ศ. 2001 ไซ-เยน ลิ และคณะ [4] ได้เสนอแบบจำลองในการเคลื่อนที่โดยให้กลุ่มตัวตนจำลองมีหนึ่งผู้นำ ซึ่งผู้นำนี้เปรียบเสมือนตัวแทนกลุ่มที่มีหน้าที่ในการหาเส้นทางและวิเคราะห์สภาพแวดล้อม เมื่อผู้นำหาเส้นทางได้แล้ว ตัวตนจำลองตัวอื่นที่อยู่ในกลุ่มจะเคลื่อนที่ตามผู้นำโดยไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการหาเส้นทางเดินใหม่ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณลง แต่ปัญหาก็คือ การใช้ผู้นำเพียงหนึ่งตัว ไม่สามารถสร้างพฤติกรรมในลักษณะกลุ่มได้และยังทำให้เกิดปัญหาการแออัดกันของตัวตนจำลองอีกด้วย

2.2.2 พฤติกรรมของกลุ่มคน

การจำลองการเคลื่อนไหวและพฤติกรรมของกลุ่มคนเป็นเรื่องยากที่จะทำให้เหมือนจริง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีนักวิจัยพยายามหาวิธีที่จะจำลองการเคลื่อนไหวแบบนี้ โดยใช้วิธีต่างๆ อาทิเช่น ใช้กฎการเคลื่อนที่ทางฟิสิกส์ [2], [5], [6], [7] ใช้ข้อมูลการเคลื่อนที่ของคน [8] ใช้ข้อมูลแบบกริด [9], [10], [11] ใช้การมองเห็นของตัวตนจำลอง [12] ใช้การวิเคราะห์เส้นทางการเดินบนฉากสามมิติ [13], [14], [15] ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถสร้างการจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนได้ แต่พฤติกรรมการเคลื่อนที่ในแต่ละวิธีอาจจะไม่เหมือนกัน

ในปี ค.ศ. 1987 เครก เรโนลด์ ได้ริเริ่มการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงนก [6] โดยเสนอโมเดลและวิธีในการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงนก ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้ไม่เพียงพอต่อการจำลองการเคลื่อนที่และการควบคุมกลุ่มคน ต่อมาเครก เรโนลด์ได้เสนอวิธีในการสร้างพฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบต่างๆ [5] อาทิเช่น การเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย การเคลื่อนที่หลบหนีเป้าหมาย การหลีกหนีการชนต่อสิ่งกีดขวาง การเคลื่อนที่ตามเส้นทางเดิน การเคลื่อนที่ตามผู้นำ การเคลื่อนที่ตามกลุ่ม การเคลื่อนที่ออกจากลุ่มและการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกลุ่ม แบบจำลองที่เครก เรโนลด์ได้เสนอมานี้ สามารถนำไปสร้างพฤติกรรมที่หลากหลายได้ แต่ปัญหาก็คือว่าเราจะใช้พฤติกรรมเหล่านี้รวมกันโดยใช้ค่าน้ำหนักเท่าไรและรวมกันแบบใด ปัญหาที่ตามมาคือเมื่อจำนวนตัวตนจำลองเพิ่มขึ้นจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากยิ่งขึ้น เพราะทุกตัวตนจำลองคำนวณหาตำแหน่งถัดไปเหมือนกันทุกตัว ในปี ค.ศ. 2006 แอเดรียนและคณะ [9] ได้ใช้กริดในการสร้างการเคลื่อนไหวของตัวตนจำลอง ซึ่งแต่ละช่องกริดมีข้อมูลการเคลื่อนที่ซึ่งจะมีผลต่อตัวตนจำลองที่อยู่ในช่องกริดนั้น ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถลดระยะเวลาในการคำนวณการเคลื่อนที่ลงเป็นอย่างมากเพราะว่าระยะเวลาในการคำนวณจะขึ้นกับจำนวนช่องกริด แต่ข้อเสียคือตัวตนจำลองที่อยู่ในช่องกริดเดียวกันจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ได้สร้างพฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบมีช่องทางเดิน (Lane Formation) ซึ่งทำให้ตัวตนจำลองที่เดินสวนกัน ไม่เกิดการชนกัน ต่อมาในปี ค.ศ. 2008 เจอร์แวนเดนเบิร์ก [2] ได้เสนอวิธีในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของตัวละคร โดยในแต่ละเวลาคำนวณ ตัวตนจำลองจะคำนวณหาทิศทางที่เหมาะสมโดยใช้วิธีที่เรียกว่า เรซิโปรคอลเวโลซิตี้ (Reciprocal Velocity Obstacle) ซึ่งเป็นวิธีที่เจอร์แวนเดนเบิร์กเสนอ ในแต่ละเวลาคำนวณ ตัวตนจำลองจะคำนวณหาทิศทางใหม่โดยดูจากสภาพแวดล้อมรอบๆตัวมันเอง ถ้าจำนวนตัวตนจำลองเพิ่มขึ้น เวลาในการคำนวณก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่ข้อดีของวิธีที่เสนอคือสามารถสร้างการเคลื่อนที่โดยไม่ติดขัดหรือตัวตนจำลองไม่เกิดการชนกันอยู่กับที่ นอกจากนักวิจัยจะพยายามหาวิธีในการสร้างพฤติกรรมโดยให้ระยะเวลาคำนวณน้อยที่สุดแล้ว นักวิจัยยังต้องการให้การควบคุมกลุ่มคนนั้นง่ายอีกด้วย โดยในปี ค.ศ. 2009 มาซากิ โอชิตะและคณะ [14] ได้เสนอวิธีในการควบคุมกลุ่มคนโดยใช้การวาดเส้นซึ่งจะวาดเส้นจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลอง แต่ว่าเมื่อจำนวนกลุ่ม

คนเพิ่มขึ้น เวลาในการสร้างเส้นควบคุมก็เพิ่มขึ้นด้วย พฤติกรรมที่ได้จะมาจากเส้นที่ผู้ใช้วาด โดยจะมีเส้นหนึ่งเส้นเป็นเส้นทางการเดิน นอกเหนือจากนั้นจะเป็นเส้นในการปรับเปลี่ยนระยะห่างหรือการกระจายตัวของตัวตนจำลองในกลุ่ม ซึ่งข้อดีคือสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ แต่ยังคงใช้เวลาในการคำนวณสูงเพราะทุกตัวตนจำลองเป็นตัวแทนกลุ่มและยังใช้เวลาในการกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่นานอีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
แบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี

3.1 ภาพรวมของแบบจำลอง

แบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยีเป็นแบบจำลองที่นำกราฟมาแทนกลุ่มคนหรือกลุ่มของตัวตนจำลองในฉาก เพื่อใช้ในการควบคุมพฤติกรรมของกลุ่มคนหรือกลุ่มของตัวตนจำลองโดยผ่านทางโครงสร้างนี้ นอกจากจะใช้ในการควบคุมแล้ว แบบจำลองนี้ยังช่วยอธิบายลักษณะรูปร่างของกลุ่มคนหรือกลุ่มของตัวตนจำลองได้อีกด้วย

3.2 โครงสร้างข้อมูลในการจำลองฝูงชน

ในการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน จำเป็นที่จะต้องแทนสิ่งต่างๆ ในการจำลองให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปคำนวณ เรียกใช้และจัดการกับสิ่งเหล่านั้นได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการแทนข้อมูลของกลุ่มคน แผนที่ เส้นทางเดินและโครงสร้างของกลุ่มคน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 กลุ่มคน

กลุ่มคนในงานวิจัยนี้หมายถึงตัวตนจำลองที่มีเส้นทางเดินที่เหมือนกันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีจุดหมายปลายทางที่เหมือนกัน ตัวตนจำลองแต่ละตัวจะเก็บความเร็ว (Velocity) ทิศทางด้านหน้าเพื่อบอกว่าตัวตนจำลองกำลังมุ่งหน้าไปทางทิศไหน (Forward direction) ทิศทางด้านข้าง (Side direction) ซึ่งทิศทางด้านข้างจะตั้งฉากกับทิศทางด้านหน้าเสมอ ความเร็วพิกัด (Max speed) แรงพิกัดในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ (Max steering force) ตำแหน่งปัจจุบัน (Position) และสถานะของตัวตนจำลอง (Character status) สถานะของตัวตนจำลองจะมีเพียงสองแบบเท่านั้นคือ ตัวแทนกลุ่มหรือผู้นำกลุ่ม (Leader) และตัวตาม (Follower) นอกจากนั้นตัวตนจำลองที่มีเส้นทางการเดินและตำแหน่งสุดท้าย (Goal) เหมือนกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยโครงสร้างข้อมูลของตัวตนจำลองในกลุ่มจะถูกเก็บข้อมูลด้วยลิงค์ลิสต์ และการเข้าถึงข้อมูลจะเป็นแบบลำดับ (Sequential access)

กลุ่มคนแต่ละกลุ่มจะมีเส้นทางการเดินของกลุ่มได้เพียงหนึ่งเส้นทางและการเก็บข้อมูลของกลุ่มคนทั้งหมดในฉากจะใช้การเก็บข้อมูลแบบอาร์เรย์ ซึ่งวิธีการเข้าถึงข้อมูลเป็นแบบโดยตรง (Direct access) กลุ่มคนแต่ละกลุ่มจะเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้ เส้นทางเดินของกลุ่ม (Path) ตัวตนจำลองทั้งหมดที่อยู่ในกลุ่มซึ่งแบ่งเป็นตัวตนจำลองที่เป็นผู้นำกลุ่มและผู้ตาม โดยที่แต่ละกลุ่มสามารถมีผู้นำกลุ่มได้มากกว่าหนึ่งคน นอกจากนั้นแต่ละกลุ่มยังเก็บโครงสร้างของกลุ่ม (Crowd structure) ซึ่งโครงสร้างของกลุ่มจะเป็นข้อมูลแบบกราฟ

รูปที่ 3.1 กลุ่มคนสองกลุ่มในฉาก(สีน้ำเงินและสีชมพู)

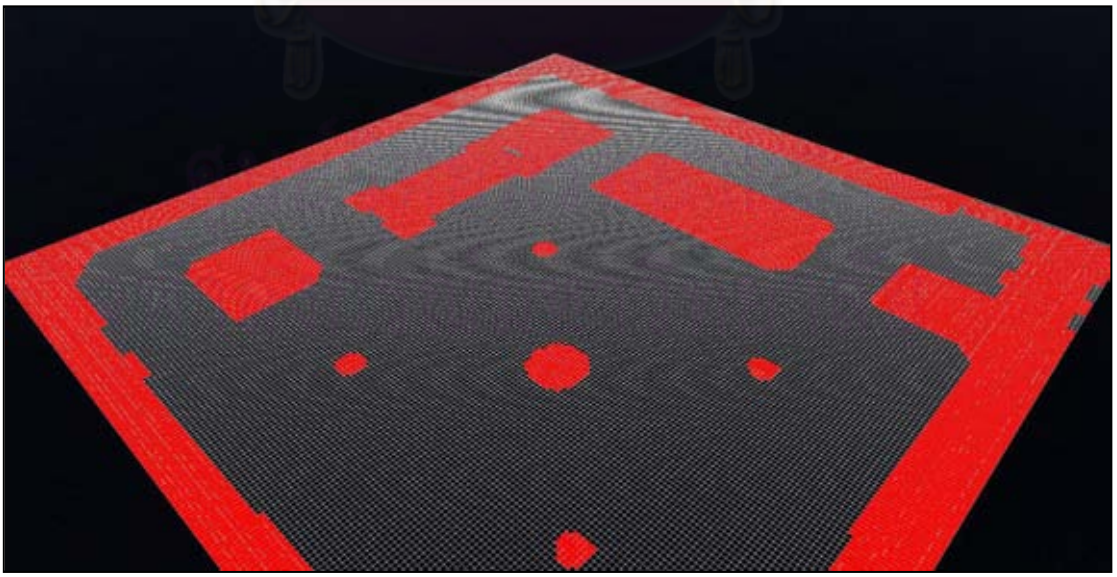
3.2.2 แผนที่หรือฉาก

แผนที่หรือฉากจะถูกแทนด้วยข้อมูลแบบกริด โดยจะเก็บข้อมูลแบบอาร์เรย์ขนาด 1000x1000 ช่อง โดยที่แต่ละช่องกริดจะเก็บข้อมูลสถานะเพื่อบอกว่าตัวตนจำลองสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในช่องกริดได้หรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

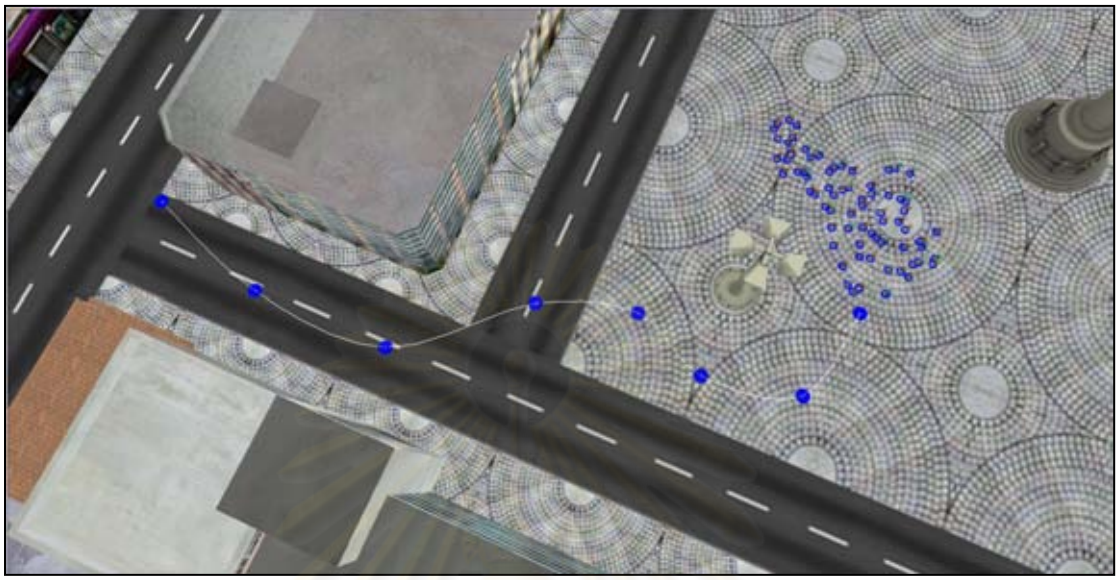
รูปที่ 3.2 แผนที่หรือฉาก

จากรูปที่ 3.2 แสดงแผนที่หรือฉากที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งขนาดข้อมูลของช่องกริดมีผลต่อการคำนวณ โดยที่ยิ่งขนาดช่องกริดมาก เวลาในคำนวณเพื่อวิเคราะห์ว่าช่องกริดไหนที่ตัวตนจำลองสามารถเดินได้นั้นก็จะมากตามไปด้วย แต่ข้อดีของจำนวนของช่องกริดมากคือสามารถแทนข้อมูลแผนที่ได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น และจะระบุสีของช่องกริดเป็นสีแดงเพื่อแสดงว่าตัวตนจำลองไม่สามารถเดินเข้าไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การแทนข้อมูลแผนที่แบบกริด ช่องกริดสีแดงแทนสิ่งก่อสร้างและช่องกริดที่ไม่มีสีแทนพื้นซึ่งยอมให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ผ่านได้

3.2.3 เส้นทางเดิน

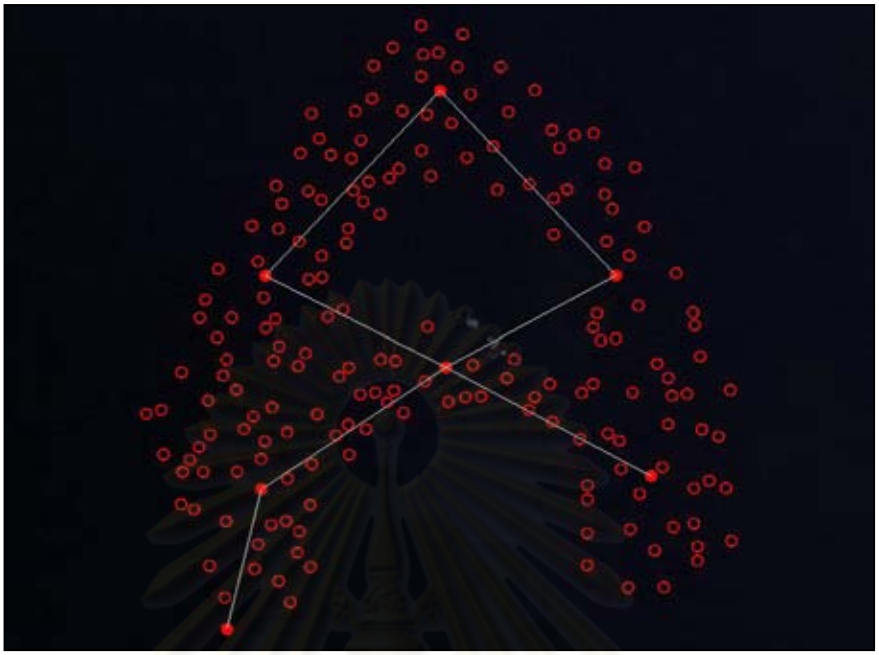


รูปที่ 3.4 เส้นทางเดินของกลุ่มคน ซึ่งเป็นเส้นโค้งสีขาวโดยมีวงกลมทึบสีน้ำเงินเป็นจุดควบคุมความโค้งของเส้น

เส้นทางเดินจะมีหนึ่งเส้นทางต่อหนึ่งกลุ่ม ซึ่งเส้นทางนี้จะถูกป้อนโดยผู้ใช้ ซึ่งสามารถกำหนดความโค้งเว้าของเส้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เส้นโค้งสีขาวคือเส้นทางเดินของกลุ่ม และวงกลมทึบสีน้ำเงินเป็นจุดควบคุมความโค้งเว้าของเส้น กลุ่มคนจะเคลื่อนที่โดยเริ่มต้นจากจุดควบคุมจุดแรกที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามา หลังจากนั้นจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปบนเส้นโค้ง ซึ่งเส้นโค้งนี้ถูกคำนวณมาจากฟังก์ชั่นเสมือนพหุนามแคทมัล-รอม และในการอ้างอิงตำแหน่งใดๆ บนเส้นโค้งนี้ก็ใช้ฟังก์ชั่นเสมือนพหุนามแคทมัล-รอมเช่นเดียวกัน

3.2.4 โครงสร้างของกลุ่มคน

โครงสร้างของกลุ่มคน คือ กราฟที่บอกลักษณะรูปร่างอย่างคร่าวๆ ของกลุ่มคนแต่ละกลุ่ม โดยประกอบด้วยจุดยอดและเส้นเชื่อม ซึ่งจุดยอดแต่ละจุดบนโครงสร้างของกลุ่มคนคือตัวแทนของกลุ่ม (จุดสีแดงทึบในรูปที่ 3.5) ซึ่งมีหน้าที่ในการวิเคราะห์เส้นทางและเดินตามเส้นทางที่ผู้ใช้กำหนด ส่วนเส้นเชื่อมจะเชื่อมระหว่างจุดยอดหรือตัวแทนกลุ่ม โดยเส้นเชื่อมจะบอกลักษณะรูปร่างของกลุ่ม (เส้นตรงสีขาวในรูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของกลุ่มคน

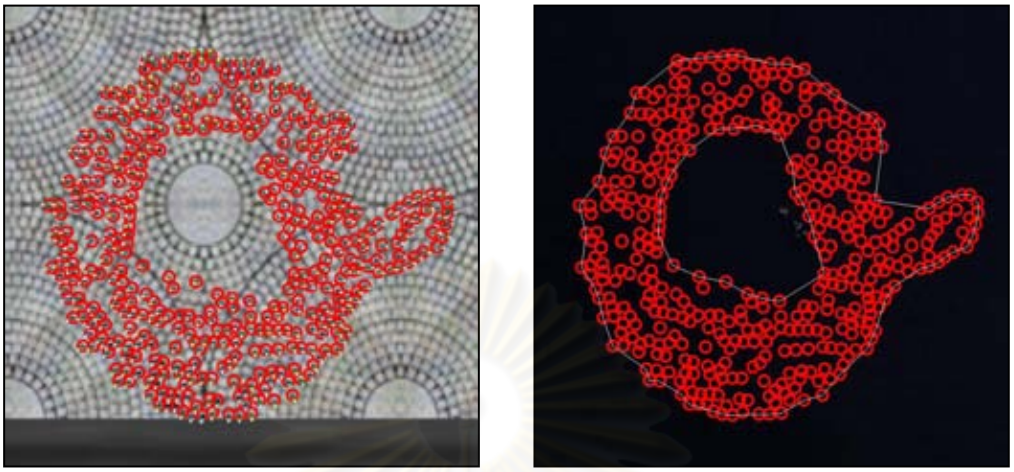
โครงสร้างข้อมูลของโครงสร้างของกลุ่มคน จะเก็บจุดยอดและเส้นเชื่อม โดยจุดยอดจะเก็บข้อมูลของตัวตนจำลองที่เป็นตัวแทนกลุ่ม อาทิเช่น ตำแหน่ง ความเร็วและทิศทางด้านหน้าของตัวตนจำลอง ส่วนเส้นเชื่อมจะเก็บคู่ของจุดยอดเพื่อบอกการเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนกลุ่ม โครงสร้างของกลุ่มคนนี้สามารถเคลื่อนไหวได้ตามการเคลื่อนที่ของตัวแทนกลุ่ม (จุดยอดของกราฟ)

3.3 การหาโครงสร้างของกลุ่มคน

โครงสร้างของกลุ่มคนในงานวิจัยนี้จะมีลักษณะเป็นกราฟ ซึ่งจุดยอดทุกจุดของกราฟจะแทนด้วยตัวตนจำลองซึ่งตัวตนจำลองเหล่านี้จะมีสถานะเป็นผู้นำกลุ่ม เส้นเชื่อมจะใช้แทนความสัมพันธ์กันของผู้นำกลุ่ม โดยขั้นตอนในการหาโครงสร้างของกลุ่มคนมีดังต่อไปนี้

3.3.1 การหารูปร่างของกลุ่มคน

การหารูปร่างของกลุ่มคนเป็นการกำหนดลักษณะของกลุ่มจุดหรือกลุ่มของตัวตนจำลองโดยใช้วิธีการหารูปร่างแบบอัลฟ่า (Alpha shape) ซึ่งวิธีการหารูปร่างแบบอัลฟ่านี้มีข้อดีกว่าวิธีการหารูปร่างของกลุ่มคนแบบอื่น คือ สามารถหาเส้นขอบที่อยู่ภายในของกลุ่มจุดได้ ซึ่งเส้นขอบที่ได้สามารถเป็นได้ทั้งเส้นขอบแบบนูน (Convex hull) และเส้นขอบแบบเว้า (Concave hull)



รูปที่ 3.6 รูปร่างของกลุ่มคน โดยรูปด้านซ้ายเป็นกลุ่มของตัวตนจำลองที่อยู่ในฉาก และเส้นขอบสีขาวในรูปด้านขวาแสดงรูปร่างของกลุ่มของตัวตนจำลอง

ในการหารูปร่างของกลุ่มคน ผู้ใช้จำเป็นที่จะต้องทำการปรับค่าอัลฟ่าให้เหมาะสมกับลักษณะของกลุ่มคนด้วยตัวเอง เนื่องจากการหารูปร่างของกลุ่มคนที่เหมาะสมแบบอัตโนมัตินั้นเป็นไปได้ยาก และไม่มีคำตอบที่ถูกต้องที่สุด เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องถูกสร้างโดยผู้ใช้

3.3.2 การหาโครงสร้างจากรูปร่างของกลุ่มคน

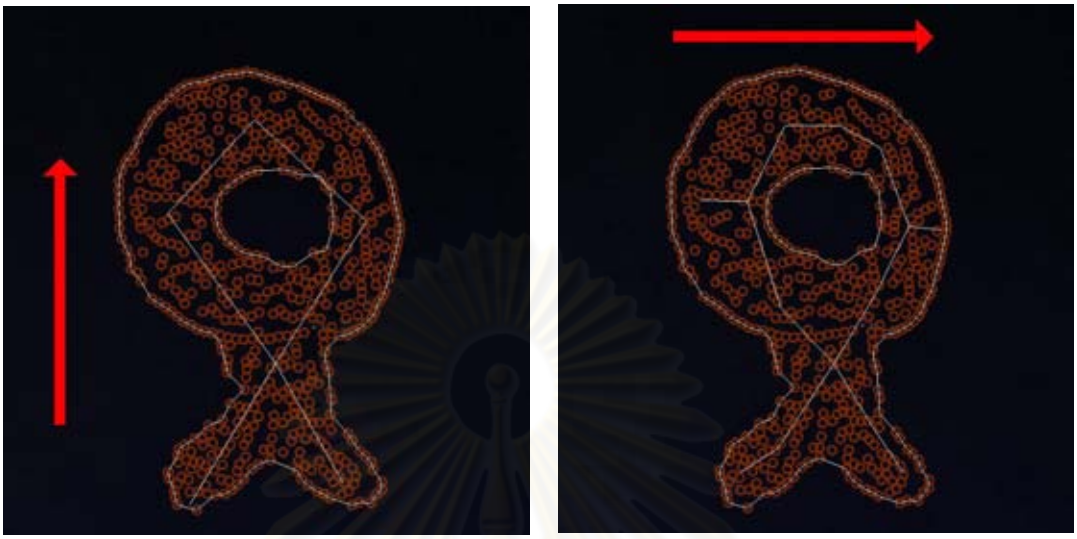
การหาโครงสร้างจากรูปร่างของกลุ่มคนเป็นขั้นตอนในการแทนรูปร่างด้วยข้อมูลแบบกราฟ ซึ่งกราฟนี้สามารถอธิบายลักษณะโครงสร้างหรือลักษณะของกลุ่มของตัวตนจำลองได้ โดยจะใช้เรบกราฟในการหาโครงสร้างจากรูปร่างของกลุ่มคน เรบกราฟมีข้อดีคือเป็นกราฟที่สามารถอธิบายข้อมูลเชิงทอพอโลยีได้ดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสามารถอธิบายรูปร่างของข้อมูลได้ ถึงแม้ว่ารูปร่างของข้อมูลจะถูกขยายไปมากน้อยเพียงใดก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.7 รูปร่างของกลุ่มคนสองกลุ่มซึ่งมีขนาดต่างกัน โดยเส้นสีขาวคือเส้นขอบรูปร่างของกลุ่ม

รูปที่ 3.8 เรบกราฟของกลุ่มคนสองกลุ่มที่มีขนาดต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.7 แสดงกราฟโครงสร้างของรูปร่างของกลุ่มคน โดยเรียกกราฟนี้ว่าเรบกราฟ และจะเห็นได้ว่าถึงแม้ขนาดรูปร่างของกลุ่มคนจะไม่เท่ากัน แต่ลักษณะของกราฟเหมือนกัน ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้เรบกราฟในการอธิบายข้อมูลเชิงทอพอโลยี แต่ว่าการสร้างเรบกราฟแบบนี้จำเป็นที่จะต้องรู้ทิศทางในการหา ถ้าทิศทางในการหาไม่เหมือนกัน กราฟที่ได้ก็จะไม่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งแบบจำลองนี้จะใช้ทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้นของกลุ่มเป็นทิศทางในการคำนวณหาเรบกราฟ

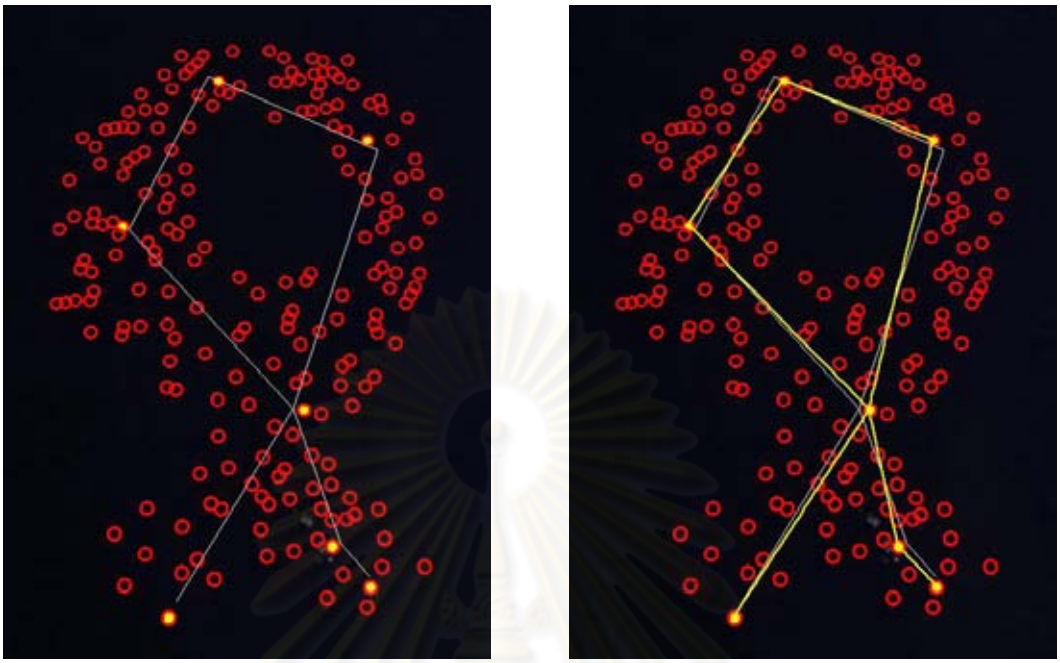


รูปที่ 3.9 ซ้าย: เรบกราฟที่คำนวณจากล่างไปบน, ขวา: เรบกราฟที่คำนวณจากซ้ายไปขวา

3.3.3 การเลือกตัวแทนกลุ่ม

การเลือกตัวแทนกลุ่มเป็นขั้นตอนในการนำโครงสร้างของรูปร่างของกลุ่มคน หรือเรบกราฟที่ได้จากขั้นตอนการหาโครงสร้างของรูปร่างของกลุ่มคน มาเปลี่ยนให้เป็นความสัมพันธ์หรือความเกี่ยวข้องกับตัวตนจำลองที่อยู่ในกลุ่ม โดยจุดยอดของเรบกราฟจะถูกเปลี่ยนตำแหน่งไปยังตำแหน่งของตัวตนจำลองที่ใกล้ที่สุดและตัวตนจำลองตัวนั้นจะมีสถานะเป็นผู้นำกลุ่มหรือตัวแทนกลุ่ม ส่วนเส้นเชื่อมก็ยังคงเชื่อมจุดยอดของกราฟเช่นเดิม ดังรูปที่ 3.10

กราฟที่ถูกเปลี่ยนให้ไปอยู่ ณ ตำแหน่งของตัวตนจำลองจะเรียกว่าเป็นโครงสร้างของกลุ่มคน ซึ่งโครงสร้างของกลุ่มคนในขั้นตอนนี้ยังไม่เป็นโครงสร้างที่สมบูรณ์ ซึ่งจะต้องถูกปรับเปลี่ยนในขั้นตอนการปรับโครงสร้างให้เหมาะสม



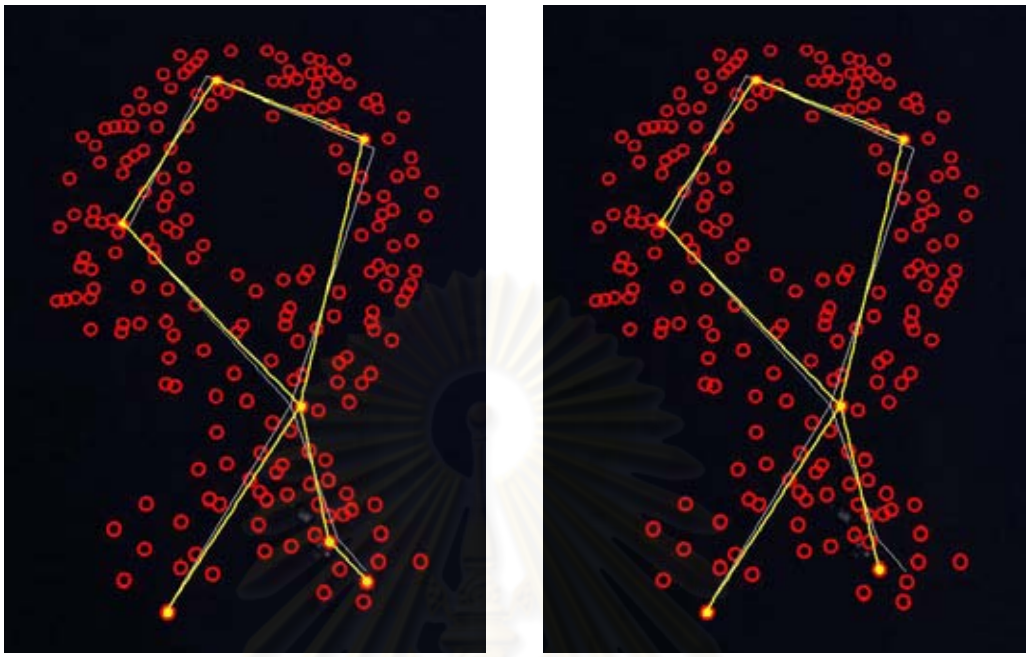
รูปที่ 3.10 ซ้าย: ตัวตนจำลองที่อยู่ใกล้กับจุดยอดของเรบกราฟ (วงกลมสีเหลือง), ขวา: โครงสร้างของกลุ่มคน (วงแลมและเส้นตรงสีเหลือง)

3.3.4 การปรับโครงสร้างให้เหมาะสม

โครงสร้างของกลุ่มคนจะถูกปรับก็ต่อเมื่อตัวแทนกลุ่มหรือจุดยอดของกราฟอยู่ใกล้กัน การปรับเปลี่ยนในลักษณะนี้ก็เพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เมื่อตัวแทนกลุ่มสองตัวที่เชื่อมด้วยเส้นเชื่อมเดียวกันอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กัน จะถูกยุบรวมให้อยู่ในตำแหน่งของตัวตนจำลองที่ใกล้กับตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นเชื่อมนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11

3.3.5 สรุปการหาโครงสร้างของกลุ่มคน

โครงสร้างของกลุ่มที่มีจุดยอดเป็นตัวแทนกลุ่มและเส้นเชื่อมเป็นความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแทนกลุ่ม เป็นข้อมูลเชิงทอพอโลยีซึ่งมีความสำคัญในการอธิบายลักษณะรูปร่างของกลุ่มคน นอกจากจะอธิบายลักษณะรูปร่างแล้ว ยังช่วยลดทอนข้อมูลของกลุ่มคนได้อีกด้วย โดยแทนที่จะอธิบายรูปร่างของกลุ่มคนหรือกลุ่มของตัวตนจำลองทั้งหมดด้วยจำนวนตัวตนจำลองทั้งหมดในกลุ่ม ก็เพียงใช้โครงสร้างนี้ที่ใช้ตัวตนจำลองเพียงไม่กี่ตัวในการอธิบายลักษณะของกลุ่ม



รูปที่ 3.11 ซ้าย: โครงสร้างกลุ่มก่อนการปรับ, ขวา: โครงสร้างกลุ่มหลังการปรับ

3.4 การเคลื่อนไหวของกลุ่มคน

กลุ่มแต่ละกลุ่มจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางโดยที่ตัวตามจะเคลื่อนที่ตามตัวแทนของกลุ่มที่อยู่ใกล้ที่สุด และตัวแทนของกลุ่มจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางเดินของกลุ่ม โดยการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองในกลุ่มจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของกลุ่มซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 คุณสมบัติของโครงสร้างของกลุ่ม

โครงสร้างของกลุ่มสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อมรอบๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจะส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองในกลุ่ม เส้นโครงสร้างที่ได้สามารถยืดหดได้ โดยมีเงื่อนไขคือเส้นโครงสร้างไม่สามารถหดได้น้อยกว่าช่วงความยาวหนึ่งซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดระยะห่างนี้ได้

3.4.2 พฤติกรรมของกลุ่มคน

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเส้นโครงสร้างซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนที่และรูปร่างของกลุ่ม จึงทำให้เกิดพฤติกรรมที่ซับซ้อน โดยพฤติกรรมเหล่านั้นคือ การแยกกลุ่ม การรวมกลุ่มและการกระจายตัวของกลุ่ม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.2.1 สมการการเคลื่อนที่

กลุ่มคนในแต่ละกลุ่มจะมีตัวตนจำลองอยู่สองประเภทคือตัวแทนกลุ่มและตัวตาม ซึ่งตัวแทนกลุ่มมีหน้าที่ในการเคลื่อนที่เข้าหาเส้นทางเดินที่ผู้ใช้กำหนดมาแล้ว ส่วนผู้ตามจะเคลื่อนที่ตามตัวแทนและเส้นโครงสร้างที่อยู่ใกล้มันมากที่สุด นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นในการเคลื่อนที่คือ การเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับกลุ่ม การรักษาระยะห่างระหว่างตัวตนจำลอง การเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวาง การเคลื่อนที่แบบสุ่ม การรักษาระยะห่างระหว่างตัวแทนกลุ่มและการเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม โดยที่ตัวแทนและตัวตามจะมีสมการการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน

บทนิยามการเคลื่อนที่

ให้ F^{Obs} เป็นแรงผลักของสิ่งกีดขวางที่กระทำกับตัวตนจำลอง

$F^{Separate}$ เป็นแรงผลักให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม

$F^{Cohesion}$ เป็นแรงดึงดูดให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่เข้าหากลุ่ม

F^{Wander} เป็นแรงที่ทำให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่แบบสุ่ม

F^{Path} เป็นแรงดึงดูดให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ตามเส้นทางเดิน

$F^{Leader_Separate}$ เป็นแรงผลักให้ตัวแทนกลุ่มเคลื่อนที่ออกจากกัน

F^{Follow_Skel} เป็นแรงดึงให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ตามเส้นโครงสร้างกลุ่ม

F^{Follow_Leader} เป็นแรงที่ทำให้ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ตามตัวแทนกลุ่ม

ถ้าตัวตนจำลองเป็นตัวตาม สมการการเคลื่อนที่จะเป็นดังนี้

$$F_{steer}^{follower} = w_{obs}F^{Obs} + w_{wander}F^{Wander} + w_{separate}F^{Separate} + w_{cohesion}F^{Cohesion} + w_{follow_leader}F^{Follow_Leader} + w_{follow_skel}F^{Follow_Skel}$$

ถ้าตัวตนจำลองเป็นตัวแทนกลุ่ม สมการการเคลื่อนที่จะเป็นดังนี้

$$F_{steer}^{leader} = w_{obs}F^{Obs} + w_{wander}F^{Wander} + w_{follow_{path}}F^{Follow_{path}}$$
$$+w_{leader_separation}F^{Leader_Separate}$$

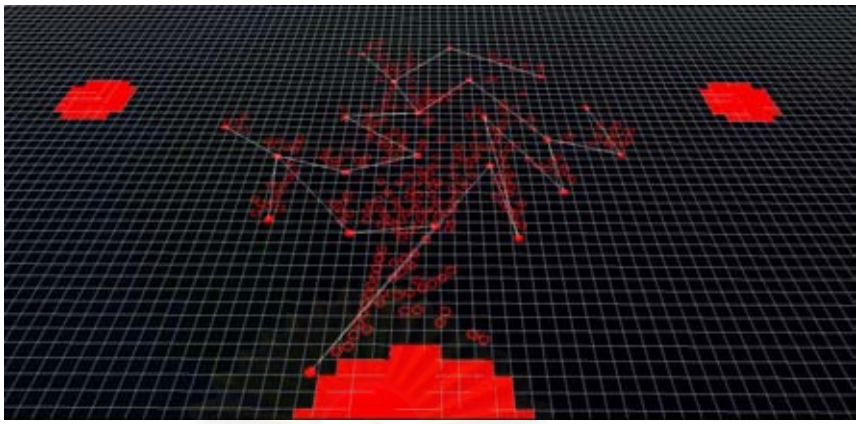
โดยที่ w เป็นค่าน้ำหนักของแรงแต่ละแรง

แรง $F_{steer}^{follower}$ และ F_{steer}^{leader} ในสมการข้างต้นเป็นแรงในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของผู้ตามและของตัวแทนกลุ่ม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงในการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของตัวตามจะไม่มีพจน์ของแรงในการเคลื่อนที่ตามเส้นทางเดิน (F^{Follow_path}) ซึ่งเป็นพจน์ที่ใช้เวลาในการคำนวณสูง จะมีเฉพาะตัวแทนกลุ่มเท่านั้น โดยในงานวิจัยอื่น ทุกตัวตนจำลองจะมีพจน์ของแรงดังกล่าวนี้ จึงเป็นสาเหตุให้ใช้เวลาในการคำนวณสูง นอกจากนั้นแล้วตัวตามจะมีพจน์ของแรงที่เคลื่อนที่ตามโครงสร้างกลุ่ม (F^{Follow_Skel}) ซึ่งจะเคลื่อนที่เข้าหาเส้นโครงสร้างที่ใกล้ที่สุด พจน์นี้จะทำให้การเคลื่อนที่ของกลุ่มพยายามรักษารูปร่างตามเส้นโครงสร้างของกลุ่ม ในการเคลื่อนที่ของตัวแทนกลุ่มจะมีพจน์ของแรงในการรักษาระยะห่างระหว่างตัวแทนกลุ่ม ($F^{Leader_Separate}$) ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดระยะห่างได้ ถ้าผู้ใช้กำหนดระยะห่างมาก ลักษณะการกระจายตัวของกลุ่มก็จะกว้างมากขึ้น ส่วนพจน์อื่นๆนั้นเป็นพจน์พื้นฐานที่มีอยู่ในการจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มคน โดยในงานวิจัยนี้มีลักษณะเด่นโดยการเพิ่มพจน์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

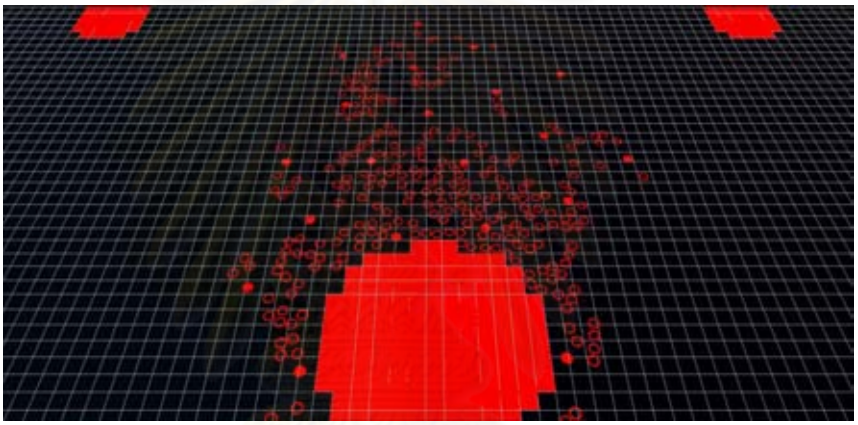
3.4.2.2 การแยกกลุ่ม

เมื่อเส้นโครงสร้างหรือกลุ่มของตัวตนจำลองเดินผ่านสิ่งกีดขวาง เส้นโครงสร้างจะยืดอันเนื่องมาจากการที่ตัวแทนกลุ่มถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งให้เคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวาง และเมื่อเส้นโครงสร้างถูกยืด ตัวตามก็จะสามารถเดินอ้อมสิ่งกีดขวางได้ ดังรูปที่ 3.12 ข.

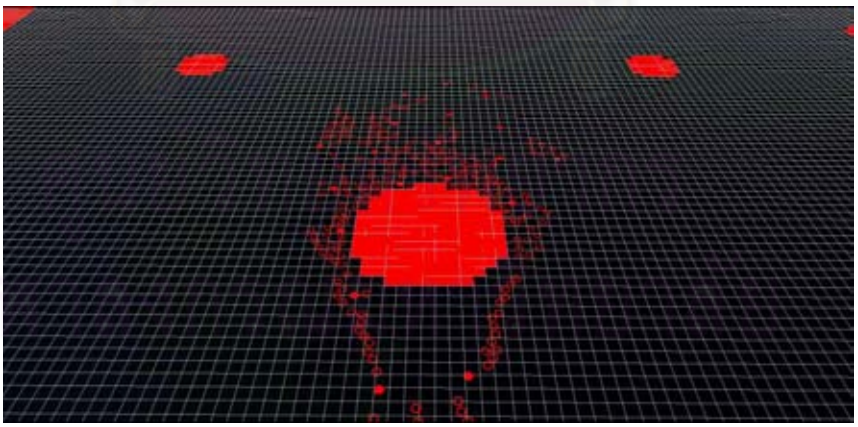
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.



ค.

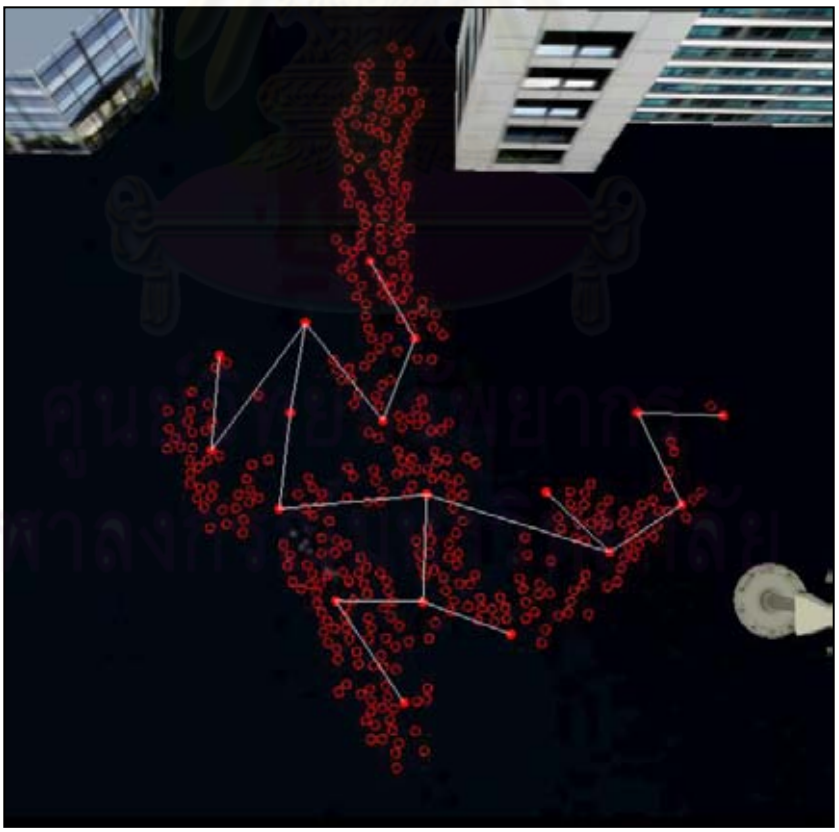
รูปที่ 3.12 พฤติกรรมการแยกกลุ่มและรวมกลุ่ม
ก. กลุ่มคนกำลังเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางด้านล่าง, ข. การแยกกลุ่ม, ค. การรวมกลุ่ม

3.4.2.3 การรวมกลุ่ม

ในขณะที่เส้นโครงสร้างผ่านสิ่งกีดขวางแล้ว ตัวแทนกลุ่มจะเคลื่อนที่เข้าหาเส้นทางของกลุ่ม จึงทำให้เส้นโครงสร้างถูกดึงให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางเดิน จึงทำให้ตัวตามเคลื่อนที่กลับเข้ามารวมกลุ่มกันอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.12 ค.

3.4.2.4 การกระจายตัวและคงรูปร่างของกลุ่ม

ในขณะที่กลุ่มคนเคลื่อนที่ เส้นโครงสร้างจะเคลื่อนที่ตาม ซึ่งจุดบนเส้นโครงสร้างนี้จะรักษาระยะห่างระหว่างกัน ยิ่งมีค่าการกระจายตัวมากเท่าไร ระยะห่างระหว่างตัวแทนกลุ่มก็จะมากขึ้นเท่านั้น และเมื่อตัวแทนกลุ่มอยู่ห่างกันมาก ตัวตามก็จะเคลื่อนที่ห่างกัน ทำให้กลุ่มมีการกระจายตัวเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.13 นอกจากกลุ่มจะมีการกระจายตัวตามที่ผู้ใช้ได้กำหนดแล้ว การเคลื่อนที่ของกลุ่มจะมีลักษณะรูปร่างเหมือนโครงสร้างของกลุ่มคน โดยตัวตามนอกจากจะเคลื่อนที่ตามตัวแทนกลุ่มที่ใกล้ที่สุดแล้ว ยังเคลื่อนที่เข้าหาเส้นเชื่อมของโครงสร้างกลุ่มที่ใกล้ที่สุด เพราะฉะนั้นลักษณะการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนสามารถคงรูปร่างตามเส้นโครงสร้างของกลุ่ม



รูปที่ 3.13 การกระจายตัวและคงรูปร่างของกลุ่มคน

3.4.3 สรุปการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน

การแทนกลุ่มคนด้วยโครงสร้างกราฟสามารถสร้างพฤติกรรมที่ซับซ้อนได้ โดยโครงสร้างสามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆกลุ่ม ซึ่งกราฟนี้สามารถยืดหดได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กลุ่มเคลื่อนที่ในลักษณะที่เปลี่ยนไป

3.5 สรุปแบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี

การแทนกลุ่มคนด้วยโครงสร้างกราฟนั้น ทำให้พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนเปลี่ยนไปคือ ตัวตามจะเคลื่อนที่ตามตัวแทนกลุ่มโดยจะเคลื่อนที่เข้าหาเส้นโครงสร้างที่ใกล้กับตัวแทนกลุ่มตัวนั้นด้วย จึงทำให้ยังคงรูปร่างของกลุ่มคนอยู่ได้ กราฟที่เป็นโครงสร้างของกลุ่มนี้สามารถยืดหดได้ แต่มีเงื่อนไขคือกราฟจะไม่สามารถหดได้น้อยกว่าช่วงระยะความยาวหนึ่ง ซึ่งระยะความยาวนี้คือตัวแปรที่สามารถปรับได้เพื่อควบคุมการกระจายตัวของกลุ่มคน ยิ่งมีการกระจายตัวมาก การหลบหลีกสิ่งกีดขวางก็จะง่ายขึ้น เพราะไม่ต้องแออัดหรือมีความหนาแน่นเกินกว่าที่จะเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวาง นอกจากนั้นการมีโครงสร้างกราฟแทนกลุ่มคนยังมีประโยชน์ต่อการแยกกลุ่มและรวมกลุ่มของตัวตนจำลองอีกด้วย กล่าวคือ เส้นโครงสร้างสามารถทำให้กลุ่มคนแยกและรวมตัวกันได้เนื่องจากตัวตามจะเคลื่อนที่ตามเส้นโครงสร้างที่อยู่ใกล้กับตัวแทนที่อยู่ใกล้กับมันมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ภาพรวมของการทดลอง

การวัดผลการทดลองในการจำลองการเคลื่อนไหวกลุ่มคนนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะพิจารณาประสิทธิภาพเชิงเวลาและพฤติกรรมที่ได้จากแบบจำลองที่นำเสนอ ซึ่งการทดลองจะทำการเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มคนที่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยีและกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

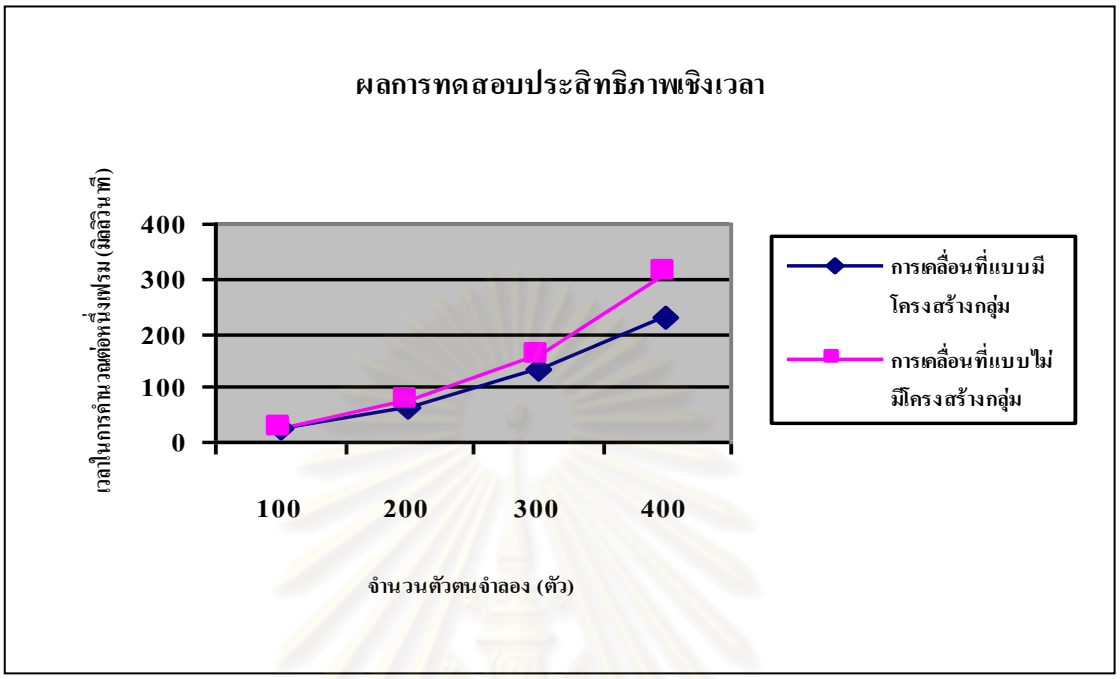
การทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาในการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน เป็นการทดสอบเพื่อที่จะอธิบายว่าแบบจำลองที่ได้เสนอได้ใช้เวลาในการคำนวณในแต่ละเฟรมมากน้อยเพียงใด และขึ้นกับปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อเวลาในการคำนวณนั้น

4.2.1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาในงานวิจัยนี้ จะเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยีและการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี ซึ่งการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยีนี้เปรียบเสมือนกับตัวตนจำลองทุกตัวในกลุ่มเป็นตัวแทนกลุ่มทั้งหมดและไม่มีโครงสร้างกราฟหรือความสัมพันธ์ใดๆในกลุ่ม ทุกตัวตนจำลองในกลุ่มจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางเดินของกลุ่มเท่านั้น ในการทดสอบจะวัดระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละเฟรม โดยคำนึงถึงปัจจัยของจำนวนตัวตนจำลองในฉาก และดูผลการทดลองว่าขนาดของจำนวนตัวตนจำลองในฉากมีผลต่อระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละเฟรมได้มากน้อยเพียงใด

4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลาจะแสดงเป็นกราฟโดยที่แกนตั้งเป็นระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละเฟรมโดยมีหน่วยวัดเป็นมิลลิวินาที ส่วนแกนนอนเป็นจำนวนตัวตนจำลองในฉาก ซึ่งค่าที่วัดผลจะเป็นกราฟสองเส้น กราฟเส้นตรงทึบสีน้ำเงินแทนการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี และกราฟเส้นตรงทึบสีชมพูแทนการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

4.2.3 สรุปการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเวลา

จากผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่า ในการทดสอบที่มีจำนวนตัวตนจำลองเท่ากัน ประสิทธิภาพเชิงเวลาของการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยีดีกว่าการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี โดยระยะเวลาจะไม่ต่างกันมากเมื่อจำนวนตัวตนจำลองในฉากมีปริมาณน้อยๆ แต่จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อจำนวนตัวตนจำลองในฉากเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มจำนวนตัวตนจำลองในฉากเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละเฟรมก็จะสูงขึ้นด้วยในทั้งสองการทดลอง

4.3 การทดสอบทางด้านพฤติกรรม

ในการจำลองการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนนั้น ส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบพฤติกรรมที่ได้ โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันเพื่อบ่งบอกว่าพฤติกรรมที่แบบจำลองสร้างมา มีข้อดีข้อเสียอย่างไรบ้างเมื่อเปรียบเทียบกับพฤติกรรมแบบอื่น

4.3.1 วิธีการทดสอบทางด้านพฤติกรรม

วิธีการทดสอบทางด้านพฤติกรรมจะเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวระหว่างการเคลื่อนไหวที่แบบจำลองที่ได้นำเสนอกับการเคลื่อนไหวที่ไม่ได้ใช้แบบจำลองที่นำเสนอ โดยจะสร้างการเคลื่อนไหวของตัวตนจำลองจำนวน 300 ตัว เคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางหลังจากนั้นจะดูว่าพฤติกรรมที่ได้จากทั้งสองการทดลองแตกต่างกันอย่างไร โดยการทดลองที่จะนำมาเปรียบเทียบเป็นการเคลื่อนที่โดยที่ทุกตัวตนจำลองเป็นตัวแทนกลุ่ม นั่นหมายความว่าตัวตนจำลองทุกตัวจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งเส้นทางที่ถูกกำหนดนี้จะลากตัดผ่านสิ่งกีดขวาง จากรูปที่ 4.2 เป็นผลการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่มีโครงสร้าง และรูปที่ 4.3 เป็นผลการเคลื่อนไหวของกลุ่มคนที่ไม่มีโครงสร้าง

4.3.2 ผลการทดสอบทางด้านพฤติกรรม

จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่เมื่อมีโครงสร้างของกลุ่มซึ่งได้นำเสนอในงานวิจัยนี้นั้น มีลักษณะการกระจายตัวของตัวตนจำลองในกลุ่ม ซึ่งเมื่อกลุ่มเจอสิ่งกีดขวาง กลุ่มคนที่ใช้แบบจำลองที่ได้นำเสนอจะมีพฤติกรรมในการหลบหลีกหรืออ้อมสิ่งกีดขวางดีกว่า โดยจากผลการทดลองกลุ่มคนที่ไม่มีโครงสร้างของกลุ่มจะเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันจนทำให้มีความหนาแน่นสูง จึงมีผลให้ตัวตนจำลองเข้าแถวเพื่ออ้อมเสา แต่การทดลองของกลุ่มคนที่มีโครงสร้างของกลุ่ม จะมีการกระจายตัวของตัวตนจำลองจึงทำให้พฤติกรรมในการหลบหลีกหรืออ้อมสิ่งกีดขวางเป็นไปในทิศทางที่ดีกว่า สังเกตได้ว่าตัวตนจำลองที่อ้อมเสา ไม่ได้เป็นไปในลักษณะเข้าแถวเรียงต่อกัน แต่จะมีการกระจายตัวอยู่ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.

ข.

ค.

รูปที่ 4.2 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบไม่มีทอพอโลยี

ก.

ข.

ค.

รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคนที่ไม่ใช้แบบจำลองโครงสร้างของกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยี

4.3.3 สรุปการทดสอบทางด้านพฤติกรรม

การเคลื่อนที่ของกลุ่มคนแบบมีโครงสร้างนั้นสามารถสร้างพฤติกรรมในการแยกกลุ่มและรวมกลุ่มได้ โดยมีลักษณะที่สามารถกระจายตัวได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือไม่เกิดพฤติกรรมการต่อแถวขึ้น

4.4 อภิปรายผลการทดลอง

จำนวนตัวตนจำลองในฉากมีผลต่อระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละเฟรม และการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนแบบมีโครงสร้างนั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าในการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนแบบไม่มีโครงสร้าง นอกจากนั้นการเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการเคลื่อนที่ของกลุ่มแบบมีโครงสร้างและไม่มีโครงสร้าง ทำให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของกลุ่มแบบมีโครงสร้างทำให้พฤติกรรมของกลุ่มมีการกระจายตัวซึ่งมีผลดีต่อการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

4.5 สรุป

การจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนโดยใช้แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มแบบมีทอพอโลยีมีประสิทธิภาพเชิงเวลามากกว่าการจำลองที่ไม่ใช้แบบจำลองที่ได้นำเสนอนี้ แต่ว่าเมื่อจำนวนตัวตนจำลองเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพทางด้านเวลาจะลดลงตามลำดับ และพฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองนี้สามารถแยกกลุ่มและรวมกลุ่มได้โดยมีการกระจายตัวเกิดขึ้นในพฤติกรรมอีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนจะคำนึงถึงความเหมือนจริงของลักษณะการเคลื่อนที่และคุณภาพของภาพ ซึ่งความเหมือนจริงของลักษณะการเคลื่อนที่จะสนใจเฉพาะตำแหน่งและทิศทางเดินของตัวตนจำลองเท่านั้น โดยไม่สนใจว่าตัวตนจำลองจะทำท่าทางแบบไหน ส่วนคุณภาพของภาพจะสนใจทั้งความเหมือนจริงของท่าทางของตัวตนจำลองและความเหมือนจริงของตำแหน่งและทิศทางด้วย ในงานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะความเหมือนจริงของลักษณะการเคลื่อนที่เท่านั้นซึ่งการคำนวณตำแหน่งในแต่ละเฟรม ทุกตัวตนจำลองจะหาทิศทางที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงสิ่งต่างๆ อาทิเช่น สิ่งกีดขวาง ตัวตนจำลอง เส้นทางเดินของกลุ่ม เป็นต้น หลังจากที่ได้ทิศทางที่เหมาะสมแล้ว ตัวตนจำลองจะใช้ทิศทางนั้นเพื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งโดยขึ้นกับความเร็วในเวลาปัจจุบัน หลังจากที่ตัวตนจำลองเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ ตัวตนจำลองจะเริ่มหาทิศทางใหม่ที่เหมาะสมอีกครั้งซึ่งเป็นการเริ่มคำนวณในเฟรมถัดไป ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา การจำลองการเคลื่อนที่ของตัวตนจำลองจะใช้เวลาในการคำนวณการเคลื่อนที่สูงถ้าทุกตัวตนจำลองเป็นตัวแทนกลุ่ม เพราะตัวแทนกลุ่มมีหน้าที่ในการหาทิศทางของกลุ่ม ถ้าทุกตัวตนจำลองใช้เวลาในการหาทิศทางที่เท่ากัน และทุกตัวตนจำลองเป็นตัวแทนกลุ่ม การคำนวณก็จะสูงมากกว่ากลุ่มที่มีตัวแทนกลุ่มเพียงไม่กี่ตัว นอกจากนี้ถ้ากลุ่มคนมีขนาดเพิ่มขึ้น การควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนจะเป็นไปได้ยากเพราะไม่มีการแทนรูปร่างของกลุ่มคน จึงทำให้การจำลองการเคลื่อนที่เป็นไปในลักษณะการจำลองการเคลื่อนที่แบบเดี่ยวหรือไม่มีการควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่แบบกลุ่มนั่นเอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้แบบจำลองในการแทนกลุ่มคนโดยมีทอพอโลยีหรือมีโครงสร้างของกลุ่มคน โดยแต่ละกลุ่มจะมีโครงสร้างของกลุ่มซึ่งมีกราฟโครงสร้างที่อธิบายถึงรูปร่างของกลุ่ม นอกจากนั้นจุดยอดของกราฟโครงสร้างนี้จะใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มซึ่งมีหน้าที่ในการหาเส้นทาง โดยคิดว่ากราฟโครงสร้างนี้จะช่วยลดเวลาในการคำนวณโดยจะคำนวณหาเส้นทางเฉพาะตัวแทนกลุ่มหรือจุดยอดของกราฟโครงสร้างและยังสามารถใช้กราฟโครงสร้างนี้เป็นตัวควบคุมรูปร่างหรือลักษณะการเคลื่อนที่ของกลุ่มคน ซึ่งแนวทางการวิจัยจะแบ่งเป็น 5 หัวข้อดังนี้ การหารูปร่างของกลุ่มคน การหาโครงสร้างจากรูปร่างของกลุ่มคน การเลือกตัวแทนกลุ่ม การปรับโครงสร้างให้เหมาะสมและการเคลื่อนไหวของกลุ่มคน การหารูปร่างของกลุ่มคนจะหาเส้นขอบของกลุ่มคนแต่ละกลุ่ม หลังจากนั้นจะหาโครงสร้างของกลุ่มคนโดยจะได้ออกมาเป็นกราฟโครงสร้าง กราฟโครงสร้างที่ได้นี้จะใช้เป็นเงื่อนไขในการเลือกตัวแทนกลุ่ม โดยตัวแทนกลุ่มจะกลายเป็นจุดยอดของกราฟมีหน้าที่ในการหาทิศทางใหม่ที่เหมาะสม เส้นโครงสร้างที่ได้นี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ จะต้องทำ

การปรับเปลี่ยนเพื่อลดทอนตัวแทนกลุ่มที่อยู่ใกล้กัน หลังจากนั้นจะทำการเคลื่อนที่โดยตัวแทนกลุ่มจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ผู้ใช้กำหนด และตัวตนจำลองตัวอื่นที่ไม่ใช่ตัวแทนกลุ่มจะเคลื่อนที่ตามตัวแทนกลุ่มและเส้นเชื่อมของโครงสร้างที่ใกล้ที่สุด นอกจากนั้นผู้ใช้ยังสามารถกำหนดระยะห่างระหว่างตัวแทนกลุ่มซึ่งจะทำให้กลุ่มมีการกระจายตัว เมื่อใช้แบบจำลองที่ได้นำเสนอมาเปรียบเทียบกับการจำลองการเคลื่อนที่แบบไม่มีโครงสร้างกลุ่ม โดยให้ทุกตัวตนจำลองเป็นตัวแทนกลุ่มและเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ผู้ใช้กำหนด ผลการทดลองปรากฏว่าแบบจำลองที่ได้เสนอนี้ใช้เวลาในการคำนวณการเคลื่อนที่เร็วกว่าแบบจำลองที่ไม่มีโครงสร้างของกลุ่ม ซึ่งผลที่ได้นี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การคำนวณและวิเคราะห์เส้นทาง โดยคิดเฉพาะตัวแทนกลุ่มซึ่งมีเพียงไม่กี่ตัวจะช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณ นอกจากนั้นกลุ่มคนยังมีการกระจายตัวหรือมีความหนาแน่นของกลุ่มคนน้อยกว่าแบบจำลองที่ไม่มีโครงสร้างกลุ่ม จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การคำนวณรอบๆ ตัวตนจำลองมีการคำนวณจำนวนน้อยครั้ง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือถ้ากลุ่มคนมีความหนาแน่นสูงการคำนวณหาทิศทางใหม่จะสูงตามไปด้วยนั่นเอง งานวิจัยนี้ยังได้ทดสอบการเคลื่อนที่ของทั้งสองแบบจำลองโดยเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวาง ผลการทดสอบปรากฏว่าแบบจำลองที่มีโครงสร้างกลุ่ม สามารถเคลื่อนที่ผ่านโดยไม่เกิดความแออัดกันของตัวตนจำลอง ในขณะที่แบบจำลองที่ไม่มีโครงสร้างกลุ่มจะมีความหนาแน่นสูงและเกิดการเคลื่อนที่แบบเรียงต่อกันเป็นแถวเพื่อหลบสิ่งกีดขวาง กล่าวโดยสรุปคือ แบบจำลองโครงสร้างกลุ่มคนแบบมีทอพอโลยีสามารถลดการคำนวณได้จริงและยังสามารถสร้างพฤติกรรมการแยกกลุ่มและการรวมกลุ่มโดยมีคุณสมบัติการกระจายตัวซึ่งถูกควบคุมโดยผู้ใช้ได้ นอกจากนั้นการเคลื่อนที่ของกลุ่มยังคงรูปร่างตามกราฟโครงสร้างของกลุ่มอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

แบบจำลองที่ได้นำเสนอนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนได้ในระดับหนึ่งโดยสามารถกำหนดระยะห่างระหว่างตัวแทนกลุ่มได้เท่านั้น ซึ่งข้อดีคือสามารถกำหนดการกระจายตัวของกลุ่มและเคลื่อนที่โดยคงรูปร่างตามโครงสร้างของกลุ่มคนได้ แต่ว่ายังไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดลักษณะรูปร่างของกราฟโครงสร้างนี้ได้ ว่าจะให้กราฟโครงสร้างนี้เคลื่อนที่ไปในลักษณะรูปร่างแบบใดเมื่อเวลาผ่านไปนานเท่าไร โดยสามารถใช้สมการทางฟิสิกส์ เช่น สปริง เข้ามาเป็นเงื่อนไขในการเคลื่อนที่ของโครงสร้างของกลุ่มให้มีความยืดหยุ่นของเส้นโครงสร้างนี้ได้ นอกจากนั้นการหารูปร่างกลุ่มคนโดยวิธีอัลฟาแบบอัตโนมัตินั้น เป็นวิธีที่น่าสนใจเพราะจะช่วยลดระยะเวลาของผู้ใช้ในการกำหนดรูปร่างของกลุ่ม แต่การจะหารูปร่างกลุ่มแบบอัตโนมัตินั้นจำเป็นจะต้องใช้เงื่อนไขบางประการในการหาค่าอัลฟาหรือรัศมีของวงกลมที่เหมาะสม เช่น ความหนาแน่นของกลุ่มคน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

[1] Pelechano, N., Allbeck, J., and Badler, N., Controlling individual agents in high-density crowd simulation, Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 99-108, 2007.

[2] Berg, J. van den, Patil, S., Sewall, J., Manocha, D., and Lin, M., Interactive navigation of multiple agents in crowded environments, Proceedings of the 2008 symposium on Interactive 3D graphics and games - SI3D '08, (2008):139.

[3] Luo, L., Zhou, S. P., Cai, W. T., Low, M., Tian, F., Wang, Y., Xiao, X., and Chen, D., Agent-based human Behavior Modeling for Crowd Simulation, Computer Animation And Virtual Worlds, 19(August 2008):271-281.

[4] Li, T.-yen, Jeng, Y.-jiun, and Chang, S.-i, Simulating virtual human crowds with a leader-follower model, Proceedings Computer Animation 2001. Fourteenth Conference on Computer Animation, (2001):93-102.

[5] Reynolds, C. W., Steering behaviors for autonomous characters, Game Developers Conference, 1999.

[6] Reynolds, C. W., Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model, ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 21(July 1987):25-34.

[7] Van den Berg, J., Lin, M., and Manocha, D., Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation, Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on, pp. 1928-1935, 2008.

[8] Lerner, A., Chrysanthou, Y., and Lischinski, D., Crowds by example, Computer Graphics Forum, pp. 655-664, 2007.

[9] Treuille, A., Cooper, S., and Popovic, Z., Continuum crowds, ACM SIGGRAPH 2006 Papers, pp. 1160-1168, 2006.

[10] Narain, R., Golas, A., Curtis, S., and Lin, M. C., Aggregate dynamics for dense crowd simulation, ACM Transactions on Graphics, 28(December 2009):1.

[11] Park, M. J., Guiding flows for controlling crowds, The Visual Computer, 26(January 2010):1383-1391.

[12] Ondrej, J., Pettre, J., Olivier, A.-H., and Donikian, S., A synthetic-vision based steering approach for crowd simulation, ACM Transactions on Graphics, 29(July 2010):1.

[13] Karamouzas, I., Geraerts, R., and Overmars, M., Indicative routes for path planning and crowd simulation, Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Digital Games - FDG '09, (2009):113.

[14] Oshita, M. and Ogiwara, Y., Sketch-based interface for crowd animation, Smart Graphics, pp. 253-262, 2009.

[15] Sud, A., Gayle, R., Andersen, E., Guy, S., Lin, M., and Manocha, D., Real-time navigation of independent agents using adaptive roadmaps, Proceedings of the 2007 ACM symposium on Virtual reality software and technology - VRST '07, (2007):99.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ศรัณย์ ศิลปภิรมย์สุข เกิดวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิตต่อในปีการศึกษา 2552 ในภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย