การจำลองฝูงชนด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยการใช้วิธีการผสานองค์ความรู้ของบุคคล

นายวีระวัฒน์ ตันติศิริวัฒน์

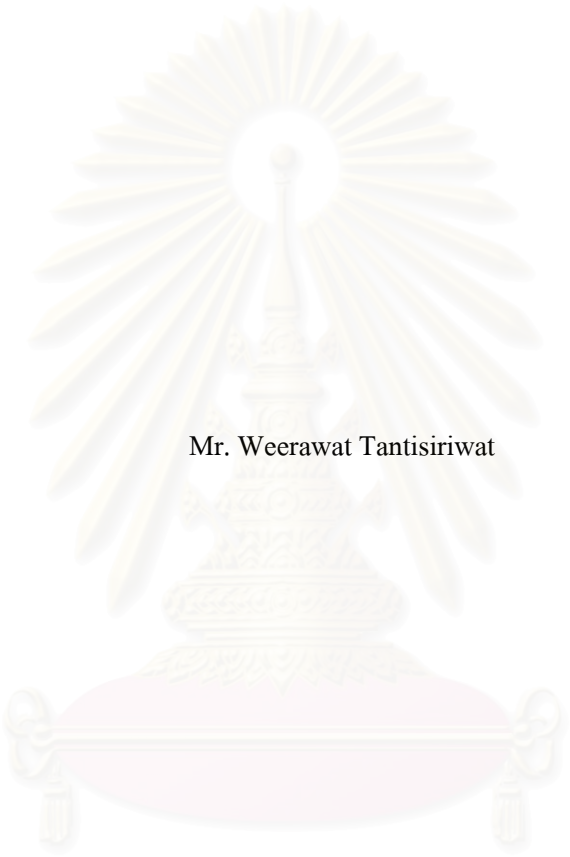
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A CROWD SIMULATION ALGORITHM USING AUTOMATIC PATH CONSTRUCTION AND ADDITIONAL KNOWLEDGE FROM INDIVIDUALS

Mr. Weerawat Tantisiriwat



สถาบันวิทยบริการ
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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองฝูงชนด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยการใช้วิธีการผสานองค์ความรู้ของบุคคล
โดย	นายวีระวัฒน์ ตันติศิริวัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญชัย โสวรรณวณิชกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชาคริต วัชโรภาส)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วีระวัฒน์ ตันติศิริวัฒน์ : การจำลองฝูงชนด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยการใช้วิธีการผสานองค์ความรู้ของบุคคล. (A CROWD SIMULATION ALGORITHM USING AUTOMATIC PATH CONSTRUCTION AND ADDITIONAL KNOWLEDGE FROM INDIVIDUALS) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.พิษณุ คนองชัยยศ, 68 หน้า.

งานวิจัยด้านการจำลองฝูงชนในปัจจุบันมักสร้างจากรูปแบบพฤติกรรมการเคลื่อนที่รูปแบบเดียว ทำให้ฝูงชนที่จำลองขึ้นมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบแผนตายตัวไม่เป็นธรรมชาติ ยิ่งไปกว่านั้นงานวิจัยส่วนใหญ่มักใช้การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไว้ล่วงหน้าเพื่อลดเวลาในการประมวลผลโดยรวมของระบบ ซึ่งไม่ยืดหยุ่นกับการจำลองการเคลื่อนที่เมื่อเปลี่ยนสถานการณ์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอวิธีการจำลองฝูงชนด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยผสานองค์ความรู้ของแต่ละตัวแทนในฝูงชน ซึ่งจะยืดหยุ่นกับการจำลองทุก ๆ สถานการณ์ เนื่องจากใช้แนวคิดการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบคิดเฉพาะแต่ละตัวแทน แต่ก็มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบคิดทั้งหมด ยิ่งไปกว่านั้นพฤติกรรมการเคลื่อนที่แต่ละบุคคลในฝูงชนจะอธิบายด้วยสมการนาเวียร์สโตกส์ ซึ่งเป็นทฤษฎีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลที่ลดความซับซ้อนในการคำนวณด้วยพลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเรียบ โดยพฤติกรรมของฝูงชนที่คำนวณได้จะไร้ซึ่งแบบแผนที่ตายตัว ในวิทยานิพนธ์ยังได้นำเสนอผลการประยุกต์ใช้วิธีการที่นำเสนอสร้างการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนที่เป็นธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขหลากหลาย ได้แก่ การเรียงตัวเป็นแถวในพื้นที่แคบ การกระจายตัวออกในพื้นที่กว้าง การหลีกเลี่ยงการชน และ การหลบหนีจากพื้นที่ที่ไม่คุ้นเคยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2549.....

4870477021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: CROWD SIMULATION / PARTICLE METHOD / FLUID DYNAMICS / SMOOTH PARTICLE HYDRODYNAMICS

WEERAWAT TANTISIRIWAT : A CROWD SIMULATION ALGORITHM USING AUTOMATIC PATH CONSTRUCTION AND ADDITIONAL KNOWLEDGE FROM INDIVIDUALS. THESIS ADVISOR : PIZZANU KANONGCHAIYOS, Ph.D., 68 pp.

Currently, crowd simulation researches are based on single-format behavior animation. This type of simulation creates the fixed-pattern animation which looks unnatural. Furthermore, most researches have to pre-compute the global path to save the processing time of the simulation. Thus, the single-format behavior is not flexible enough to simulate the dynamic environment. This thesis proposes crowd simulation with automatic path construction using individual-knowledge-merge method. The ideal is to let each agent unit construct it own local path. Therefore, the proposed method is flexible for any environment and with the efficiency comparable to the global path method. The crowd behavior is computed based on Navier-Stokes equation, the equation used in computational fluid dynamics, using smoothed particle hydrodynamics technique. The result simulation can animates crowd with unfixed-pattern. This thesis also applies crowd simulation with specific environments such as crowd forming lane in narrow area, crowd separating lane in wide area, collision avoidance of the crowd and crowd escaping from unknown area. The simulation performs naturally and efficiently.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department .....Computer Engineering... Student's signature .....

Field of study .....Computer Engineering... Advisor's signature .....

Academic year .....2006 .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยดีเพราะได้รับคำแนะนำและให้คำปรึกษาจาก อาจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ ซึ่งเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ความรู้เดิม ๆ เพื่อหลอมรวมกับความรู้รอบตัวในการสรรสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ ๆ ให้เกิดเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้น นอกจากนี้อยากจะขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์เป็นพิเศษซึ่งได้แก่ อาจารย์ ดร.โปรด ปราน บุณยพุกกณะ ผู้ซึ่งเป็นประธาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญชัย โสวรรณวณิชกุล และ อาจารย์ ดร.ชาคริต วัชโรภาส ผู้ซึ่งเป็นกรรมการ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาใช้ในการชี้แจงถึงข้อบกพร่อง รวมถึงแนวทางและข้อแนะนำดี ๆ ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมไปถึงพี่ ๆ ที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจดี ๆ ในการเผชิญหน้ากับอุปสรรค์ที่เกิดขึ้น เพื่อให้ข้าพเจ้าได้มีพลังในการฟันฝ่าอุปสรรค์ต่าง ๆ เพื่อที่จะได้ก้าวเดินมายืนอยู่ตรงจุดนี้ได้อย่างภาคภูมิใจ และยิ่งไปกว่านั้นต้องขอขอบคุณต่อการสนับสนุนทางด้านเงินทุนในการศึกษาจนจบในระดับบัณฑิตศึกษา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษาดีในการในชีวิตอย่างมีความสุขในรั้วจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแห่งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฌ
สารบัญตาราง ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
ขอบเขตของการวิจัย 2
ขั้นตอนการวิจัย 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 3
ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
1. การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ (Potential field) 5
2. สมการนาเวียร์สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) 7
3. พลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเรียบ (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) 11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
1. งานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ (Path Construction) 13
2. งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองฝูงชน (Crowd Simulation) 16
บทที่ 3 แบบจำลองฝูงชน 21
การจำลองการรับรู้ของมนุษย์จำลอง 22
1. การสร้างการรับรู้สภาพแวดล้อมด้วยการมองเห็น 22
2. การสร้างการรับรู้สภาพแวดล้อมด้วยการสื่อสาร 23
การจัดกลุ่ม 24
การสร้างและผสานแผนที่องค์ความรู้ 25
การจัดเตรียมแผนที่องค์ความรู้ 26
การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากแผนที่องค์ความรู้ 26

1. การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย 27
2. การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ไม่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย.....28
การกำหนดผู้นำกลุ่ม.....28
การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากผู้นำ.....29
การคำนวณการเคลื่อนที่ด้วยวิธีทางพลศาสตร์ของไหล 29
1. การคำนวณความหนาแน่น.....31
2. การคำนวณความดัน.....32
3. การคำนวณแรงจากความดัน 33
4. การคำนวณแรงจากความหนืด.....35
5. การคำนวณแรงจากแรงภายนอก 37
6. การคำนวณผลลัพธ์จากแรงทั้งหมด.....37
การเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใหม่.....39
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....40
การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคล 40
1. การทดลอง 40
2. ผลลัพธ์จากการทดลอง.....41
3. สรุปผลการทดลอง 52
การสร้างพฤติกรรมของฝูงชนโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล.....54
1. การทดลอง 54
2. ผลลัพธ์จากการทดลอง.....55
3. สรุปผลการทดลอง 62
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ.....64
บทสรุป.....64
แนวทางในการพัฒนาต่อ.....65
รายการอ้างอิง.....66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....68

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างจากสนามศักย์ 7
รูปที่ 2.2 การไหลของของไหลที่ไหลเข้า-ออกปริมาตรควบคุม 8
รูปที่ 2.3 ทิศทางการไหลของของไหลที่ไหลเข้า-ออกจากปริมาตรควบคุม 9
รูปที่ 2.4 ทิศทางการถ่ายโอนโมเมนตัมของของไหลในปริมาตรควบคุม 10
รูปที่ 2.5 (ก) ทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทน (ข) วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริทึมเอสตาร์ 13
รูปที่ 2.6 วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีแผนผังตามความน่าจะเป็น 15
รูปที่ 2.7 (ก) การกระจายตัวจากฝูง (ข) การเรียงตัวในฝูง (ค) การเข้าประสานกับฝูง 16
รูปที่ 2.8 (ก)ปรากฏการณ์การก่อตัวกันเป็นวงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านทางที่แคบ (ข) ทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทนจากการคำนวณผลกระทบของแรงจากผู้คนรอบข้าง 17
รูปที่ 2.9 (ก) การกระจายตัวของตัวแทนขณะเริ่มต้นการจำลอง (ข) การรวมตัวของตัวแทนในครอบครัวเดียวกัน(อนุภาคสีเดียวกัน) 17
รูปที่ 2.10 พฤติกรรมในการพยายามเคลื่อนที่หนีพื้นที่ประสบภัย (พื้นที่สีเหลือง) ของตัวแทน (อนุภาคสีต่าง ๆ) 18
รูปที่ 2.11 วิธีการกวาดรังสีเพื่อตรวจสอบพื้นที่โดยรอบของตัวแทน 19
รูปที่ 2.12 กฎในการใช้ควบคุมพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในลักษณะต่าง ๆ 19
รูปที่ 2.13 (ก) ปรากฏการณ์การหมุนเป็นวงกลมจากการเคลื่อนที่ตัดกันเป็นรูปกากบาทของตัวแทน (ข) การจำลองฝูงชนขนาดใหญ่ด้วยวิธีทางพลศาสตร์ของไหล 20
รูปที่ 3.1 (ก) ภาพจากมุมมองสามมิติของตัวแทน (ข) ขอบเขตในการมองเห็นของตัวแทน 23
รูปที่ 3.2 การกวาดรังสีตรวจสอบสภาพแวดล้อม 23
รูปที่ 3.3 (ก) การสื่อสารระหว่างตัวแทนในลักษณะสามมิติ (ข) ขอบเขตในการสื่อสารระหว่างมนุษย์จำลอง 24
รูปที่ 3.4 การจัดกลุ่มมนุษย์จำลอง 25
รูปที่ 3.5 การสร้างแผนที่ของมนุษย์จำลอง 26
รูปที่ 3.6 การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ 27
รูปที่ 3.7 การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย 27
รูปที่ 3.8 การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ไม่ครอบคลุมเป้าหมาย 28
รูปที่ 3.9 การคำนวณแรงจากความดันกับมนุษย์จำลองโดยรอบ 34
รูปที่ 3.10 ระยะห่างของฝูงชนในกลุ่มที่มีค่าคงที่ของความดันน้อยและมากตามลำดับ 35

รูปที่ 3.11 รูปแบบของฝูงชนในกลุ่มที่มีค่าคงที่ของความหนืดน้อยและมากตามลำดับ.....36
รูปที่ 3.12 วิถีในการเคลื่อนหลักของแต่ละมนุษย์จำลอง 38
รูปที่ 3.13 วิถีในการเคลื่อนที่ลัพธ์ของแต่ละมนุษย์จำลอง.....38
รูปที่ 4.1 สภาพแวดล้อมที่ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพของวิถีในการเคลื่อนที่ 41
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งของมนุษย์จำลองทั้ง 5 ในสภาพแวดล้อมจำลอง.....42
รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีแบบครอบคลุมด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน 43
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่หนึ่ง (สีแดง) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน 44
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งที่สอง (สีเขียว) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน 45
รูปที่ 4.6 ตำแหน่งที่สาม (สีเหลือง) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน.....45
รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน.....46
รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์ของแผนที่องค์ความรู้จากการผสานองค์ความรู้มนุษย์จำลองทุกคนโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน 46
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งของมนุษย์จำลองทั้ง 10 ในสภาพแวดล้อมจำลอง.....47
รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีแบบครอบคลุมด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน 48
รูปที่ 4.11 ตำแหน่งที่หนึ่ง (สีแดง) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน.....49
รูปที่ 4.12 ตำแหน่งที่สอง (สีเขียว) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน.....50
รูปที่ 4.13 ตำแหน่งที่สาม (สีส้ม) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน 50
รูปที่ 4.14 ตำแหน่งที่สี่ (สีน้ำเงิน) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน 51
รูปที่ 4.15 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน.....51
รูปที่ 4.16 ผลลัพธ์ของแผนที่องค์ความรู้จากการผสานองค์ความรู้มนุษย์จำลองทุกคนโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน 52

รูปที่ 4.17 สภาพแวดล้อมจำลองที่ประกอบไปด้วยมนุษย์จำลอง 50 คน 55
รูปที่ 4.18 การเรียงแถวเป็นแถวของมนุษย์จำลองเพื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณทางแคบในการจำลองโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล 56
รูปที่ 4.19 การไม่กระจายตัวของมนุษย์จำลองเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่กว้างในการจำลองโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล.....57
รูปที่ 4.20 การเรียงตัวเป็นแถวตามวิถีในการเคลื่อนที่ในการจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล.....57
รูปที่ 4.21 ระยะห่างระหว่างมนุษย์จำลองในตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบเป้าหมายในการจำลองโดยไม่ใช้วิธีพลศาสตร์ของไหล 58
รูปที่ 4.22 การรักษาระยะห่างระหว่างบุคคลที่ปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล.....59
รูปที่ 4.23 การเรียงตัวเป็นแถวเพื่อเคลื่อนที่ผ่านทางแคบในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล .60
รูปที่ 4.24 การกระจายตัวออกไปในพื้นที่ว่างในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล 60
รูปที่ 4.25 การรักษาระยะห่างระหว่างบุคคลพร้อมกับเคลื่อนที่ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่ในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล.....61
รูปที่ 4.26 ระยะห่างระหว่างมนุษย์จำลองในตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบเป้าหมายในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล 61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่.....53
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์จากการจำลองฝูงชน 63

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประสิทธิภาพด้านเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้ก้าวไปสู่ระดับที่สูง จึงไม่น่าแปลกใจที่ในบางครั้งมนุษย์เราจะแยกไม่ออกถึงความแตกต่างระหว่างความรู้สึกสมจริงกับความเป็นจริงจากงานด้านการจำลอง แต่เบื้องหลังของความสมจริงทางการจำลองเหล่านี้ก็ต้องประกอบไปด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการแตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่นการจำลองพฤติกรรมก็ประกอบไปด้วยทั้งปัจจัยทางด้านความสมจริงด้านความคิด การตัดสินใจ และการประเมินสถานการณ์โดยรอบเพื่อตอบสนองมันได้อย่างอัตโนมัติ หากยิ่งเป็นการจำลองในระดับของฝูงชนแล้วนั้น ยิ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นซึ่งมากกว่าการจำลองพฤติกรรมของคน ๆ เดียวเป็นอย่างมาก จึงไม่ใช่เรื่องง่ายเลยที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ให้สามารถถ่ายทอดพฤติกรรมให้มีความเป็นธรรมชาติที่สุด

การจำลองฝูงชนหมายถึงการสร้างการจำลองผู้คนหรือฝูงสัตว์ในระดับจำนวนมาก ๆ ซึ่งอาศัยอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันให้สามารถคิด วิเคราะห์ และประเมินสถานการณ์ เพื่อทำการตัดสินใจในการแสดงออกทางพฤติกรรมตามความเหมาะสมที่แตกต่างกันไปในแต่ละบุคคลได้อย่างอิสระตามแต่จุดประสงค์ของการจำลอง โดยจุดประสงค์หนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากในปัจจุบันนั่นก็คือการสร้างการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนที่ประกอบไปด้วยสองขั้นตอนหลัก ๆ คือ การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมและการสร้างพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ในระดับของฝูงชน โดยทั้งสองขั้นตอนนี้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องผ่านมาได้นำเสนอการเตรียมการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไว้ล่วงหน้าเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแนะนำทิศทางในการเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายที่กำหนดไว้ ทั้งเทคนิควิธีแผนผังตามความน่าจะเป็น (Probabilistic roadmaps) ที่ใช้สร้างวิถีในการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในสภาพแวดล้อมที่สนใจ หรือเทคนิคเอสตาร์ (A*) ที่ได้ความนิยมเป็นอย่างมากซึ่งใช้ค้นหาเส้นทางไปยังจุดหมายจากคำแนะนำของฟังก์ชันในการหยั่งรู้ (Heuristic function) นอกจากนี้การใช้สนามศักย์ (Potential field) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งสามารถแนะนำทิศทางการเคลื่อนที่ของฝูงชนไปยังจุดหมายได้อย่างเป็นธรรมชาติ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการใช้เทคนิคเหล่านี้ในการสร้างการจำลองการเคลื่อนที่นั้นต้องมีการกำหนดให้ผู้เคลื่อนที่นั้นทราบถึงวิถีในการเคลื่อนที่ทั้งหมดในสภาพแวดล้อม ซึ่งนั่นหมายความว่าเขาจะสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมได้โดยทันทีจากการแนะนำของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยปราศจากพฤติกรรมของการ

หลงทางไปโดยสิ้นเชิง ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้การจำลองพฤติกรรมการตัดสินใจในบางส่วนเกิดความไม่สมจริงในหลายงานวิจัยที่ผ่านมา

นอกจากนี้การจำลองพฤติกรรมของฝูงชนก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับความนิยมเริ่มจากพื้นฐานวิธีการแบบตัวแทน (Agent – based approach) ได้ถูกนำมาสร้างรายละเอียดทางพฤติกรรมมนุษย์ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากสามารถกำหนดการคิด การตัดสินใจและการเคลื่อนที่ของแต่ละคนได้อย่างอิสระ แต่กลับใช้เวลาประมวลผลสูงเมื่ออยู่ในระดับการจำลองของฝูงชน จึงได้มีการนำเสนองานวิจัยที่เน้นเฉพาะพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของฝูงชนซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของพฤติกรรมในฝูงชนด้วยการใช้ทฤษฎีทางของไหลมาอธิบายการเคลื่อนที่ วิธีนี้สามารถสาธิตการจำลองการเคลื่อนฝูงชนขนาดใหญ่ได้อย่างราบรื่น แต่เพราะการไม่ใช้ตัวแทนในการสร้างพฤติกรรมจึงทำให้ฝูงชนสามารถทำได้แค่เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ถูกกำหนดให้เท่านั้นซึ่งส่งผลให้ฝูงชนขาดพฤติกรรมทางด้านความคิดไปโดยสิ้นเชิง

ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนซึ่งให้ความสมจริงกับพฤติกรรมการค้นหาเป้าหมายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่คุ้นเคยซึ่งผสมผสานระหว่างการใช้พื้นฐานวิธีการแบบตัวแทนในการสร้างพฤติกรรมทางด้านความคิดซึ่งประกอบไปด้วยการค้นหาและสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ของตัวเองผสมผสานกับการนำทฤษฎีการคำนวณการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ของไหลมาใช้สร้างพฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่เป็นเอกลักษณ์ของผู้คนในระดับของฝูงชน จึงทำให้งานวิจัยนี้สามารถจำลองพฤติกรรมที่เพิ่มความสมจริงทางด้านความคิดและตัดสินใจของฝูงชนในการเลือกวิถีในการเคลื่อนไปยังเป้าหมายบนสภาพแวดล้อมที่ไม่คุ้นเคยได้อย่างเป็นธรรมชาติ โดยระบบนั้นสามารถสาธิตรูปแบบในการเคลื่อนที่ของฝูงที่เปลี่ยนไปตามเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมที่หลากหลายได้อย่างราบรื่น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำเสนอระบบจำลองฝูงชนในลักษณะสามมิติ ซึ่งสามารถสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ได้อย่างอัตโนมัติ ตลอดจนสามารถแสดงพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่คุ้นเคยได้อย่างเหมาะสมโดยการใช้วิธีการประสานองค์ความรู้ของบุคคล และสามารถสาธิตรูปแบบทางพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ที่ไม่จำกัดของฝูงชนได้ในลักษณะที่ดูราบรื่นซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของสภาพแวดล้อมโดยรอบ

ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองฝูงชนที่เน้นไปในด้านการสร้างการเคลื่อนที่ของฝูงชนจึงเป็นผลให้ตัวแทนที่ใช้ในการจำลองนี้สามารถแสดงท่าทางได้เฉพาะการก้าวเดินเท่านั้น โดยไม่สามารถแสดงพฤติกรรมหรือท่าทางอื่นๆ เช่นการโบกมือ หรือ การขยับริมฝีปาก เวลาสื่อสารกับตัวแทนอื่นๆได้ เป็นต้น

2. งานวิจัยถูกพัฒนาด้วยวิสชวลซีพลัสพลัส (Visual C++) โดยได้สร้างตัวต่อประสานกับผู้ใช้ (GUI) ด้วยไมโครซอฟท์เอ็มเอฟซี (Microsoft MFC) และทำการเรนเดอร์ (Rendering) ด้วยกราฟิกไลบารี่ที่ชื่อว่าโอเพ่นจีแอล (OPEN Graphic Library: OPENGL)

ขั้นตอนการวิจัย

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

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แบบจำลองที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ในการสร้างการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนในลักษณะที่ดูราบรื่นและเป็นธรรมชาติที่อาศัยกฎทางพฤติกรรมในการเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ซึ่งเลียนแบบจากพฤติกรรมของมนุษย์ จึงเป็นผลให้สามารถนำไปใช้ในการจำลองฝูงชนที่มีความคล้ายคลึงกับมนุษย์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย 5 บทหลักคือ บทนำ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองฝูงชน ผลลัพธ์จากการวิจัย และ บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ

ในบทแรกจะกล่าวถึงประวัติความเป็นมาและปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตในการวิจัย ขั้นตอนการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ และผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ ต่อมาในบทที่ 2 ได้อธิบายถึงทฤษฎีในการสร้างการสร้างเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ สมการนาเวียร์สโตกส์ และพลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเรียบ และกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการสร้างการจำลองฝูงชนด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยการใช้วิธีการผสานองค์ความรู้ของบุคคล ต่อมาในบทที่ 4 ได้อธิบายถึงผลลัพธ์จากการวิจัย และสุดท้ายในบทที่ 5 ได้อธิบายถึงบทสรุปของงานวิจัยและแนวทางในการพัฒนาต่อเพื่อปรับปรุงให้งานวิจัยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง “A Crowd Simulation Using Individual-Knowledge-Merge based Path Construction and Smoothed Particle Hydrodynamic” โดย วีระวัฒน์ ตันติศิริวัฒน์ อริศรา สำลีอ่ออน และ พิษณุ คนองชัยยศ ในงานประชุมวิชาการ “15th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2007 (WSCG2007)” ณ สาธารณรัฐเชกในระหว่างวันที่ 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2550 และได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง “เครื่องมือการจำลองแบบสามมิติสำหรับการอพยพหนีไฟ” โดย วีระวัฒน์ ตันติศิริวัฒน์ และ พิษณุ คนองชัยยศ ในงานประชุมวิชาการ “The 3rd Joint Conference on Computer Science and Software Engineering 2006 (JCSSE2006)” ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร ในระหว่างวันที่ 29 - 30 มิถุนายน 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของงานวิจัยนี้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ทฤษฎีในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ของตัวแทนด้วยวิธีสนามศักย์และทฤษฎีในการสร้างพฤติกรรมให้กับฝูงชนบนพื้นฐานการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ (Potential field)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีในการสร้างวิถีการเคลื่อนที่และสมการสนามศักย์ที่ใช้คำนวณต้นทุนในแต่ละตำแหน่งของสภาพแวดล้อมจำลองซึ่งอธิบายได้โดยละเอียดดังนี้

1.1 วิธีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ (Potential field) [1] เป็นวิธีการหนึ่งที่ให้ความเหมาะสมกับการจำลองการเคลื่อนที่ของตัวแทนในระดับฝูงชนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นมิได้เป็นวิถีในการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะตายตัวในทุก ๆ ครั้งของการจำลอง แต่สามารถแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในพื้นที่นั้น ยกตัวอย่างเช่น ปัจจัยด้านระยะทางหรือปัจจัยด้านความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่นั้น ๆ เป็นต้น ซึ่งให้ผลลัพธ์ในการสร้างการเคลื่อนที่ของตัวแทนในระดับของฝูงชนที่ดูราบรื่นมากกว่าการสร้างการเคลื่อนที่ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่หลัก (Main path) ที่ถูกสร้างขึ้นเตรียมไว้ตั้งแต่ก่อนเริ่มการจำลองการเคลื่อนที่ โดยขั้นตอนในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์เริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายที่จะเคลื่อนที่ไปโดยกำหนดให้มีค่าศักย์เป็นศูนย์และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะทางไกลออกไปจากจุดหมายโดยค่าที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถถูกกำหนดด้วยตัวแปรที่เป็นปัจจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของการตัดสินใจต่อการเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ของตัวแทนโดยเลียนแบบจากพฤติกรรมในบางส่วนของมนุษย์จริง สามารถอธิบายได้โดยละเอียดเป็นขั้นตอนดังนี้

1. แบ่งพื้นที่สภาพแวดล้อมออกเป็นตารางกริด และ กำหนดให้ทุกตารางกริดมีค่าศักย์เริ่มต้นเป็นค่าอนันต์ (Infinity)

2. กำหนดให้ตารางกริดที่มีพื้นที่ตรงกับตำแหน่งของเป้าหมายมีค่าศักย์เป็นศูนย์ และทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งของตารางกริดดังกล่าวลงหน่วยความจำ

3. ดึงข้อมูลของตารางกริดจากหน่วยความจำมาใช้ในการอ้างอิงการคำนวณในขั้นตอนต่อไปพร้อม ๆ กับลบข้อมูลตารางกริดดังกล่าวออกจากหน่วยความจำ โดยข้อมูลตารางกริดที่ถูกเลือกต้องเป็นข้อมูลที่ถูกเก็บลงหน่วยความจำก่อนคล้ายกับลักษณะวิธีการดึงข้อมูลแบบเข้าก่อนออกก่อน (First in first out)

4. คำนวณค่าศักย์ที่เพิ่มขึ้นในตารางกริดที่อยู่ติดกันโดยรอบกับตารางกริดที่ดึงมาใช้จากขั้นตอนที่ 3 โดยทำการเปรียบเทียบค่าศักย์ที่คำนวณได้จากสมการ (ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป) กับค่าศักย์ที่มีอยู่เดิมในตารางกริดนั้น ๆ ในกรณีที่ค่าศักย์ที่คำนวณได้จากสมการนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่มีอยู่เดิมให้ทำการปรับปรุงค่าศักย์จากเดิมเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณพร้อมกับเก็บข้อมูลของตารางกริดนั้นลงหน่วยความจำ แต่หากค่าศักย์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากันก็ให้ผ่านไปคำนวณค่าศักย์ของตารางกริดช่องถัดไป โดยขบวนการจะวนซ้ำในขั้นตอนที่ 4 นี้จนกระทั่งคำนวณครบทุกตารางกริดที่อยู่ติดกับตารางกริดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 แล้วจึงจะสามารถเข้าสู่ขั้นตอนที่ 5 ได้

5. หลังจากคำนวณค่าศักย์ครบทุกตารางกริดที่อยู่รอบตารางกริดที่อ้างอิงมาจากข้อที่ 3 แล้วขบวนการจะเริ่มวนซ้ำการคำนวณตั้งแต่ขั้นตอนในข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 5 จนกระทั่งไม่มีข้อมูลของตารางกริดเหลืออยู่ในหน่วยความจำในขั้นตอนที่ 3 จึงถือว่าเสร็จสิ้นขบวนการ โดยหากในกรณีที่เป้าหมายมีหลายจุด ระบบจะวนซ้ำการคำนวณค่าศักย์ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 จนถึงขั้นตอนที่ 5 จนครบทุกเป้าหมาย

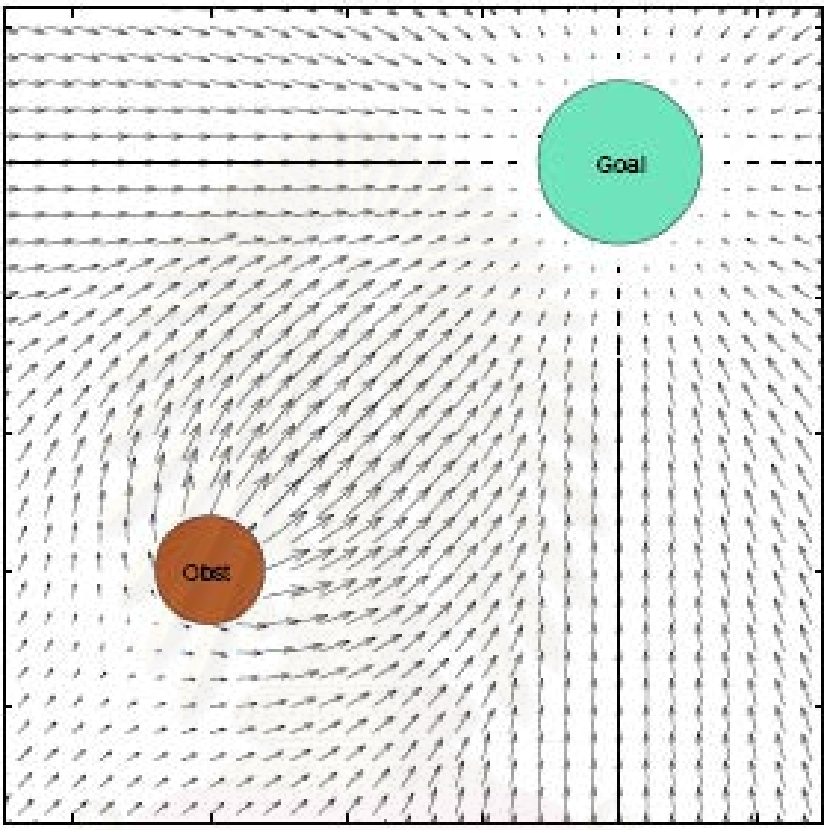
1.2 สมการสนามศักย์

ในการคำนวณค่าศักย์สามารถคำนวณได้จากสมการซึ่งเป็นตัวกำหนดความมากน้อยที่เพิ่มขึ้นของค่าศักย์ในบริเวณพื้นที่นั้น โดยสมการการคำนวณศักย์นี้ถูกสร้างขึ้นจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจในการเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุดของตัวแทน โดยปัจจัยเหล่านี้สามารถถูกกำหนดด้วยตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันเป็นสมการที่นำไปใช้ในการคำนวณในเวลาต่อมา ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยระยะทาง (S) ความหนาแน่นของประชากร (ρ) และความสะดวกในการเคลื่อนที่ (g) โดยในแต่ละปัจจัยย่อมมีความสำคัญที่แตกต่างกันไปตามแต่สถานการณ์ ดังนั้นในแต่ละตัวแปรจึงต้องมีการกำหนดน้ำหนักของความสำคัญของแต่ละตัวแปร โดยประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้กำหนดความสำคัญของระยะทาง (α) ตัวแปรที่ใช้กำหนดความสำคัญของความหนาแน่นของประชากร (β) และตัวแปรที่ใช้กำหนดความสำคัญของความสะดวกในการเคลื่อนที่ (γ) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ทั้งหมดได้ดังสมการที่ (2.1)

$$C = \alpha S_{pi} + \beta \rho_{pi} + \gamma g_{pi} \tag{2.1}$$

เมื่อ C คือค่าศักย์ที่คำนวณได้

pi คือเส้นทางจากจุดหมาย i มายังตำแหน่งในปัจจุบัน



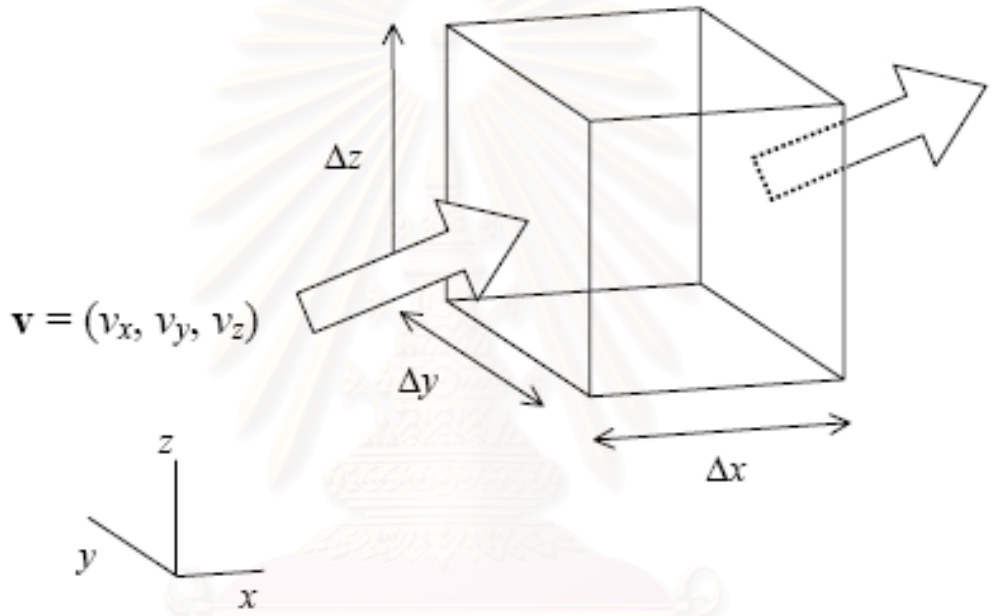
รูปที่ 2.1 วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างจากสนามศักย์

2. สมการนาเวียร์สโตกส์ (Navier-Stokes Equation)

สมการนาเวียร์สโตกส์ถูกตั้งชื่อขึ้นหลังจากเคลาด์หลุยส์นาเวียร์ (Claude-Louis Navier) และจอร์ดกาเบียลสโตกส์ (George Gabriel Stokes) ได้เซตของสมการที่สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของสสารที่เป็นของไหล อย่างเช่น ของเหลวและแก๊สได้ โดยสมการนี้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมในปริมาตรที่จำกัดของของไหลที่มีความหนืด รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงความดัน แรงโน้มถ่วงและแรงอื่นๆที่กระทำต่อของไหลดังกล่าว โดยสมการดังกล่าวถูกสร้างขึ้นจากสมการอนุพันธ์ของการอนุรักษ์ 2 สมการคือสมการการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) และสมการการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum equation) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 สมการการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

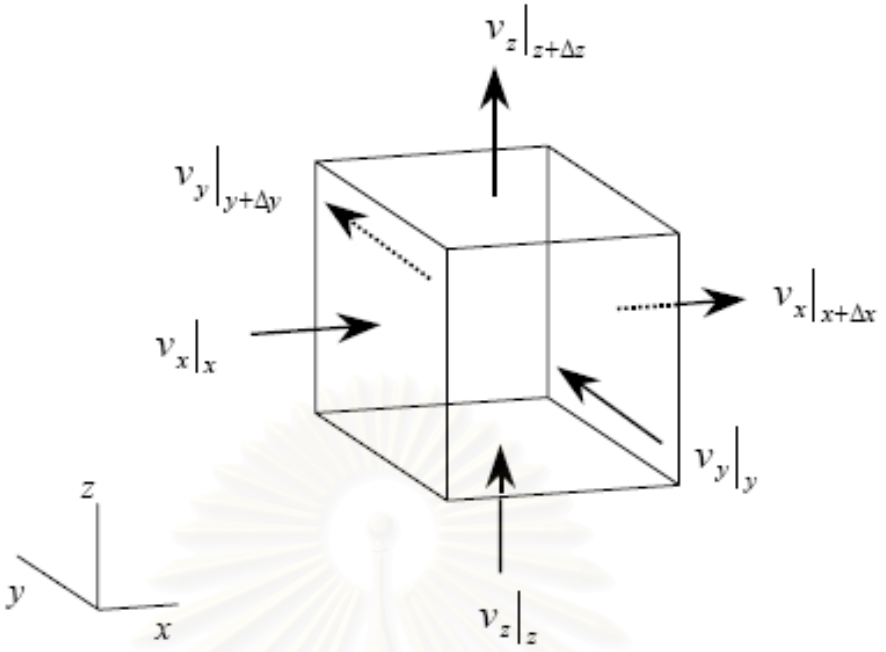
ในการพัฒนาสมการในรูปทั่วไปที่สามารถใช้กับระบบใด ๆ ก็ได้นั้น เราจะเริ่มจากการตั้งปริมาตรควบคุมที่มีรูปร่างที่ขึ้นกับระบบน้อยที่สุดก่อน ในระบบพิกัดฉากแล้วปริมาตรควบคุมที่ลักษณะสากลที่สุดนั้นคือปริมาตรควบคุมรูปกล่องขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z$ ดังแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยให้ของไหลที่ไหลเข้า-ออกจากปริมาตรควบคุมด้วยความเร็วที่แสดงด้วยเวกเตอร์ v ในทิศทางที่ไม่ขนานกับแกนใดเลย



รูปที่ 2.2 การไหลของของไหลที่ไหลเข้า-ออกปริมาตรควบคุม

เนื่องจากความเร็ว v ของของไหลสามารถแตกเวกเตอร์ออกตามแกนพิกัดฉากได้เป็น v_x, v_y และ v_z ตามลำดับ เราสามารถวาดรูปทิศทางการไหลของของไหลที่ไหลเข้า-ออกจากปริมาตรควบคุมได้ดังรูปที่ 2.3

เมื่อพิจารณาการไหลของของไหลตามแกนเอ็กซ์ (x) จะเห็นว่าของไหลไหลเข้าสู่ปริมาตรควบคุมด้วยความเร็วเชิงเส้น(Linear velocity) $v_x|_x$ ดังนั้นอัตราการไหลเชิงปริมาตรของของไหลเข้าสู่ปริมาตรควบคุมจึงมีค่าเท่ากับ $(\Delta y \Delta z)v_x|_x$ และอัตราการไหลเชิงมวลของของไหลเข้าสู่ปริมาตรควบคุมเท่ากับ $(\Delta y \Delta z)\rho v_x|_x$ เมื่อพิจารณาทั้งสามแกนแล้ว เราสามารถทำการสร้างสมการการอนุรักษ์มวลของของไหลรอบปริมาตรควบคุมได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 ทิศทางการไหลของของไหลที่ไหลเข้า-ออกจากปริมาตรควบคุม

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{[(\rho v_x)|_x - (\rho v_x)|_{x+\Delta x}]}{\Delta x} + \frac{[(\rho v_y)|_y - (\rho v_y)|_{y+\Delta y}]}{\Delta y} + \frac{[(\rho v_z)|_z - (\rho v_z)|_{z+\Delta z}]}{\Delta z} \qquad (2.2)$$

กำหนดให้ขอบเขต $\Delta x \to 0$, $\Delta y \to 0$, $\Delta z \to 0$ และจากนิยามของอนุพันธ์โดยเขียนอยู่ในรูปของเวคเตอร์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\nabla \cdot (\rho v)) \qquad (2.3)$$

2.2 สมการการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum equation)

ในทำนองเดียวกับการดุลสมการด้วยกฎการอนุรักษ์มวลเราสามารถทำการอนุรักษ์โมเมนตัมรอบปริมาตรควบคุมแบบเดียวกันได้ เนื่องจากความเร็วของของไหล v สามารถแตกเวคเตอร์ออกตามแกนพิกัดฉากได้เป็น v_x, v_y และ v_z ความเร็วในแต่ละแกนย่อมก่อในเกิดโมเมนตัมตามแกนนั้น ๆ ดังนั้นเพื่อความเข้าใจแล้วเราจะทำจะดุลสมการจากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมในทีละส่วน ที่ประกอบไปด้วยโมเมนตัมทางแกนเอ็กซ์ (x-momentum) โมเมนตัมทางแกนวาย (y-momentum) และโมเมนตัมทางแกนแซด (z-momentum)

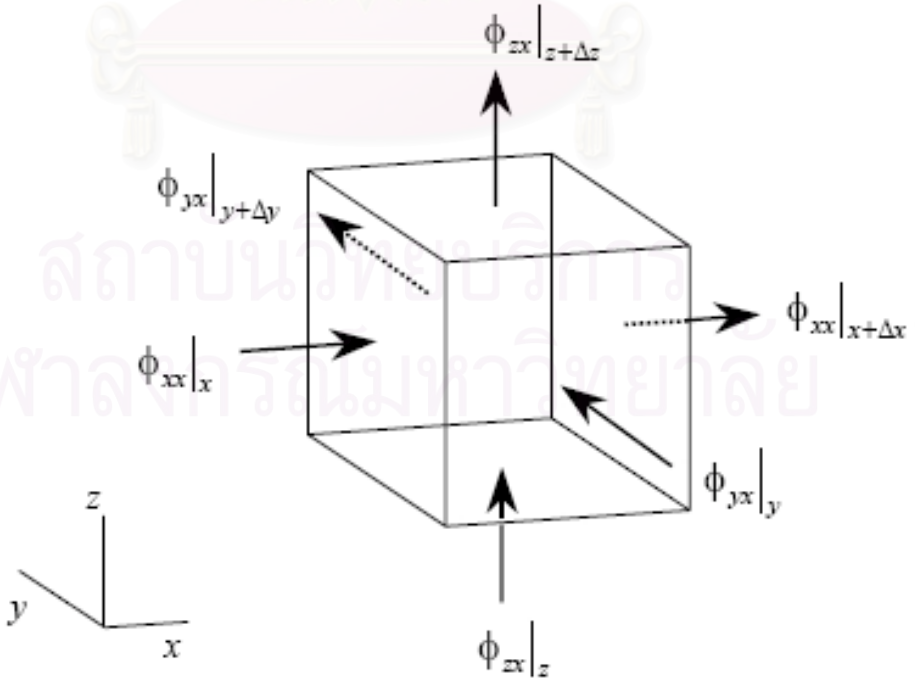
เริ่มต้นจากโมเมนตัมทางแกนเอ็กซ์ โดยโมเมนตัมทางแกนเอ็กซ์นั้นเกิดจากความเร็ว v_x ตามแกนเอ็กซ์ (x) ดังนั้นฟลักซ์ของโมเมนตัมที่ถูกรวมไว้นั้นจึงได้แก่ ϕ_{xx}, ϕ_{yx} และ ϕ_{zx} ทิศทางการถ่ายโอนโมเมนตัมเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4

จากสมการการอนุรักษ์โมเมนตัมซึ่งพิจารณาในแกนเอ็กซ์ ซึ่งแรงกระทำจากภายนอก (แรงโน้มถ่วง) ตามแกนเอ็กซ์จะมีค่าเท่ากับ g_x โดยกำหนดให้ขอบเขต $\Delta x \to 0$, $\Delta y \to 0$, $\Delta z \to 0$ และจากนิยามของอนุพันธ์จะได้

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial t} = -(\frac{\partial \phi_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \phi_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \phi_{zx}}{\partial z}) + \rho g_x \qquad (2.4)$$

จากนิยามของฟลักซ์ของโมเมนตัมที่รวมตัวกันในแต่ละแกนนั้น $\phi_{xx} = \tau_{xx} + \rho v_x v_x + P$, $\phi_{yx} = \tau_{yx} + \rho v_y v_x + P$ และ $\phi_{zx} = \tau_{zx} + \rho v_z v_x + P$ เมื่อนำมาแทนลงไปในสมการที่ (2.4) พร้อมกับกระจายพจน์ต่าง ๆ และจัดกลุ่มสมการแล้วนั้นจะสามารถเขียนสมการการอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกนเอ็กซ์ได้ดังนี้

$$\rho \frac{Dv_x}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial t} - \left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right] + \rho g_x \qquad (2.5)$$



รูปที่ 2.4 ทิศทางการถ่ายโอนโมเมนตัมของของไหลในปริมาตรควบคุม

ในทำนองเดียวกันสำหรับการดุลสมการในแนวแกนวาย (y) และแนวแกนแซด (z) จะสามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

$$\rho \frac{Dv_y}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial t} - \left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right] + \rho g_y \tag{2.6}$$

$$\rho \frac{Dv_z}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial t} - \left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right] + \rho g_z \tag{2.7}$$

เนื่องจากสมการที่ถูกสร้างขึ้นประกอบด้วยองค์ประกอบในทั้งแกนเอ็กซ์ วาย และแซด เราจึงสามารถรวมองค์ประกอบในทั้ง 3 แกน (สมการ 2.5, 2.6 และ 2.7) เข้าด้วยกันในรูปของเวกเตอร์ได้

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\nabla P - \left[\nabla \cdot \tau \right] + \rho g \tag{2.8}$$

โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาของไหลเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid) ที่มีความหนาแน่น (ρ) ความหนืด (μ) คงที่แล้ว เราสามารถเปลี่ยนพจน์ของ τ ในอยู่ในรูปของความเร็ว (v) จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\nabla P - \mu \nabla^2 v + \rho g \tag{2.9}$$

เราเรียกสมการที่ (2.9) นี้ว่าสมการนาเวียร์สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้มากในการคำนวณเกี่ยวกับการไหลของของเหลว

3. พลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเรียบ (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH)

พลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเรียบหรือเอสพีเอช [2] ถูกพัฒนาโดยลูซี่ (Lucy) จินโกลด์ (Gingold) และ โมนาฮาน (Monaghan) ในคริสตศักราช 1977 เพื่อใช้สำหรับโปรแกรมประยุกต์เชิงดาราศาสตร์ อย่างเช่นการสร้างรูปแบบและวิวัฒนาการของดาราจักร ซึ่งในเวลาต่อมาเอสพีเอชถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านการทฤษฎีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลทั้งการไหลแบบบีบอัด (Compressible flow) หรือไม่บีบอัด (Incompressible flow) การไหลแบบหลายเฟส (Multiphase flow) การถ่ายเทความร้อนและมวล (Heat and mass transfer) หรือ แม้

กระทั้งกลศาสตร์ของแข็ง (Solid mechanics) โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาวิธีการเอสพีเอชสำหรับแก้ปัญหาการไหลแบบไม่บีบอัด

ในเอสพีเอชนั้นของไหลหนึ่งๆจะถูกอธิบายด้วยอนุภาคที่รวมตัวกันด้วยคุณสมบัติหรือองค์ประกอบทางกายภาพ ยกตัวอย่างเช่น มวล ความเร็ว ความหนาแน่น ความดัน และอื่นๆ เอสพีเอชมีพื้นฐานการคำนวณจากการประมาณค่าขององค์ประกอบทางกายภาพจากกลุ่มของอนุภาคที่ไม่มีความต่อเนื่องด้วยการใช้เคอร์เนลแบบปรับเรียบ (Smoothing kernel) โดยองค์ประกอบทางกายภาพของอนุภาคหนึ่ง ๆ ถูกกำหนดด้วยผลรวมขององค์ประกอบของอนุภาคของของเหลวที่อยู่ใกล้เคียงซึ่งถูกให้ค่าน้ำหนักภายใต้ระยะทางจำกัดซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.10)

$$A_s(\vec{r}) = \sum_{j \in N} A_j \frac{m_j}{\rho_j} W(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h) \tag{2.10}$$

เมื่อ A_j คือค่าของความต่อเนื่องที่คำนวณได้ของอนุภาค j โดยที่ m_j, ρ_j คือมวลและความหนาแน่นของอนุภาค j และ N เป็นเซตของอนุภาคที่อยู่โดยรอบในช่วงความยาวที่ปรับเรียบ (Smoothing length) h ซึ่ง $W(\vec{r}, h)$ เป็นฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการสร้างความราบรื่นในเอสพีเอช โดยกำหนดให้ W=0 เมื่อ $\left|\vec{r} - \vec{r}_j\right| > h$ เพื่อจำกัดขอบเขตของผลกระทบของแรงจากอนุภาคโดยรอบ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมกับพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งจะกล่าวต่อไป

ยิ่งไปกว่านั้นผลดีจากการใช้เอสพีเอชนั่นคืออนุพันธ์ที่ได้รับมาขององค์ประกอบที่ส่งผลกระทบเฉพาะเคอร์เนลที่ปรับเรียบเท่านั้น และจากการเลือกเคอร์เนลที่สามารถแยกออกจากกันได้นั้นเราจะได้รับอนุพันธ์ของการประมาณค่าจากการหาอนุพันธ์แบบปกติ โดยความลาดชัน (Gradient) และลาปลาส (Laplacian) ของการประมาณค่าผลรวมสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.11) และ (2.12)

$$\nabla A_s(\vec{r}) = \sum_{j \in N} m_j \frac{A_j}{\rho_j} \nabla W(\vec{r} - \vec{r}_j, h) \tag{2.11}$$

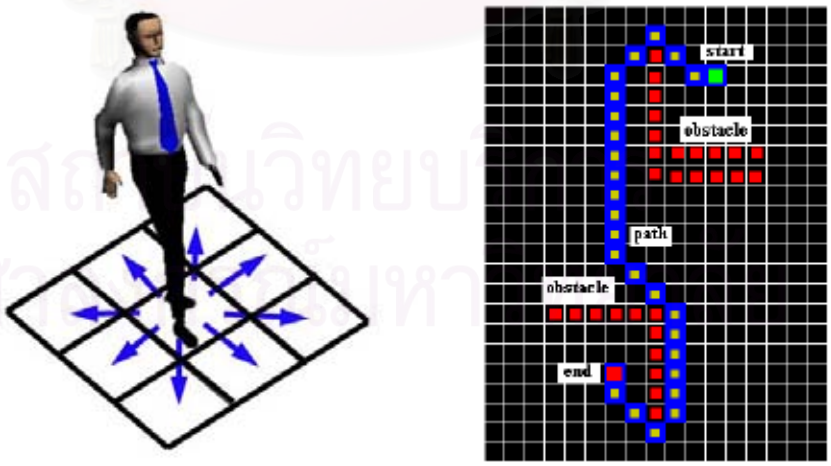
$$\nabla^2 A_s(\vec{r}) = \sum_{j \in N} m_j \frac{A_j}{\rho_j} \nabla^2 W(\vec{r} - \vec{r}_j, h) \tag{2.12}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองฝูงชนซึ่งได้รับการพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่องโดยสามารถแยกประเภทของงานวิจัยออกได้เป็น 2 ประเภทนั่นคือการสร้างวิถีในการเคลื่อนของฝูงชน และการจำลองรูปแบบของฝูงชน โดยงานวิจัยทั้งสองประเภทนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันอธิบายได้ดังนี้

1. งานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ (Path Construction)

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยรูปแบบการสืบค้นเส้นทางบนกราฟอย่างเช่นอัลกอริทึมเอสตาร์ (A*) [3] เป็นเทคนิคการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยอัลกอริทึมเอสตาร์เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายต่อหลายงานวิจัย เนื่องจากหลักการในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายมีความคล้ายคลึงกับวิธีการค้นหาข้อมูลบนกราฟ โดยขั้นตอนในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยอัลกอริทึมนี้เริ่มจากการแบ่งพื้นที่ของสภาพแวดล้อมออกเป็นตารางกริดซึ่งมีขนาดช่องตารางกริดที่เท่า ๆ กันที่เปรียบเสมือนกับปมต่าง ๆ ในกราฟ โดยช่องตารางกริดเหล่านี้จะมีตำแหน่งตรงกับพื้นที่ที่เป็นตำแหน่งที่ตัวแทนยืนอยู่และตำแหน่งที่เป็นเป้าหมายที่ตัวแทนจะเคลื่อนที่ไปในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ โดยในแต่ละช่องตารางกริดจะเชื่อมต่อกับช่องตารางกริดที่อยู่โดยรอบของตัวเองเท่านั้นซึ่งนั่นหมายความว่าตัวแทนจะสามารถเคลื่อนที่ไปในช่องตารางกริดที่เป็นไปได้มากที่สุดเท่ากับแปดช่องตารางรอบตัวดังรูปที่ 2.5 (ก) โดยหลักในการเลือกช่องตารางกริดที่จะเคลื่อนที่ไปจะใช้หลักการของวิทยาการศึกษาสำนึก (Heuristics) ในการช่วยตัดสินใจเลือกช่องตาราง กริดที่เหมาะสมซึ่งให้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.5 (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 (ก) ทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทน (ข) วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริทึมเอสตาร์

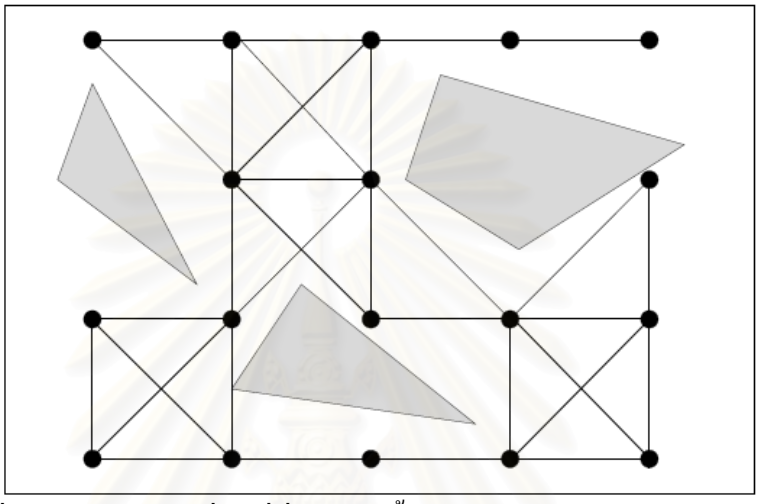
แต่เนื่องด้วยลักษณะของการเคลื่อนที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของตารางกริดจึงเป็นผลให้ลักษณะในการเคลื่อนที่ค่อนข้างดูไม่เป็นธรรมชาติซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในลักษณะของการเคลื่อนที่ในทิศทางที่เป็นทางโค้งหรือลักษณะการเลี้ยวโค้งของยานพาหนะ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากขีดจำกัดในการเลือกทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทนถูกจำกัดไว้เพียงแค่แปดทิศทางที่เป็นไปได้มากที่สุดเท่านั้นจึงเป็นผลให้ไม่สามารถจำลองการเคลื่อนที่ในทิศทางที่เป็นได้อื่น ๆ นอกเหนือจากทิศทางจากตารางกริดทั้งแปดช่องนั่นเอง นอกจากนี้การใช้การหยั่งรู้มาช่วยในการตัดสินใจเลือกทิศทางในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่นั้นมีความจำเป็นที่จะต้องรับรู้ถึงสภาพแวดล้อมโดยรวมทั้งหมดเสียก่อนจึงจะสามารถสร้างการหยั่งรู้ไปยังทิศทางที่เหมาะสมเพื่อไปยังเป้าหมายได้ ซึ่งการหยั่งรู้ถึงสภาพแวดล้อมทั้งหมดนี่เองที่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การสร้างพฤติกรรมในการตัดสินเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ของตัวแทนกลับมีข้อจำกัดด้านการสร้างพฤติกรรม เช่นการขาดพฤติกรรมการหลงทางของมนุษย์ไปโดยสิ้นเชิงซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ตัวแทนสามารถเคลื่อนที่ไปสู่เป้าหมายที่เป็นทางออกในทิศทางที่ถูกต้องเสมอจากสภาพแวดล้อมที่ไม่คุ้นเคยอย่างเช่นสภาพแวดล้อมที่เป็นเขาวงกตเป็นต้น

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีแผนผังตามความน่าจะเป็น (Probabilistic Roadmaps) หรือ พีอาร์เอ็ม (PRM) [4, 5] วิธีการนี้มีหลักการในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ที่เป็นวิถีในการเคลื่อนที่หลัก (Main Path) เพื่อใช้สำหรับแนะนำทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทนไปพร้อม ๆ กับการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมในขั้นตอนของการจำลองการเคลื่อนที่ ขั้นตอนในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการนี้เริ่มต้นจากการสุ่มจุดต่าง ๆ ลงไปในตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ และทำการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยการลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดสองจุดที่ถูกสุ่มขึ้นในสภาพแวดล้อมนั้น โดยเงื่อนไขในการลากเส้นเชื่อมนี้ประกอบไปด้วยข้อกำหนดดังนี้

1. วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นต้องเกิดจากการลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ติดกันโดยไม่ตัดผ่านสิ่งกีดขวางใด ๆ ในสภาพแวดล้อม
2. เส้นเชื่อมที่ถูกลากเชื่อมระหว่างจุดจะต้องประกอบไปด้วยจุดที่ถูกสุ่มเพียงแค่สองจุดเท่านั้นต่อเส้นเชื่อมหนึ่งเส้น

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีดังกล่าวสามารแสดงผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่หลักที่เป็นไปได้ในสภาพแวดล้อมซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.6 โดยวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้เป็นการแนะนำทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทนไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติและเนื่องจากวิธีการนี้มิได้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของตารางกริดจึงเป็นผลให้สามารถแก้ปัญหาทางด้านข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ในวิถีโค้งของตัวแทนได้อย่างเหมาะสม แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้กลับขึ้นอยู่กับวิธีการสุ่มจุดลงไปในตำแหน่งต่าง ๆ ของสภาพแวดล้อมซึ่งหากมีลักษณะ

ของการสุ่มจุดที่น้อยหรือไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่โดยรอบจะทำให้วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นไม่ครอบคลุมวิถีในการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ นั่นเอง ยิ่งไปกว่านั้นวิธีการนี้ยังมีความจำเป็นที่จะต้องรับรู้ถึงสภาพแวดล้อมโดยรวมทั้งหมดเสียก่อนจึงจะสามารถสร้างวิถีในการเคลื่อนที่หลักได้ซึ่งสิ่งนี้เองที่เป็นผลให้เกิดปัญหาด้านความสมจริงในการตัดสินใจเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายไม่ต่างจากวิธีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยเอสตาร์



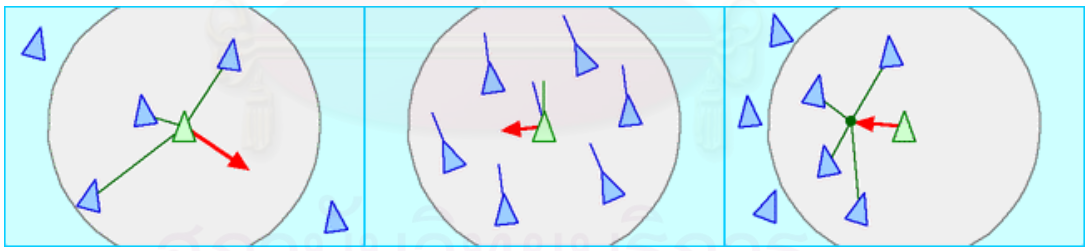
รูปที่ 2.6 วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีแผนผังตามความน่าจะเป็น

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ (Potential field) เป็นวิธีการที่มีหลักการคล้ายกับการใช้ค่าศักย์ในการสร้างแรงสำหรับผลักวัตถุให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการด้วยการนำเอาสนามศักย์ไประบุไว้ในทุก ๆ ตำแหน่งบนพื้นที่ของสภาพแวดล้อม โดยวิธีการนี้จะเปรียบตัวแทนเสมือนกับวัตถุซึ่งถูกผลักไปในทิศทางที่เป็นเป้าหมายที่ตัวแทนเหล่านี้จะทำการเคลื่อนที่ไป โดยในขั้นตอนของการสร้างนั้นเริ่มต้นจากกการแบ่งพื้นที่ของสภาพแวดล้อมออกเป็นตารางกริดเสียก่อน ซึ่งช่องตารางกริดที่ตรงกับพื้นที่ที่เป็นเป้าหมายจะถูกกำหนดให้มีค่าศักย์เป็นศูนย์ และเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีระยะทางไกลออกไปจากเป้าหมายโดยค่าศักย์ที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถคำนวณได้จากสมการคำนวณสนามศักย์ที่ประกอบไปด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการตัดสินใจเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ ยกตัวอย่างเช่นปัจจัยด้านระยะทาง ปัจจัยด้านความหนาแน่นของประชากร เป็นต้น โดยในทุก ๆ ช่องตารางกริดจะมีค่าศักย์ที่คำนวณได้จากสมการโดยค่าศักย์นี้เองที่ถูกนำมาสร้างเป็นแรงในการผลักตัวแทนเหล่านี้ให้เคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่มุ่งไปสู่เป้าหมายด้วยการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มีศักย์น้อยกว่าจากการเปรียบเทียบค่าศักย์ของช่องตารางกริดที่ตัวแทนยืนอยู่กับช่องตารางกริดที่อยู่ติดกันรอบตัวเอง จนกระทั่งมาจนถึงเป้าหมายที่มีค่าศักย์เป็นศูนย์ในที่สุด

วิธีการนี้สามารถสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของพื้นที่ต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมและยังสามารถสร้างความเป็นธรรมชาติในการเคลื่อนที่ในวิถีโค้งของตัวแทนได้อย่างเหมาะสม ยิ่งไปกว่านั้นการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยสนามศักย์นี้ยังสามารถรองรับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในระดับของฝูงชนได้เป็นอย่างดี [6] แต่ถึงอย่างไรก็ตามหลายต่อหลายงานวิจัยได้นำสนามศักย์ไปใช้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ของสภาพแวดล้อมทั้งหมดซึ่งเป็นผลให้พฤติกรรมการตัดสินใจเลือกวิถีในการเคลื่อนที่เหมาะสมส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในกรณีของการค้นหาวิถีในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่คุ้นเคยเช่นเดียวกับกรณีของการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยอัลกอริทึมเอสตาร์และวิธีพีอาร์เอ็ม

2. งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองฝูงชน (Crowd Simulation)

แบบจำลองบอยด์ส (Boids Model) [7, 8] มุ่งเน้นการสร้างพฤติกรรมในลักษณะของการรวมกลุ่มของฝูงสัตว์ โดยในงานวิจัยนี้ได้จำลองพฤติกรรมการรวมกลุ่มของฝูงนกโดยอาศัยกฎในการสร้างพฤติกรรมสามข้อที่ประกอบด้วยการแยกกันอยู่ (Separation) การปรับแนว (Alignment) และการเชื่อมติด (Cohesion) โดยการกระจายตัวในที่นี้หมายถึงพฤติกรรมในการมุ่งหน้าไปยังทิศทางที่หลีกเลี่ยงฝูงชนที่อยู่รอบข้าง การเรียงตัวหมายถึงพฤติกรรมในเคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กับฝูงชนที่อยู่รอบข้างในทิศทางและความเร็วใกล้เคียงกัน และการประสานกันหมายถึงพฤติกรรมในการพยายามเคลื่อนที่เข้ามาที่บริเวณตำแหน่งตรงกลางของฝูงชนเพื่อทำการรวมกลุ่มซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยแบบจำลองนี้เป็นพื้นฐานในการสร้างพฤติกรรมของฝูงชนในอีกหลาย ๆ งานวิจัยในเวลาต่อมา



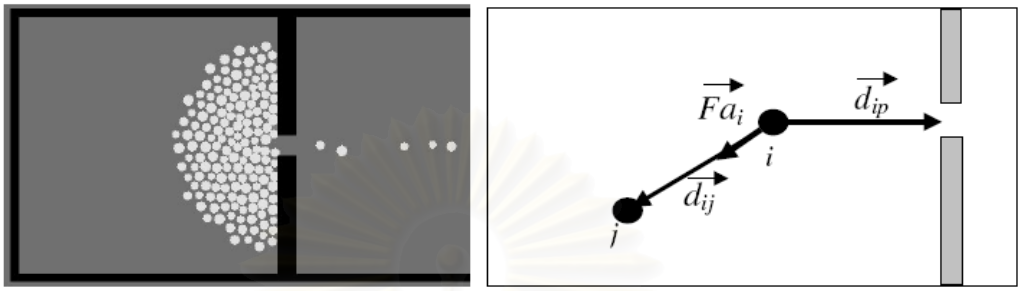
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.7 (ก) การกระจายตัวจากฝูง (ข) การเรียงตัวในฝูง (ค) การเข้าประสานกับฝูง

แบบจำลองเฮลบิง (Helbing Model) [9] มุ่งเน้นในการสร้างแบบจำลองซึ่งใช้อธิบายพฤติกรรมของฝูงชนในสภาวะคับขันเป็นหลัก โดยแบบจำลองนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อมุ่งเน้นในการสาธิตพฤติกรรมในการพยายามมุ่งหน้าออกจะพื้นที่ประสบภัยซึ่งเป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์การก่อตัวเป็นวงรอบบริเวณของเส้นทางออกที่เป็นเส้นทางที่แคบลงกว่าเส้นทางปกติ โดยแบบจำลองนี้ได้รวมเอาพฤติกรรมการพยายามไม่เคลื่อนที่ชนกับบุคคลอื่นและพฤติกรรมในการพยายามที่จะเคลื่อนที่ออกห่างจากกำแพงไปพร้อม ๆ กับการพยายามมุ่งหน้าออกจากพื้นที่ประสบภัยเข้าไว้ด้วยกันดังสมการที่ (2.13) จนก่อให้เกิดผลลัพธ์ของแรงที่มีทิศทางที่เหมาะสมกับแต่ละตัวแทนใน

พื้นที่นั้น ๆ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการนำเสนอแบบจำลองในสภาวะคับขันจึงเป็นผลให้ไม่ยืดหยุ่นกับการจำลองฝูงชนในสภาวะอื่น ๆ

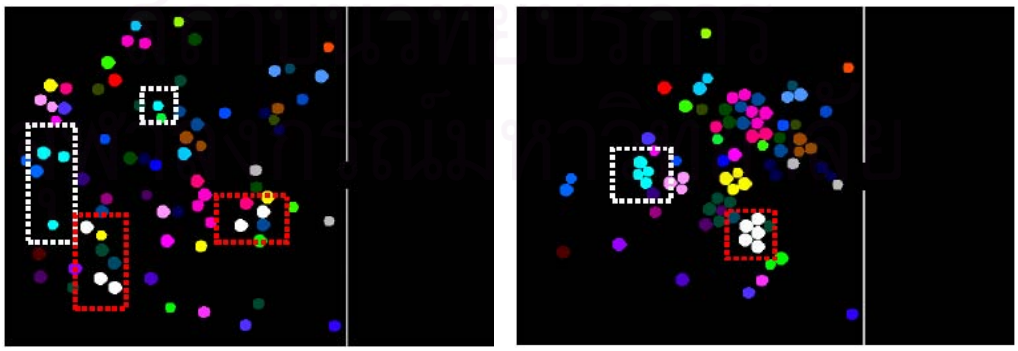
$$m_i \frac{dV_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)\vec{e}_i^{\,0}(t) - \vec{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} \vec{f}_{ij} + \sum \vec{f}_{iw} \qquad (2.13)$$



(ก) (ข)

รูปที่ 2.8 (ก)ปรากฏการณ์การก่อตัวกันเป็นวงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านทางที่แคบ (ข) ทิศทางในการเคลื่อนที่ของตัวแทนจากการคำนวณผลกระทบของแรงจากผู้คนรอบข้าง

การสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของแต่ละบุคคลในการจำลองฝูงชน (Modeling Individual Behavior in Crowd Simulation) [10] ซึ่งเน้นรายละเอียดด้านการสร้างแบบจำลองที่ใช้อธิบายพฤติกรรมในแต่ละบุคคลในระดับของการจำลองฝูงชนด้วยการกำหนดบุคลิกในแต่ละบุคคลให้ประกอบไปด้วยปัจจัยด้านในด้านต่าง ๆ ทั้งปัจจัยด้านการคำนึงถึงสมาชิกอื่น ๆ ในครอบครัว ปัจจัยด้านความสามารถในการเคลื่อนที่ ปัจจัยด้านความสามารถในการช่วยเหลือผู้อื่น และปัจจัยด้านความเร็วในการเคลื่อนที่ โดยในงานวิจัยนี้ได้สร้างรูปแบบทางพฤติกรรมซึ่งอยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองเฮลบิง ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้งานวิจัยนี้สามารถจำลองพฤติกรรมของฝูงชนในสภาวะคับขันที่ลงลึกถึงรายละเอียดทางด้านพฤติกรรมของแต่ละบุคคลได้มีความสมจริงมากขึ้นแต่ก็ยังเป็นงานวิจัยเฉพาะด้านซึ่งไม่ยืดหยุ่นกับการจำลองฝูงชนในสภาวะอื่น ๆ



(ก) (ข)

รูปที่ 2.9 (ก) การกระจายตัวของตัวแทนขณะเริ่มต้นการจำลอง (ข) การรวมตัวของตัวแทนในครอบครัวเดียวกัน(อนุภาคสีเดียวกัน)

งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองฝูงชนในสถานการณ์คับขัน (Simulating Virtual Crowds in Emergency Situations) [11] ซึ่งมุ่งเน้นไปในการพัฒนาแบบจำลองเฮลบิงให้มีความสมจริงมากขึ้นด้วยการเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมในการตัดสินใจของตัวแทนต่อสถานการณ์คับขัน โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแรงในการพยายามช่วยเหลือผู้ประสบภัยอื่นที่และแรงในการหลีกเลี่ยงต่อพื้นที่ที่เป็นอันตรายดังแสดงในสมการที่ (2.14) ด้วยเหตุนี้แบบจำลองนี้จึงสามารถสาธิตการแสดงพฤติกรรมด้านการประเมินสถานการณ์เพื่อตัดสินใจที่จะช่วยเหลือผู้ประสบภัยอื่น ๆ ให้พยายามออกห่างจากพื้นที่ประสบภัยมากที่สุดไปพร้อมกับการแสดงพฤติกรรมของตัวแทนในฝูงชนได้อย่างเป็นธรรมชาติ แต่ถึงอย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ก็ยังไม่มีความยืดหยุ่นในการสร้างการจำลองฝูงชนในสภาวะอื่น ๆ อีกเช่นกัน

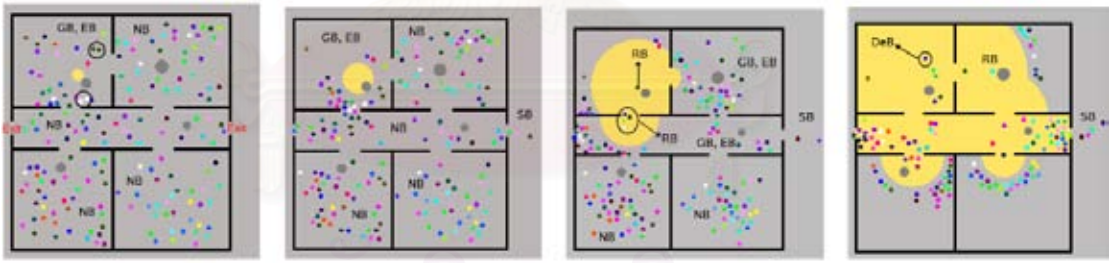
$$m_i \frac{dV_i}{dt} = F_i^{(H)} + \sum_{j \neq i} fa_{ij} + \sum_{e} f_{ie} \qquad (2.14)$$

เมื่อ $m_i \frac{dV_i}{dt}$ คือผลลัพธ์จากแรงทั้งหมด

$F_i^{(H)}$ คือแรงจากแบบจำลองเฮลบิง

$\sum_{j \neq i} fa_{ij}$ คือผลรวมของแรงในการพยายามช่วยเหลือผู้ประสบภัยโดยรอบ

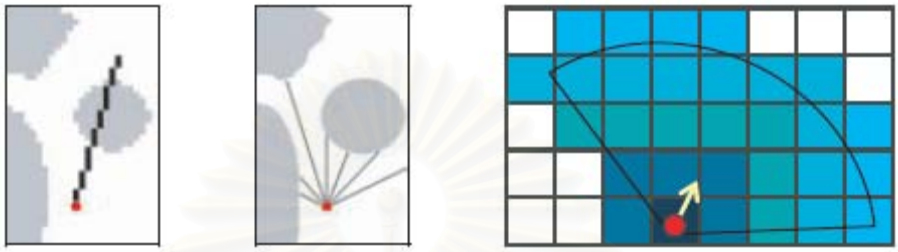
$\sum_{e} f_{ie}$ คือผลรวมของแรงในการพยายามหลีกหนีจากพื้นที่อันตราย



รูปที่ 2.10 พฤติกรรมในการพยายามเคลื่อนที่หนีพื้นที่ประสบภัย (พื้นที่สีเหลือง) ของตัวแทน (อนุภาคสีต่าง ๆ)

งานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างผู้คนเดินเท้าอัตโนมัติ (Autonomous Pedestrians) [12] ซึ่งได้นำเสนอแนวคิดในการสร้างการเคลื่อนที่ด้วยการตัดสินใจจากการประเมินสถานการณ์ในระยะที่รับรู้ได้โดยใช้วิธีการตรวจสอบด้วยการกวาดรังสีไปในรัศมีที่จำกัด โดยพฤติกรรมที่ใช้ตอบสนองต่อสถานการณ์นั้นถูกสร้างขึ้นจากกฎทางพฤติกรรมทั้ง 6 ข้อซึ่งประกอบไปด้วยการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง การเลี่ยงสิ่งกีดขวางด้วยการเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้ง การรักษาการกระจายตัวในการเคลื่อนที่ของฝูงชน การหลีกเลี่ยงผู้เดินเท้าคนอื่นที่กำลังเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ และการวิเคราะห์ทิศทางในการเคลื่อนที่ให้สัมพันธ์กับสิ่งกีดขวาง ด้วยเทคนิคนี้จึงทำให้ผู้คนเดินเท้าในงานวิจัยนี้สามารถแสดง

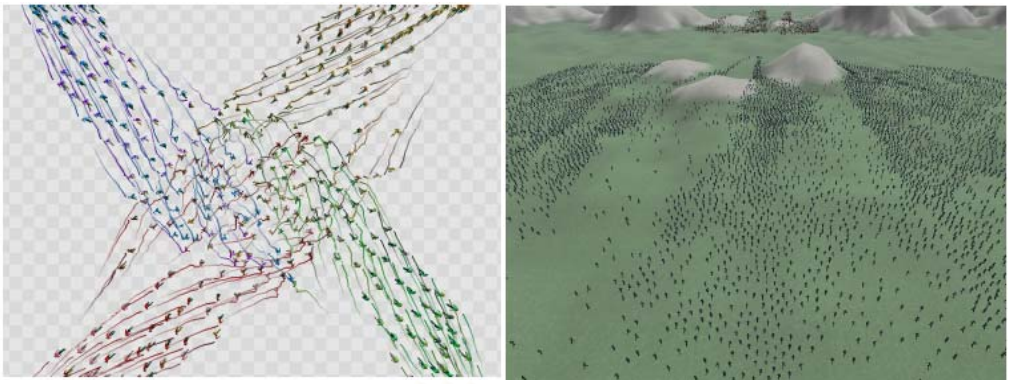
พฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมได้อย่างอัตโนมัติ แต่เนื่องด้วยกฎทางพฤติกรรมที่ใช้ในการกำหนดพฤติกรรมของตัวแทนนี้เองที่ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดทางด้านจำนวนของตัวแทนที่ใช้ในการจำลองที่ส่งผลกระทบต่อเวลาในการประมวลผลของระบบเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.11 วิธีการกวาดรังสีเพื่อตรวจสอบพื้นที่โดยรอบของตัวแทน

รูปที่ 2.12 กฎในการใช้ควบคุมพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในลักษณะต่าง ๆ

งานวิจัยเกี่ยวกับฝูงชนในสภาพต่อเนื่อง (Continuum Crowds) [6] มีจุดประสงค์ในการสร้างการจำลองฝูงชนขนาดใหญ่ในลักษณะทันกาลซึ่งไม่ใช้วิธีการบนพื้นฐานของตัวแทนในการสร้างการจำลองแต่กลับใช้วิธีการบนพื้นฐานทางพลศาสตร์ของไหลแทน โดยทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหลที่นำมาใช้สร้างรูปแบบของพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของฝูงชนนี้ใช้หลักการการคำนวณของออยเลอร์ (Eulerian) ในการอธิบายวิธีการคำนวณการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ของไหลของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ในระบบ โดยตัวแทนในงานวิจัยนี้จะเปรียบเสมือนอนุภาคของความหนาแน่นที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ถูกคำนวณไว้ตามสมการการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ของไหลซึ่งถูกสร้างขึ้นจากกฎการอนุรักษ์มวลและโมเมนตัมของอนุภาคที่ไหลเข้าและออกในพื้นที่ที่ถูกกำหนดขึ้นที่เรียกว่าปริมาตรควบคุมด้วยความเร็วและทิศทางที่แตกต่างกันไป จึงเป็นผลให้งานวิจัยนี้สามารถสร้างจำลองฝูงชนขนาดใหญ่ได้ในระดับทันกาล แต่กลับให้ผลลัพธ์ด้านรายละเอียดของการแสดงพฤติกรรมที่น้อยลงไปโดยสิ้นเชิง



(ก) (ข)

รูปที่ 2.13 (ก) ปรากฏการณ์การหมุนเป็นวงกลมจากการเคลื่อนที่ตัดกันเป็นรูปกากบาทของตัวแทน (ข) การจำลองฝูงชนขนาดใหญ่ด้วยวิธีทางพลศาสตร์ของไหล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แบบจำลองฝูงชน

แบบจำลองฝูงชนถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการจำลองพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลองจำนวนมากซึ่งอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยในการจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของฝูงชนนั้นจะแตกต่างออกไปจากการจำลองการเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลองเพียงคน ๆ เดียวออกไปโดยสิ้นเชิง ทั้งนี้เนื่องจากการจำลองฝูงชนจะประกอบไปด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมในการคิด วิเคราะห์ และ ตัดสินใจ ที่ต้องนำมาพิจารณาอีกเป็นจำนวนมาก ทั้งการรักษาระยะห่างระหว่างผู้คนในฝูงชนให้มีลักษณะการเคลื่อนที่ที่ไม่ชนกัน การรักษาระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมเพื่อให้มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบรวมกันเป็นกลุ่ม และยิ่งไปกว่านั้นการสร้างความแตกต่างในการคิดและตัดสินใจของแต่ละคนในเงื่อนไขที่แตกต่างกันไปในสภาพแวดล้อมเดียวกันนั้นค่อนข้างที่จะเป็นเอกลักษณ์ที่พบเห็นได้บ่อยครั้งในพฤติกรรมของฝูงชนจริง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเงื่อนไขที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการสร้างแบบจำลองฝูงชนให้มีลักษณะคล้ายกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยเริ่มต้นจากการสร้างการรับรู้ถึงสภาพแวดล้อมโดยรอบไปพร้อม ๆ กับการจัดกลุ่มมนุษย์จำลองแต่ละคนเข้าด้วยกันแล้วทำการสร้างหรือผสานแผนที่องค์ความรู้ของกลุ่มตัวเองจนกระทั้งครบทุกคน ต่อมาจะนำแผนที่องค์ความรู้ในแต่ละกลุ่มที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้สร้างวิถีในการเคลื่อนที่แล้วทำการเลือกมนุษย์จำลองที่มีวิถีในการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุดเป็นผู้นำและให้สมาชิกอื่น ๆ ในกลุ่มเดียวกันเป็นผู้ติดตาม หลังจากนั้นจะทำการคำนวณแรงตามทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อใช้กำหนดความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปของแต่ละมนุษย์จำลองจนกระทั้งครบทุกคน หลังจากนั้น มนุษย์จำลองจะถูกย้ายตำแหน่งไปตามแรงที่ถูกคำนวณขึ้น และขบวนการจะวนซ้ำไปสู่ขั้นตอนการรับรู้สภาพแวดล้อมของแต่ละมนุษย์จำลองและจะหยุดลงก็ต่อเมื่อมนุษย์จำลองสามารถเคลื่อนที่ไปถึงจุดหมายโดยสามารถเขียนเป็นขั้นตอนวิธี (Algorithm) และอธิบายได้โดยละเอียดดังต่อไปนี้

ในแต่ละช่วงเวลาการคำนวณ (Each time step)

สำหรับแต่ละมนุษย์จำลอง (For each individual)

- รับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบจากตำแหน่งปัจจุบัน
- จัดกลุ่ม
- สร้างหรือผสานแผนที่องค์ความรู้ของกลุ่มตนเอง

สำหรับแต่ละกลุ่ม (For each group)

- สร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากเป้าหมาย
- เลือกผู้นำของกลุ่ม

- สร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งของผู้นำ

สำหรับแต่ละมนุษย์จำลอง (For each individual)

- คำนวณแรงในการเคลื่อนที่จากทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหล

สำหรับแต่ละมนุษย์จำลอง (For each individual)

- เคลื่อนที่ไปตำแหน่งใหม่

การจำลองการรับรู้ของมนุษย์จำลอง

การรับรู้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการพัฒนาทักษะด้านต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยที่เห็นได้เด่นชัดและถูกใช้บ่อยที่สุดนั่นก็คือการมองเห็น และการสื่อสาร ความสามารถทั้งสองนี้ล้วนแล้วแต่ถูกใช้เพื่อการดำรงชีวิตประจำวันทั้งสิ้น ในงานวิจัยนี้จึงนำมาใช้ในการสร้างการรับรู้ถึงสภาพแวดล้อมต่าง ๆ รอบตัวได้ด้วยการมองเห็นหรือการรับรู้สภาพแวดล้อมได้ด้วยการสื่อสารกับบุคคลรอบข้าง ดังนั้นในส่วนนี้จึงอธิบายวิธีการนำการรับรู้ของมนุษย์มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งในการจำลองพฤติกรรมของมนุษย์จำลองที่ประกอบไปด้วยการสร้างการรับรู้ด้วยการมอง และการสร้างการรับรู้จากการสื่อสารกับมนุษย์จำลองอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง แต่ถึงอย่างไรก็ตามระยะในการรับรู้ของแต่ละบุคคลนั้นมีระดับที่แตกต่างกันไปจึงเป็นการไม่ยืดหยุ่นหากมีการระบุค่าที่ตายตัวแน่นอนในการรับรู้ให้กับมนุษย์จำลอง ด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีการกำหนดให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าในการรับรู้ผ่านตัวแปร “ระยะในการรับรู้” ให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์รอบข้าง โดยในแต่ละขั้นตอนของการสร้างการรับรู้สามารถอธิบายได้โดยละเอียดดังนี้

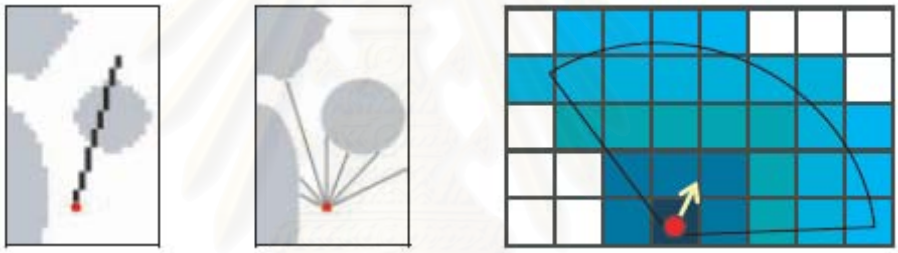
1. การสร้างการรับรู้สภาพแวดล้อมด้วยการมองเห็น

การสร้างการรับรู้ด้วยการมองเห็นนั้นเปรียบเสมือนเป็นการสร้างดวงตาให้กับมนุษย์จำลอง โดยดวงตาของมนุษย์จำลองนั้นจะมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับดวงตาของมนุษย์จริงซึ่งมีความสามารถรับรู้ถึงสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวซึ่งประกอบไปด้วยสภาพแวดล้อมของทางเดิน ผู้คน หรือ สิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นความสำคัญของการจำลองการมองเห็นให้กับมนุษย์จำลองจึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรถูกมองข้ามในการสร้างแบบจำลองเชิงพฤติกรรมมนุษย์ โดยคุณสมบัติพื้นฐานในการมองเห็นของมนุษย์จำลองที่ถูกสร้างขึ้นนั้นมีความคล้ายคลึงกับกฎพื้นฐานของมนุษย์จริง นั่นคือ ขีดจำกัดทางด้านความสามารถในการมองไม่ทะลุผ่านวัตถุทึบแสงจึงเป็นผลให้ไม่สามารถรับรู้ได้ถึงสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ด้านหลังของวัตถุทึบแสงเหล่านั้นได้ดังรูปที่3.1 ยิ่งไปกว่านั้นถึงแม้มนุษย์จะสามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ โดยรอบในระยะที่ไกลมากแต่ขีดความสามารถในการรับรู้และคาดหวังได้นั้นกลับมีขอบเขตที่จำกัดซึ่งแตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคล ด้วยเหตุนี้เองงานวิจัยนี้จึงได้มีการกำหนดขอบเขตที่จำกัดในการรับรู้ด้วยการมองเห็นขึ้นให้มีค่าเท่ากับตัวแปร “ระยะในการรับรู้” ที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้นั่นเอง โดยวิธีการที่นำมาใช้ในการสร้างการรับรู้ด้วยการ

มองเห็นตามแนวคิดและหลักการที่ได้นำเสนอไปข้างต้นแล้วนั้นก็คือ การกวาดรังสีออกไปตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ ตัวในขอบเขตที่จำกัดดังรูปที่ 3.2 โดยรังสีที่ถูกยิงออกไปนั้นจะเป็นตัวตรวจสอบสิ่งต่างๆที่อยู่โดยรอบของมนุษย์จำลองซึ่งประกอบไปด้วยสภาพแวดล้อมของทางเดิน ผู้คน และสิ่งกีดขวาง เพื่อใช้สร้างเป็นการรับรู้ด้วยการมองเห็นของมนุษย์จำลอง

(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 (ก) ภาพจากมุมมองสามมิติของตัวแทน (ข) ขอบเขตในการมองเห็นของตัวแทน

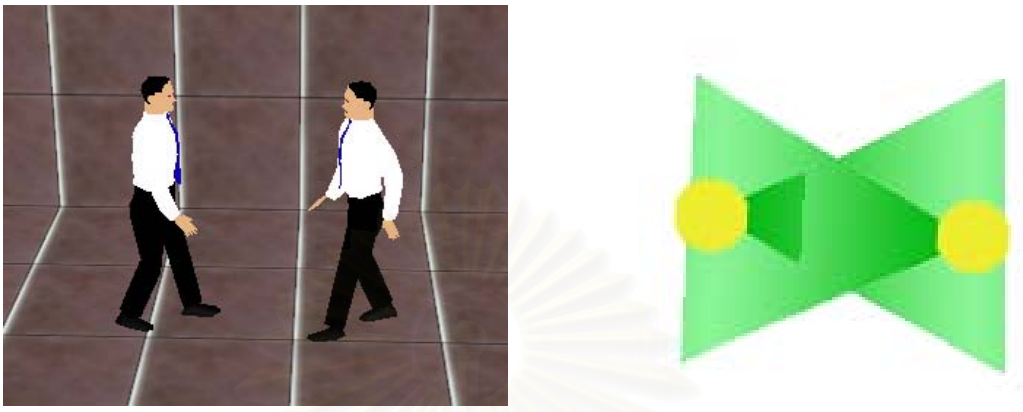


รูปที่ 3.2 การกวาดรังสีตรวจสอบสภาพแวดล้อม

2. การสร้างการรับรู้สภาพแวดล้อมด้วยการสื่อสาร

โดยปกติแล้วนั้นการสื่อสารนั้นเป็นความสามารถในการรับรู้ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ที่มากกว่าหนึ่งคนเป็นต้นไป โดยการรับรู้ชนิดนี้สามารถพบเห็นได้บ่อยครั้งในชีวิตประจำวันที่เป็นผลให้มนุษย์สามารถรับรู้สิ่งต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้นโดยมิต้องผ่านการรับรู้ด้วยการมองเห็นของตัวเอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำแนวความคิดดังกล่าวมาใช้ในการรับรู้อีกหนึ่งชนิดของแบบจำลองเชิงพฤติกรรมมนุษย์ แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการสื่อสารนั้นก็จะต้องใช้สื่อกลางอย่างน้อยหนึ่งชนิดในการสื่อสารเพื่อความเข้าใจซึ่งกันและกันโดยสิ่งที่เป็นมาตรฐานและใช้กันในทุกที่นั่นก็คือสื่อกลางที่เรียกว่า “เสียง” แต่ในทางด้านการออกแบบทางโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นั้นคงจะไม่เหมาะสมหากใช้สื่อกลางชนิดนี้ ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกที่จะใช้ระยะทางเป็นตัวกำหนดให้ความเป็นไปได้ในการสื่อสารของมนุษย์จำลองแทนที่การใช้สื่อกลางในการสื่อสารกันระหว่างบุคคล โดยระยะในการสื่อสารระหว่างคู่ของมนุษย์จำลองใด ๆ ถูกกำหนดให้มีค่าไม่เกินไปกว่า “ระยะในการรับรู้” ของมนุษย์จำลองคู่นั้น ๆ ซึ่งนั่นหมายความว่ามนุษย์จำลองที่มีระยะห่างระหว่าง

กันที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ “ระยะในการรับรู้” จะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ได้รับรู้ผ่านมา (ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าองค์ความรู้และจะกล่าวโดยละเอียดในส่วนถัดไป) ซึ่งกันและกันได้โดยทันทีดังรูปที่ 3.3 โดยไม่ต้องผ่านสื่อกลางชนิดใด ๆ



(ก) (ข)

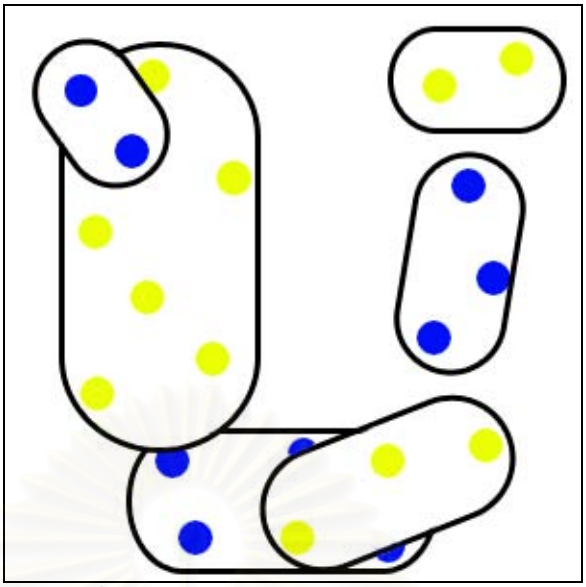
รูปที่ 3.3 (ก) การสื่อสารระหว่างตัวแทนในลักษณะสามมิติ (ข) ขอบเขตในการสื่อสารระหว่างมนุษย์จำลอง

การจัดกลุ่ม

การจัดกลุ่มถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างเหล่ามนุษย์จำลองใด ๆ ที่อยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ ของสภาพแวดล้อมจำลอง โดยมนุษย์จำลองใด ๆ ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกันนั้นจะถูกกำหนดให้มีทิศทางในการเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกันด้วยการใช้แผนที่องค์ความรู้เดียวกัน (ซึ่งจะกล่าวละเอียดต่อไป) และถูกกำหนดให้คำนึงถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ให้มีความสัมพันธ์กับสมาชิกอื่น ๆ ภายในกลุ่มเดียวกันซึ่งเป็นผลให้เกิดรูปแบบการเคลื่อนที่ที่เป็นกลุ่มขึ้น โดยกฎในการจัดกลุ่มนั้นประกอบด้วยเงื่อนไขสองข้อดังนี้

1. มนุษย์จำลองทั้งสองต้องอยู่ภายในระยะของการรับรู้ซึ่งกันและกัน
2. มนุษย์จำลองทั้งสองต้องมีเป้าหมายเดียวกัน

เมื่อมนุษย์จำลองทั้งสองมีเงื่อนไขที่ครบตามกฎทั้งสองข้อนี้มนุษย์จำลองทั้งสองจะถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันดังรูปที่ 3.4 โดยวงกลมในที่นี้ถูกใช้แทนมนุษย์จำลองในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งมนุษย์จำลองที่มีเป้าหมายเดียวกันจะแทนด้วยวงกลมสีเดียวกันและเส้นสีดำถูกใช้แทนขอบเขตของมนุษย์จำลองในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า มนุษย์จำลองที่อยู่ใกล้เคียงกันและมีเป้าหมายเดียวกันเท่านั้นที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่มนุษย์จำลองที่อยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกันแต่มีเป้าหมายที่ต่างกันหรือมนุษย์จำลองที่มีเป้าหมายเดียวกันแต่ไม่อยู่บริเวณที่ใกล้เคียงกันก็จะถูกจัดให้อยู่คนละกลุ่มกัน โดยในกรณีที่สองกลุ่มใด ๆ ที่มีเป้าหมายเดียวกันและได้เคลื่อนที่เข้ามาใกล้จนกระทั่งอยู่ภายใต้ระยะในการรับรู้แล้วนั้น กลุ่มทั้งสองจะถูกจัดรวมเป็นกลุ่มเดียวกันในที่สุด

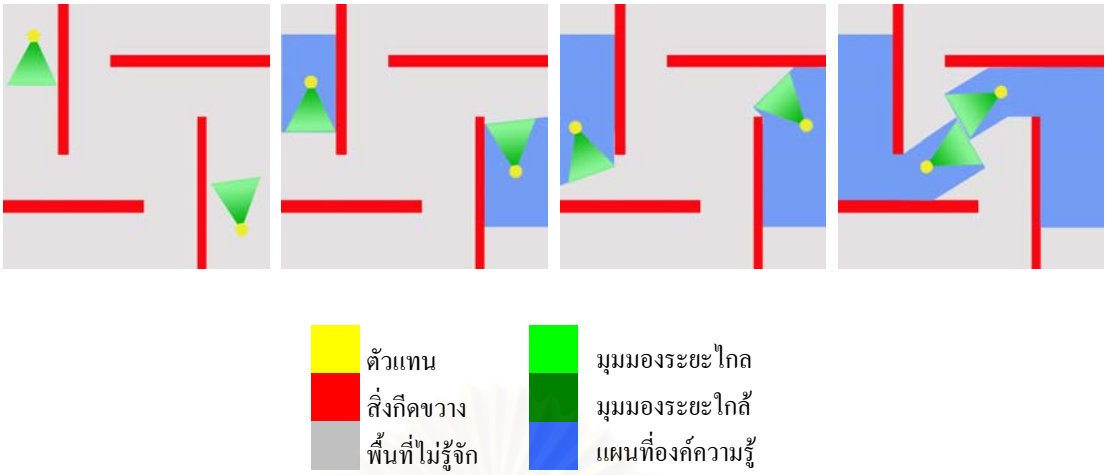


รูปที่ 3.4 การจัดกลุ่มมนุษย์จำลอง

การสร้างและผสานแผนที่องค์ความรู้

แผนที่องค์ความรู้มนุษย์จำลองถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างความทรงจำให้กับเหล่ามนุษย์จำลอง โดยขบวนการเริ่มต้นขึ้นตั้งแต่การรับรู้สิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวจากส่วนของการสร้างการรับรู้และแปรเปลี่ยนไปเป็นขบวนการของการจดจำข้อมูลต่าง ๆ เหล่านั้นได้ในขั้นตอนต่อมา โดยข้อมูลที่จดจำได้เหล่านี้เองที่ถูกเรียกว่า “องค์ความรู้” ซึ่งขบวนการที่ได้กล่าวไปข้างต้นนี้สามารถพบเห็นได้บ่อยในขบวนการเรียนรู้และจดจำของมนุษย์ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่สมควรอย่างยิ่งในการสร้างการจดจำให้กับมนุษย์จำลองเพื่อให้เกิดความคล้ายคลึงกับพฤติกรรมของมนุษย์ให้มากที่สุด โดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้คำนึงถึงการสร้างการเคลื่อนที่ให้กับฝูงชนเพียงเท่านั้นจึงเป็นผลให้องค์ความรู้ที่นำมาใช้ประโยชน์กับมนุษย์จำลองนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลเพียงสองชนิดนั่นคือ ทางเดิน และ สิ่งกีดขวาง ซึ่งข้อมูลทั้งสองชนิดนี้ถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่ขึ้นดังรูปที่ 3.5 เป็นขั้นตอนที่เรียกว่า “การสร้างและผสานแผนที่องค์ความรู้” โดยองค์ความรู้ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นจะมีความแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของมนุษย์จำลองแต่ละคนขึ้นกับประสบการณ์ที่ได้รับรู้ผ่านมาเพียงเท่านั้น โดยวิธีในการสร้างและผสานแผนที่องค์ความรู้นั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแผนที่องค์ความรู้ขึ้นใหม่ในกรณีที่ไม่มีแผนที่องค์ความรู้เดิมอยู่
2. รับข้อมูลของตำแหน่งทางเดินและสิ่งกีดขวางจากแบบจำลองการรับรู้ของมนุษย์จำลองในตำแหน่งที่ยืนอยู่ในปัจจุบัน
3. ผสานข้อมูลที่ได้รับมากับองค์ความรู้ที่มีอยู่เดิมเพื่อสร้างเป็นแผนที่องค์ความรู้ล่าสุดสำหรับทุก ๆ สมาชิกในกลุ่มเดียวกัน
4. จัดเตรียมข้อมูลในแผนที่องค์ความรู้ให้สอดคล้องกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.5 การสร้างแผนที่ของมนุษย์จำลอง

การจัดเตรียมแผนที่องค์ความรู้

การจัดเตรียมแผนที่องค์ความรู้นั้นเป็นขั้นตอนในการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ในขั้นตอนต่อไป โดยเริ่มต้นจากการนำแผนที่องค์ความรู้ที่มีอยู่มาทำการตรวจสอบหาตำแหน่งของจุดหมายที่มนุษย์จำลองนั้นจะเคลื่อนที่ไป ซึ่งหากในกรณีที่มีจุดหมายอยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของแผนที่องค์ความรู้แล้วนั้น ตำแหน่งดังกล่าวจะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ทันที (จะกล่าวโดยละเอียดในขั้นตอนต่อไป) แต่หากในกรณีที่ในแผนที่องค์ความรู้นั้นไม่มีจุดหมายปรากฏอยู่ มนุษย์จำลองจะทำการเลือกบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นที่ที่เคยรับรู้แล้วกับพื้นที่ที่ไม่เคยรับรู้ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า “พื้นที่เชื่อมต่อ” เป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลอง โดยสาเหตุที่กำหนดให้พื้นที่เชื่อมต่อเป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการสร้างการเคลื่อนที่นั้น เนื่องจากพื้นที่เชื่อมต่อดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่จะนำพามนุษย์จำลองไปสู่สภาพแวดล้อมใหม่ ๆ ที่ยังไม่เคยรับรู้มาก่อน โดยจะส่งผลให้แผนที่องค์ความรู้ได้แผ่ขยายกว้างขึ้นจนกระทั่งสามารถค้นพบจุดหมายได้ในที่สุด

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากแผนที่องค์ความรู้

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากแผนที่องค์ความรู้นั้นจะต้องประกอบไปด้วยการตัดสินใจเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมในการตัดสินใจเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ในการเคลื่อนที่ซึ่งเลียนแบบมาจากพฤติกรรมของมนุษย์ โดยในการเปรียบเทียบหาความเหมาะสมในแต่ละวิถีในการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ สามารถคำนวณได้จากต้นทุนที่เสียไปในการก้าวเดินไปในตำแหน่งถัดในวิถีในการเคลื่อนที่นั้น ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยระยะทาง ความหนาแน่นของผู้คน และความไม่สะดวกในการเคลื่อนที่ โดยแต่ละปัจจัยถูกกำหนดให้มีน้ำหนักของความสำคัญที่ต่างกันด้วยตัวแปรที่ปรับค่าได้ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของ

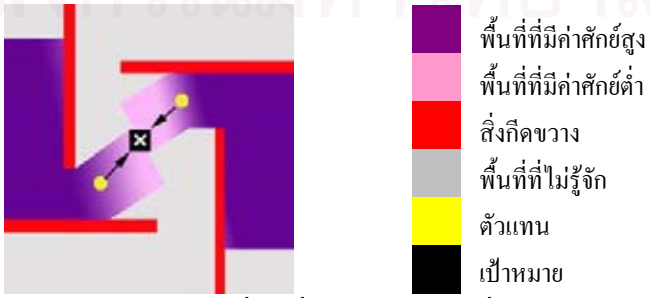
สมการที่ (2.1) ซึ่งได้นำเสนอไว้ในส่วนของทฤษฎีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์เพื่อใช้สร้างวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่แตกต่างกันให้กับมนุษย์จำลอง

วิธีการเริ่มต้นจากการกำหนดให้เป้าหมายมีค่าเท่ากับศูนย์และเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ ตามต้นทุนที่หาได้จากสมการที่ (2.1) เมื่อมีระยะไกลออกไป โดยเรากำหนดให้มนุษย์จำลองสามารถสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากการคำนวณในสภาพแวดล้อมที่เคยรับรู้มาจากองค์ความรู้ของกลุ่มตนเอง มิใช่คำนวณจากสภาพแวดล้อมทั้งหมด จึงเป็นผลให้มนุษย์จำลองสามารถเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมได้จากองค์ความรู้ของกลุ่มตนเองเท่านั้น และเนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ใช้การคำนวณการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไว้ล่วงหน้าจึงเป็นผลให้สามารถแบ่งการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ออกได้เป็นสองประเภท คือ การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย และการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ไม่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

รูปที่ 3.6 การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์

1. การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย

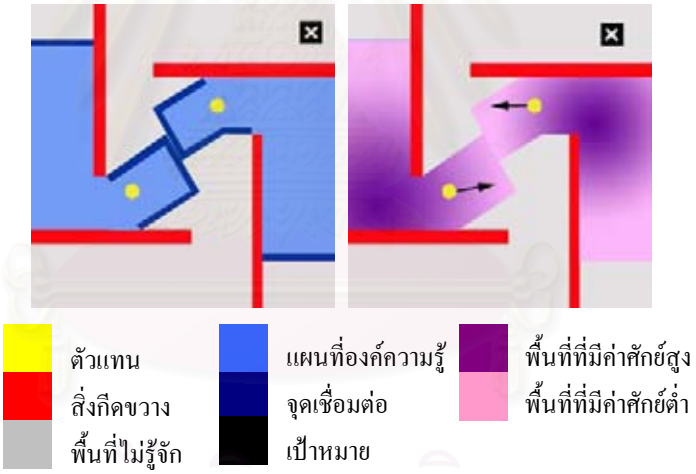
มนุษย์จำลองที่มีองค์ความรู้ครอบคลุมถึงเป้าหมายที่ถูกกำหนดขึ้น หมายความว่าเขาสามารถรับรู้ได้ถึงวิถีในการเคลื่อนที่ที่นำไปสู่เป้าหมายได้อย่างน้อยหนึ่งทาง ด้วยเหตุนี้เอง สนามศักย์จึงถูกสร้างขึ้นได้โดยเริ่มจากจากเป้าหมายมายังตำแหน่งที่มนุษย์จำลองยืนอยู่ได้โดยตรง โดยกำหนดให้สร้างจากองค์ความรู้ที่มีอยู่ของตัวเองเท่านั้นตามที่ได้อธิบายในข้างต้น ทั้งนี้เพื่อความสามารถสร้างการตัดสินใจในการเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ได้อย่างเหมาะสมดังแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย

2. การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ไม่ครอบคลุมถึงเป้าหมาย

เนื่องจากการไม่ใช้การเตรียมการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ล่วงหน้าในการกำหนดให้ทุกบุคคลได้รับรู้ถึงวิถีในการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อม ดังนั้นมนุษย์จำลองในงานวิจัยนี้จึงไม่ทราบถึงวิถีในการเคลื่อนที่ที่จะนำไปสู่เป้าหมายที่กำลังจะมุ่งไปจึงเป็นผลให้ไม่สามารถกำหนดจุดเริ่มต้นในการสร้างการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดเป้าหมายรองขึ้นเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีศักย์แทนที่ในกรณีที่ตัวแทนมีองค์ความรู้ไม่ครอบคลุมถึงเป้าหมายหลัก โดยเป้าหมายรองในที่นี้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่ในองค์ความรู้ที่มีอาณาบริเวณซึ่งติดกับอาณาบริเวณของพื้นที่ในสภาพแวดล้อมที่ยังไม่เคยรู้จักมาก่อน ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าพื้นที่เชื่อมต่อดังพื้นที่ที่เป็นสีน้ำเงินเข้มในรูปที่ 3.8 โดยพื้นที่เชื่อมต่อทั้งหมดนี่เองที่ถูกกำหนดให้มีค่าศักย์เป็นศูนย์แทนที่จุดหมายหลักที่ไม่ทราบตำแหน่งที่แน่นอนแล้วทำการคำนวณต้นทุนที่เพิ่มขึ้นไปตามทฤษฎีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีสนามศักย์ โดยเหตุผลที่เลือกจุดเชื่อมต่อเป็นเป้าหมายที่จะเคลื่อนที่ไปนั้นเนื่องจากจุดเชื่อมต่อจะส่งผลให้มนุษย์จำลองได้รับรู้ถึงสภาพแวดล้อมใหม่ ๆ ซึ่งในบางครั้งจะนำไปสู่เป้าหมายหลักต่อไปในที่สุด



รูปที่ 3.8 การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากองค์ความรู้ที่ไม่ครอบคลุมเป้าหมาย

การกำหนดผู้นำกลุ่ม

ผู้นำกลุ่มหมายถึงผู้ที่มีสิทธิในการตัดสินใจเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับกลุ่มของตนเอง โดยในระบบการจำลองฝูงชนนี้กำหนดให้ในแต่ละกลุ่มจะประกอบไปด้วยสมาชิกที่เป็นผู้นำกลุ่มเพียงคนเดียวนอกจากนั้นสมาชิกคนอื่น ๆ จะถูกกำหนดให้เป็นผู้ตาม โดยผู้นำในแต่ละกลุ่มจะสามารถถูกผลัดเปลี่ยนเป็นสมาชิกคนใดก็ได้ในกลุ่มของตน โดยหลักเกณฑ์ในการเลือกผู้นำในแต่ละกลุ่มนั้นจะพิจารณาจากค่าสนามศักย์ที่คำนวณได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ที่แต่ละมนุษย์จำลองอาศัยอยู่ โดยมนุษย์จำลองที่อาศัยอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าศักย์น้อยนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นผู้นำ

เสมอ ผู้นำจะเป็นผู้กำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่หลักให้กับกลุ่มของตนโดยการอ้างอิงจากสนามศักย์ที่ถูกสร้างขึ้นจากเป้าหมายในแผนที่องค์ความรู้ และผู้ตามจะมีหน้าที่ในการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ผู้นำเลือกที่จะเคลื่อนที่ไปด้วยการอ้างอิงจากสนามศักย์ที่ถูกสร้างขึ้นจากผู้นำ (ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในส่วนถัดไป) ซึ่งเป็นผลให้สมาชิกทุกคนในกลุ่มเดียวกันเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากผู้นำ

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากผู้นำนั้นเป็นการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ให้กับสมาชิกคนอื่น ๆ ในกลุ่มตนเองให้สามารถเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ผู้นำจะเคลื่อนที่ไป โดยวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นจะใช้วิธีการเดียวกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากเป้าหมาย ด้วยการเริ่มต้นจากการกำหนดให้ตำแหน่งที่ผู้นำกลุ่มอาศัยอยู่เป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ซึ่งถูกกำหนดให้มีค่าศักย์เป็นศูนย์และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีระยะทางที่ห่างไกลของไปที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.1) โดยเรากำหนดให้การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่จากผู้นำนั้นต้องถูกการสร้างขึ้นภายในสภาพแวดล้อมที่เคยรับรู้มาจากองค์ความรู้ของกลุ่มตนเอง มิใช่คำนวณจากสภาพแวดล้อมทั้งหมดจึงเป็นผลให้มนุษย์จำลองซึ่งเป็นผู้ตาม สามารถเลือกวิถีในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมได้จากองค์ความรู้ของกลุ่มตนเองเท่านั้น

การคำนวณการเคลื่อนที่ด้วยวิธีทางพลศาสตร์ของไหล

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีในการสร้างการเคลื่อนที่ด้วยการนำการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมาใช้อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของฝูงชน โดยทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหลนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานสมการนาเวียร์สโตกส์ที่สามารถอธิบายลักษณะในการเคลื่อนที่ของของไหลในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง โดยในแบบจำลองฝูงชนนี้จะอธิบายทฤษฎีการคำนวณทางพลศาสตร์ของด้วยวิธีการของลากรานจ์ที่คำนวณการเคลื่อนที่ของของไหลในลักษณะของการเฝ้าสังเกตุการเคลื่อนที่ในแต่ละอนุภาคของของไหลไปยังพื้นที่ใด ๆ เมื่อเวลาผ่านไป วิธีการนี้สามารถรับรู้ถึงรายละเอียดทางพฤติกรรมในแต่ละอนุภาคของของไหลได้มากกว่าการอธิบายการเคลื่อนด้วยวิธีของออยเลอร์ที่คำนวณการเคลื่อนที่โดยการเฝ้าสังเกตพื้นที่ในขอบเขตที่จำกัดที่ของไหลไหลผ่าน จึงเป็นผลให้สามารถนำวิธีการดังกล่าวมาปรับใช้กับการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนที่เฝ้าสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของผู้คนไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมด้วยการปรับเปลี่ยนลักษณะของคนให้อยู่ในรูปของอนุภาคของของไหลที่พร้อมจะเคลื่อนที่ไปตามผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจากสมการนาเวียร์สโตกส์ดังแสดงในสมการที่ (2.9) โดยจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้ในเทอมทางซ้ายนั้นเกิดจากผลบวกของทั้ง 3 พจน์ในเทอมทางขวาของสมการที่ความสำคัญและความหมายที่แตกต่างกันออกไปตามทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหลซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

$-\nabla p$ เป็นพจน์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ทางด้านความดันของของไหลในตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมหรือระบบเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

$\mu\nabla^2\vec{v}$ เป็นพจน์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ทางด้านความหนืดของของไหลในตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมหรือระบบเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

$\vec{f}$ เป็นพจน์ที่ใช้อธิบายแรงกระทำจากภายนอกที่ส่งผลต่อของไหลในตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมหรือระบบเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

$\rho\frac{D\vec{v}}{Dt}$ เป็นผลรวมของความสัมพันธ์ทั้งหมดของของไหลในตำแหน่งต่างๆในสภาพแวดล้อมหรือระบบเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

จากความหมายในแต่ละพจน์ของสมการนาเวียร์สโตกส์นี้สามารถนำมาปรับใช้กับการสร้างการเคลื่อนที่ให้กับแต่ละมนุษย์จำลองในฝูงชนด้วยการแปลงสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปผลลัพธ์ของแรงที่เกิดจากการบวกกันระหว่างแรงที่เกิดจากความดัน แรงที่เกิดจากความหนืด และแรงที่เกิดจากแรงกระทำจากภายนอกตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.1) และสามารถสรุปหน้าที่และความสำคัญของแต่ละแรงได้ดังนี้

$$\sum \vec{f}_i = \vec{f}_i^{\,pressure} + \vec{f}_i^{\,visc} + \vec{f}_i^{\,ext} \tag{3.1}$$

$\vec{f}_i^{\,pressure}$ เป็นแรงที่เกิดจากพจน์ของความดัน ($-\nabla p$) ที่ส่งผลให้มนุษย์จำลองมีการเคลื่อนที่ที่ไม่ชนกับมนุษย์จำลองคนอื่น ๆ ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน

$\vec{f}_i^{\,visc}$ เป็นแรงที่เกิดจากพจน์ของความหนืด ($\mu\nabla^2\vec{v}$) ที่ส่งผลให้มนุษย์จำลองเคลื่อนที่ไปในระดับความเร็วที่สัมพันธ์กับสมาชิกคนอื่น ๆ ในกลุ่มเดียวกัน

$\vec{f}_i^{\,ext}$ เป็นแรงที่เกิดจากพจน์ของแรงกระทำจากภายนอก ($\vec{f}$) ที่ส่งผลให้มนุษย์จำลองเคลื่อนที่ไปทิศทางเดียวกับสมาชิกคนอื่นในกลุ่มเดียวกัน

$\sum \vec{f}_i$ เป็นแรงที่เกิดจากผลรวมของความสัมพันธ์ทั้งหมด ($\rho\frac{D\vec{v}}{Dt}$) ที่ส่งผลให้มนุษย์จำลองเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เหมาะสมที่สุด

แต่ถึงอย่างไรก็ตามการแก้สมการนาเวียร์สโตกส์ด้วยการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลตามวิธีการปกตินั้นแม้จะได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำในช่วงความต่อเนื่องของเวลาเป็นอย่างมากก็ตาม แต่เนื่องจากความซับซ้อนในการคำนวณดังกล่าวนั้นกลับส่งผลให้สูญเสียเวลาในการประมวลผลเป็นอย่างมาก ดังนั้นแล้วความพยายามในการลดความซับซ้อนในการคำนวณดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการจำลองฝูงชนเป็นอย่างมาก “พลศาสตร์ของเหลว

แบบอนุภาคปรับเปรียบ" จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการลดความซับซ้อนในการคำนวณดังกล่าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการประมวลผลโดยรวมทั้งหมดของระบบการจำลอง

พลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเปรียบนั้นประกอบไปด้วยสมการพื้นฐานที่ถูกนิยามขึ้นเพื่อใช้ประมาณค่าความต่อเนื่องข้อมูลที่ไม่มีความต่อเนื่องกันแสดงดังสมการที่ (2.10) โดยสมการพื้นฐานดังกล่าวสามารถนำมาปรับใช้กับการคำนวณหาข้อมูลทางด้านความหนาแน่น ความดัน ความหนืด เฉพาะตำแหน่งที่เราสนใจในระบบได้อย่างเหมาะสม โดยสมการในการประมาณค่าความหนาแน่น ความดัน และความหนืดที่ถูกสร้างขึ้นโดยการอ้างอิงจากสมการพื้นฐานดังกล่าวนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.2), (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ

$$\rho(\vec{r}) = \sum_{j \in N} m_j \frac{\rho_j}{\rho_j} W(\vec{r} - \vec{r}_j, h) = \sum_{j \in N} m_j W(\vec{r} - \vec{r}_j, h) \tag{3.2}$$

$$\nabla p(\vec{r}_i) = \sum_{j \in N} m_j \frac{p_i + p_j}{2\rho_j} \nabla W(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h) \tag{3.3}$$

$$\nabla^2 \vec{v}(\vec{r}_i) = \sum_{j \in N} m_j \frac{\vec{v}_j - \vec{v}_i}{\rho_j} \nabla^2 W(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h) \tag{3.4}$$

หลังจากที่ทราบสมการในการคำนวณพื้นฐานทั้งหมดแล้วนั้น ต่อมาจะถึงวิธีในการคำนวณผลรวมของแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นซึ่งถูกนำไปปรับใช้กับแต่ละมนุษย์จำลองในฝูงชนให้มีการเคลื่อนที่อิสระตามทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหลบนพื้นฐานสมการนาเวียร์สโตกส์ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณความหนาแน่นและความดันในทุก ๆ ตำแหน่งที่มนุษย์จำลองยืนอยู่ ต่อมาก็จะคำนวณแรงที่เกิดจากความดัน แรงที่เกิดขึ้นจากความหนืด และแรงที่เกิดจากแรงภายนอกที่ส่งผลกระทบกับมนุษย์จำลองในแต่ละคนตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยละเอียดดังนี้

1. การคำนวณความหนาแน่น

ความหนาแน่นที่ถูกนำมาใช้คำนวณในแบบจำลองฝูงชนนี้หมายถึง ความหนาแน่นของมนุษย์จำลอง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในหนึ่งหน่วยพื้นที่ด้วยการคำนวณจากสมการที่ (3.2) ในทุกตำแหน่งที่มีมนุษย์จำลองยืนอยู่โดยในแต่ละตัวแปรในสมการหาความหนาแน่นนี้สามารถอธิบายได้โดยละเอียดดังนี้

$\vec{r}$ เป็นตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าของความหนาแน่นซึ่งในที่นี้จะหมายถึงจุดพิกัด เอ็กซ์ วาย และ แซด (x, y, z) ที่อ้างอิงจากแกนพิกัดหรือต่อไปจะเรียกว่าตำแหน่งที่สนใจ

$\vec{r}_j$ เป็นตำแหน่งที่มีมนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อาศัยอยู่โดยรอบของตำแหน่งที่สนใจซึ่งในที่นี้จะหมายถึงจุดพิกัด เอ็กซ์ วาย และ แซด (x, y, z) ที่อ้างอิงจากแกนพิกัด

h เป็นรัศมีที่มีผลต่อการคำนวณความหนาแน่นโดยมีจุดศูนย์กลางจากตำแหน่งที่สนใจ โดยในการจำลองฝูงชนนี้จะใช้ค่าเดียวกับ “ระยะในการรับรู้”

N เป็นเซตของมนุษย์จำลองทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่ที่รับรู้ได้จากตำแหน่งที่สนใจ

m_j เป็นน้ำหนักของมนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อยู่โดยรอบของตำแหน่งที่สนใจ

$W(\vec{r} - \vec{r}_j, h)$ เป็นฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้คำนวณความหนาแน่นโดยเฉพาะระหว่างตำแหน่งที่สนใจ($\vec{r}$)และตำแหน่งที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่ ($\vec{r}_j$) ภายในรัศมีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง (h) ของตำแหน่งที่สนใจ

$\rho(\vec{r})$ เป็นผลลัพธ์ของความหนาแน่นของฝูงชนที่คำนวณได้ในตำแหน่งที่สนใจ ($\vec{r}$)

โดยฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณความหนาแน่นนั้น ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้หาค่าความเหมาะสมข้อมูลของความหนาแน่นให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นโดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (3.5)

$$W(r,h) = \frac{315}{64\pi h^9} \begin{cases} (h^2 - r^2)^3 & 0 \le r \le h \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (3.5)$$

โดยสมการความหนาแน่นนี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณในทุก ๆ ตำแหน่งที่มีมนุษย์จำลองอาศัยอยู่เพื่อหาค่าของความหนาแน่นในตำแหน่งนั้น ๆ ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของฝูงชนต่อไป

2. การคำนวณความดัน

การคำนวณความดันในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบสามารถคำนวณได้จากการนำค่าคงที่ของความดันคูณกับความหนาแน่นที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ผ่านมาดังแสดงดังสมการที่ (3.6) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$p_i = k\rho_i \quad (3.6)$$

k เป็นค่าคงที่ของความดันที่ขึ้นกับชนิดของของไหลที่นำมาคำนวณ โดยในระบบการจำลองฝูงชนนี้จะกำหนดให้ค่าคงที่นี้เป็นตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้โดยผู้ใช้ที่มีค่าอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง (0.0 - 1.0)

ρ_i เป็นความหนาแน่นในตำแหน่งที่สนใจ

p_i เป็นความดันในตำแหน่งที่สนใจ

ความดันจะถูกคำนวณในทุก ๆ ตำแหน่งที่มีมนุษย์จำลองอาศัยอยู่เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของฝูงชนในขั้นตอนต่อไป

3. การคำนวณแรงจากความดัน

แรงจากความดันถูกนำไปใช้ในการควบคุมระยะห่างในแต่ละมนุษย์จำลองให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไปพร้อม ๆ กับการตรวจสอบการชนระหว่างมนุษย์จำลองด้วยกัน โดยแรงที่ถูกคำนวณขึ้นนั้นเปรียบเสมือนเป็นแรงผลักที่เกิดขึ้นระหว่างมนุษย์จำลองที่สนใจกับมนุษย์จำลองที่อยู่โดยรอบซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9 โดยสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณหลังจากที่ได้ผ่านวิธีการลดความซับซ้อนในการคำนวณด้วยวิธีพลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเรียบแล้วนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการ (3.7) ซึ่งความหมายและค่าของแต่ละตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\vec{f}_i^{\,pressure} = -\nabla p = -\sum_{j \in N} m_j \frac{p_i + p_j}{2\rho_j} \nabla W(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h) \qquad (3.7)$$

$\vec{r}_i$ เป็นตำแหน่งที่มนุษย์จำลองที่เราสนใจยืนอยู่ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงจุดพิกัด เอ็กซ์ วาย และ แซด (x, y, z) ที่อ้างอิงจากแกนพิกัด

$\vec{r}_j$ เป็นตำแหน่งที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อาศัยอยู่โดยรอบซึ่งในที่นี้จะหมายถึงจุดพิกัด เอ็กซ์ วาย และ แซด (x, y, z) ที่อ้างอิงจากแกนพิกัด

h เป็นรัศมีที่มีผลต่อการคำนวณความดันโดยมีจุดศูนย์กลางจากตำแหน่งที่สนใจ โดยในการจำลองฝูงชนนี้จะใช้ค่าเดียวกับ “ระยะในการรับรู้”

N เป็นเซตของมนุษย์จำลองทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่ที่รับรู้ได้จากตำแหน่งที่สนใจ

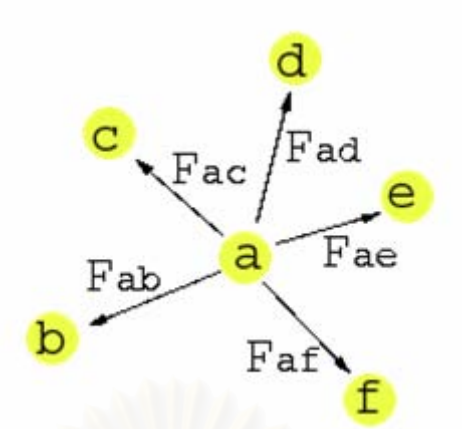
m_j เป็นน้ำหนักของมนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อยู่โดยรอบของตำแหน่งที่สนใจ

ρ_j เป็นความหนาแน่น ณ ตำแหน่งพิกัดที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่

p_j เป็นความดัน ณ ตำแหน่งที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่

p_i เป็นความดัน ณ ตำแหน่งที่มนุษย์จำลองที่เราสนใจอาศัยอยู่

$W(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h)$ เป็นฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้คำนวณความดันโดยเฉพาะระหว่างตำแหน่งที่มนุษย์จำลองที่สนใจอาศัยอยู่ ($\vec{r}_i$) และตำแหน่งที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่ ($\vec{r}_j$) ภายในรัศมีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง (h) ของตำแหน่งที่สนใจ

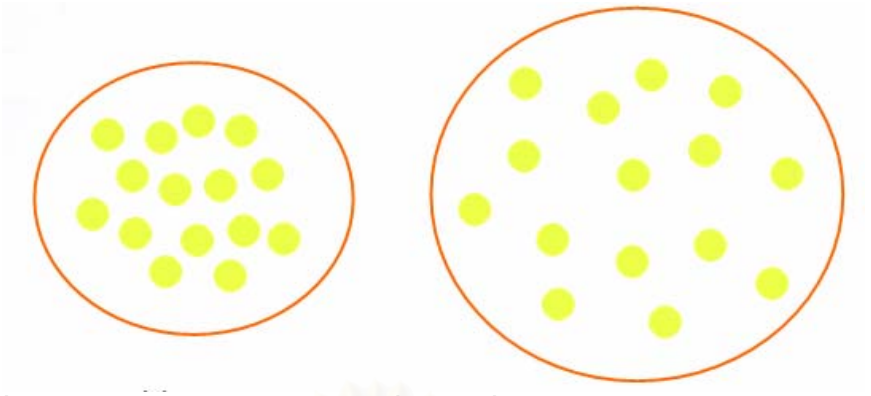


รูปที่ 3.9 การคำนวณแรงจากความดันกับมนุษย์จำลองโดยรอบ

โดยฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณความดันนั้นถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้หาค่าความเหมาะสมข้อมูลของความดันให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นโดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (3.8)

$$W(r,h) = \frac{15}{\pi h^6}\begin{cases}(h-r)^3 & 0 \le r \le h \\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (3.8)$$

การคำนวณแรงที่เกิดจากความดันนี้ส่งผลให้มนุษย์จำลองที่สนใจเลือกที่จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ไม่ชนกับมนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อยู่โดยรอบโดยผลลัพธ์ของแรงหากมีค่าที่สูง(ขนาด)นั้นหมายความว่าในตำแหน่งดังกล่าวมีเป็นตำแหน่งที่มีโอกาสในการเกิดการชนกับมนุษย์จำลองที่อยู่ใกล้เคียงสูง ซึ่งอาจจะประกอบไปด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ยกตัวอย่างเช่นมนุษย์จำลองทั้งสองอาศัยอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กันมากเกินไปหรือในพื้นที่ด้านตรงข้ามกับแรงลัพธ์มีความหนาแน่นของฝูงชนสูง เป็นต้น แต่หากมีค่าน้อยนั้นก็แสดงว่าตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งมีโอกาสในการเกิดการชนกับมนุษย์จำลองที่อยู่ใกล้เคียงน้อย นอกจากนี้แบบจำลองฝูงชนนี้ยังสามารถปรับค่าระยะห่างระหว่างมนุษย์จำลองในฝูงชนให้มีระยะห่างที่มากหรือน้อยซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.10 ได้จาก “ค่าคงที่ของความดัน” ที่ถูกกำหนดให้ปรับค่าได้จากผู้ใช้ เพื่อความยืดหยุ่นในการปรับใช้กับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีคำนึงถึงเงื่อนไขของระยะห่างระหว่างบุคคล ยกตัวอย่างเช่น การจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนในสภาพแวดล้อมที่มืด ซึ่งคำนึงถึงระยะห่างระหว่างบุคคลในกลุ่มที่มีค่าน้อย ๆ เพื่อความเป็นกลุ่มก้อนในการเคลื่อนที่ เป็นต้น



รูปที่ 3.10 ระยะห่างของฝูงชนในกลุ่มที่มีค่าคงที่ของความดันน้อยและมากตามลำดับ

4. การคำนวณแรงจากความหนืด

แรงจากความหนืดถูกนำไปใช้ในการควบคุมระดับความเป็นกลุ่มในการเคลื่อนที่ในแต่ละมนุษย์จำลองให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยแรงที่ถูกคำนวณขึ้นนั้นเปรียบเสมือนเป็นแรงที่ใช้ผสานความเร็วในการเคลื่อนที่ซึ่งกันและกันระหว่างมนุษย์จำลองที่สนใจกับมนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณหลังจากที่ได้ผ่านวิธีการลดความซับซ้อนในการคำนวณด้วยวิธีพลศาสตร์ของเหลวแบบอนุภาคปรับเรียบแล้วนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.9) ซึ่งความหมายและค่าของแต่ละตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\vec{f}_i^{visc} = \mu\nabla^2\vec{v} = \mu\sum_{j\in N} m_j \frac{\vec{v}_j - \vec{v}_i}{\rho_j}\nabla^2 W(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h) \qquad (3.9)$$

$\vec{r}_i$ เป็นตำแหน่งที่มนุษย์จำลองที่เราสนใจยืนอยู่ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงจุดพิกัด เอ็กซ์ วาย และ แซด (x, y, z) ที่อ้างอิงจากแกนพิกัด

$\vec{r}_j$ เป็นตำแหน่งที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อาศัยอยู่โดยรอบซึ่งในที่นี้จะหมายถึงจุดพิกัด เอ็กซ์ วาย และ แซด (x, y, z) ที่อ้างอิงจากแกนพิกัด

h เป็นรัศมีที่มีผลต่อการคำนวณความดันโดยมีจุดศูนย์กลางจากตำแหน่งที่สนใจ โดยในการจำลองฝูงชนนี้จะใช้ค่าเดียวกับ “ระยะในการรับรู้”

N เป็นเซตของมนุษย์จำลองในกลุ่มเดียวกันที่อยู่ในพื้นที่ที่รับรู้ได้จากตำแหน่งที่สนใจ

m_j เป็นน้ำหนักของมนุษย์จำลองใกล้เคียงที่อยู่โดยรอบของตำแหน่งที่สนใจ

ρ_j เป็นความหนาแน่น ณ ตำแหน่งพิกัดที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่

v_j เป็นความเร็ว ณ ตำแหน่งที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่

v_i เป็นความเร็ว ณ ตำแหน่งที่มนุษย์จำลองที่เราสนใจอาศัยอยู่

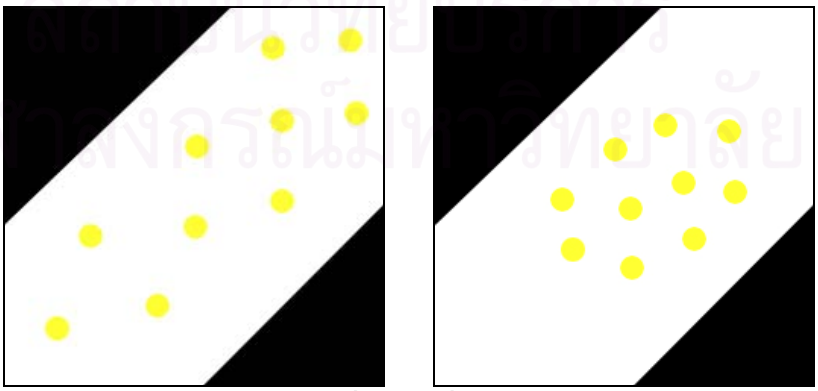
μ เป็นค่าคงที่ของความหนืดที่ขึ้นกับชนิดของของไหลที่นำมาคำนวณ โดยในระบบการจำลองฝูงชนนี้จะกำหนดให้ค่าคงที่นี้เป็นตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้โดยผู้ใช้ที่มีค่าอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง (0.0 - 1.0)

$W(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h)$ เป็นฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้คำนวณความหนืดโดยเฉพาะระหว่างตำแหน่งที่มนุษย์จำลองที่สนใจอาศัยอยู่ ($\vec{r}_i$) และตำแหน่งที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่ ($\vec{r}_j$) ภายในรัศมีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง (h) ของตำแหน่งที่สนใจ

โดยฟังก์ชันในการถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณความหนืดนั้นถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้หาค่าความเหมาะสมข้อมูลของความหนืดให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (3.10)

$$W(r,h) = \frac{15}{2\pi h^3}\begin{cases} -\frac{r^3}{2h^3} + \frac{r^2}{h^2} + \frac{h}{2r} - 1 & 0 \le r \le h \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (3.10)$$

การคำนวณแรงที่เกิดจากความหนืดถูกคำนวณขึ้นเพื่อรักษาความเป็นกลุ่มในการเคลื่อนที่ โดยระบบจะทำการคำนวณความหนืดที่เกิดขึ้นในทุกๆตำแหน่งที่มีมนุษย์จำลองอาศัยอยู่ โดยแรงจากความหนืดที่ถูกคำนวณขึ้นในแต่ละมนุษย์จำลองนั้นถูกคำนวณจากผลต่างของความเร็วระหว่างมนุษย์จำลองที่สนใจกับมนุษย์จำลองอื่น ๆ ที่เป็นสมาชิกในกลุ่มเดียวกันเท่านั้น โดยในระบบการจำลองฝูงชนนี้ได้กำหนดให้สามารถควบคุมความหนืดของอนุภาคได้จากการระบุค่าของค่าคงที่ของความหนืด (μ) ซึ่งอยู่ระหว่างค่าศูนย์ถึงค่าหนึ่ง (0.0 – 1.0) โดยหากค่าคงที่ของความหนืดนั้นมีค่าน้อยจะทำให้สมาชิกทุกคนในฝูงชนพยายามเคลื่อนที่รอมนุษย์จำลองคนอื่นๆในกลุ่มของตนเองมากจึงเป็นผลให้มีลักษณะเป็นกลุ่มที่มีสมาชิกที่ใกล้ชิดกันมาก แต่ในกรณีที่ค่าคงที่ของความหนืดมีค่ามากจะทำให้ผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางตรงข้ามกับผลลัพธ์ข้างต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปแบบของฝูงชนในกลุ่มที่มีค่าคงที่ของความหนืดน้อยและมากตามลำดับ

5. การคำนวณแรงจากแรงภายนอก

แรงจากแรงภายนอกถูกนำไปใช้ในการควบคุมทิศทางหลักในการเคลื่อนที่ในแต่ละมนุษย์จำลองที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วยการอ้างอิงจากวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนก่อนหน้านี้ โดยมนุษย์จำลองแต่ละคนจะตรวจสอบทิศทางที่ถูกสร้างขึ้นจากสนามศักย์ในตำแหน่งที่ตนเองอาศัยอยู่ในแผนที่องค์ความรู้ของกลุ่มของตน โดยสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณแรงกระทำจากภายนอกนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.11) ซึ่งความหมายและค่าของแต่ละตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\vec{f}_i^{\,ext} = \rho g = \delta v_{i\max} \rho_i \tag{3.11}$$

ρ_j เป็นความหนาแน่น ณ ตำแหน่งพิกัดที่มนุษย์จำลองใกล้เคียงอาศัยอยู่

$v_{i\max}$ เป็นความเร็วสูงสุดของมนุษย์จำลองที่สนใจ

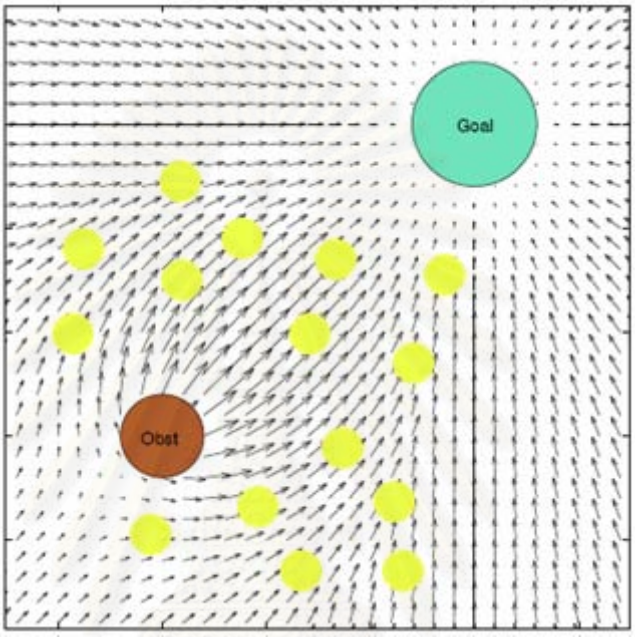
δ เป็นค่าคงที่ของแรงกระทำจากภายนอกที่นำมาใช้ในการคำนวณ โดยในระบบการจำลองฝูงชนนี้จะกำหนดให้ค่าคงที่นี้เป็นตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้โดยผู้ใช้ที่มีค่าอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง (0.0 - 1.0)

การคำนวณแรงจากแรงภายนอกถูกคำนวณขึ้นในทุก ๆ ตำแหน่งที่มีมนุษย์จำลองอาศัยอยู่ โดยแรงจากแรงภายนอกที่ถูกคำนวณขึ้นในทุกๆมนุษย์จำลองนั้นถูกคำนวณจากผลคูณระหว่างค่าคงที่ของแรงกระทำจากภายนอก ความเร็วสูงสุด และความหนาแน่น ณ ตำแหน่งที่มนุษย์จำลองที่เราสนใจอาศัยอยู่ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.12 โดยในระบบการจำลองฝูงชนนี้ได้กำหนดให้สามารถควบคุมอิทธิพลของแรงกระทำจากภายนอกของอนุภาคได้ จากการระบุค่าของค่าคงที่จากแรงกระทำภายนอก (δ) ซึ่งอยู่ระหว่างค่าศูนย์ถึงค่าหนึ่ง (0.0 – 1.0) โดยในกรณีที่ค่าคงที่นี้มีค่ามากจะเป็นผลให้ฝูงชนเคลื่อนที่ไปในทิศทางหลักได้อย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีที่ค่าคงที่นี้มีค่าน้อยจะทำให้ฝูงชนเคลื่อนนั้นที่ไปในทิศทางหลักที่ถูกสร้างขึ้นช้า

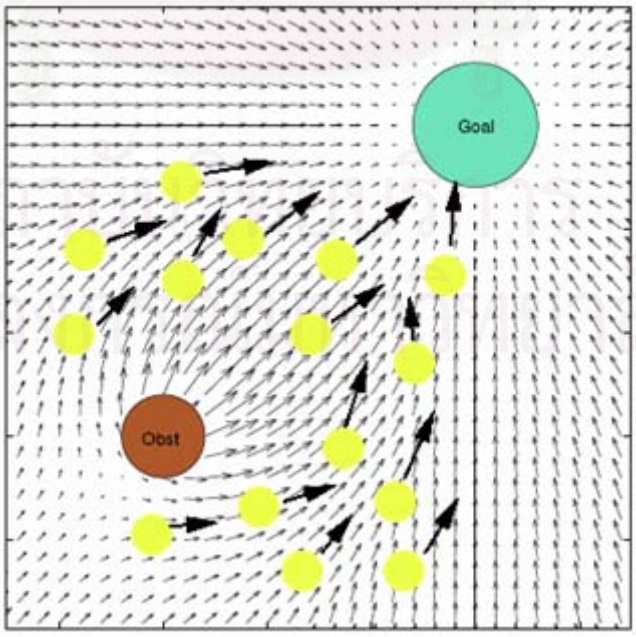
6. การคำนวณผลลัพธ์จากแรงทั้งหมด

ผลลัพธ์จากแรงทั้งหมดถูกคำนวณขึ้นจากผลบวกของแรงจากความดัน แรงจากความหนืด และแรงจากแรงภายนอก ซึ่งแสดงดังสมการที่ (3.1) โดยผลลัพธ์จากการบวกกันของทั้งสามแรงนั้นจะได้มาทั้งขนาดและทิศทางในการเคลื่อนที่ของแต่ละมนุษย์จำลอง โดยขนาดของแรงในที่นี้จะถูกคำนวณเป็นระยะทางที่เปลี่ยนไปในขั้นตอนของการเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใหม่ (ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป) ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละมนุษย์จำลอง ทั้งนี้เนื่องจากระยะทางที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนที่นี้นั้นย่อมมีความแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ส่วนทิศทางในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นจะมีความแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมตาม

สภาพแวดล้อมทางพื้นที่และผู้คนที่อยู่โดยรอบของแต่ละมนุษย์จำลองดังรูปที่ 3.13 โดยทิศทางที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะมีความใกล้เคียงกับทิศทางในการเคลื่อนที่หลักที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีสนามศักย์ เพียงแต่จะมีความแตกต่างในด้านของการคำนึงถึงทิศทางในการพยายามเคลื่อนที่ที่จะหลีกเลี่ยงการชนกับผู้คนที่อยู่โดยรอบ และทิศทางในการพยายามเคลื่อนที่ไปพร้อมกับมนุษย์จำลองอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จึงทำให้ผลลัพธ์จากการคำนวณมีทิศทางเบี่ยงเบนออกไปในทิศทางที่เหมาะสม



รูปที่ 3.12 วิถีในการเคลื่อนหลักของแต่ละมนุษย์จำลอง



รูปที่ 3.13 วิถีในการเคลื่อนที่ลัพธ์ของแต่ละมนุษย์จำลอง

การเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใหม่

การเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใหม่ถูกสร้างขึ้นเป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากผลลัพธ์จากแรงทั้งหมดถูกคำนวณขึ้น โดยแรงที่ถูกคำนวณได้นั้นจะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นความเร่งในการเคลื่อนที่ของแต่ละมนุษย์จำลองตามสมการที่ (3.12) จากการคำนวณตามสมการดังกล่าวก็จะได้ระยะทางและทิศทางถัดไปต่อจากตำแหน่งเดิมที่มนุษย์จำลองแต่ละคนอาศัยอยู่ในแต่ละช่วงเวลาของการคำนวณ (Time step) หลังจากนั้นในแต่ละมนุษย์จำลองจะถูกเคลื่อนย้าย (Translate) ไปยังพิกัดเอ็กซ์ วาย และแซด (x, y, z) ในตำแหน่งที่ถูกคำนวณขึ้นดังกล่าวจนกระทั่งครบทุกคน

$$\vec{a}_i = \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \frac{\sum \vec{f}_i}{\rho_i} \tag{3.12}$$

หลังจากที่มนุษย์จำลองทุกคนถูกเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งใหม่ในสภาพแวดล้อมแล้วนั้น ก็เปรียบเสมือนได้พบเห็นสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ณ ตำแหน่งใหม่ที่อาศัยอยู่ในขณะนั้น ด้วยเหตุนี้เองจึงเป็นผลให้มนุษย์จำลองต้องรับรู้สภาพแวดล้อมใหม่ ๆ จากขั้นตอนของการจำลองการรับรู้ในขั้นตอนแรก และวนขบวนการทั้งหมดซ้ำจนกระทั่งสามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงเป้าหมายในที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

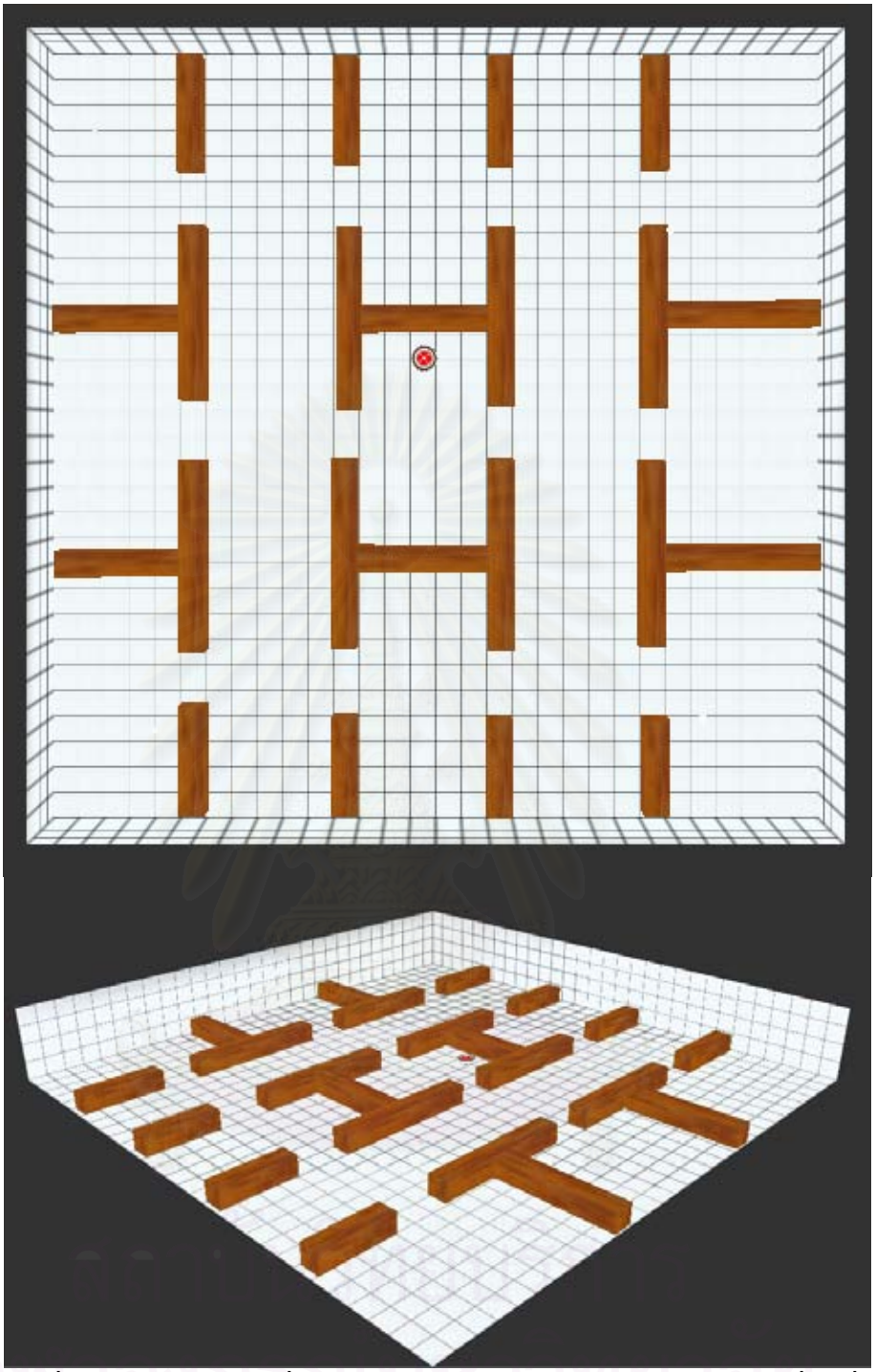
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลลัพธ์จากการทดลองตามทฤษฎีและแนวคิดที่ได้นำเสนอในข้างต้นซึ่งประกอบไปด้วย การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคล การสร้างพฤติกรรมของฝูงชนโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล และการสร้างความแตกต่างทางพฤติกรรมของแต่ละบุคคลในฝูงชน โดยการทดลองในแต่ละวิธีนั้นจะมีความแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมในการตรวจสอบประสิทธิภาพผลลัพธ์จากการทดลองของแต่ละวิธี ซึ่งสามารถกล่าวได้โดยละเอียดดังนี้

การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคล

การทดลองเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นสามารถกระทำได้โดยการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกับวิถีในการเคลื่อนที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีแบบครอบคลุม ทั้งนี้เนื่องจากวิถีในการเคลื่อนที่ถูกสร้างจากวิธีแบบครอบคลุมนั้นจะรับประกันความถูกต้องของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายเสมอ แต่ถึงอย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็ยังไม่ยืดหยุ่นกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ในทุก ๆ การจำลอง ต่างจากการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่ซึ่งยืดหยุ่นกับการนำไปใช้กับทุก ๆ การจำลองแต่ไม่รับประกันความถูกต้องของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกสร้างของวิถีในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายโดยวิธีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลซึ่งเป็นพื้นฐานวิธีแบบเฉพาะที่

1. การทดลอง

การทดลองสามารถกระทำได้โดยการเปรียบเทียบวิธีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างพื้นฐานวิธีแบบครอบคลุม และ พื้นฐานวิธีแบบผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคล โดยทำการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนภายใต้เงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมเดียวกัน คือ สภาพแวดล้อมจำลองซึ่งถูกออกแบบให้มีขนาดความกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร และสูง 4 เมตร และถูกตกแต่งด้วยวัตถุต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น วัตถุที่เป็นกำแพงซึ่งถูกกำหนดให้เป็นสิ่งกีดขวางที่ไม่สามารถมองทะลุผ่านได้ เป็นต้น โดยสภาพแวดล้อมจำลองนี้ถูกออกแบบให้มีลักษณะที่มีเส้นทางที่ดูซับซ้อน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากการจำลองการเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลองจำนวน 5 และ 10 คนตามลำดับ



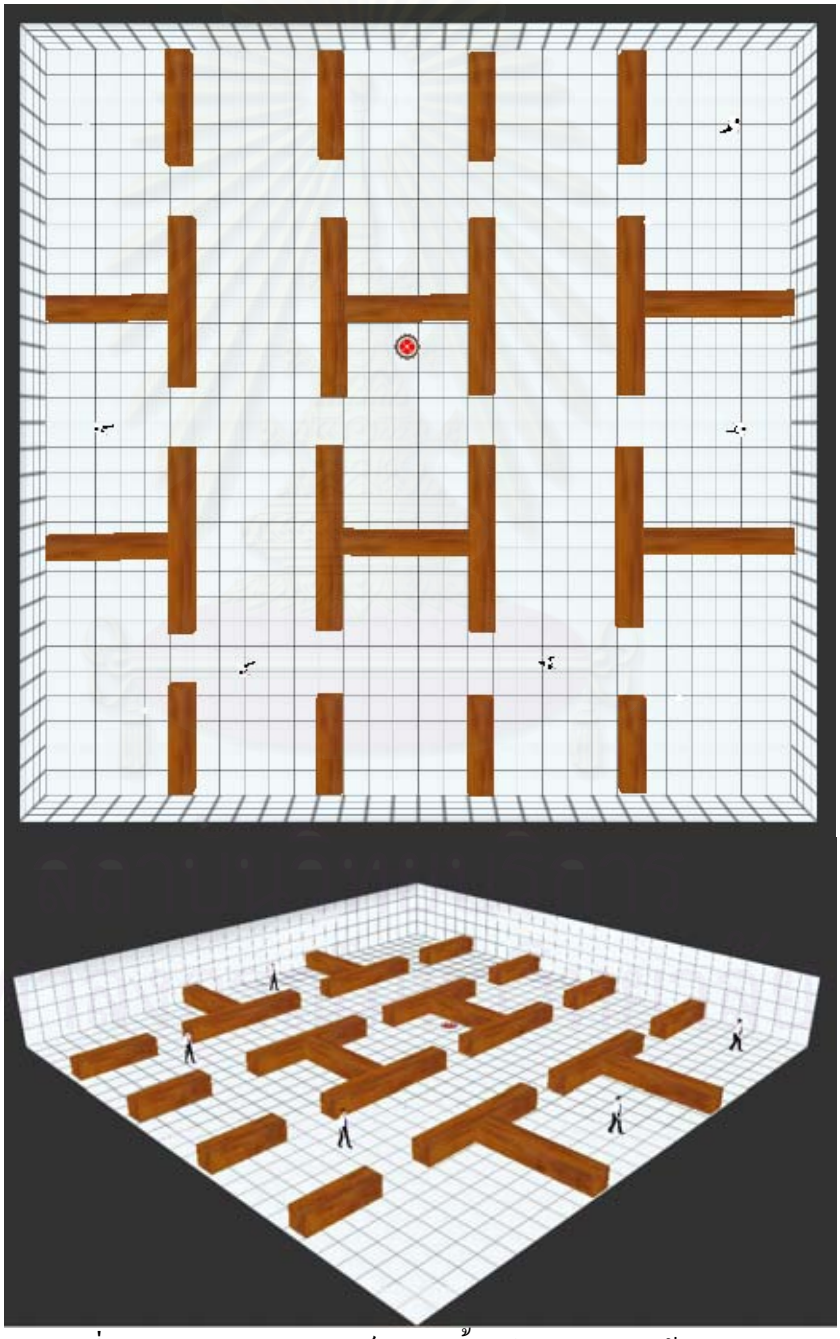
รูปที่ 4.1 สภาพแวดล้อมที่ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพของวิถีในการเคลื่อนที่

2. ผลลัพธ์จากการทดลอง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองด้วยการจำลองการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยมนุษย์จำลอง 5 คนและการจำลองการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

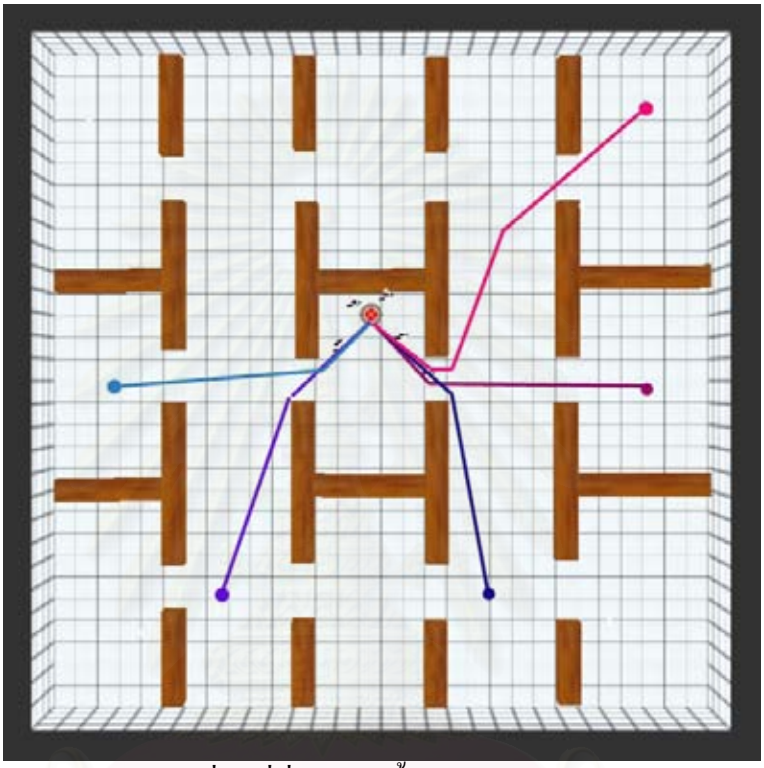
2.1 ผลลัพธ์จากการจำลองมนุษย์จำลองจำนวน 5 คน

มนุษย์จำลองทั้ง 5 คนถูกกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นซึ่งกระจายอยู่ในตำแหน่งต่างๆของสภาพแวดล้อมจำลองโดยมีรูปแบบที่เหมือนกันทั้งการจำลองการเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลองด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมและแบบผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลดังแสดงดังรูปที่ 4.2 และทำการสังเกตวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นภายหลังที่มนุษย์จำลองได้เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย (วงกลมสีแดงตรงกลางของสภาพแวดล้อมจำลอง) จากทั้งสองวิธี



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งของมนุษย์จำลองทั้ง 5 ในสภาพแวดล้อมจำลอง

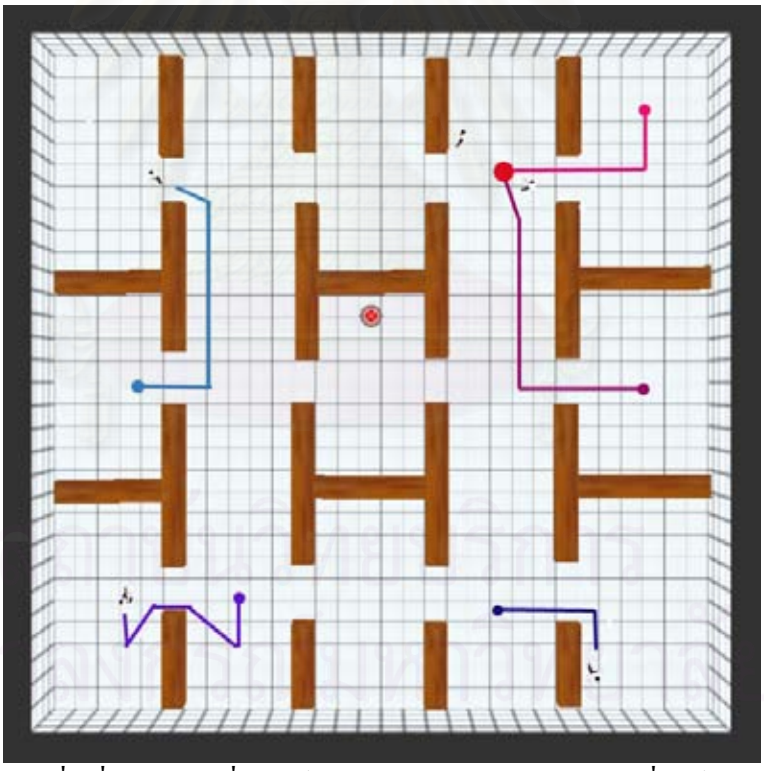
ผลลัพธ์จากการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนจากการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมด้วยมนุษย์จำลอง 5 คนนั้นแสดงให้เห็นว่ามนุษย์จำลองทุกคน เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มุ่งตรงไปสู่เป้าหมายโดยตรงจึงเป็นผลให้วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากทุก ๆ ตำแหน่งของมนุษย์จำลองนั้นมุ่งไปสู่เป้าหมายโดยตรงดังแสดงดังรูปที่ 4.3



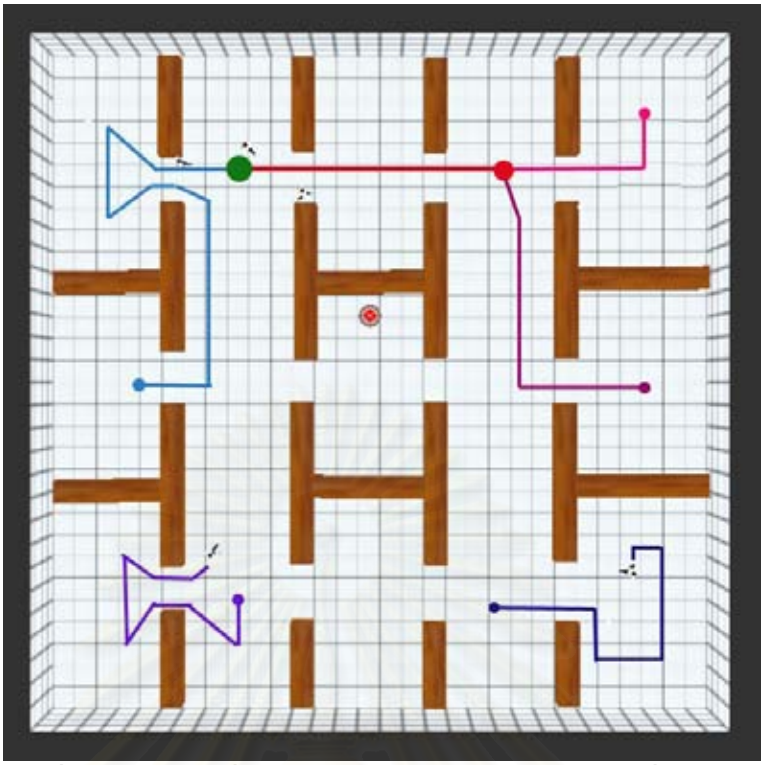
รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีแบบครอบคลุมด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน

ผลลัพธ์จากการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนจากการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นแสดงให้เห็นว่ามนุษย์จำลองแต่ละคนจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กระจัดกระจายแตกต่างกันออกไปซึ่งเป็นทั้งทิศทางที่ถูกต้องและทิศทางที่ไม่ถูกต้องจากตำแหน่งของตนไปยังเป้าหมาย จนกระทั่งมนุษย์จำลองสองคนด้านบนขวาของสภาพแวดล้อมจำลองเคลื่อนที่มาพบกัน (บริเวณจุดสีแดง) ดังแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยมนุษย์จำลองทั้งสองจะทำการแบ่งปันและผสานองค์ความรู้ซึ่งกันและกัน ซึ่งเป็นผลให้มนุษย์จำลองคนหนึ่งไม่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มนุษย์จำลองอีกคนเคยเคลื่อนที่ผ่านไปแล้ว จึงไม่ทำให้เกิดการทับซ้อนของการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดิม และเมื่อเคลื่อนที่ไปอีกชั่วขณะหนึ่งจะเห็นได้ว่ามนุษย์จำลองทั้งสองก็เคลื่อนที่มาพบกับมนุษย์จำลองอีกคนบริเวณด้านบนซ้ายของสภาพแวดล้อมจำลอง (จุดสีเขียว) ดังแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยมนุษย์จำลองจะแบ่งปันและผสานองค์ความรู้ซึ่งกันและกันแล้วก็พยายามเคลื่อนที่ไปในบริเวณ

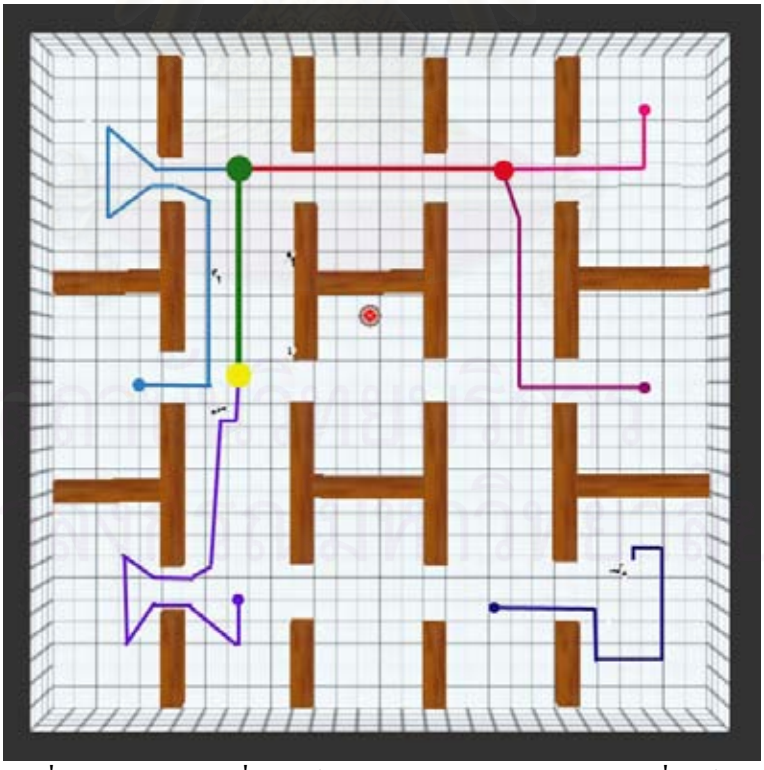
ที่ยังไม่เคยไปเพื่อค้นหาเป้าหมายต่อไป จนกระทั่งเคลื่อนที่มาพบกับมนุษย์จำลองอีกคนบริเวณตรงกลางด้านซ้ายของสภาพแวดล้อมจำลอง (จุดสีน้ำเงินเข้ม) ดังแสดงดังรูปที่ 4.6 ต่อมามนุษย์จำลองทั้งสี่จะแบ่งปันและผสานองค์ความรู้ซึ่งกันและกัน และพยายามเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ที่ยังไม่มีในองค์ความรู้ที่ผ่านการผสานกันแล้วต่อไป และเมื่อเวลาผ่านไปจะเห็นได้ว่ามนุษย์จำลองจะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือกลุ่มที่มีการผสานองค์ความรู้ (กลุ่มที่มีวิถีในการเคลื่อนที่สีเหลือง) และกลุ่มที่ไม่มีการผสานองค์ความรู้ (กลุ่มที่มีวิถีในการเคลื่อนที่สีน้ำเงิน) โดยกลุ่มของมนุษย์จำลองที่มีการแบ่งปันองค์ความรู้ซึ่งกันและกันจะสามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงเป้าหมายได้ก่อนมนุษย์จำลองที่ไม่มีการแบ่งปันและผสานองค์ความรู้แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อมนุษย์จำลองที่ไม่ได้ผสานองค์ความรู้กับมนุษย์จำลองอื่น ๆ ก็จะเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่รอบ ๆ ในสภาพแวดล้อมจำลองจนกระทั่งสามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงเป้าหมายในที่สุดดังแสดงดังรูปที่ 4.7 และเมื่อมนุษย์จำลองทั้งหมดเคลื่อนที่มาพบกันจึงทำให้แผนที่องค์ความรู้ถูกแบ่งปันและผสานเข้าด้วยกันจนได้ผลลัพธ์ของแผนที่องค์ความรู้ดังแสดงดังรูปที่ 4.8



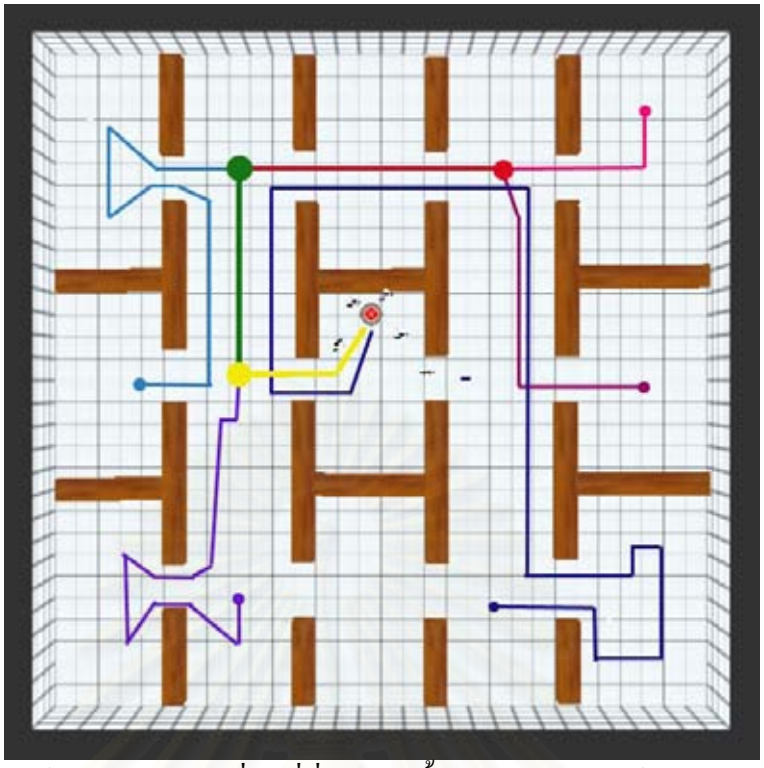
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่หนึ่ง (สีแดง) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน



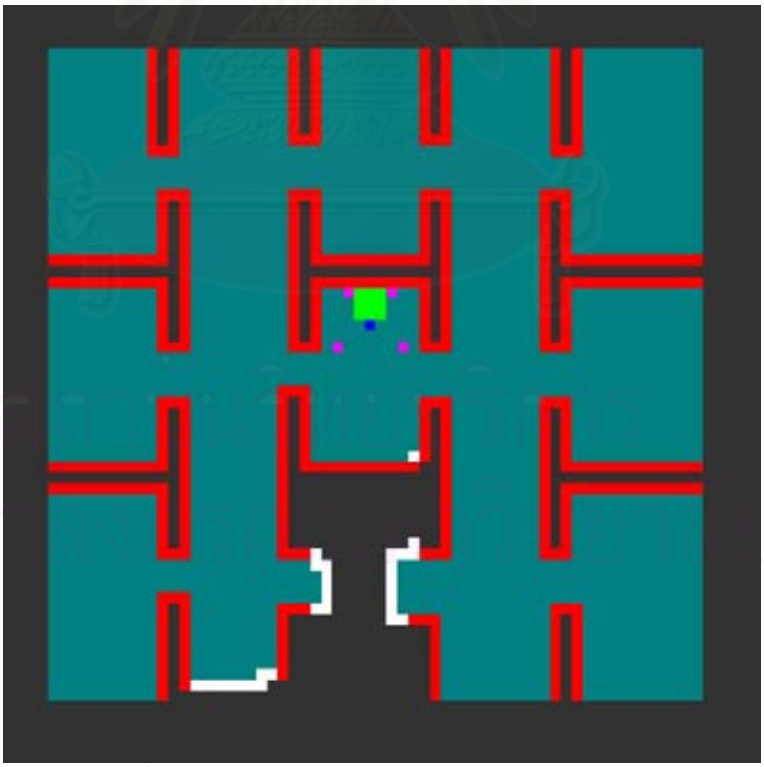
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งที่สอง (สีเขียว) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งที่สาม (สีเหลือง) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน



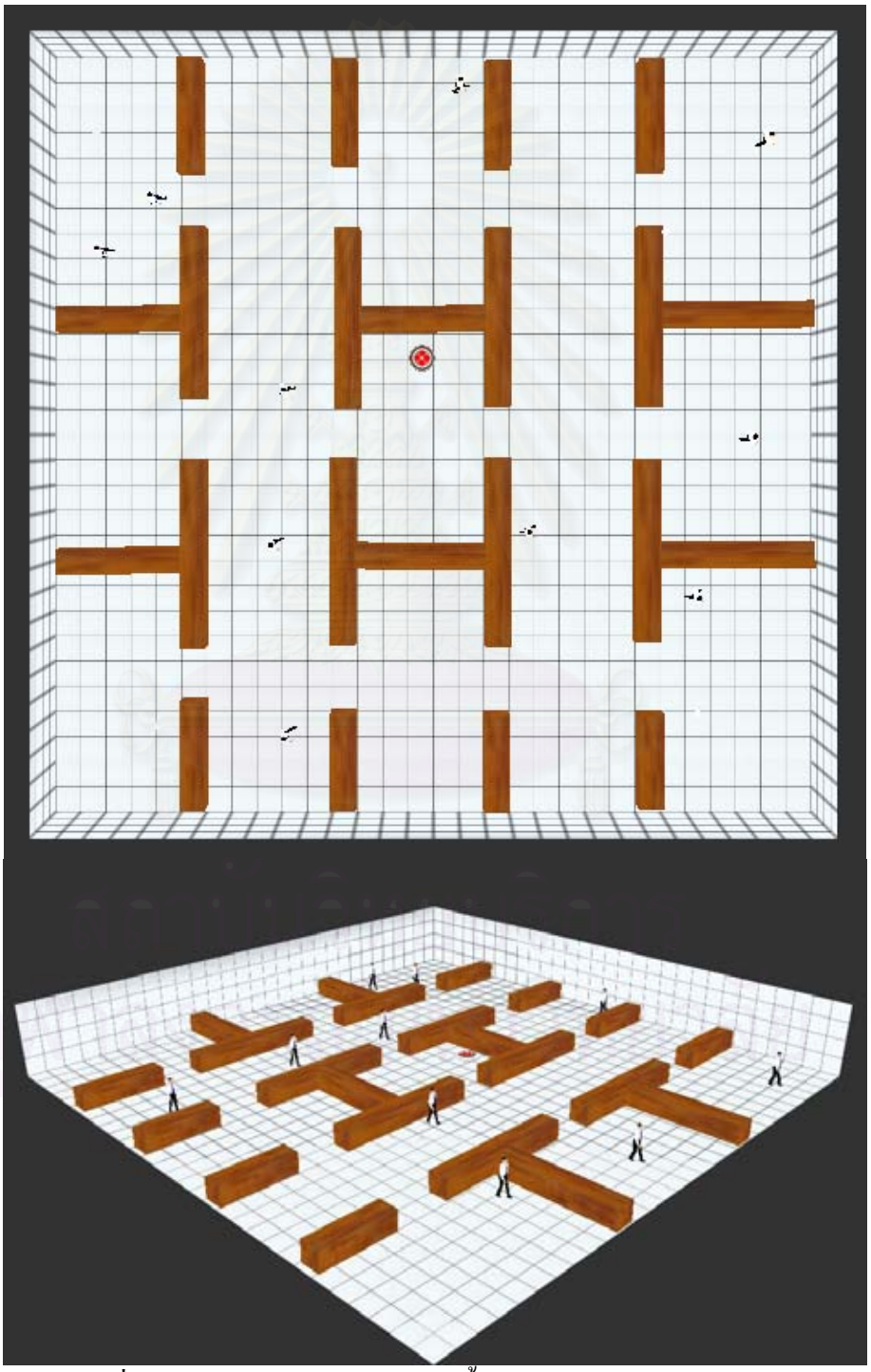
รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน



รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์ของแผนที่องค์ความรู้จากการผสานองค์ความรู้มนุษย์จำลองทุกคนโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คน

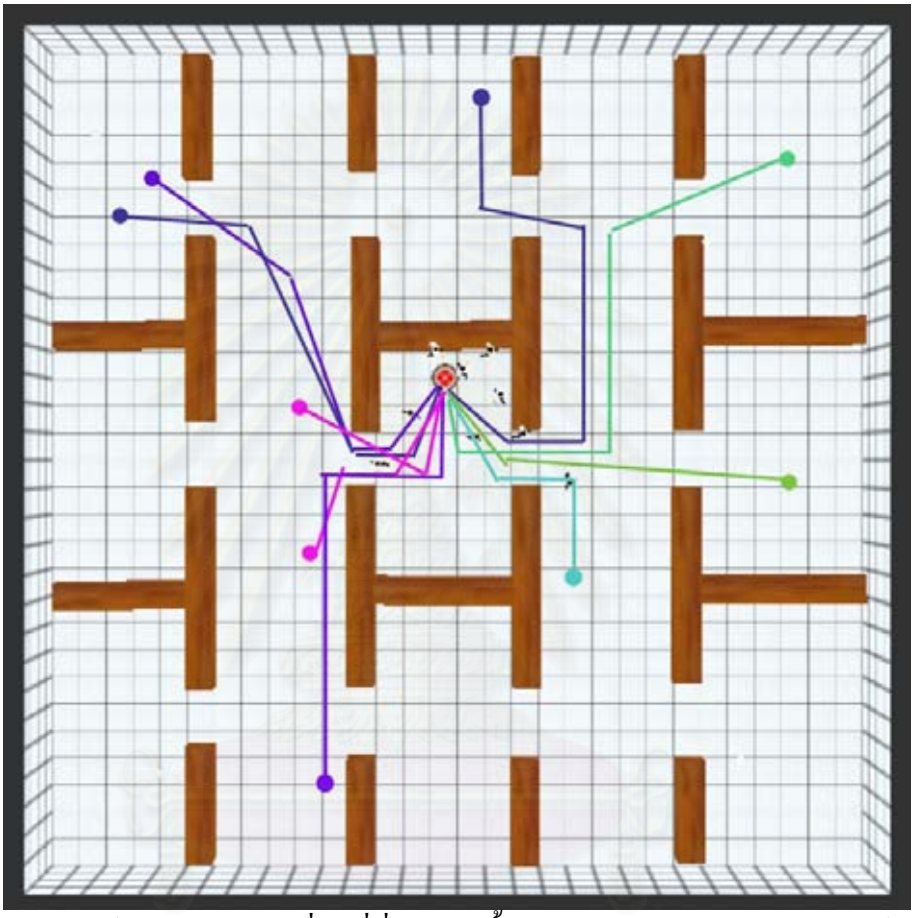
2.2 ผลลัพธ์จากการจำลองมนุษย์จำลองจำนวน 10 คน

มนุษย์จำลองทั้ง 10 คนถูกกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นซึ่งกระจายอยู่ในตำแหน่งต่างๆของสภาพแวดล้อมจำลองโดยมีรูปแบบที่เหมือนกันทั้งการจำลองการเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลองด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมและแบบผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลดังแสดงดังรูปที่ 4.2 และทำการสังเกตวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นภายหลังที่มนุษย์จำลองได้เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย (วงกลมสีแดงตรงกลางของสภาพแวดล้อมจำลอง) จากทั้งสองวิธี



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งของมนุษย์จำลองทั้ง 10 ในสภาพแวดล้อมจำลอง

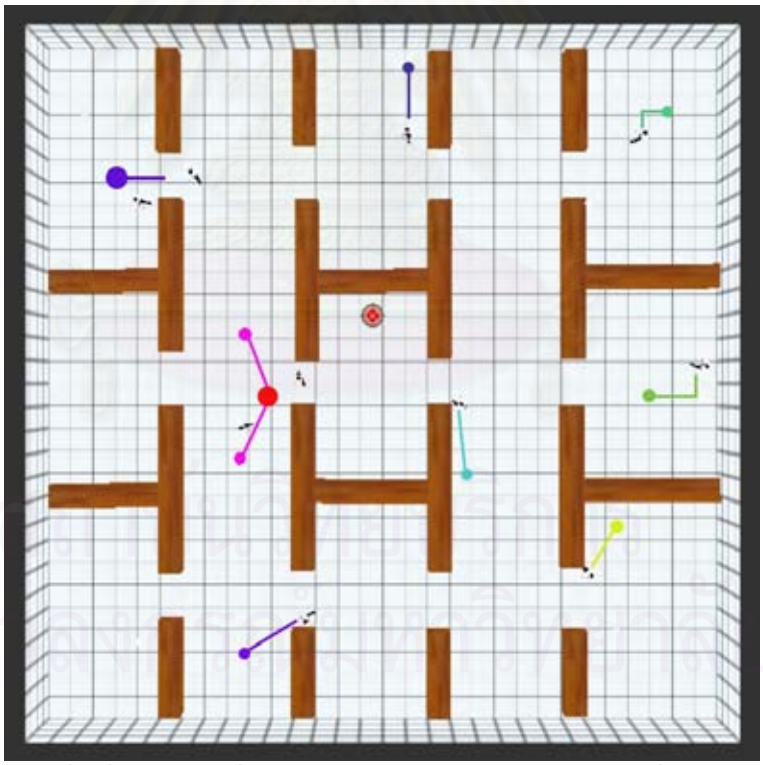
ผลลัพธ์จากการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนจากการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมด้วยมนุษย์จำลอง 10 คนนั้นแสดงให้เห็นว่ามนุษย์จำลองทุกคน เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มุ่งตรงไปสู่เป้าหมายโดยตรงจึงเป็นผลให้วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากทุก ๆ ตำแหน่งของมนุษย์จำลองนั้นมุ่งไปสู่เป้าหมายโดยตรงดังแสดงดังรูปที่ 4.10



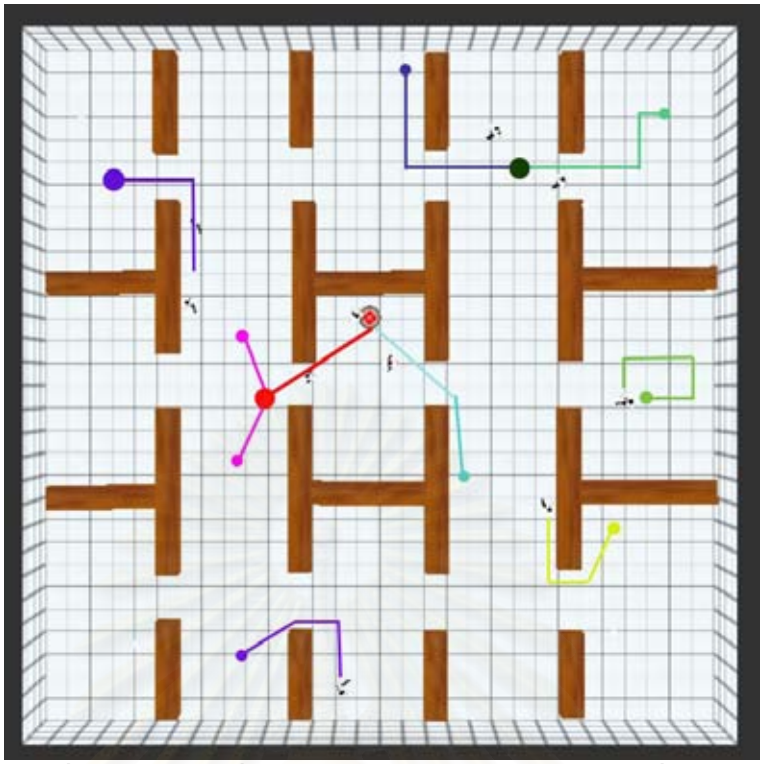
รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีแบบครอบคลุมด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน

ผลลัพธ์จากการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนจากการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นแสดงให้เห็นว่า มีมนุษย์จำลองสองคนด้านบนซ้ายได้แบ่งปันและผสานองค์ความรู้ตั้งแต่เริ่มการจำลองเนื่องจากอาศัยอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันอยู่ในสภาพแวดล้อมแล้วต่อมามนุษย์จำลองแต่ละคนจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กระจัดกระจายแตกต่างกันออกไปซึ่งเป็นทั้งทิศทางที่ถูกต้องและทิศทางที่ไม่ถูกต้องจากตำแหน่งของตนไปยังเป้าหมาย จนกระทั่งมนุษย์จำลองสองคนบริเวณตรงกลางด้านซ้ายของสภาพแวดล้อมจำลองเคลื่อนที่มาพบกัน (บริเวณจุดสีแดง) ดังแสดงดังรูปที่ 4.11 โดยมนุษย์จำลองทั้งสองจะทำการแบ่งปันและผสานองค์ความรู้ซึ่งกัน

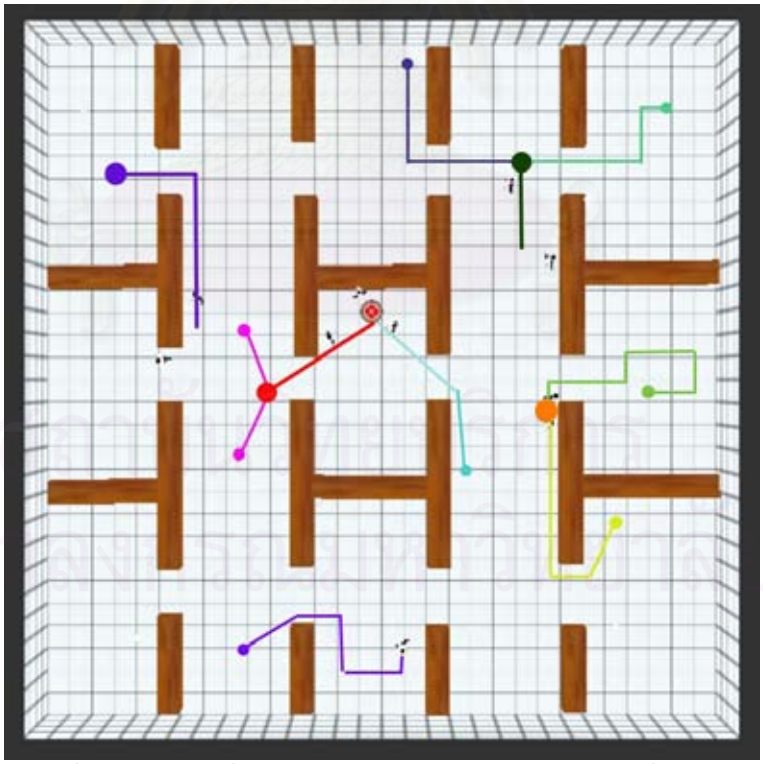
และกัน ซึ่งเป็นผลให้มนุษย์จำลองคนหนึ่งไม่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มนุษย์จำลองอีกคนเคยเคลื่อนที่ผ่านไปแล้ว จึงไม่ทำให้เกิดการทับซ้อนของการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดิม และเมื่อเคลื่อนที่ไปอีกชั่วขณะหนึ่งจะเห็นได้ว่ามนุษย์จำลองด้านบนขวาสองคนได้เคลื่อนที่มาพบกัน (บริเวณจุดสีเขียว) นอกจากนั้นแล้วจะมีมนุษย์จำลองสามคนที่สามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงเป้าหมายได้ดังแสดงดังรูปที่ 4.12 โดยมนุษย์จำลองสองคนที่พบกันนั้นจะแบ่งปันและผสานองค์ความรู้ซึ่งกันและกันแล้ว ต่อมามนุษย์จำลองอีกสองคนบริเวณตรงกลางขวาก็เคลื่อนที่มาพบกันและผสานองค์ความรู้ซึ่งกันและกัน (บริเวณจุดสีส้ม) ดังแสดงดังรูปที่ 4.13 หลังจากนั้นกลุ่มของมนุษย์จำลองที่มีวิถีในการเคลื่อนที่สีเขียวและกลุ่มที่มีวิถีในการเคลื่อนที่สีส้มได้เคลื่อนที่มาพบกัน (บริเวณจุดสีน้ำเงิน) ดังแสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งเมื่อผสานองค์ความรู้กันแล้วจะทำให้มนุษย์จำลองทั้งสองกลุ่มนี้สามารถเลือกทิศทางในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้น จนกระทั่งมนุษย์จำลองทั้งหมดสามารถเคลื่อนที่มาพบเป้าหมายได้ในที่สุดดังแสดงดังรูป 4.15 โดยผลลัพธ์จากการผสานองค์ความรู้ของมนุษย์จำลองทุกคนสามารถแสดงได้ดังรูป 4.16



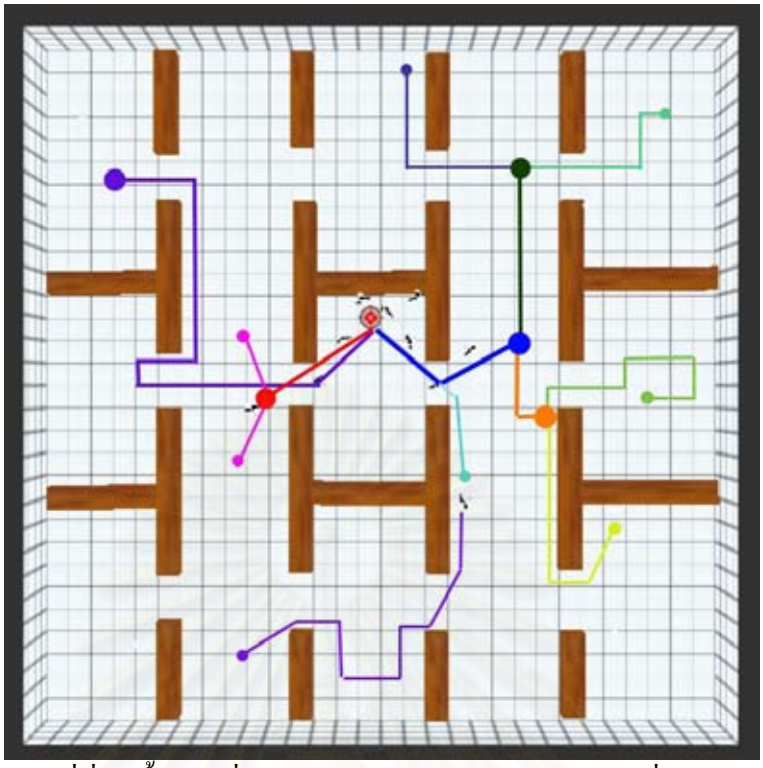
รูปที่ 4.11 ตำแหน่งที่หนึ่ง (สีแดง) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน



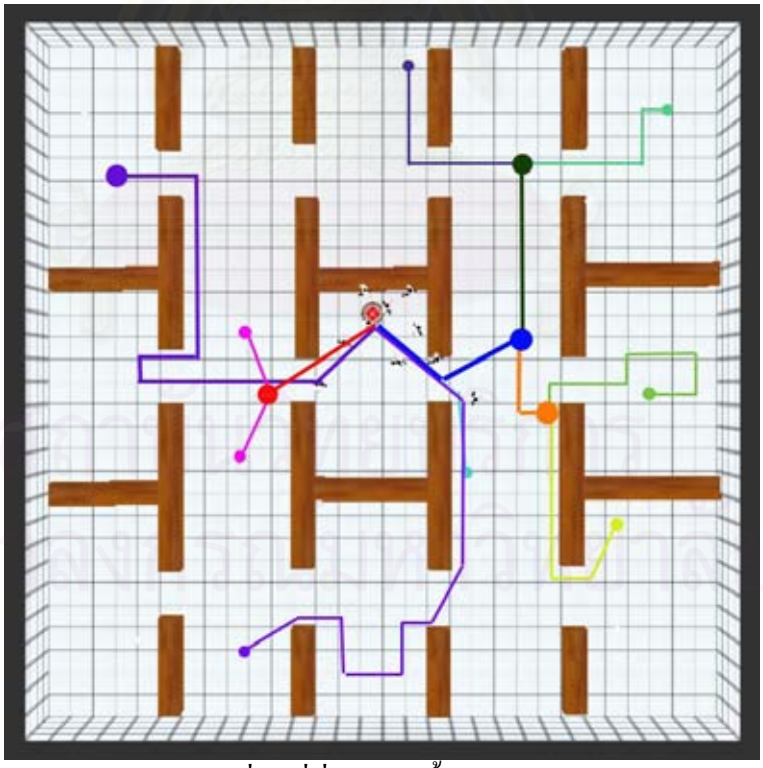
รูปที่ 4.12 ตำแหน่งที่สอง (สีเขียว) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน



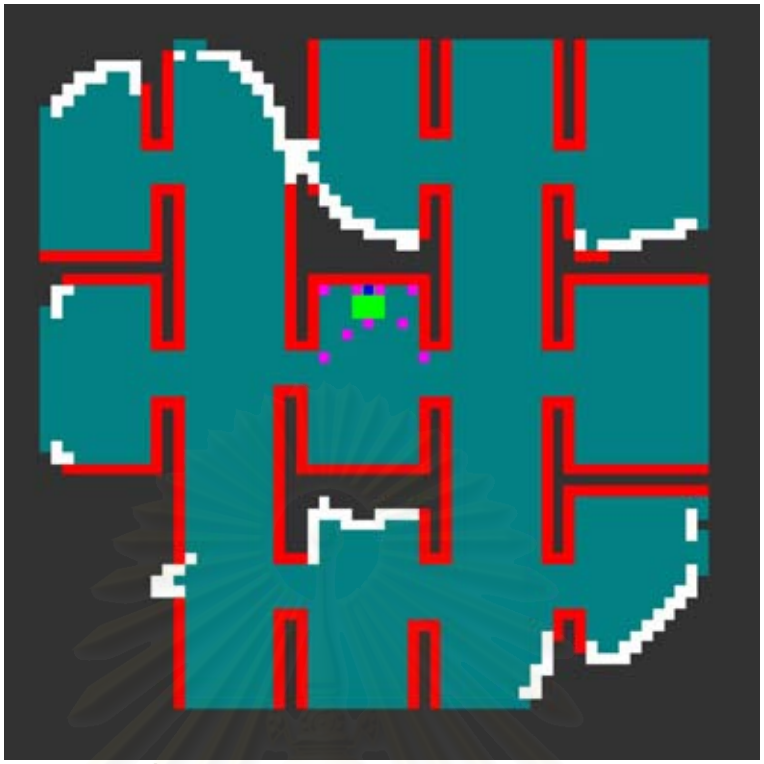
รูปที่ 4.13 ตำแหน่งที่สาม (สีส้ม) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งที่สี่ (สีน้ำเงิน) ที่มนุษย์จำลองแบ่งปันและผสานแผนที่องค์ความรู้ในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน



รูปที่ 4.15 ผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน



รูปที่ 4.16 ผลลัพธ์ของแผนที่องค์ความรู้จากการผสานองค์ความรู้มนุษย์จำลองทุกคนโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 10 คน

3. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีแบบครอบคลุมและวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นสามารถมีทิศทางไปยังเป้าหมายได้ในที่สุด โดยวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างจากวิธีแบบครอบคลุมนั้นเป็นวิถีในการเคลื่อนที่ที่สั้นที่สุดจากตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละมนุษย์จำลองไปยังเป้าหมาย แต่วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นถึงแม้ว่าจะไม่สั้นที่สุดแต่สามารถรับรองได้ว่าสามารถนำไปสู่เป้าหมายได้ในที่สุด โดยประสิทธิภาพของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นขึ้นกับความครอบคลุมขององค์ความรู้ที่มีอยู่ในแต่ละบุคคลที่ได้มีการแบ่งปันและผสานเข้าด้วยกัน ดังจะเห็นได้จากผลลัพธ์ของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลด้วยมนุษย์จำลอง 5 คนในรูปที่ 4.5 โดยกลุ่มของมนุษย์จำลองที่ได้มีการพบปะกันและได้ผสานองค์ความรู้เข้าด้วยกันนั้นจะมีวิถีในการเคลื่อนที่ที่สั้น (มนุษย์จำลองที่มีวิถีในการเคลื่อนที่สีเหลือง) และมีความคล้ายคลึงกับวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีแบบครอบคลุมมากกว่ามนุษย์จำลองที่ไม่ได้มีการพบปะและผสานองค์ความรู้กับมนุษย์จำลองอื่น ๆ (มนุษย์จำลองที่มีวิถีในการเคลื่อนที่สีน้ำเงิน) ยิ่งไปกว่านั้นแล้วหากมนุษย์จำลองมีองค์ความรู้ครอบคลุมถึงสภาพแวดล้อมจำลองทั้งหมดแล้วนั้นวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นจะเหมือนกับวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีแบบครอบคลุม

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการใช้การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมนั้นจะได้วิถีในการเคลื่อนที่ที่สั้นที่สุด แต่กลับไม่ยืดหยุ่นกับการจำลองการเคลื่อนที่ในหลาย ๆ เหตุการณ์ ยกตัวอย่าง เช่น การจำลองการเคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่คุ้นเคยอย่างเช่นเขาวงกตเป็นต้น ซึ่งนั่นหมายความว่า ถึงแม้ว่าจะรู้ตำแหน่งเริ่มต้นแต่กลับไม่ทราบถึงวิถีในการเคลื่อนที่ที่นำไปสู่เป้าหมาย ดังนั้นการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมจึงไม่เหมาะกับเหตุการณ์นี้ แต่ในทางกลับกันการนำการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลที่มีพื้นฐานอยู่บนการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบเฉพาะที่นั้นมาใช้กับเหตุการณ์ดังกล่าวนั้นกลับส่งผลให้วิถีในการเคลื่อนที่ถูกสร้างขึ้นมีความคล้ายคลึงกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมและยิ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อมนุษย์จำลองแต่ละคนได้ทำการแบ่งปันและผสานองค์ความรู้เข้าด้วยกัน

ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมนั้นถึงแม้จะได้วิถีในการเคลื่อนที่ที่สั้นและรวดเร็วที่สุดแต่กลับไม่ยืดหยุ่นกับการจำลองการเคลื่อนที่ในทุก ๆ เหตุการณ์ วิธีแบบเฉพาะที่นั้นถึงแม้จะใช้ได้กับทุกเหตุการณ์แต่กลับมีประสิทธิภาพต่ำ และการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลนั้นยืดหยุ่นกับการจำลองการเคลื่อนที่ในทุก ๆเหตุการณ์ และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบครอบคลุมดังตารางที่ 4.1 โดยประสิทธิภาพของวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นจะขึ้นกับระดับความแตกต่างทางขององค์ความรู้ในแต่ละบุคคลที่ได้มีการผสานเข้าด้วยกัน โดยมนุษย์จำลองที่มีความแตกต่างทางด้านองค์ความรู้มากเมื่อพบปะและผสานองค์ความรู้เข้าด้วยกันก็จะทำให้ครอบคลุมสภาพแวดล้อมได้มากกว่ามนุษย์จำลองที่มีองค์ความรู้แตกต่างกันน้อยจึงเป็นผลให้วิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพที่มากกว่าตามไปด้วย ดังนั้นแล้วการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีผสานองค์ความรู้ของบุคคลจึงยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้ในการจำลอง

วิธีการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ / ผลลัพธ์	วิธีผสานองค์ความรู้ของบุคคล	วิธีแบบครอบคลุม	วิธีแบบเฉพาะที่
ประสิทธิภาพในการค้นหาเป้าหมาย	ปานกลาง	รวดเร็ว	ช้า
ใช้ได้เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยน	✓	✗	✓

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่

การสร้างพฤติกรรมของฝูงชนโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล

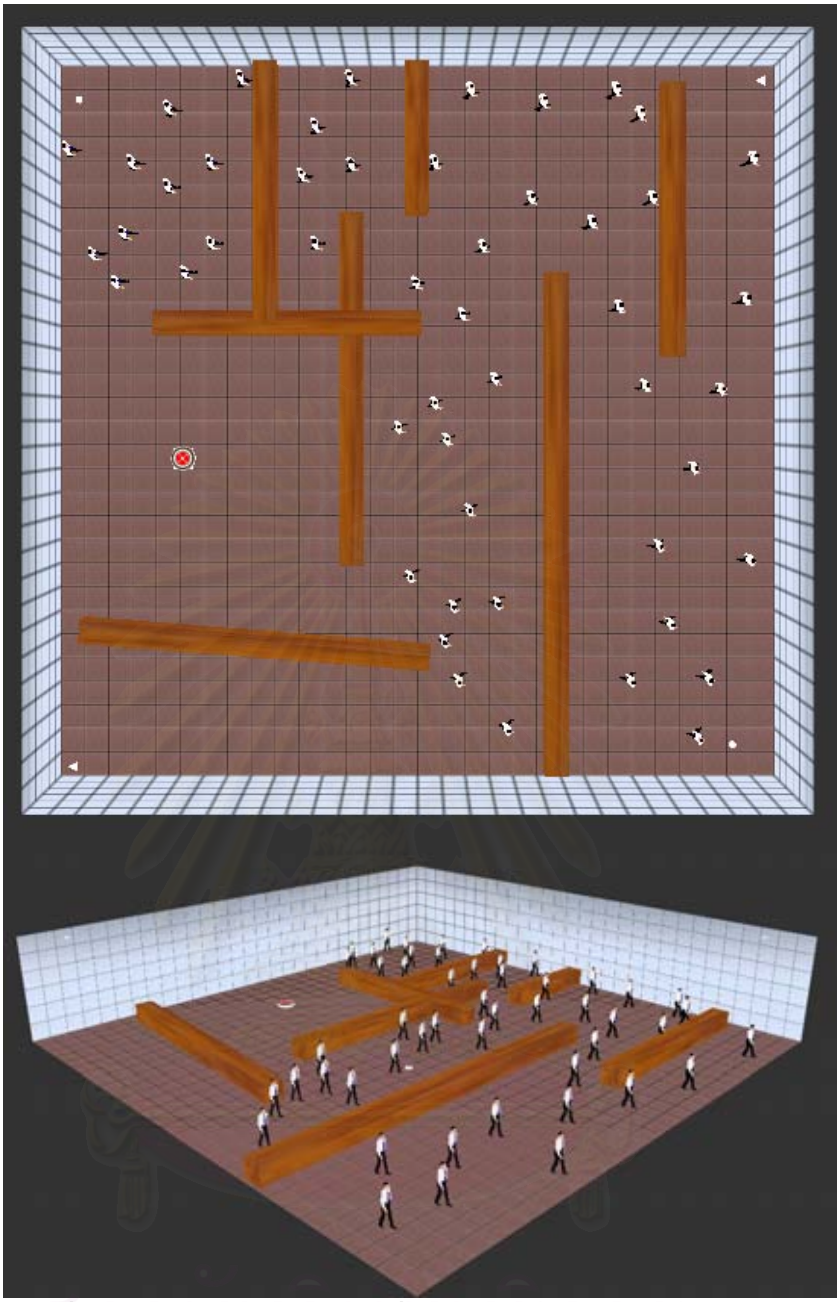
การทดลองเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ของพฤติกรรมของฝูงชนโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลนั้น สามารถกระทำได้โดยการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนในสภาพแวดล้อมจำลองแบบต่าง ๆ ขึ้น โดยการใช้การสร้างพฤติกรรมโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลและไม่ใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลแล้วทำการสังเกตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยการจำลองและผลลัพธ์ในแต่ละสถานการณ์สามารถอธิบายได้โดยละเอียดดังนี้

1. การทดลอง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีในการทดลองเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองฝูงชนโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล โดยในการทดลองนั้นถูกสร้างขึ้นด้วยการเริ่มต้นจากการสภาพแวดล้อมจำลองขึ้นมาหนึ่งชนิด ซึ่งสภาพแวดล้อมจำลองนี้จะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากการสร้างการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลและการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล โดยในการทดลองนั้นเราจะใช้จำนวนของมนุษย์จำลองจำนวนที่เท่ากันอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันใช้การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่แบบเดียวกันและมีเป้าหมายเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นมาตรฐานในการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้นั่นเอง

สภาพแวดล้อมจำลองถูกออกแบบให้มีความกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร และสูง 4 เมตร และถูกตกแต่งด้วยวัตถุต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น วัตถุที่เป็นกำแพงซึ่งถูกกำหนดให้เป็นสิ่งกีดขวางที่ไม่สามารถมองทะลุผ่านได้ และจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนด้วยมนุษย์จำลองจำนวน 50 คนที่ถูกสุ่มไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมจำลอง โดยในการจำลองนั้นจะใช้การสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลเพื่อเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายซึ่งอยู่บริเวณตรงกลางด้านซ้ายของสภาพแวดล้อมจำลองดังแสดงดังรูปที่ 4.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 สภาพแวดล้อมจำลองที่ประกอบไปด้วยมนุษย์จำลอง 50 คน

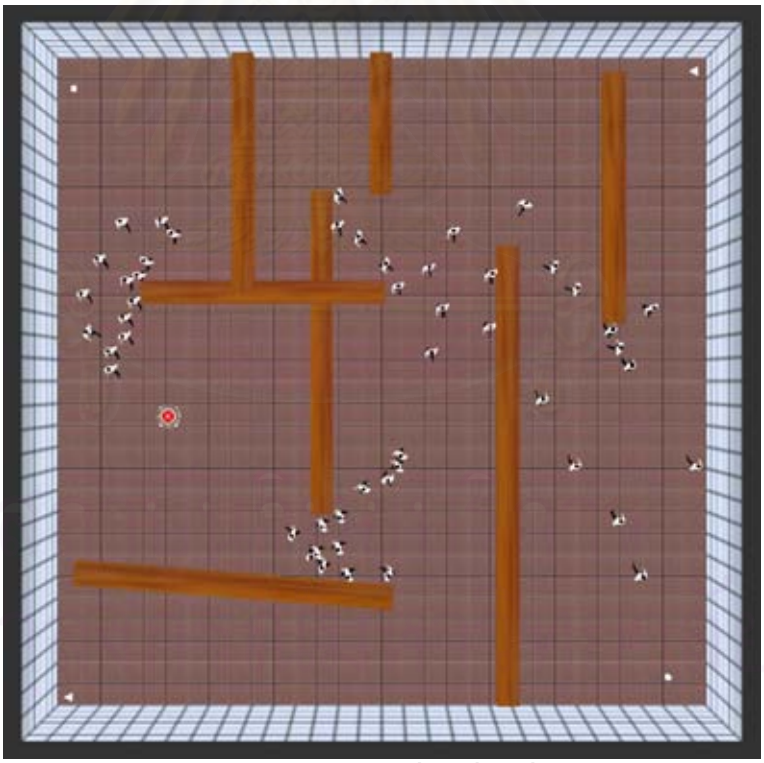
2. ผลลัพธ์จากการทดลอง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล และการจำลองฝูงชนโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลซึ่งสามารถอธิบายได้โดยละเอียดดังนี้

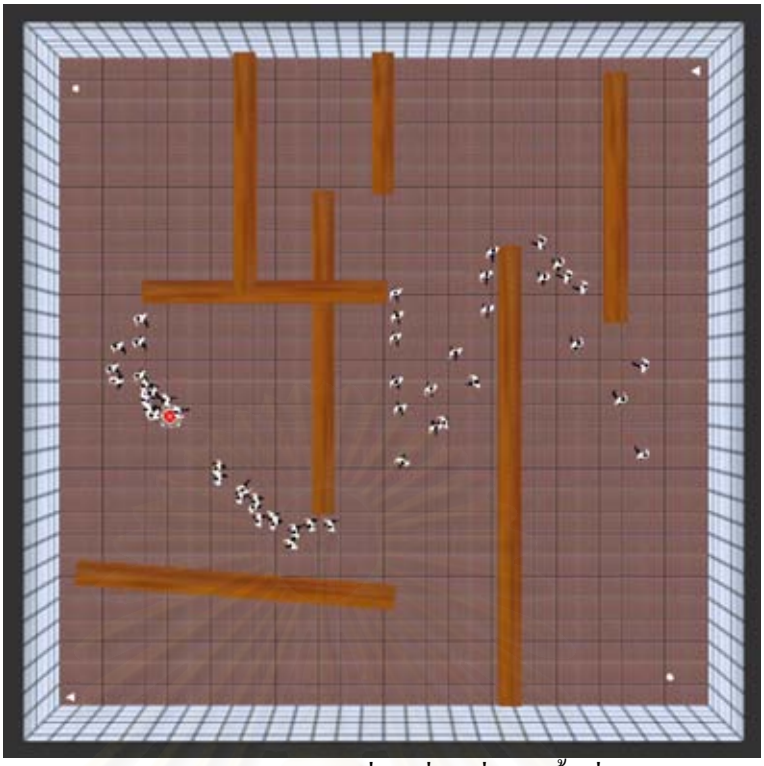
2.1 ผลลัพธ์จากการจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล

ผลลัพธ์จากการจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลแสดงให้เห็นว่ามนุษย์จำลองสามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้โดยอัตโนมัติ โดยจะเห็นได้ว่ากลุ่มของมนุษย์จำลองที่อยู่ด้านซ้ายบนของสภาพแวดล้อมจำลองกำลังมุ่งหน้าไปยังเป้าหมาย ในขณะที่มนุษย์จำลองอื่น ๆ ก็

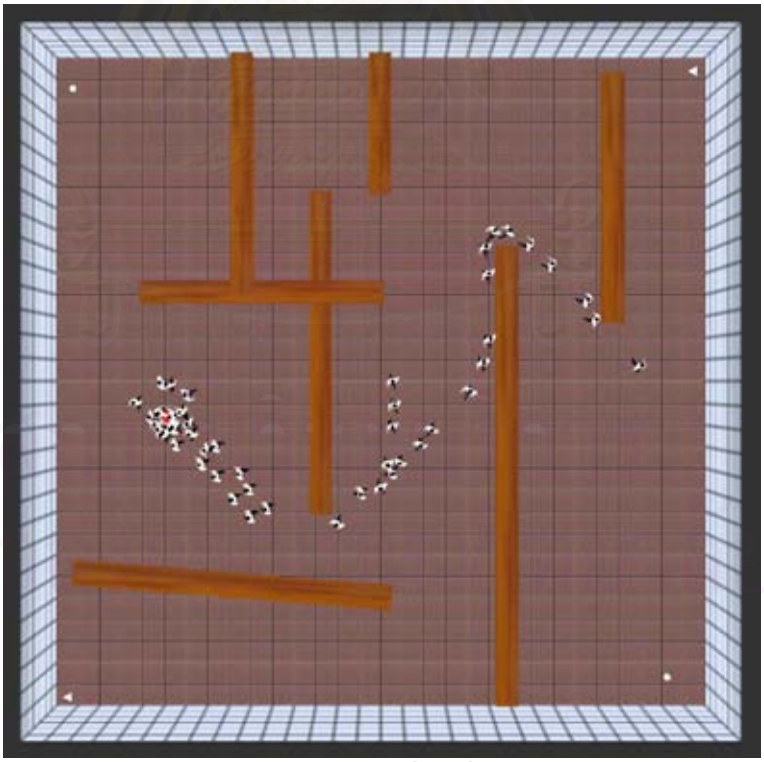
พยายามเคลื่อนที่ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อมุ่งหน้าไปยังเป้าหมายต่อไป และจะเห็นได้ว่ามนุษย์จำลองบริเวณตรงกลางด้านล่างของสภาพแวดล้อมจำลองที่กำลังมุ่งหน้าไปยังเป้าหมายโดยต้องผ่านช่องแคบระหว่างสิ่งกีดขวางนั้นก็ได้พยายามเรียงตัวเป็นแถวเพื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณดังกล่าวดังแสดงดังรูปที่ 4.18 และเมื่อได้ทำการเคลื่อนที่ผ่านบริเวณดังกล่าวไปแล้วนั้นกลับไม่กระจายตัวออกจากกลุ่มแต่ยังคงมีรูปแบบการเรียงตัวที่เป็นเช่นเดิมอยู่ในขณะที่สภาพแวดล้อมโดยรอบเปลี่ยนเป็นพื้นที่กว้างที่ไม่มีสิ่งกีดขวางโดยรอบดังแสดงดังรูปที่ 4.19 ต่อมาเมื่อมนุษย์จำลองอีกกลุ่มเคลื่อนที่มาจนถึงบริเวณตรงกลางของสภาพแวดล้อมจำลองจะเห็นได้ว่า มนุษย์จำลองส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ในลักษณะที่เรียงตัวเป็นแถวเดียวกันตามวิถีในการเคลื่อนที่ที่สั้นสุดไปยังเป้าหมายดังแสดงดังรูปที่ 4.20 และจะเห็นได้อย่างชัดเจนในบริเวณที่เป็นตำแหน่งของเป้าหมาย มนุษย์จำลองส่วนใหญ่จะพยายามมุ่งไปยังเป้าหมายเท่านั้น โดยมิคำนึงถึงปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่อยู่โดยรอบได้แก่ ตำแหน่งที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ครั้งต่อไป ระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างตนเองและมนุษย์จำลองโดยรอบ และการกระจายตัวที่เหมาะสมตามลักษณะของสภาพแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ ดังแสดงดังรูปที่ 4.21



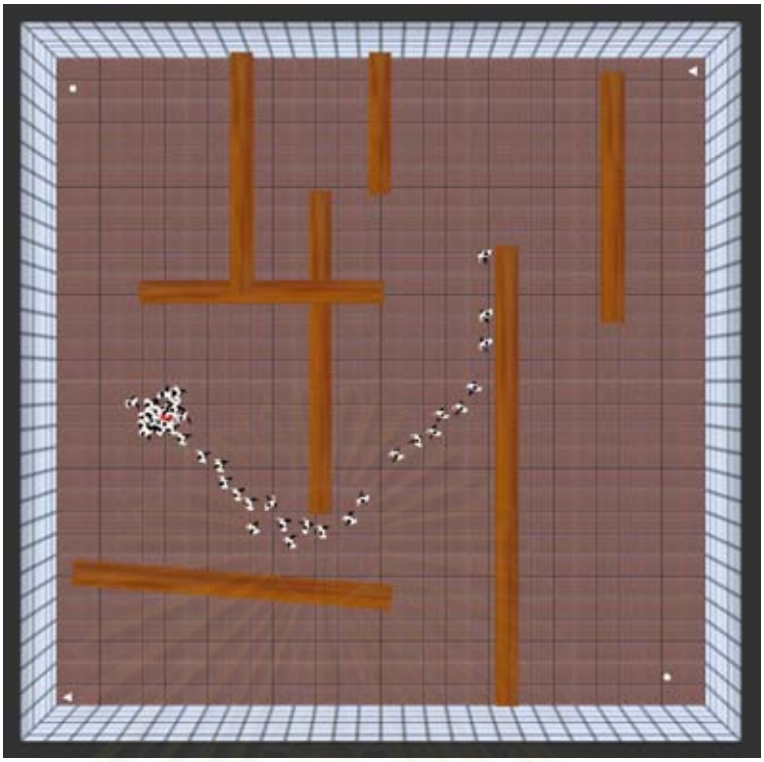
รูปที่ 4.18 การเรียงแถวเป็นแถวของมนุษย์จำลองเพื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณทางแคบในการจำลองโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 4.19 การไม่กระจายตัวของมนุษย์จำลองเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่กว้างในการจำลองโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 4.20 การเรียงตัวเป็นแถวตามวิถีในการเคลื่อนที่ในการจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล

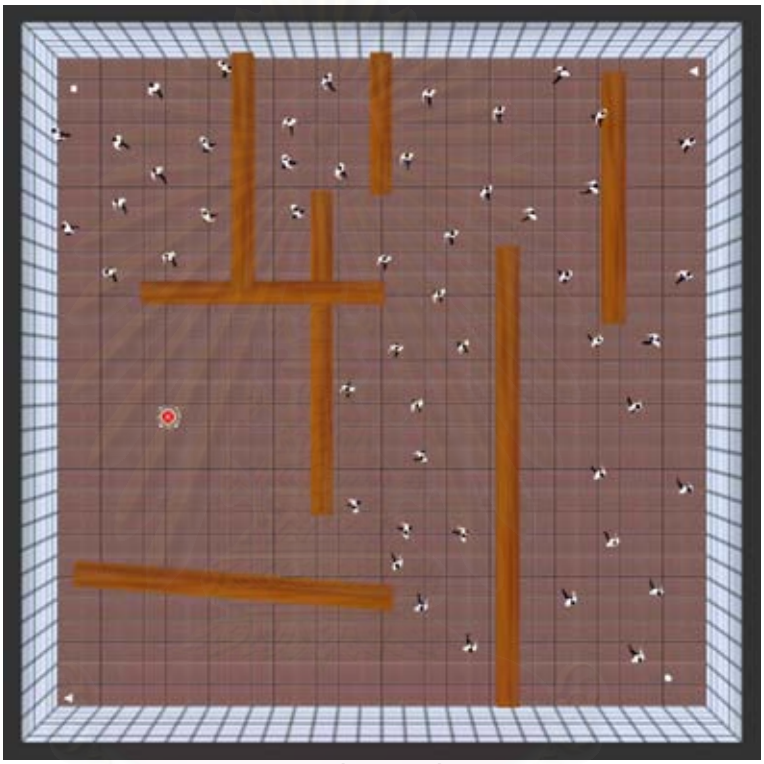


รูปที่ 4.21 ระยะห่างระหว่างมนุษย์จำลองในตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบเป้าหมายในการจำลองโดยไม่ใช้วิธีพลศาสตร์ของไหล

2.2 ผลลัพธ์จากการจำลองฝูงชนโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหล

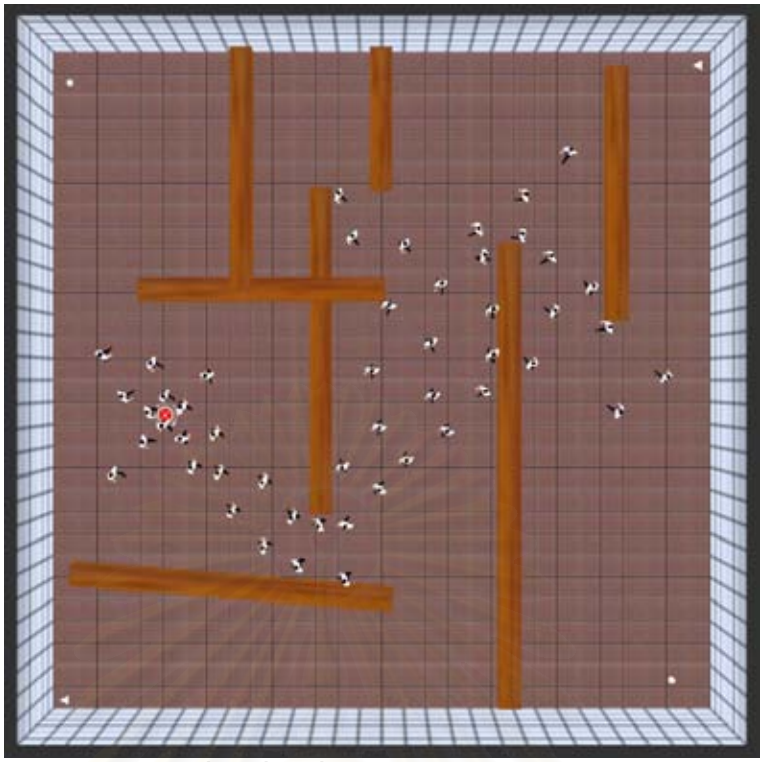
ผลลัพธ์จากการจำลองฝูงชนโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลแสดงให้เห็นว่าเมื่อเริ่มการจำลองมนุษย์จำลองการพยายามรักษาระยะห่างระหว่างตนกับมนุษย์จำลองอื่น ๆ ให้มีความเหมาะสมตามปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ ดังรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าบริเวณด้านบนซ้ายของสภาพแวดล้อมจำลองซึ่งมีความหนาแน่นของมนุษย์จำลองต่อพื้นที่มากกว่าบริเวณด้านล่างขวาของสภาพแวดล้อมจำลอง ก็จะทำให้ระยะห่างระหว่างมนุษย์จำลองนั้นมีค่าน้อยตามไปด้วยนั่นเอง และต่อมาเมื่อมนุษย์จำลองต้องเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่เป็นพื้นที่แคบ ดังรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มของมนุษย์จำลองถูกบีบให้แคบลงเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบดังกล่าวไปได้ โดยสะดวกแต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังพยายามรักษาระยะห่างระหว่างตนกับมนุษย์จำลองโดยรอบเพื่อไม่ให้เกิดการชนกันขึ้น และเมื่อมนุษย์จำลองได้เคลื่อนที่ผ่านช่องแคบดังกล่าวแล้วเข้าสู่สภาพแวดล้อมที่กว้างมากขึ้นแล้วนั้น เขาจะพยายามกระจายตัวออกไปยังพื้นที่ว่างโดยรอบแต่ก็ยังรักษาความเป็นกลุ่มดังแสดงดังรูปที่ 4.24 และจะเห็นได้ว่าถึงแม้มนุษย์จำลองทุกคนจะเคลื่อนที่ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นแต่ก็ไม่ได้มีรูปแบบที่เรียงตัวกันเป็นแถวดังเช่นการจำลองลองโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลดังแสดงดังรูปที่ 4.25 ทั้งนี้เนื่องจากการนำปัจจัยด้านการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมโดยรอบมาร่วมในการคำนวณ จึงเป็นผลให้การเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลอง

ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่นั้นมีลักษณะที่เป็นธรรมชาติ และเมื่อมนุษย์จำลองส่วนใหญ่สามารถเคลื่อนที่มาจนถึงเป้าหมาย จะเห็นว่ามนุษย์จำลองส่วนที่อยู่ใกล้กับเป้าหมายมากจะมีระยะห่างระหว่างตนกับมนุษย์จำลองรอบข้างที่น้อยและเพิ่มขึ้นเมื่อไกลออกไป ทั้งนี้เนื่องจากมนุษย์จำลองทุกคนพยายามเคลื่อนที่ให้ใกล้เข้าไปยังเป้าหมายมากที่สุด จึงทำให้แรงดันค่อย ๆ มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากภายนอกสู่ภายใน ด้วยเหตุนี้แล้วระยะห่างระหว่างบุคคลบริเวณพื้นที่โดยรอบของเป้าหมายจึงเป็นไปดังรูปที่ 4.26

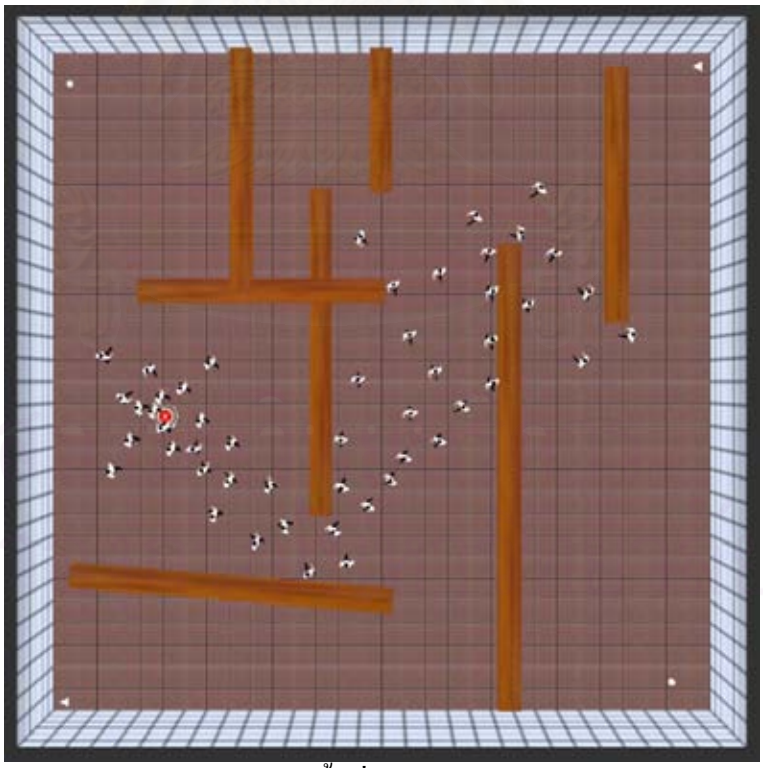


รูปที่ 4.22 การรักษาระยะห่างระหว่างบุคคลที่ปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล

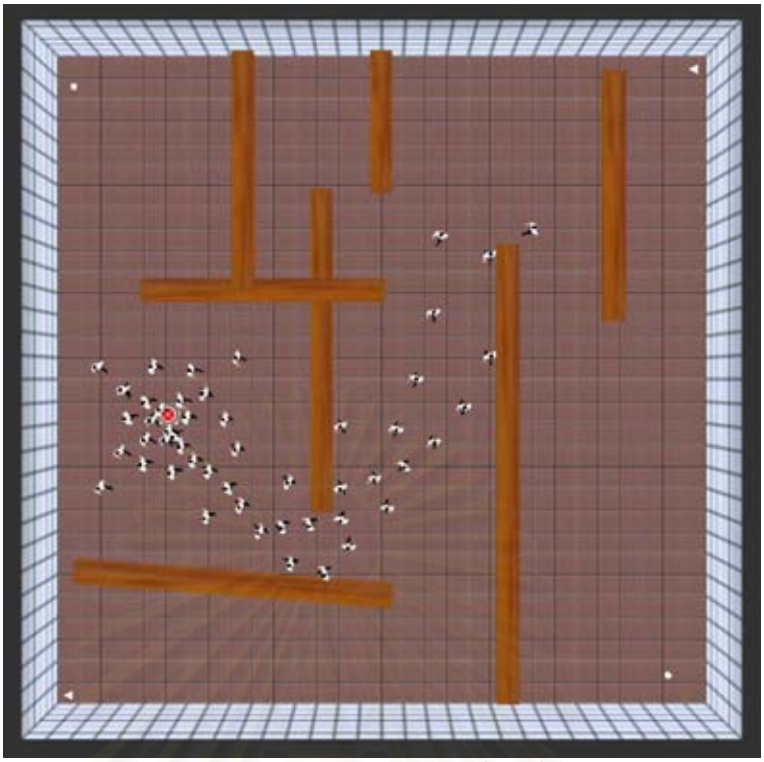
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



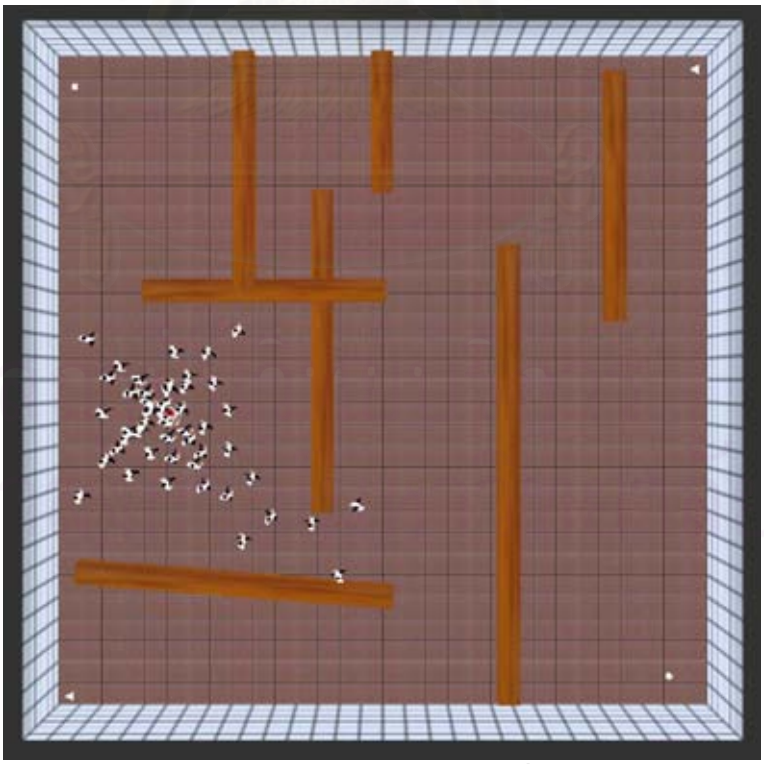
รูปที่ 4.23 การเรียงตัวเป็นแถวเพื่อเคลื่อนที่ผ่านทางแคบในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 4.24 การกระจายตัวออกไปในพื้นที่ว่างในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 4.25 การรักษาระยะห่างระหว่างบุคคลพร้อมกับเคลื่อนที่ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่ในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 4.26 ระยะห่างระหว่างมนุษย์จำลองในตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบเป้าหมายในการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหล

3. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลกับการจำลองฝูงชนโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลสามารถสรุปความแตกต่างของพฤติกรรมในดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยละเอียดดังนี้

การจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลสามารถสร้างการเคลื่อนที่ค้นหาเป้าหมายได้โดยอัตโนมัติเนื่องจากใช้วิธีการผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคล โดยมนุษย์จำลองแต่ละคนสามารถตรวจสอบการชนกับมนุษย์จำลองอื่น ๆ และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบได้แต่ก็ไม่สามารถรักษาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างตนกับมนุษย์จำลองที่อยู่โดยรอบซึ่งเป็นเอกลักษณ์ที่พบเห็นได้บ่อยในพฤติกรรมมนุษย์ ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้มนุษย์จำลองสามารถเรียงตัวเป็นแถวเพื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่เป็นทางแคบได้แต่ไม่สามารถกระจายตัวออกมาได้เมื่อเข้าสู่สภาพแวดล้อมที่กว้างขึ้น โดยสาเหตุที่มนุษย์จำลองสามารถเรียงตัวเป็นแถวได้เนื่องจากมนุษย์จำลองถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่ที่มีทิศทางที่ลู่เข้าในบริเวณพื้นที่แคบเสมอไม่กระจายออกในพื้นที่กว้างนั่นเอง ยิ่งไปกว่านั้นมนุษย์จำลองยังไม่คำนึงถึงความเร็วที่สัมพันธ์กับมนุษย์จำลองอื่น ๆ เพื่อรักษาระดับความเป็นกลุ่มในการเคลื่อนที่

การจำลองฝูงชนโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลสามารถสร้างการเคลื่อนที่เพื่อค้นหาเป้าหมายได้โดยอัตโนมัติโดยวิธีการผสานองค์ความรู้แต่ละบุคคลได้ และในระหว่างการเคลื่อนที่ไปตามวิถีในการเคลื่อนที่มนุษย์จำลองสามารถตรวจสอบการชนกับมนุษย์จำลองอื่น ๆ และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบพร้อมกับรักษาระยะห่างระหว่างบุคคลตามเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ด้วยเหตุนี้การเรียงตัวเป็นแถวเพื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณทางแคบและกระจายตัวออกจากกันเมื่อเข้าสู่บริเวณพื้นที่กว้างจึงเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้โดยอัตโนมัติ ยิ่งไปกว่านั้นแล้วมนุษย์จำลองแต่ละคนจะคำนวณระดับความเร็วที่เหมาะสมเพื่อรักษาความเป็นกลุ่มในการเคลื่อนที่ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากทฤษฎีพลศาสตร์ของไหลสามารถสรุปได้ดังนี้ แรงจากความดันใช้กำหนดระยะห่างที่เหมาะสมของแต่ละบุคคลซึ่งก่อให้เกิดการตรวจสอบการชนและการกระจายตัวของฝูงชนในพื้นที่กว้าง แรงจากแรงภายนอกใช้กำหนดทิศทางหลักในการเคลื่อนที่ซึ่งก่อให้เกิดการเรียงตัวของฝูงชนผ่านพื้นที่แคบ และสุดท้ายแรงจากความหนืดใช้กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของฝูงชนซึ่งก่อให้เกิดความเป็นกลุ่มในการเคลื่อนที่ของฝูงชน

จากการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการจำลองฝูงชนโดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลมีความเหมาะสมในการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนมากกว่าการไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลเนื่องจากการคำนวณจากสมการนาเวียร์สโตกส์ที่เป็นผลให้การเคลื่อนที่ของมนุษย์จำลองที่ถูกสร้างเป็นไปในลักษณะที่ไม่มีแบบแผนตายตัวซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการจำลองฝูงชนมากกว่าการจำลองฝูงชนโดยไม่ใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลที่มีแบบแผนตายตัวเป็นอย่างมาก

วิธีการจำลองฝูงชน / ผลลัพธ์	ใช้พลศาสตร์ของไหล	ไม่ใช้พลศาสตร์ของไหล
ค้นหาเป้าหมายอัตโนมัติ	✓	✓
ตรวจสอบการชน	✓	✓
รักษาระยะห่างระหว่างบุคคล	✓	✗
เรียงตัวเป็นแถวผ่านพื้นที่แคบ	✓	✓
กระจายตัวออกในพื้นที่กว้าง	✓	✗
รักษาความเร็วของตนในกลุ่ม	✓	✗

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์จากการจำลองฝูงชน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ

บทสรุป

การจำลองฝูงชนด้วยการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยการใช้วิธีการผสานองค์ความรู้ของบุคคลที่ได้นำเสนอไปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจำลองฝูงชนได้ในลักษณะที่ราบรื่นภายใต้เงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีในการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยวิธีการผสานองค์ความรู้ของบุคคลซึ่งยืดหยุ่นกับการนำไปใช้กับการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนในทุก ๆ สถานการณ์โดยผลลัพธ์จากวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับวิถีในการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากวิธีแบบครอบคลุม ทั้งนี้เนื่องจากองค์ความรู้ที่มีอยู่ในแต่ละบุคคลที่แตกต่างกันนั้น เมื่อถูกนำมาผสานเข้าด้วยกันเมื่อมนุษย์จำลองเคลื่อนที่มาพบกันนั้นจึงทำให้มนุษย์จำลองนั้นมีองค์ความรู้เพิ่มมากขึ้นและเป็นผลให้สามารถสร้างวิถีในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยประสิทธิภาพของการสร้างวิถีในการเคลื่อนที่โดยวิธีการผสานองค์ความรู้ของบุคคลนั้นขึ้นกับระดับความแตกต่างขององค์ความรู้ของแต่ละบุคคลที่นำมาผสานเข้าด้วยกันเมื่อมีการสื่อสารกัน

การสร้างพฤติกรรมของฝูงชนโดยวิธีทางพลศาสตร์ของไหลตามทฤษฎีที่ได้นำเสนอไปในงานวิจัยฉบับนี้นั้นมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ในระดับของฝูงชน เนื่องจากทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหลดังกล่าวตั้งอยู่บนพื้นฐานการคำนวณการเคลื่อนที่ด้วยสมการนาเวียร์สโตกส์ที่ประกอบไปด้วยผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณแรงจากความดันที่ใช้ในการสร้างระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างบุคคลในฝูงชน แรงจากความหนืดที่ใช้ในการสร้างระดับของความเร็วที่เหมาะสมของแต่ละบุคคล และแรงจากแรงภายนอกที่ใช้ในการควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่หลักของแต่ละบุคคลไปยังเป้าหมาย จึงเป็นผลให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดนั้นเป็นแรงที่ใช้กำหนดตำแหน่งและทิศทางที่เหมาะสมกับแต่ละมนุษย์จำลอง ซึ่งมีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละบุคคลถึงแม้ว่าจะเป็นตำแหน่งเดียวกันในเวลาที่ต่างกันก็ตาม ดังนั้นแล้วผลลัพธ์จากการจำลองการเคลื่อนที่ของฝูงชนที่ถูกสร้างขึ้นจึงมีลักษณะที่เป็นรูปแบบที่ไร้ซึ่งแบบแผนของพฤติกรรมซึ่งมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการสร้างการจำลองฝูงชนเป็นอย่างมาก

ทฤษฎีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลของงานวิจัยนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานการคำนวณแบบลากรานจ์ซึ่งคำนวณการเคลื่อนที่จากการสังเกตและติดตามอนุภาคไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ไปเป็นหลักที่สามารถกำหนดลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละอนุภาคได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีความแตกต่างไปจากพื้นฐานทฤษฎีการคำนวณแบบออยเลอร์ซึ่งคำนวณการเคลื่อนที่จากการสังเกตปริมาณควบคุมที่อนุภาคไหลผ่านที่กำหนดให้ทุก ๆ อนุภาคที่ไหลผ่านปริมาตรควบคุม

ดังกล่าวนั้นมีลักษณะทางพฤติกรรมที่เหมือนกัน ดังนั้นแล้วทฤษฎีทางพลศาสตร์ของไหลในงานวิจัยฉบับนี้จึงมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีเอกลักษณ์ด้านความหลากหลายทางด้านพฤติกรรมของแต่ละอนุภาคอย่างเช่นการจำลองฝูงชนมากกว่าการนำไปใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีพฤติกรรมที่เหมือน ๆ กันอย่างเช่นการจำลองหมอกหรือควัน

แนวทางในการพัฒนาต่อ

งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มนุษย์จำลองสามารถจดจำองค์ความรู้ที่ได้รับผ่านมาได้โดยทันทีและไม่มีวันเลือนลบไปจากความทรงจำจึงเป็นผลให้พฤติกรรมทางความคิดมีความบิดเบือนความจริงไปโดยเล็กน้อย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการกำหนดระดับในการจดจำจากระยะเวลาที่ได้รับการรับรู้ทั้งจากการมองเห็นและการสื่อสารของมนุษย์จำลอง โดยหากได้รับข้อมูลนั้นเป็นระยะเวลานานก็กำหนดให้สามารถจดจำได้โดยไม่ลบเลือน หรือหากได้รับข้อมูลนั้นเป็นเวลาน้อยก็ให้จดจำได้ในเวลาไม่นาน นอกจากนี้ในส่วนของการสร้างเส้นทางในการเคลื่อนที่ยังสามารถเพิ่มปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในสถานการณ์นั้นๆตามหลักความเป็นจริงยกตัวอย่างเช่น การกำหนดให้หลีกเลี่ยงเส้นทางที่เกิดเพลิงไหม้ในกรณีของสถานการณ์หนีไฟเป็นต้นซึ่งประเด็นเหล่านี้ถูกพัฒนาเพิ่มเติมในภายหน้าเพื่อเพิ่มความสมจริงให้กับพฤติกรรมของฝูงชนต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] O. Simonin. Construction of numerical potential fields with reactive agents. International Conference on Autonomous Agents, Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems ACM Press New York, NY, USA (2005): 1351 - 1352.

[2] M. Muller, D. Charpar, and M. Gross. Particle-based fluid simulation for interactive applications. Symposium on Computer Animation, Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation Eurographics Association Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland (2003) : 154 – 159.

[3] M. S. A. Latif and S. Widyarto. The crowd simulation for interactive virtual environments. Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry ACM Press New York, NY, USA (2004) : 278 – 281.

[4] G. Sanchez and J. Latombe. Using a prm planner to compare centralized and decoupled planning for multi-robot systems. Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on (2003) : 2112–2119.

[5] O. Bayazit, J. M. Lien, and N. Amato. Better flocking behaviors using rule-based roadmaps. Algorithmic Foundations of Robotics V, Springer Tracts in Advanced Robotics 7 Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2004) : 95–111.

[6] A. Treuille, S. Cooper, and Z. Popovic. Continuum Crowds. International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques ACM SIGGRAPH 2006 Papers, ACM Press New York, NY, USA (2006) : 1160-1168.

[7] C. Reynolds. Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques ACM Press New York, NY, USA (1987) : 25–34.

[8] C. Reynolds. Steering behaviors for autonomous characters. The proceedings of the 1999 Game Developers Conference (1999).

[9] D. Helbing, I. Farkas, and T. Vicsek. Simulating Dynamical Features of Escape Panic. Nature v. 407 (2000) : 487-490.

[10] A. Braun, B. E. J. Bodmann, L. P. L. Oliveira, and S. R. Musse. Modeling individual behavior in crowd simulation. Computer Animation and Social Agents, 2003. 16th International Conference on (2003) : 143-148.

[11] M. S. Latiff and S. Widyarto. The crowd simulation for interactive virtual environment. Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry ACM Press New York, NY, USA (2004) : 278 – 281.

[12] S. Wei and T. Demetri. Autonomous pedestrians. Symposium on Computer Animation, Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation ACM Press New York, NY, USA (2005) : 19 – 28.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีระวัฒน์ ตันติศิริวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2527 ในจังหวัดชุมพร จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบางเมืองเขียนผ่องอนุสรณ์ และจบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต ศรีราชา เมื่อปีการศึกษา 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย