

การปรับพารามิเตอร์ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองในเกมด้วยปัญญาประดิษฐ์



นาย สุณวัฒน์ คำบุญเศรษฐ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PARAMETERS ADJUSTMENT FOR EMERGENT ENVIRONMENTS IN GAMES USING ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE



Mr. Tanawat Kumnoonsate

สภามหาวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์  
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 2008  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับพารามิเตอร์ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองในเกม  
ด้วยปัญญาประดิษฐ์

โดย

นาย รุณวัฒน์ คำคุณเศรษฐ์

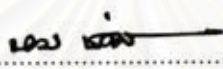
สาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

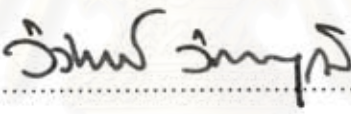
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

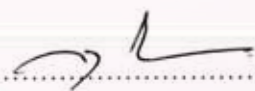
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ โคตรจรัส

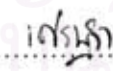
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ โคตรจรัส)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.เศรษฐา ปานงาม)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ เลิศสิทธิชัย)

รศ.ดร.วิษณุ โคตรจรัส : การปรับพารามิเตอร์ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองในเกม  
ด้วยปัญญาประดิษฐ์. (PARAMETERS ADJUSTMENT FOR EMERGENT  
ENVIRONMENTS IN GAMES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE) อ. ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.วิษณุ โคตรจรัส, 92 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนา เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่บน  
แผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติที่กำหนดสภาพพื้นที่ได้เองตามสถานการณ์  
ที่ผู้ใช้กำหนด การที่เครื่องมือสามารถแก้ไขค่าพารามิเตอร์ของพื้นที่ได้เองนั้นจะทำให้เหตุการณ์ที่ผู้ใช้  
กำหนดเกิดขึ้นได้ในขณะที่ผู้เล่นยังคงสามารถเข้าไปเกี่ยวข้องกับแผนที่ได้ดังเดิม เครื่องมือที่สร้างขึ้น  
นั้นใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และวิธีป็นเขาชันสุดในการทำงาน ซึ่งการใช้เครื่องมือนี้ช่วยลดเวลาและ  
กำลังคนที่ต้องใช้ในการพัฒนาแผนที่แบบปรากฏขึ้นเองลงได้ เครื่องมือทำงานโดยการแปลงเส้นทาง  
การเกิดเหตุการณ์ได้แก่ การลามของไฟ และการไหลของน้ำ ตามที่ผู้ใช้งานเครื่องมือกำหนด ให้เป็น  
สมบัติของพื้นที่ที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์ขึ้นให้ใกล้เคียงกับเส้นทางที่สุด คือเกิดเหตุการณ์ขึ้นตามจุดที่  
สำคัญบนเส้นทางตามที่ผู้ใช้งานกำหนดให้มากที่สุด และเกิดเหตุการณ์นอกเส้นทางให้น้อยที่สุด โดย  
จากการทดลอง พบว่าเครื่องมือทำงานได้ตามที่คาดหวังไว้ คือเกิดเหตุการณ์ตามจุดที่สำคัญมากกว่า  
ร้อยละ 70 และเกิดเหตุการณ์นอกเส้นทางน้อยกว่าร้อยละ 30

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....


## 4970291721 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING


KEY WORD: ARTIFICIAL INTELLIGENCE/ EMERGENT ENVIRONMENTS/ GAME DESIGN/  
GAME ENVIRONMENTS/ GENETIC ALGORITHMS

TANAWAT KUMNOONSATE: PARAMETERS ADJUSTMENT FOR EMERGENT  
ENVIRONMENTS IN GAMES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE. THESIS  
PRINCIPAL ADVISOR: ASST.PROF. VISHNU KOTRAJARAS, Ph.D., 92 pp.

This thesis presents the design and development of a tool, for adjusting properties of emergent environment maps automatically according to a given scenario. Adjusting properties for a scenario allows a specific scene to take place while still enabling players to meddle with emergent maps. The tool uses genetic algorithm and steepest ascent hill-climbing to learn and adjust map properties. Using the proposed tool, the need for time consuming and labor-intensive parameter adjustments when setting up scenarios in emergent environment maps is greatly reduced. The tool works by converting the paths of events created by users (i.e. the spreading of fire and the flow of water) for a map to the properties of the map, which plays out the scenario set by the given paths of events. Vital event points are preserved while event points outside the given scenario are minimized. Test results show that the tool preserves more than 70 percent of vital event points and reduces event points outside given scenarios to less than 30 percent.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

Academic year 2008

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. วิษณุ โคตรจรัส ที่คอยให้ดูแล ให้คำปรึกษา และช่วยแก้ไขข้อผิดพลาด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และการเผยแพร่ผลงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่แนะนำแนวทางในการวิจัย และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ รุ่นพี่ที่สำเร็จการศึกษาไปแล้ว และสมาชิกทุกคนในห้องปฏิบัติการงานวิจัยเกม ที่ให้ความช่วยเหลือในการค้นคว้า ให้คำแนะนำ ทำการทดลอง และจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งหาทุนวิจัย และทุนในการเผยแพร่ผลงานวิจัยของห้องปฏิบัติการ

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดมา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง .....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1.1 สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง .....	5
2.1.2 เซลลูลาร์ ออโตมาตา .....	ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุ
2.1.3 .....	7
2.1.4 ข่ายงานประสาทเทียม .....	11
2.1.5 วิธีป็นเขาขั้นสุด .....	13
2.2 การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	14
2.2.1 งานวิจัยด้านจำลองระบบนิเวศน์ .....	14
2.2.2 งานวิจัยด้านเกม .....	15
2.2.3 งานวิจัยด้านด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์ .....	18
บทที่ 3 เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่บนแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติ ..	21
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือ .....	21
3.2 การทำงานของเครื่องมือ .....	24
3.3 ลักษณะของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม .....	25
3.4 ลักษณะของวิธีป็นเขาขั้นสุด .....	33
3.5 ลักษณะของแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง .....	35

บทที่ 4 การทดสอบ ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล .....	36
4.1 การทดสอบการใช้งาน .....	36
4.2 การทดสอบการลดเวลาการทำงานโดยการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า .....	37
4.3 การทดสอบผลของการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า .....	37
4.4 การทดสอบผลของการใช้การปรับปรุงค่า .....	38
4.5 ผลการทดสอบ .....	38
4.5.1 ผลการทดสอบการใช้งาน .....	38
4.5.2 ผลการทดสอบการลดเวลาการทำงานโดยการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า .....	42
4.5.3 ผลการทดสอบผลของการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า .....	43
4.5.4 ผลการทดสอบผลของการใช้การปรับปรุงค่า .....	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	45
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	45
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	46
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	46
รายการอ้างอิง .....	48
ภาคผนวก .....	50
ภาคผนวก ก ผลงานการตีพิมพ์ .....	51
ภาคผนวก ข งานวิจัยที่ได้ดำเนินการก่อนหน้า .....	65
ภาคผนวก ค ผลการทดลองโดยละเอียด .....	67
ภาคผนวก ง วิธีการใช้งานเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่ .....	77
ภาคผนวก จ คลาสไดอะแกรม .....	89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	92



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
ตารางที่ 1	โครงสร้างของระบบอีเมอเจนต์	16
ตารางที่ 2	ช่วงของการสุ่มประชากรเริ่มต้น	27
ตารางที่ 3	ผลการทดลองกำหนดอัตราารรวมค่า	30
ตารางที่ 4	ผลการทดลองกำหนดอัตราการกลายพันธุ์	31
ตารางที่ 5	ผลการทดลองตำแหน่งการปรับปรุงค่า	35
ตารางที่ 6	ค่าสูงสุด/ต่ำสุด ของตัวแปรต่างๆ	35
ตารางที่ 7	ผลการทดสอบการใช้งานแยกตามลักษณะของเส้นทาง	39
ตารางที่ 8	ผลการทดสอบการลดเวลาการทำงานโดยการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า	43
ตารางที่ 9	ผลการทดลองอัตราารรวมค่า และอัตราการกลายพันธุ์โดยละเอียด	67
ตารางที่ 10	ผลการทดลองตำแหน่งการปรับปรุงค่าโดยละเอียด	69
ตารางที่ 11	ผลการทดสอบการใช้งานโดยละเอียด	69
ตารางที่ 12	ผลการทดสอบการไม่ใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้าโดยละเอียด	75
ตารางที่ 13	ผลการทดสอบการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้าโดยละเอียด	76

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า	
ภาพที่ 1	เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา กฎ 30 .....	6
ภาพที่ 2	เซลล์รอบข้างของเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตาจัตุรัส 2 มิติ .....	6
ภาพที่ 3	ตัวอย่างรูปแบบการเปลี่ยนสถานะของเกมชีวิตของคอนเวย์ .....	7
ภาพที่ 4	รูปทรงทอรัส .....	7
ภาพที่ 5	ลำดับการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม .....	8
ภาพที่ 6	การไขว้เปลี่ยน .....	10
ภาพที่ 7	การรวมค่า .....	11
ภาพที่ 8	การกลายพันธุ์ .....	11
ภาพที่ 9	เพอร์เซปตรอนหลายชั้น .....	12
ภาพที่ 10	การจำลองการเกิดไฟฟ้าของ ฮาโกรฟ และคณะ .....	14
ภาพที่ 11	ระบบอีมูเจนต์ แสดงการเกิดไฟไหม้ .....	15
ภาพที่ 12	พารามิเตอร์เทรสโฮล 1-3 ซึ่งสามารถปรับแต่งค่าได้ .....	18
ภาพที่ 13	ส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง .....	22
ภาพที่ 14	ส่วนกำหนดสมบัติของพื้นที่แบบอัตโนมิติ .....	22
ภาพที่ 15	ส่วนแสดงแสดงเหตุการณ์ .....	23
ภาพที่ 16	ส่วนแสดงแสดงสมบัติของแผนที่ .....	23
ภาพที่ 17	ลำดับการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในเครื่องมือ .....	25
ภาพที่ 18	ข้อมูลในโครโมโซมการลามของไฟ .....	26
ภาพที่ 19	ข้อมูลในโครโมโซมการไหลของน้ำ .....	26
ภาพที่ 20	แผนที่ T1 .....	28
ภาพที่ 21	แผนที่ T2 .....	29
ภาพที่ 22	แผนที่ T3 .....	29
ภาพที่ 23	ลำดับการการวัดค่าความเหมาะสม .....	31
ภาพที่ 24	ขั้นตอนวิธีของวิธีป็นเขาขั้นสุด .....	34
ภาพที่ 25	ลำดับการทดสอบการลดเวลาการทำงาน .....	37
ภาพที่ 26	ตัวอย่างแผนที่ที่ไฟไหม้อยู่ที่ตำแหน่งเดิมเป็นเวลานาน .....	40
ภาพที่ 27	ตัวอย่างแผนที่ที่น้ำไหลไกลๆ .....	41
ภาพที่ 28	แผนที่แสดงเหตุการณ์ที่พบการลามของไฟนอกเส้นมากที่สุด .....	41

ภาพ	หน้า	
ภาพที่ 29	ส่วนต่างๆของเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่	77
ภาพที่ 30	เลือกหัวข้อ “Set Path”	78
ภาพที่ 31	เลือกสร้างเส้นทางการลามของไฟ	78
ภาพที่ 32	การสร้างจุดควบคุมเส้นทาง	79
ภาพที่ 33	กำหนดขนาดรัศมี และเวลาของจุดควบคุมเส้นทาง	79
ภาพที่ 34	การสร้างจุดควบคุมเส้นทางเพิ่มเติม หรือปิดเส้นทาง	80
ภาพที่ 35	ย้ายตำแหน่งจุดควบคุมเส้นทาง	80
ภาพที่ 36	แก้ไขเวลาที่เกิดเหตุการณ์	81
ภาพที่ 37	ลบจุดควบคุมเส้นทาง	81
ภาพที่ 38	เส้นทางที่กำหนดเป็นไปไม่ได้	82
ภาพที่ 39	เลือกหัวข้อ “Run Map”	82
ภาพที่ 40	หยุดการทำงานของส่วนกำหนดสมบัติของพื้นที่	83
ภาพที่ 41	ดูเหตุการณ์ที่ออกแบบ	83
ภาพที่ 42	หยุดเหตุการณ์	84
ภาพที่ 43	เวลาของเหตุการณ์	84
ภาพที่ 44	แสดงอุณหภูมิของเซลล์	85
ภาพที่ 45	เลือกเซลล์ที่ต้องการแก้ไข	85
ภาพที่ 46	แก้ไขค่าของสมบัติ	86
ภาพที่ 47	ซูมสมบัติของเซลล์	86
ภาพที่ 48	เลือกทิศทางลม	87
ภาพที่ 49	สร้างแผนที่ใหม่	87
ภาพที่ 50	หน้าต่างการเปิดไฟล์	88
ภาพที่ 51	ปิดการแสดง เส้นตาราง เส้นทาง และจุดกำเนิด	88
ภาพที่ 52	คลาสไดอะแกรม	89

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพแวดล้อมในเกมเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้เกมดูมีความสมจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกมที่ผู้เล่นสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมได้เช่น เกม “Bahamut Lagoon” (1996) ซึ่งผู้เล่นสามารถใช้เวทย์ไฟในการเผาป่าเพื่อโจมตีศัตรูในป่าได้ หรือเกม “Command & Conquer: Generals” (2003) ซึ่งผู้เล่นสามารถใช้เครื่องบินก่อไฟบนแผนที่ได้ซึ่งจะทำให้ศัตรูที่เดินผ่านได้รับบาดเจ็บ แต่ในเกมที่กล่าวมานั้นพฤติกรรม (Behavior) ของสภาพแวดล้อม กล่าวคือการเกิดไฟนั้นยังคงไม่สมจริงนัก เช่น ไฟไม่มีการลาม หรือมีรูปแบบการลามที่เหมือนกันทุกครั้ง ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดจากการกำหนดพฤติกรรมไว้ตายตัว ( Scripting) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนมาใช้สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง ( Emergent Environment) ซึ่งจะแสดงพฤติกรรมโดยขึ้นกับสมบัติ (Property) ของพื้นที่ และกฎที่กำหนดไว้ ( Rule) ทำให้สามารถแสดงพฤติกรรมได้สมจริงกว่า [1]

ถึงแม้ว่าสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง จะมีการใช้งานอย่างกว้างขวางอยู่แล้ว ในด้านการจำลองระบบนิเวศน์ แต่ในส่วนของเกมนั้นยังไม่มีการนำมาใช้งานมากนัก เนื่องจากมีข้อด้อยที่สำคัญ ที่ไม่มีผลต่อการจำลองระบบนิเวศน์ แต่พบเมื่อนำมาใช้ในเกมได้แก่

ในด้านการพัฒนาเกม ผู้พัฒนาเกมไม่สามารถควบคุมพฤติกรรมของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองได้โดยง่ายเหมือนการกำหนดพฤติกรรมไว้ตายตัว เพราะพฤติกรรมของสภาพแวดล้อมจะขึ้นอยู่กับสมบัติของพื้นที่ และกฎที่ใช้ควบคุม ไม่สามารถกำหนดการแสดงพฤติกรรมได้โดยตรง ทำให้หากผู้พัฒนาเกมต้องการกำหนดเนื้อเรื่อง ( Scenario) หรือการเล่าเรื่องราวระหว่างการเล่น (In-game Cut-scene) ผู้พัฒนาเกมจะต้องกำหนดสมบัติในทุกๆพื้นที่ของแผนที่ในเกม ซึ่งมีจำนวนมาก และ หาค่าที่เหมาะสมได้ยาก ทำให้ต้องมีการลองผิดลองถูกอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อเวลา และกำลังคนที่ต้องใช้ในการพัฒนาเกม

ในด้านการเล่นเกม ในเกมที่ผู้เล่นสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมได้ หากไม่สามารถควบคุมพฤติกรรมของสภาพแวดล้อมในเกม จะทำให้ไม่สามารถกำหนดเนื้อเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นจุดเด่นของเกมประเภทนี้ และสภาพแวดล้อมอาจจะแสดงพฤติกรรมไม่ตรงกับที่ผู้พัฒนาเกมออกแบบ ทำให้การเล่นผิดไปจากที่ออกแบบไว้ ส่งผลให้ในปัจจุบันยังไม่มีการใช้งานสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองในเกมมากนัก โดยมักจะพบแต่ในเกมที่ไม่มีเนื้อเรื่อง เช่น เกมประเภทจำลองสถานการณ์ ( Simulation Game)

หรือใช้ในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อเรื่องเช่น ควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวละครที่เป็นตัวประกอบในเกม [1] เป็นต้น

การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่ขึ้นมาโดยอัตโนมัติเพื่อให้สามารถแสดงพฤติกรรมตามที่คุณพัฒนาเกมต้องการ ซึ่งวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จะนำเสนอแนวคิดการสร้างเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่ดังกล่าว โดยการนำวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือต้นแบบที่ช่วยให้ผู้พัฒนาเกม สามารถสร้างเหตุการณ์ในเกมที่ใช้แผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองได้ง่าย โดยไม่ต้องแก้ไขสมบัติของสิ่งแวดล้อมเอง

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 เครื่องมือในวิทยานิพนธ์นี้ปรับแต่งค่าได้เฉพาะแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองตามระบบ อีเมจเจนท์ (EmerGEnT System) เท่านั้น และมีข้อกำหนดเพิ่มเติมบางอย่างกล่าวคือ

- มีเหตุการณ์สองอย่างคือ การลามของไฟ และการไหลของน้ำ โดยจะไม่มีภาวะระเบิด เนื่องจากการระเบิดจะเกิดเมื่อความดันในเซลล์ต่างกันมากจึงมักจะเกิดที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่อยู่ห่างออกไป
- มีสมบัติที่เครื่องมือจะปรับค่า 6 ค่า โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่
  - สมบัติของเซลล์ที่มีผลต่อการไหลของน้ำได้แก่ ความสูง
  - สมบัติของเซลล์ที่มีผลต่อการลามของไฟได้แก่
    - ลักษณะของพื้นที่
    - อุณหภูมิ
    - มวลของเชื้อเพลิง
    - ความเสียหายของเชื้อเพลิงจากการลุกไหม้
    - ความชื้น
- มีพื้นที่สามแบบคือ หญ้า ป่า และน้ำ
- ความเร็วลมจะมีค่าเป็น 10 ถ้ามีลม

- แต่ละเซลล์บนแผนที่สามารถเกิดเหตุการณ์ได้หลายอย่าง แต่แต่ละอย่างจะเกิดขึ้นได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เช่น ไฟไหม้จนมอดแล้วไม่สามารถกลับมาไหม้ใหม่ได้

1.3.2 ผู้ใช้จะกำหนดเหตุการณ์บนแผนที่ ได้ด้วยเส้นทางการเกิดเหตุการณ์ กับเวลาในการเกิดเหตุการณ์เท่านั้น

1.3.3 การทดสอบผลกำหนดไว้ดังนี้

- ทดสอบโดยการสุ่มสร้างเหตุการณ์บนแผนที่อย่างน้อย 100 การทดสอบ
- ทดสอบด้วยแผนที่ขนาดกว้าง 8 เซลล์ ยาว 8 เซลล์
- เหตุการณ์ที่สุ่มทดสอบ ได้แก่
  - การลามของไฟ
  - การไหลของน้ำ
  - การลามของไฟผสมกับการไหลของน้ำ
- มีจุดควบคุมเส้นทางในทุกเหตุการณ์ตั้งแต่ 2 ถึง 6 จุด
  - สุ่มตำแหน่งทั่วทั้งแผนที่
  - สุ่มขนาดรัศมีตั้งแต่ 1 ถึง 2 หน่วย
  - สุ่มเวลาเกิดไม่เกิน 50 หน่วยเวลา
- ลมจะสุ่มระหว่าง ไม่มีลม และสุ่มทิศทางลม

1.3.4 ผลการทำงานที่ควรจะเป็นกำหนดไว้ดังนี้

- ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดจากเส้นทางที่ผู้ใช้ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง จะต้องมีค่าเฉลี่ยในทุกจุด จากทุกการทดสอบมากกว่าร้อยละ 70
- ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวมทุกเหตุการณ์ จะต้องมีค่าเฉลี่ยในทุกการทดสอบน้อยกว่าร้อยละ 30

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่บนแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติ

- 1.4.3 พัฒนาเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่ บนแผนที่ของ สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง แบบอัตโนมัติ
- 1.4.4 ทดสอบ และปรับปรุง เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่ บนแผนที่ของ สภาพแวดล้อมแบบ ปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติ
- 1.4.5 ออกแบบวิธีการวัดผล และเงื่อนไขการวัดผล
- 1.4.6 วัดผลการทำงานของเครื่องมือ
- 1.4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 1.4.8 สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง (Emergent Environment) [1]

สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง เป็นการ จำลอง สภาพแวดล้อมโดยกำหนดเพียงกฎพื้นฐานในการแสดงพฤติกรรม และตอบสนองต่อสิ่งรอบข้าง ไว้เท่านั้น ไม่ได้กำหนดพฤติกรรมที่ต้องการให้แสดงออกไปโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีที่เลียนแบบสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติที่ แสดงพฤติกรรม ตามกฎทางฟิสิกส์ แต่เนื่องจากกฎในธรรมชาติมีความซับซ้อนมาก ทำให้ไม่สามารถเลียนแบบการทำงานได้โดยตรง จึงต้องอาศัยวิธีการที่ไม่ซับซ้อน แต่สามารถจำลองพฤติกรรมได้ สมจริงในระดับหนึ่ง

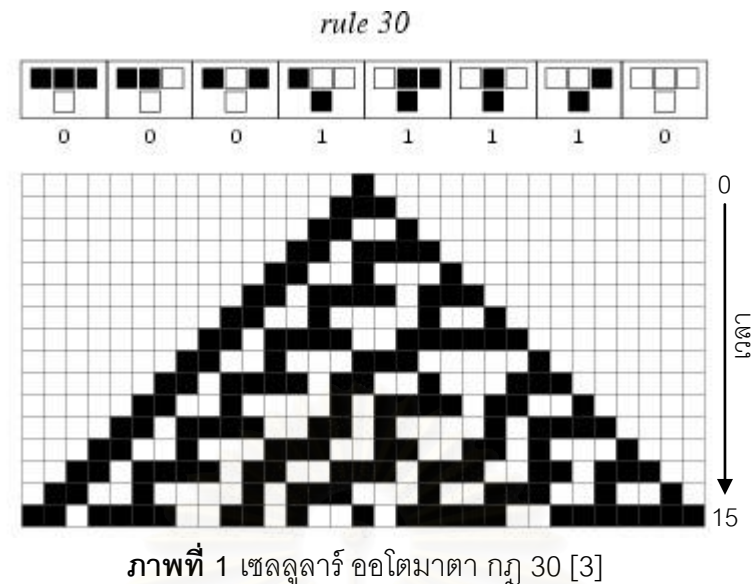
โดยในส่วนของแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง ( Emergent Environment Map) สามารถสร้างได้ด้วยเซลล์ูลาร์ ออโตมาตา ( Cellular Automata) โดยใช้กฎในการเปลี่ยนสถานะ เป็นกฎที่ใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อม เนื่องจากเซลล์แต่ละเซลล์ในเซลล์ูลาร์ ออโตมาตา จะเปลี่ยนสถานะตามสถานะของเซลล์รอบข้าง ทำให้ สามารถทำการจำลองการเกิดและแพร่กระจายของพฤติกรรมบนแผนที่ได้

ในด้านที่เกี่ยวกับเกม สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง มีข้อดีคือ มีความสมจริงตามธรรมชาติ แก้ไขเพียงส่วนกฎก็สามารถควบคุมพฤติกรรมทั้งหมด และผู้เล่นมีอิสระสูง แต่มีข้อด้อยคือ พัฒนา และทดสอบเกมได้ยาก และควบคุมพฤติกรรมที่ต้องการได้ยาก

##### 2.1.2 เซลล์ูลาร์ ออโตมาตา (Cellular Automata) [2]

เซลล์ูลาร์ ออโตมาตา เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์แบบไม่ต่อเนื่อง ( Discrete Model) โดยมีลักษณะเป็นกลุ่มของเซลล์ที่มาเรียงต่อกันอย่างเป็นระเบียบ โดยมีขนาดไม่จำกัด แต่มิติมีขนาดจำกัด และเซลล์แต่ละเซลล์จะมีสถานะ (State) ได้จำกัด และขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์รอบข้างในเวลาก่อนหน้านั้น 1 หน่วยเวลา ซึ่งเวลาจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง โดยกฎในการเปลี่ยนสถานะของเซลล์จะเหมือนกันทุกเซลล์ในเซลล์ูลาร์ ออโตมาตาเดียวกัน และอาจจะเป็นได้ทั้งฟังก์ชันที่ให้ผลแน่นอน (Deterministic Functions) หรือ ฟังก์ชันของความน่าจะเป็น (Probabilistic Functions)



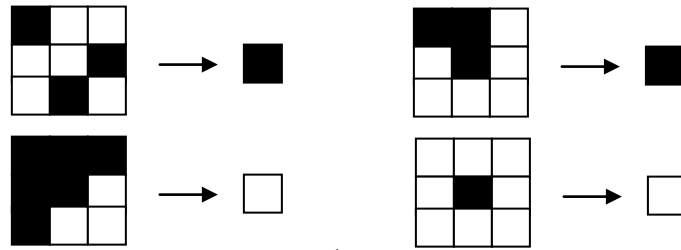


ในภาพที่ 1 จะแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์ลูอาร์ ออโตมาตา 1 มิติ ใน 15 หน่วยเวลา โดยใช้กฎ 30 ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางส่วนบนของภาพ และมีสถานะเริ่มต้นดังแถบบนสุดของตาราง ส่วนล่าง คือเริ่มจากเซลล์สีดำเซลล์เดียว

เซลล์ลูอาร์ ออโตมาตาที่พบเห็นได้โดยทั่วไปมักจะเป็นชนิดที่ ประกอบด้วย เซลล์จัตุรัสเรียงต่อกันเป็นตาราง 2 มิติ ซึ่งจะมีเซลล์รอบข้าง 4 หรือ 8 เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 2 เช่น เกมชีวิตของคอนเวย์ (Conway's Game of Life) ซึ่งถูกค้นพบโดย J. H. Conway ในปี ค.ศ.1970 โดยเป็นเซลล์ลูอาร์ ออโตมาตาสองมิติ ที่มีสถานะสองสถานะ คือ มีชีวิต กับไม่มีชีวิต และมีกฎคือ สำหรับเซลล์ที่มีชีวิต ถ้ามีเซลล์ข้างเคียงที่มีชีวิต 2 ถึง 3 เซลล์ จะมีชีวิตรอดต่อไป แต่ถ้ามีน้อยกว่า 2 หรือมากกว่า 3 เซลล์ จะตาย ส่วนเซลล์ที่ไม่มีชีวิต ถ้ามีเซลล์ข้างเคียงที่มีชีวิต 3 เซลล์พอดี ก็จะกลายเป็นเซลล์ที่มีชีวิต ดังตัวอย่างในภาพที่ 3 โดยเซลล์ที่มีชีวิตจะแทนด้วยสีดำ และเซลล์ที่ไม่มีชีวิตจะแทนด้วยสีขาว



**ภาพที่ 2** เซลล์รอบข้างของเซลล์ลูอาร์ ออโตมาตาจัตุรัส 2 มิติ



ภาพที่ 3 ตัวอย่างรูปแบบการเปลี่ยนสถานะของเกมชีวิตของคอนเวย์

ในการใช้งานจริง ไม่สามารถสร้างเซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตาที่มีขนาดไม่จำกัดได้ การทดลองส่วนใหญ่จึง ใช้การสมมุติ ให้เซลล์ที่ นอกขอบของเซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตาขนาดจำกัดมีสถานะคงที่ เสมอ หรือกำหนดให้เซลล์รอบข้างที่อยู่นอกขอบเป็นเซลล์ที่อยู่ฝั่งหนึ่งของเซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตา แทน ซึ่งในกรณีของเซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตาสองมิติ เซลล์จะเรียงต่อกันเป็นพื้นผิวของรูปทรงทอรัส (Torus) ดังภาพที่ 4 ทำให้เหมือนกับว่าเซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตามีขนาดไม่จำกัด โดยในวิทยานิพนธ์นี้ เซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตา ในสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง ที่ใช้ จะ กำหนดให้เซลล์ที่ขอบนอกมีสถานะคงที่ เนื่องจากพื้นที่ที่อยู่ต่างฟากกันที่ใช้งานในการจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติ ไม่ควรจะมีเหตุการณ์ที่ต่อเนื่องถึงกันได้



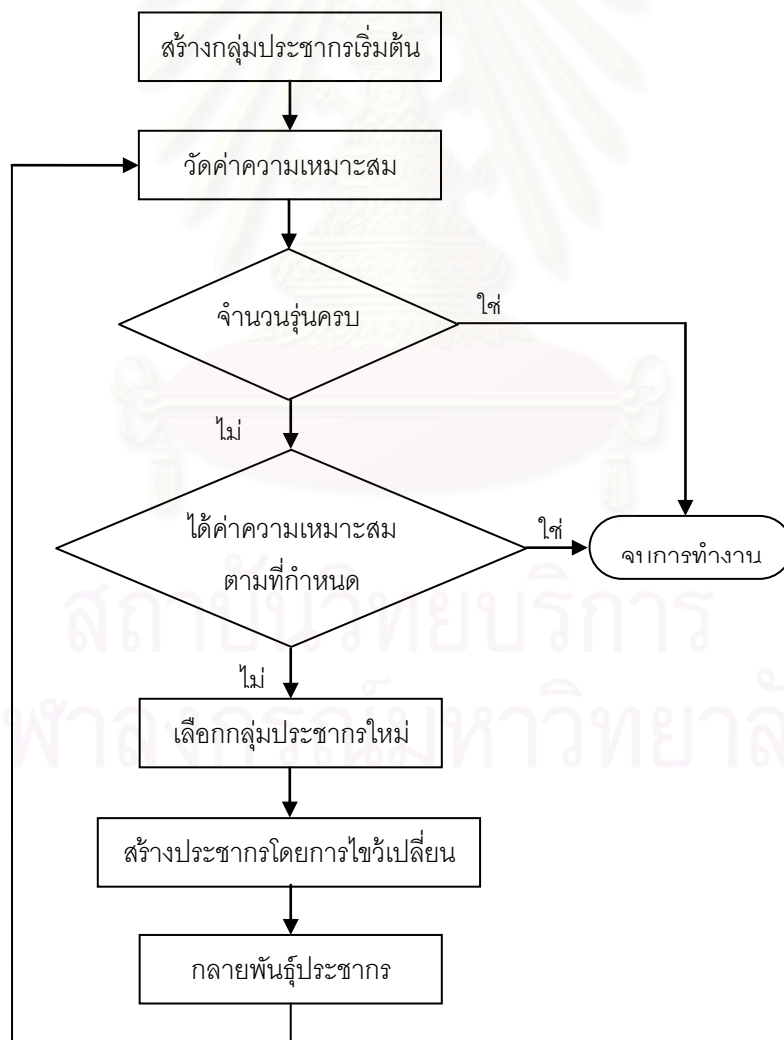
ภาพที่ 4 รูปทรงทอรัส [4]

นอกจากนี้ในการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองตามวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ จะต้องเพิ่มค่าสมบัติของเซลล์ (Property) ซึ่งเป็นสถานะของเซลล์ส่วนที่ไม่มีผลการแสดงผล และยัง ต้องกำหนดให้ทั้งสถานะ และสมบัติสามารถมีค่าแบบต่อเนื่องได้ เพื่อให้จำลอง สภาพแวดล้อม ได้ละเอียดยิ่งขึ้น

### 2.1.3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms) [5]

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ประเภทหนึ่งซึ่งใช้ ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยเลียนแบบมาจากระบวนการวิวัฒนาการ และการคัดเลือกตามธรรมชาติ กล่าวคือสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมได้ดีจะสามารถอยู่รอด และถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีนั้นไปสู่ลูกได้

- 2.1.3.1 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีลำดับการทำงานดังนี้ (แสดงในภาพที่ 5)
- 2.1.3.1.1 สร้างกลุ่มประชากร (Population) เริ่มต้น
- 2.1.3.1.2 วัดค่าความเหมาะสม (Fitness) ของประชากรแต่ละตัว ด้วยฟังก์ชันค่าความเหมาะสม (Fitness Function) หากจำนวนรุ่นครบหรือได้ ค่าความเหมาะสมตามที่กำหนดแล้วจะจบการทำงาน
- 2.1.3.1.3 สร้างกลุ่มประชากรใหม่ สำหรับรุ่น (Generation) ถัดไปโดยสร้างมาจาก
- 2.1.3.1.3.1 เลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงมาโดยตรง
- 2.1.3.1.3.2 สร้างประชากรใหม่ ขึ้นมาทดแทนประชากรที่ไม่เหมาะสม จาก การไขว้เปลี่ยน (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยใช้ประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงเป็นต้นแบบ
- 2.1.3.1.4 กลับไปทำงานในขั้นตอนที่ 2 สำหรับกลุ่มประชากรรุ่นถัดไป



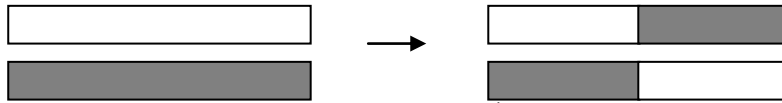
ภาพที่ 5 ลำดับการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

### 2.1.3.2 ส่วนประกอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมประกอบด้วย

- 2.1.3.2.1 กลุ่มประชากร คือกลุ่มของโครโมโซม (Chromosome) ที่เป็นคำตอบของปัญหาชุดเดียวกัน โดยกลุ่มประชากรเริ่มต้นจะสร้างโดยการสุ่มค่าของโครโมโซมแต่ละตัวขึ้นมา
- 2.1.3.2.2 โครโมโซม คือแถวของคำตอบชุดหนึ่งสำหรับปัญหาที่ต้องการแก้ โดยรูปแบบคำตอบอาจจะเป็นได้ทั้ง จำนวนเต็ม (Integer) หรือจำนวนจริง (Real) หรือใช้การเข้ารหัสเป็นเลขฐานสอง (Binary)
- 2.1.3.2.3 ค่าความเหมาะสม คือค่าที่แสดงความเหมาะสมของโครโมโซมต่อปัญหาที่ต้องการแก้
- 2.1.3.2.4 ฟังก์ชันค่าความเหมาะสม คือฟังก์ชันที่ให้คำตอบเป็นค่าความเหมาะสม โดยฟังก์ชันที่ถูกใช้จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของปัญหาที่ต้องการแก้ และคำตอบที่ต้องการ เช่นใน วิทยานิพนธ์ นี้ต้องการควบคุมการเกิดเหตุการณ์ในเซลล์บนแผนที่ ดังนั้นฟังก์ชันค่าความเหมาะสมจึงควรคำนวณจาก การเกิดหรือไม่เกิดเหตุการณ์ในแต่ละเซลล์ ว่าตรงกับที่ต้องการหรือไม่
- 2.1.3.2.5 การเลือกประชากรเพื่อสร้างกลุ่มประชากรใหม่ ทำได้หลายวิธี [6] เช่น
- เรียงประชากรตามค่าความเหมาะสม แล้วจึงเลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงตามจำนวนที่ต้องการ
  - เลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ (Threshold) มักจะใช้ในกรณีที่กลุ่มประชากรมีขนาดใหญ่ ซึ่งการเรียงค่าจะเสียเวลานาน
- 2.1.3.2.6 การไขว้เปลี่ยน (ภาพที่ 6) คือการสร้างโครโมโซมใหม่ 2 ตัวด้วยการสลับค่าบางค่าระหว่างโครโมโซมต้นแบบที่เลือกมาอย่างสุ่ม 2 ตัว เพื่อให้โครโมโซมใหม่แต่ละตัวได้รับข้อดีจากโครโมโซมต้นแบบทั้ง 2 ตัว การไขว้เปลี่ยนมีหลายวิธี [6] ดังนี้
- สุ่มเลือกจุดไขว้เปลี่ยนจำนวนหนึ่ง โดยมากจะใช้ 1 หรือ 2 จุด โดยค่าในช่วงของจุดไขว้เปลี่ยนแต่ละจุด เมื่อสลับค่าจะไปปรากฏที่โครโมโซมใหม่ที่ตำแหน่งเดียวกัน
  - สุ่มว่าค่าในโครโมโซมต้นแบบแต่ละตัวจะไปปรากฏที่โครโมโซมใหม่ตัวใด เปรียบเสมือนมีจุดไขว้เปลี่ยนเท่ากับความยาวของ

โครโมโซม วิธีนี้เรียกว่าการไขว้เปลี่ยนแบบสม่ำเสมอ (Uniform Crossover)

- ใช้โครโมโซมต้นแบบมากกว่า 2 ตัว



ภาพที่ 6 การไขว้เปลี่ยน

2.1.3.2.7 ในกรณีที่ค่าในโครโมโซมเป็นข้อมูลที่เข้ารหัสเป็นเลขฐานสอง การไขว้เปลี่ยนจะทำให้ข้อมูลที่มีจุดไขว้เปลี่ยนอยู่มีการเปลี่ยนแปลงด้วย แต่ในกรณีที่ข้อมูลเป็นจำนวนเต็ม หรือ จำนวนจริง จะเกิดเพียงการจัดเรียงข้อมูลใหม่ การเปลี่ยนค่าของข้อมูลจึงไปขึ้นอยู่กับกาละลายพันธุเพียงอย่างเดียว จึงอาจจะใช้การรวมค่า (Blending) ที่จุดไขว้เปลี่ยน ดังภาพที่ 7 ซึ่งทำได้หลายวิธี [6] ดังนี้

- รวมค่าระหว่างค่าของโครโมโซมต้นแบบ ด้วยอัตราส่วนอย่างสุ่ม จะได้ผลลัพธ์เพียงค่าเดียว ทำให้ค่าในโครโมโซมใหม่ทั้งสองตัวจะเหมือนกัน ดังสมการที่ 1

$$p_{new} = \beta p_1 + (1 - \beta) p_2 \quad (1)$$

โดย  $p_{new}$  คือค่าของโครโมโซมใหม่  $p_i$  คือค่าของโครโมโซมต้นแบบ และ  $\beta$  คือค่าสุ่มตั้งแต่ 0 ถึง 1

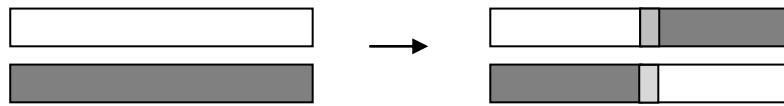
- บวก/ลบ ค่าในโครโมโซมต้นแบบ ด้วยอัตราส่วนอย่างสุ่มของผลต่างของค่าทั้งสอง ซึ่งจะได้ผลลัพธ์สองค่า ดังแสดงในสมการที่ 2 และ 3

$$p_{new1} = p_1 - \beta(p_1 - p_2) \quad (2)$$

$$p_{new2} = p_2 + \beta(p_1 - p_2) \quad (3)$$

โดย  $p_{newi}$  คือค่าของโครโมโซมใหม่

- รวมค่าโดยอัตราส่วนสามารถมีค่าเกินกว่าช่วง 0 ถึง 1 ได้ เพื่อให้ค่าใหม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปนอกเหนือขอบเขตของค่าในโครโมโซมต้นแบบได้



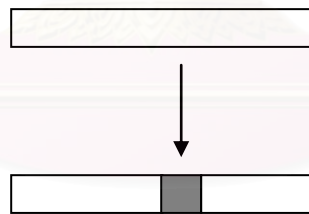
ภาพที่ 7 การรวมค่า

2.1.3.2.8 การเลือกประชากรเพื่อไขว้เปลี่ยน มีหลายวิธี [6] เช่น

- สุ่มประชากรแบบสุ่มมาเสมอ
- สุ่มประชากรโดยถ่วงน้ำหนักประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูง ให้มีโอกาสถูกเลือกมากกว่า
- เลือกจากประชากรที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรย่อยที่สุ่มขึ้นมา

2.1.3.2.9 การกลายพันธุ์ (ภาพที่ 8) คือการสร้างโครโมโซมใหม่ด้วยการสุ่มเปลี่ยนค่าบางค่าในโครโมโซมต้นแบบเพื่อให้โครโมโซมใหม่มีลักษณะที่ไม่ปรากฏในรุ่นก่อน วิธีที่ทำได้ [6] เช่น

- ใช้อัตราการกลายพันธุ์คงที่
- อัตราการกลายพันธุ์เพิ่ม หรือลดตามจำนวนรุ่นที่ผ่านไป
- สุ่มค่าแบบสุ่มมาเสมอ
- สุ่มค่าโดยใช้การแจกแจงปกติ (Normal Distribution)



ภาพที่ 8 การกลายพันธุ์

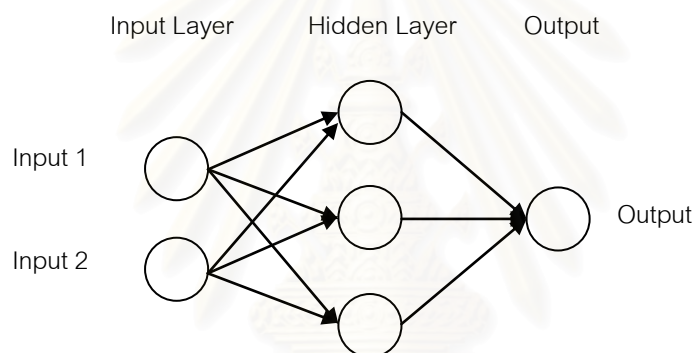
ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีข้อดีคือ เกิดการค้นหาคำตอบในทุกบริเวณของคำตอบที่เป็นไปได้ ทำให้ไม่ติดอยู่กับค่าต่ำสุด/สูงสุดเฉพาะที่ (Local Minimum/Maximum) ซึ่งเหมาะสมกับปัญหาที่มีความซับซ้อนและให้คำตอบที่เหมาะสมหลายค่า

2.1.4 ข่ายงานประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) [7]

ข่ายงานประสาทเทียมเป็นปัญญาประดิษฐ์ที่ทำงานเลียนแบบการทำงานของข่ายงานประสาทในสมอง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) จำนวนมากที่ต่อกันเป็นเครือข่ายโดย

ผลลัพธ์จากเซลล์ประสาทตัวหนึ่งจะถูกส่งไปให้เซลล์ประสาทอื่นๆที่ต่อกันอยู่ค่านวนต่อ ทำให้เกิดการประมวลผลง่าย ๆ ที่ทำงานขนานกันจำนวนมาก

ข่ายงานประสาทเทียมโดยทั่วไปมักจะเป็นประเภท เพอร์เซปตรอน คือเซลล์ประสาทจะถูกแบ่งออกเป็นชั้น (Layer) ซึ่งมีการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาททุกตัวในชั้นที่ติดกัน และจะส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังเซลล์ประสาทในชั้นถัดไปเท่านั้น โดยจะมีเซลล์ประสาทชั้นที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้งานเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการคำนวณเรียกว่า ชั้นอินพุต (Input Layer) ซึ่งจะส่งข้อมูลที่ได้ไปยังเซลล์ประสาทชั้นที่ทำหน้าที่คำนวณเพียงอย่างเดียวเรียกว่า ชั้นฮิดเดน (Hidden Layer) จากนั้นผลลัพธ์จากชั้นนี้จะถูกส่งไปให้เซลล์ประสาทอีกชั้นหนึ่งซึ่งทำหน้าที่คำนวณ และส่งผลลัพธ์ออกไปเรียกว่า ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ภาพที่ 9 แสดงข่ายงานประสาทเทียมแบบหลายชั้น โดยมีชั้นฮิดเดนหนึ่งชั้น



ภาพที่ 9 เพอร์เซปตรอนหลายชั้น

การคำนวณของเซลล์ประสาทเทียมแต่ละตัว เป็นการส่งค่าผลลัพธ์ออกไปเป็นฟังก์ชันของผลรวมของข้อมูลแต่ละตัวที่ได้รับเข้ามาเรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) โดยจะมีน้ำหนักของข้อมูลแต่ละตัวไม่เท่ากัน ข่ายงานประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้โดยการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ของข้อมูลที่ได้รับเข้ามาในแต่ละเซลล์ประสาทเทียม ดังสมการที่ 4 โดย  $K(x)$  คือฟังก์ชันใดๆที่นำมาใช้เป็นฟังก์ชันกระตุ้น และ  $w_i$  คือค่าน้ำหนักของข้อมูล  $d_i$

$$f(x) = K(\sum w_i d_i) \quad (4)$$

ฟังก์ชันกระตุ้น ที่ใช้มักจะเป็นฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) ตามสมการที่ 5 เนื่องจากสามารถแสดงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของเซลล์ประสาทได้ และสามารถหาอนุพันธ์ได้ง่าย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการฝึกสอนข่ายงานประสาทเทียมโดยใช้อัลกอริทึมการแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation Algorithm) ซึ่งทำงานโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากข่ายงานประสาทเทียม และผลลัพธ์ที่ควรจะเป็น จากนั้นจึงปรับค่าน้ำหนักของข้อมูลที่ได้รับเข้ามา ในเซลล์

ประสาทแต่ละตัวในชั้นเอาทพุทให้ทำงานถูกต้องยิ่งขึ้น จากนั้นจึงปรับค่าน้ำหนักในชั้นฮิดเดนชั้นก่อนหน้าต่อไปเรื่อยๆจนครบทุกชั้น โดยจะทำงานเช่นนี้ซ้ำไปเรื่อยๆจนทำงานประสาทเทียมทำงานได้ตามที่ต้องการ

$$\sigma(y) = \frac{1}{1 + e^{-y}} \quad (5)$$

ในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้ทดลองใช้งานข่ายงานประสาทเทียม แต่พบว่าผลการทำงานไม่เป็นที่น่าพอใจ จึงเปลี่ยนมาใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแทน

### 2.1.5 วิธีปีนเขาชันสุด (Steepest Ascent Hill-Climbing) [8]

วิธีปีนเขาชันสุดเป็นการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่มีอยู่ ด้วยการปรับค่าของ ตัวแปรที่ให้คำตอบไปที่ละน้อย โดยจะพิจารณาวิธีการปรับค่าในทุกกรณีที่เป็นไปได้ก่อน (การเพิ่ม หรือลดค่าในทุกตัวแปรที่มี) แล้วจึงเลือกวิธีใช้การปรับค่าที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดในการทำงาน โดยจะทำงานเช่นนี้ซ้ำไปเรื่อยๆจนไม่พบ คำตอบที่ดีกว่า ซึ่งจะต่างกับ วิธีปีนเขาอย่างง่าย (Simple Hill-Climbing) ตรงที่วิธีปีนเขาอย่างง่ายจะไม่ พิจารณาวิธีการปรับค่าในทุกกรณีที่เป็นไปได้ก่อน โดยถ้าพบวิธีที่ให้คำตอบที่ดีกว่าจะปรับค่าไปเลยทันที

วิธีปีนเขาชันสุดเป็นการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) กล่าวคือจะหาได้เฉพาะค่าต่ำสุด/สูงสุดเฉพาะที่เท่านั้น ดังนั้นหากต้องการผลลัพธ์ที่ดีจะต้องเริ่มค้นหาจากบริเวณของคำตอบที่ดีด้วย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำมาใช้เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมให้ถูกต้องยิ่งขึ้นเท่านั้น

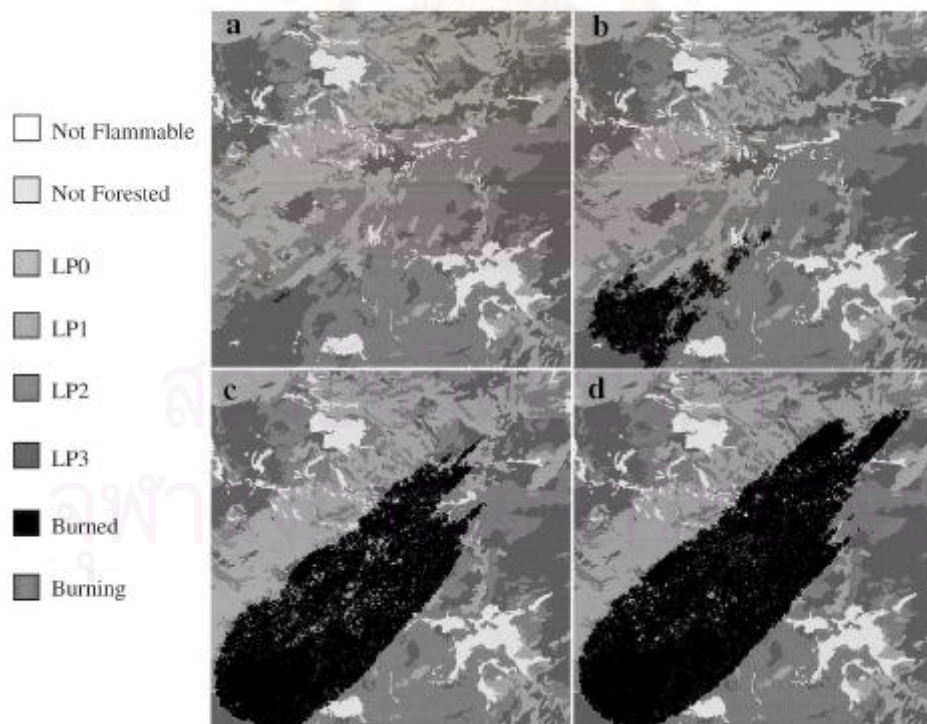


## 2.2 การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งได้สองด้านคือ ด้านการออกแบบ และใช้งานแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง และด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในงานที่คล้ายกับวิทยานิพนธ์นี้

### 2.2.1 งานวิจัยด้านจำลองระบบนิเวศน์

ด้านการออกแบบ และใช้งานแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง มีงานวิจัยที่จำลองระบบนิเวศน์ ด้วยแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองจำนวนมาก ซึ่งมักจะเน้นที่ความสมจริง และขนาดที่กว้างใหญ่เป็นหลัก ซึ่งทำให้มีความซับซ้อนเกินกว่าที่เกมต้องการ หรือมีขนาดที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างงานวิจัยในด้านนี้ได้แก่ Hargrove และคณะ [9] ซึ่งได้จำลองการเกิดไฟป่าโดยใช้เซลล์ลาร์ ออโตมาตา แบบที่ใช้กฎที่เป็นฟังก์ชันของความน่าจะเป็น โดยมีสมบัติของเซลล์คือ ความชื้น ชนิดของเชื้อเพลิง ลม และสะเก็ดไฟ ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะส่งผลถึงความน่าจะเป็นที่ไฟจากเซลล์หนึ่งจะลามไปอีกเซลล์หนึ่ง และความน่าจะเป็นที่เซลล์จะติดไฟ นอกจากนี้ Song และคณะ [10] ก็ได้จำลองการเกิดไฟป่าโดยใช้วิธีที่ใกล้เคียงกัน แต่ใช้ตัวแปรบางอย่างแตกต่างกัน ภาพที่ 10 แสดงภาพการจำลองไฟป่าที่จำลองโดยระบบของ Hargrove

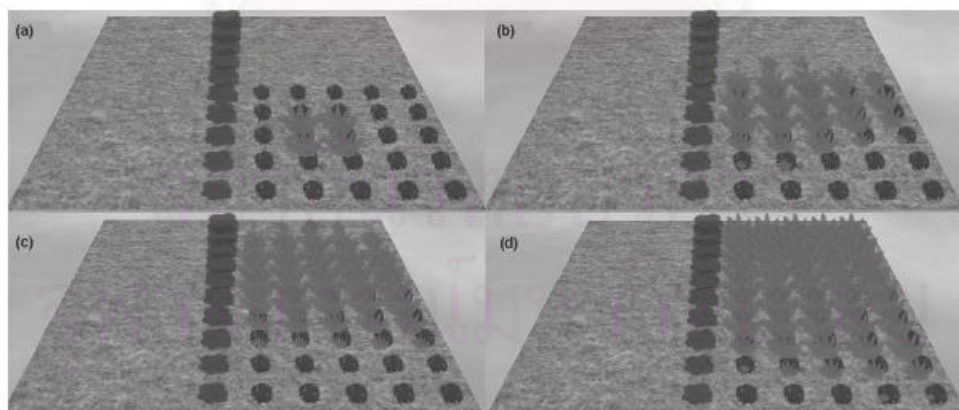


ภาพที่ 10 การจำลองการเกิดไฟป่าของ Hargrove และคณะ [9]

เนื่องจากลักษณะเฉพาะตัวของฟังก์ชันของความน่าจะเป็น ทำให้ระบบที่ใช้ฟังก์ชันประเภทนี้จำลองพฤติกรรมของสภาพแวดล้อมได้ดีแค่ในระดับหยาบ กล่าวคือเซลล์หนึ่งเซลล์จะแทนพื้นที่ขนาดกว้าง 50 เมตร ยาว 50 เมตร ซึ่งโดยทั่วไปขนาดของเซลล์ในแผนที่เกมจะแทนพื้นที่เล็กกว่านั้น นอกจากนี้การใช้ความน่าจะเป็น ยังทำให้ควบคุมการแสดงพฤติกรรมได้ยากอีกด้วย ดังนั้นการใช้ฟังก์ชันที่ให้ผลแน่นอน จึงเหมาะสมกับงานวิจัยทางแผนที่เกมมากกว่า งานวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ฟังก์ชันที่ให้ผลแน่นอนเพื่อมาใช้ทำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

## 2.2.2 งานวิจัยด้านเกม

ในด้านการนำมาใช้งานในเกมนั้นมีให้เห็นน้อยมาก งานที่สำคัญซึ่งถูกใช้ในงานวิทยานิพนธ์ คือ งานของ Sweetser และ Wiles [11] ซึ่งได้พัฒนา และทดสอบระบบสภาพแวดล้อมที่เรียกว่าระบบอีเมอเจนต์ ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมแบบเซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตาสองมิติที่สถานะ และสมบัติมีค่าต่อเนื่อง และใช้กฎการเปลี่ยนสถานะแบบแน่นอน เพื่อใช้ในเกมนวางแผนแบบใช้เวลาจริง (Real-Time Strategy Games) โดยได้ทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมของ ไฟ น้ำ และการระเบิด โดยการกำหนดสมบัติทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเหล่านั้นให้เป็นสมบัติของเซลล์ซึ่งแทนพื้นที่พื้นที่หนึ่ง และใช้กฎที่เลียนแบบกฎทางฟิสิกส์ ในการควบคุม โดยดัดแปลงกฎมาจากบทความของ Forsyth [12] โดยถึงแม้ว่าระบบนี้จะไม่ได้ใช้กฎทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนในการจำลองสภาพแวดล้อม แต่สภาพแวดล้อมที่จำลองได้ก็มีรายละเอียดมากพอที่จะใช้ในเล่นได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 11 ระบบอีเมอเจนต์ แสดงการเกิดไฟไหม้ [1]

ในภาพที่ 11 จะแสดงการเกิดไฟไหม้ ในระบบอีเมอเจนต์ จากพื้นที่ป่าบริเวณมุมล่างขวา ซึ่งไฟถูกลมพัดไปยังพื้นที่หญ้าทางเหนือ และถูกขวางไว้โดยแม่น้ำ

ตารางที่ 1 โครงสร้างของระบบปี่เมอเจนต์

พฤติกรรม			
การไหม้	ปริมาณน้ำ	การระเบิด	
กฎสำหรับพฤติกรรมระหว่างเซลล์		กฎสำหรับพฤติกรรมในเซลล์	
การถ่ายเทความร้อน		การลุกไหม้ของไฟ	
การไหลของน้ำ		ลม	
การถ่ายเทความดัน		ฝนและความชื้น	
สมบัติของเซลล์		สมบัติของพื้นที่	
ลักษณะของพื้นที่	อุณหภูมิ	จุดติดไฟ	อุณหภูมิของไฟ
มวลของเชื้อเพลิง	ความเสียหาย	อัตราการใช้เชื้อเพลิง	อัตราการไหม้สูงสุด
ความชื้น	ความสูง	ความจุความร้อน	ปริมาณน้ำที่เซลล์รองรับได้
ความดัน	ปริมาณน้ำ		

ระบบปี่เมอเจนต์ แบ่งการทำงานเป็นสามระดับดังตารางที่ 1 คือ

2.2.2.1 ระดับพฤติกรรม (Behavior) เป็นระดับที่แสดงพฤติกรรมของสภาพแวดล้อมตามสมบัติของเซลล์ ให้ผู้เล่นเห็น ได้แก่ การไหม้ (Burn) ปริมาณน้ำ (Fluid) และการระเบิด (Explosion)

2.2.2.2 ระดับกฎ (Rule) คือกฎที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเซลล์ โดยแบ่งได้เป็นกฎสำหรับพฤติกรรมระหว่างเซลล์ และกฎสำหรับพฤติกรรมในเซลล์

2.2.2.2.1 กฎสำหรับ พฤติกรรม ระหว่างเซลล์ จะขึ้นกับทั้งสมบัติในเซลล์เอง และเซลล์รอบข้างสี่ทิศ ประกอบด้วย

- การถ่ายเทความร้อน - พลังงานความร้อนจะไหลจากที่ที่อุณหภูมิสูงไปต่ำ
- การไหลของน้ำ - น้ำจะไหลไปเซลล์ข้างเคียงเมื่อมีปริมาณมากกว่าที่รองรับได้ โดยปริมาณน้ำที่จะไหลไปขึ้นกับความแตกต่างของความสูงของทั้งสองเซลล์
- การถ่ายเทความดัน - ความดันจะไหลจากที่ที่ความดันสูงไปต่ำ โดยถ้าความดันแตกต่างกันมากจะเกิดการระเบิดซึ่งทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้

#### 2.2.2.2.2 กฎสำหรับ พฤติกรรมในเซลล์ จะขึ้นกับสมบัติในเซลล์เท่านั้น ประกอบด้วย

- การลุกไหม้ของไฟ – เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่าระดับหนึ่งเซลล์จะติดไฟและทำให้เชื้อเพลิงในเซลล์ลดลง
- ลม – ประกอบด้วย ทิศทางลม (Wind Direction) ซึ่งมีได้สี่ทิศและความเร็วลม (Wind Speed) เป็นค่าคงที่ที่เหมือนกันทั้งแผนที่มีผลต่อทิศทาง และปริมาณการถ่ายเทความร้อน
- ฝนและความชื้น – มีผลต่อปริมาณน้ำในเซลล์ และการเกิดไฟ

#### 2.2.2.3 ระดับสมบัติ (Property) เป็นส่วนที่ควบคุมการแสดงพฤติกรรมของเซลล์ตามกฎที่กำหนด โดยสมบัติประกอบด้วย

##### 2.2.2.3.1 สมบัติของเซลล์ (Cell Properties) เป็นสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละเซลล์ ประกอบด้วย

- ลักษณะของพื้นที่ (Material)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- มวลของเชื้อเพลิง (Mass)
- ความเสียหายของเชื้อเพลิงจากการลุกไหม้ (Damage)
- ความชื้น (Wetness)
- ความสูง (Height)
- ความดัน (Pressure)

##### 2.2.2.3.1 สมบัติของพื้นที่ (Material Properties) เป็นสมบัติที่เหมือนกันในเซลล์ที่มีพื้นที่แบบเดียวกัน และจะมีค่าคงที่เสมอ ประกอบด้วย

- จุดติดไฟ (Flash Point)
- อุณหภูมิของไฟ (Burn Temp)
- อัตราการใช้เชื้อเพลิง (Burn Rate)
- อัตราการไหม้สูงสุด (Max Burn)
- ความจุความร้อนจำเพาะ (SHC: Specific Heat Capacity)
- ปริมาณน้ำที่เซลล์รองรับได้ (Max Fluid)

ถึงแม้ว่าระบบนี้จะมีสมบัติทางฟิสิกส์ ที่สามารถกำหนดได้จำนวนมาก แต่ก็ไม่มีเครื่องมือที่จะช่วยกำหนดสมบัติเหล่านั้นตามพฤติกรรมที่ต้องการให้แสดงออก ในเกมได้เลย ดังนั้นจึงมี

ความจำเป็นที่จะต้องสร้างระบบอีเมอเจนต์ที่สามารถควบคุมสถานการณ์ทางธรรมชาติเหล่านี้ได้ง่ายสำหรับใช้กับเกม ระบบอีเมอเจนต์ที่ใช้ในงานของ Sweetser และ Wiles จะใช้พื้นที่ขนาดกว้าง 10 เซลล์ ยาว 10 เซลล์ โดยเซลล์มีขนาดประมาณขนาดของตัวละครในเกม 10 ถึง 20 ตัวละคร และมีลักษณะของพื้นที่ 3 แบบคือ ภูเขา ป่า และน้ำ กำหนดให้ความเร็วลมมีค่าเป็น 10 ถ้ามีลม โดยค่าความเร็วลมคือค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างเซลล์ที่เพิ่มขึ้น

### 2.2.3 งานวิจัยด้านด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์

ในด้านการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในงานที่คล้ายกับวิ ทยานิพนธ์ นี้ ได้ศึกษาการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในการปรับค่าที่เป็นตัวเลข ซึ่งมีส่วนคล้ายกับการนำมากำหนดสมบัติของสภาพแวดล้อม และการใช้งานในด้านที่เกี่ยวกับเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา

Merz และคณะ [13] ได้พัฒนาระบบ Opi-Max ซึ่งใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหา ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ชนิดตัวเลขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ MAX ซึ่งเป็นระบบช่วยวินิจฉัยปัญหาในระบบโทรศัพท์ที่ถูกค่าแจ้งเข้ามา โดยขั้นตอนวิธีการค้นหาที่ Opi-Max ใช้คือวิธีไถเนินเขาแบบตะกอละ (Greedy Hill-Climbing) ซึ่งทำงานโดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบสุ่มทีละตัว หากการเปลี่ยนค่านั้นทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ถูกต้องมากขึ้น ค่าพารามิเตอร์นั้นก็จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าที่สุ่มมา แต่ถ้าไม่ทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลงก็จะมีแนวโน้มจะเป็นครั้งหนึ่งที่ค่าพารามิเตอร์จะถูกเปลี่ยน และถ้าทำให้ผลลัพธ์แย่ลงก็จะใช้ค่าพารามิเตอร์เดิม การทำงานจะสิ้นสุดเมื่อพารามิเตอร์แต่ละตัวถูกปรับค่าแล้วครบทุกตัว ตามจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ วิธีการนี้เป็นแค่การปรับปรุุงค่าที่มีอยู่แล้วให้ถูกต้องยิ่งขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีค่าเริ่มต้นที่ให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างดีอยู่แล้ว ซึ่งต่างกับงานวิทยานิพนธ์นี้ที่ต้องการกำหนดค่าขึ้นมาโดยตรง นอกจากนี้แผนผังของเกมในงานวิทยานิพนธ์นี้ยังสามารถมีค่าที่เปลี่ยนแปลงได้จำนวนมาก ทำให้การใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบเปลี่ยนแปลงค่าทีละตัวอาจจะทำงานได้ช้า นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์อาจขึ้นต่อกันก็ได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าทีละตัวอาจทำให้ไม่สามารถจัดค่าได้ลงตัว

วิธีนี้จึงไม่เหมาะนำมาใช้ปรับพารามิเตอร์สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้โดยตรง แต่อาจนำมาใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์อย่างละเอียดขึ้นหลังจากใช้วิธีอื่นปรับค่าพารามิเตอร์ไปแล้ว ภาพที่ 12 แสดงตัวอย่างการปรับใช้พารามิเตอร์จากงานของ Merz

```

If (measurementX < THRESHOLD1) OR (measurementY < THRESHOLD1) Hold for further testing
Else If (highest_measureZ >= THRESHOLD2) Dispatch to customer's home
Else If (highest_measureZ >= THRESHOLD3) Hold for further testing
Else Dispatch to cable

```

ภาพที่ 12 พารามิเตอร์เทอร์สโกล 1-3 ซึ่งสามารถปรับแต่งค่าได้ [13]

Legenstein และคณะ [14] ได้ใช้ข่ายงานประสาทเทียม ชนิดวนซ้ำแบบไม่ต้องสอน (recurrent unsupervised neural network) ในการทำนายการเคลื่อนที่ของวัตถุบนตารางขนาดกว้าง 8 เซลล์ ยาว 8 เซลล์ ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของสถานะในเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา โดยแต่ละช่องในตารางจะส่งสัญญาณไปให้ข่ายงานประสาทเทียมเมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านการทำนายการเคลื่อนที่ที่จะออกมาในรูปของสัญญาณที่น่าจะถูกส่งเข้ามาในครั้งต่อไป (ซึ่งเป็นค่าตัวเลขเช่นเดียวกับสมบัติของเซลล์)

งานวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นที่คนละจุดกับงานของ Legenstein และคณะ เพราะเราทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ทั้งหมดอยู่แล้ว ดังนั้นเราจึงไม่ต้องการการทำนายเหตุการณ์ของเซลล์แต่อย่างใด ผลลัพธ์ที่ได้จากระบบปัญญาประดิษฐ์ของเราจะเป็นค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นซึ่งหาได้จากข้อมูลของเหตุการณ์ในเวลาทุกเวลาตั้งแต่ต้นจนจบการทำงานของเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา ไม่ใช่การหาค่าในเวลาถัดไปจากช่วงเวลาก่อนหน้านั้นเช่นในงานของ Legenstein และคณะ

Breukelaar และ Back [15] ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหากฎในการเปลี่ยนสถานะของเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา แบบหลายมิติ เพื่อให้ เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา แสดงพฤติกรรมตามที่ต้องการ

เนื่องจากสถานะของเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตาที่ศึกษามีเพียง 2 ค่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงใช้โครโมโซมที่เป็น รหัสเลขฐานสอง ของกฎในการเปลี่ยนสถานะ โดยคัดเลือกกลุ่มประชากรในรุ่นถัดไปจากประชากรที่ดีที่สุดของกลุ่มประชากรย่อยที่สุ่มขึ้นมา และใช้การไขว้เปลี่ยนตำแหน่งเดียว

Breukelaar และ Back ได้ทดสอบผลด้วยการหากฎของปัญหา “Majority” (เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา จะเปลี่ยนสถานะจนเป็น 1 ทั้งหมด หรือ 0 ทั้งหมด ตามจำนวนของเซลล์เริ่มต้นว่ามีสถานะใดมากกว่า) และกฎของปัญหา “Checkerboard” (เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา จะเปลี่ยนสถานะจนกลายเป็นตารางหมากรุก) โดยเปรียบเทียบผลทดสอบระหว่าง เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา ตั้งแต่ 1 ถึง 3 มิติ ซึ่งพบว่ากฎที่หาได้สำหรับ เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีมิติมากกว่าจะให้ผลที่ถูกต้องมากกว่า และแสดงผลที่ถูกต้องได้เร็วกว่า นอกจากนี้ยังได้ทดสอบปัญหา “Evolving Bitmaps” (เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา จะเปลี่ยนสถานะจากรูปแบบเริ่มต้นที่กำหนดจนได้รูปแบบสุดท้ายที่กำหนด ) บน เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา 2 มิติ

งานของ Breukelaar และ Back นั้นมุ่งเน้นที่การหากฎ โดยใช้เซลล์ลูลาร์ ออโตมาตาซึ่งมีพารามิเตอร์ของเซลล์เพียงพารามิเตอร์เดียว ซึ่งต่างกับวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ที่ใช้งานกับเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตาที่มีกฎตายตัวแต่มีพารามิเตอร์ของเซลล์หลายค่า ซึ่งเราต้องการที่จะหาค่าพารามิเตอร์หลายค่าพร้อมกันสำหรับสถานะเริ่มต้นของเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา แม้จะใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเช่นเดียวกัน แต่การเข้ารหัสพันธุกรรมนั้นต่างกันอย่างสิ้นเชิง

Karafyllidis [16] ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการแปลง เซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีสถานะแบบต่อเนื่องที่จำลองการลามของไฟป่า ที่ถูกควบคุมโดย อัตราการลามของไฟ ทิศทาง และความเร็วลม ความสูง และลักษณะของพื้นที่ [17] ให้เป็นเซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีสถานะแบบไม่ต่อเนื่องที่มีขนาด และจำนวนสถานะน้อยที่สุด ที่ให้ผลการทำงานใกล้เคียงกัน เพื่อให้สามารถนำไปสร้างเป็นหน่วยประมวลผลได้ เนื่องจากหน่วยประมวลผลทำงานได้รวดเร็ว เหมาะกับการนำไปใช้ในระบบช่วยตัดสินใจแบบทันเหตุการณ์มากกว่าการนำเซลลูลาร์ ออโตมาตา แบบต่อเนื่องแบบซอฟต์แวร์ไปใช้โดยตรง

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้กลุ่มประชากรมีขนาด 50 หน่วย ที่มีโครโมโซม เป็นรหัสเลขฐานสองของกฎในการเปลี่ยนสถานะ และใช้การไขว้เปลี่ยน 2 ตำแหน่ง โดยจะค้นหากฎของเซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีสถานะแบบไม่ต่อเนื่องที่มีขนาด และจำนวนสถานะทุกแบบพร้อมกัน และเปรียบเทียบการแสดงผลกับ เซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีสถานะแบบต่อเนื่อง โดยในทุก 150 รุ่น จะยกเลิกการค้นหาของ เซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีขนาด และจำนวนสถานะเกินกว่าขนาด และจำนวนสถานะของ เซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่ให้ผลในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยจะทำจนกว่าจะได้ เซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีสถานะแบบไม่ต่อเนื่องที่มีขนาด และจำนวนสถานะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ผลที่ได้จากงานของ Karafyllidis จะเป็นองค์ประกอบ (กฎ ขนาด และจำนวนสถานะ) ของเซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีสถานะแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งใช้กับค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นใดๆ ซึ่งต่างกับวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ เนื่องจากเราต้องการนำผลจากงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ไปใช้กับเกมคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มความสมจริงให้กับฉากแผนที่ในเกม ดังนั้นการลดความละเอียดของเซลลูลาร์ ออโตมาตา จึงไม่เป็นสิ่งที่พึงกระทำเพราะไม่มีความจำเป็นต้องถ่ายสถานะเซลล์ลงในฮาร์ดแวร์ ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เซลลูลาร์ ออโตมาตา ที่มีสถานะแบบต่อเนื่องเท่านั้น งานของ Karafyllidis ได้จำลองลักษณะของพื้นที่เพียงคร่าวๆ โดยจำลองพื้นที่ที่มีพืชชนิดต่างกันด้วยอัตราการลามของไฟที่ต่างกัน ซึ่งวิธีการจำลองแบบนี้เป็นการประหยัดทรัพยากร แต่ไม่สามารถใช้กับงานในวิทยานิพนธ์นี้ได้ เนื่องจากงานวิทยานิพนธ์นี้จำเป็นต้องจำลองกฎทางฟิสิกส์ให้มีความสมจริง เพื่อให้ผู้เล่นสามารถมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของต้นไม้ในป่าโดยตรง (เช่นความชื้นของต้นไม้ในแต่ละเซลล์) การใช้อัตราการลามของไฟเพียงอย่างเดียวจะทำให้ไม่สามารถนำพารามิเตอร์ประเภทนี้มาใช้กับกฎการลามของไฟได้ ผลของงานวิทยานิพนธ์นี้จะได้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นต่างๆ ดังกล่าวของเซลลูลาร์ ออโตมาตาที่มีสถานะแบบต่อเนื่อง

### บทที่ 3

## เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่บนแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองแบบ อัตโนมัติ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการ ออกแบบ และการทำงานของ เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่บนแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติ

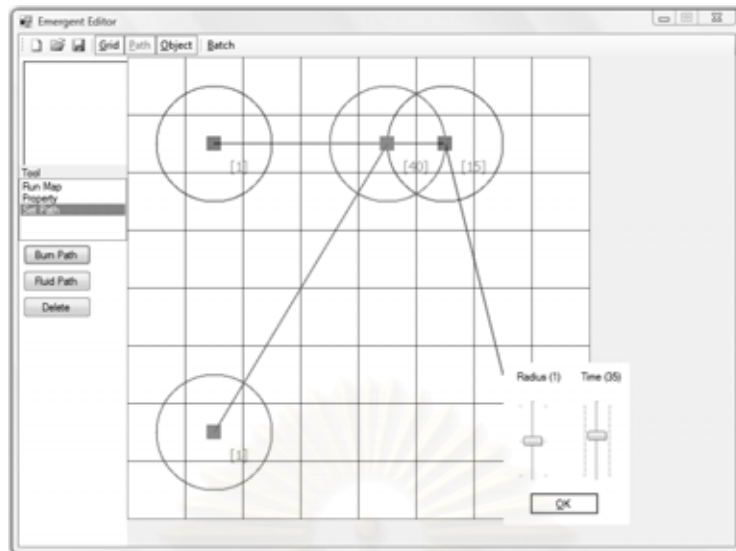
เครื่องมือจะใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการปรับสมบัติของพื้นที่ เนื่องจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถทำงานกับกฎที่ซับซ้อน และมีตัวแปรจำนวนมาก ได้ดี และใช้วิธีป้อนเขาขั้นสุดในการปรับปรุงสมบัติของพื้นที่ให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากใช้ปรับค่าอย่างละเอียดได้ดีกว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยจะสร้างเครื่องมือดังกล่าวในรูปแบบของเครื่องมือพัฒนาแผนที่ที่มีเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่เป็นส่วนประกอบ เพราะการกำหนดสมบัติของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับการสร้างแผนที่

### 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือ

เครื่องมือประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

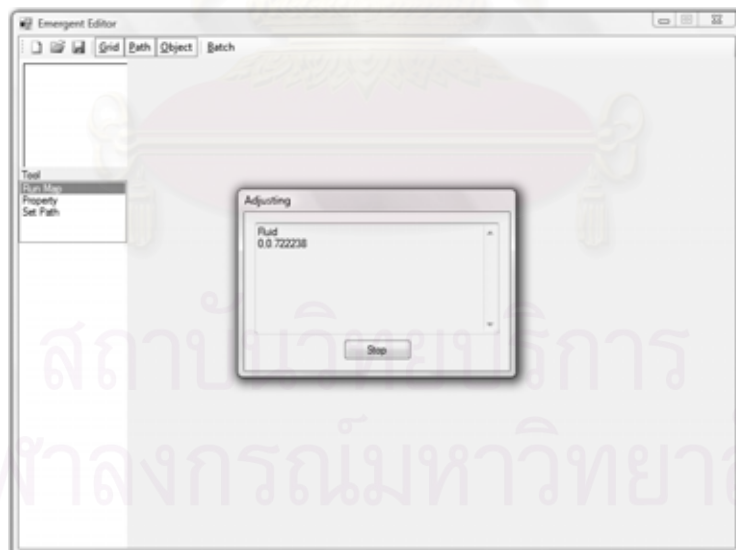
- 3.1.1 ส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง (ภาพที่ 13) – สามารถสร้าง / ลบ / แก้ไข จุดควบคุมเส้นทาง โดยมีลำดับการทำงานดังนี้
  - 3.1.1.1 ผู้ใช้เลือกชนิดของเหตุการณ์ของเส้นทางนั้น โดยสีแดงจะแทนการลามของไฟ และสีฟ้าแทนการไหลของน้ำ
  - 3.1.1.2 ผู้ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดควบคุมเส้นทาง (จุดสี่เหลี่ยม)
  - 3.1.1.3 ผู้ใช้กำหนดขนาดรัศมีของจุด ควบคุมเส้นทาง (วงกลมรอบจุดสี่เหลี่ยม) และเวลาที่ จะเกิดเหตุการณ์ที่จุดนั้น (ตัวเลขด้านขวาล่างของจุดสี่เหลี่ยม)
  - 3.1.1.4 ผู้ใช้กำหนดตำแหน่งของจุด ควบคุมเส้นทาง ถัดไป หรือปิดเส้นทาง (เส้นเชื่อมระหว่างจุดสี่เหลี่ยม)
  - 3.1.1.5 ผู้ใช้สามารถเลือกจุดควบคุมเส้นทางเพื่อแก้ไขตำแหน่ง ขนาดรัศมี และเวลาได้
  - 3.1.1.6 ผู้ใช้สามารถลบจุดควบคุมเส้นทางได้





ภาพที่ 13 ส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง

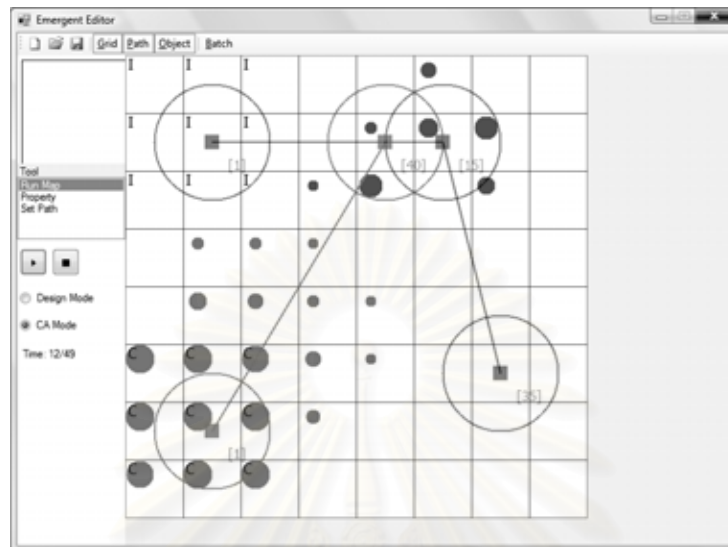
3.1.2 ส่วนกำหนดสมบัติของพื้นที่แบบอัตโนมัติ (ภาพที่ 14) – จะกำหนด สมบัติของพื้นที่ ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ในส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง โดยทำงานทันทีเมื่อผู้ใช้เปลี่ยนการทำงานจากส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง ไปยังส่วนอื่น ส่วน กำหนดสมบัติของพื้นที่แบบอัตโนมัติจะทำงานจนกว่าครบตามจำนวนรอบที่กำหนด หรือจนกว่าผู้ใช้สั่งให้หยุด



ภาพที่ 14 ส่วนกำหนดสมบัติของพื้นที่แบบอัตโนมัติ

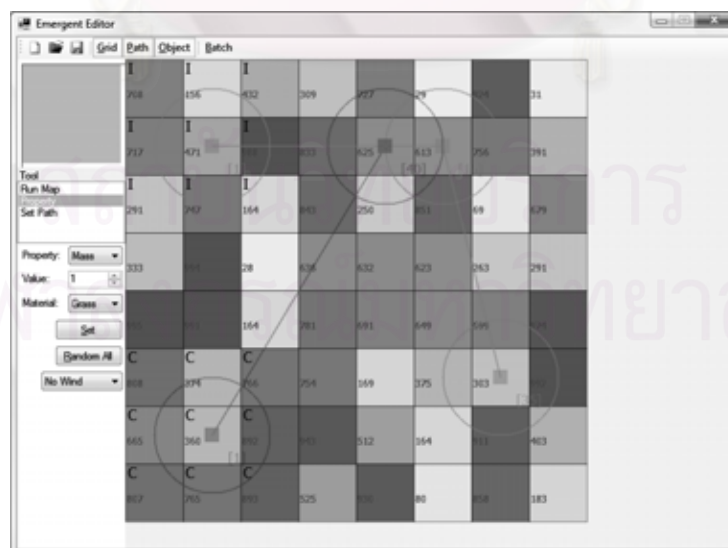
3.1.3 ส่วนแสดงเหตุการณ์ (ภาพที่ 15) – สามารถแสดงเหตุการณ์ที่ออกแบบตาม จุดควบคุมเส้นทาง และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงตาม สมบัติของพื้นที่ โดยแทนด้วยวงกลมสีแดงถ้า

เซลล์ติดไฟ และสีฟ้าถ้าเซลล์มีน้ำ ซึ่งขนาดของวงกลมจะแสดงถึงเหตุการณ์ว่าเกิดมากน้อยเพียงใด และจะมีตัวอักษร “I” แสดงถึงจุดกำเนิดไฟ และ “C” แสดงถึงจุดกำเนิดน้ำ



ภาพที่ 15 ส่วนแสดงแสดงเหตุการณ์

3.1.4 ส่วนแสดงสมบัติของแผนที่ (ภาพที่ 16) – สามารถแสดง / แก้ไข / สุ่มค่า สมบัติของแผนที่ ได้แก่ อุณหภูมิ มวลของเชื้อเพลิง ความเสียหายของเชื้อเพลิงจากการลุกไหม้ ความชื้น ความสูง ความดัน ลักษณะของพื้นที่ และทิศทางลม โดยจะแสดงเป็นตัวเลข และความเข้มของสีในแต่ละเซลล์



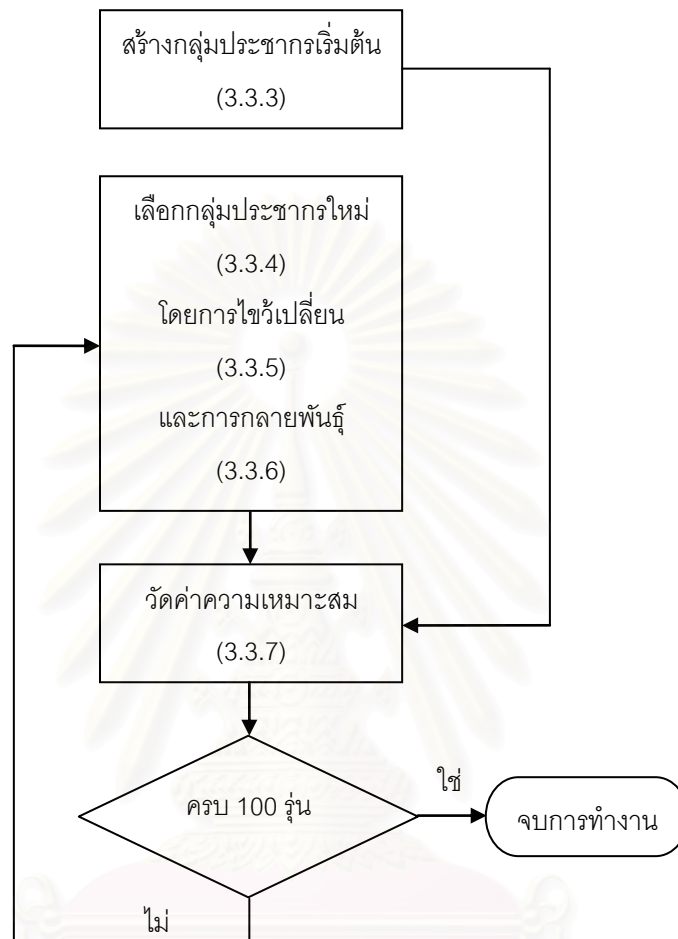
ภาพที่ 16 ส่วนแสดงแสดงสมบัติของแผนที่

### 3.2 การทำงานของเครื่องมือ

- 3.2.1 ผู้ใช้กำหนดเส้นทางการลามของไฟ และ/หรือการไหลของน้ำ โดยกำหนดในรูปจุดควบคุมเส้นทาง (Waypoint) ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งของจุดบนแผนที่ เวลาที่จะให้เกิดเหตุการณ์ที่จุดนั้น และขนาดของเหตุการณ์ในรูปของรัศมีรอบจุด โดยเหตุการณ์จะเกิดขึ้นที่จุดควบคุมเส้นทางแรก และเคลื่อนที่ไปยังจุดควบคุมเส้นทางถัดไปตามเวลาที่กำหนด
- 3.2.2 เครื่องมือจะแปลงเส้นทางของเหตุการณ์เป็นตารางเวลาของการเริ่ม และสิ้นสุดเหตุการณ์ในแต่ละเซลล์ของแผนที่ ซึ่งนำไปใช้ได้ง่ายกว่า โดยจะแปลงเส้นทางการไหลของน้ำก่อนการลามของไฟ เนื่องจากน้ำในเซลล์มีผลต่อการเกิดไฟ และจะตรวจสอบด้วยว่าเส้นทางที่ผู้ใช้กำหนดเป็นไปไม่ได้หรือไม่ถ้าเป็นไปไม่ได้จะให้ผู้ใช้กำหนดเส้นทางใหม่ โดยเส้นทางที่ถือว่าเป็นไปไม่ได้ได้แก่
- เส้นทางที่การเคลื่อนที่ของเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่องจากเซลล์ข้างเคียง
  - เส้นทางที่เกิดเหตุการณ์ที่จุดควบคุมเส้นทางจุดใดจุดหนึ่งไม่ทั่วทั้งจุด
  - เส้นทางที่ไฟต้องเคลื่อนที่ผ่านน้ำ
  - เส้นทางที่ไฟต้องเคลื่อนที่สวนทางกับทิศทางลม
- 3.2.3 เครื่องมือ สร้างจุดกำเนิดไฟที่จุดเริ่มต้นของเส้นทางการลามของไฟ และจุดกำเนิดน้ำที่จุดเริ่มต้นของเส้นทางการลามของน้ำ โดยจุดกำเนิดไฟจะทำให้เซลล์มีอุณหภูมิ 3000 หน่วย ณ เวลาที่กำหนด และจุดกำเนิดน้ำจะเพิ่มน้ำในเซลล์ 30 หน่วยต่อหน่วยเวลา ตั้งแต่เวลาที่กำหนด
- 3.2.4 ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมค้นหาสมบัติของเซลล์ทั้งหมดในแผนที่ที่มีผลต่อเหตุการณ์ที่ต้องการ โดยจะแยกค้นหาสมบัติของเซลล์ที่มีผลต่อการไหลของน้ำก่อน จึงค่อยค้นหาในส่วนการลามของไฟ เนื่องจากน้ำในเซลล์มีผลต่อการเกิดไฟ
- 3.2.5 ใช้วิธีป็นเขาชันสุดในการ ปรับปรุงสมบัติของพื้นที่ให้ดียิ่งขึ้น โดยจะแยกปรับปรุงสมบัติของเซลล์ที่มีผลต่อการไหลของน้ำก่อน จึงค่อยปรับปรุงในส่วนการลามของไฟ เนื่องจากน้ำในเซลล์มีผลต่อการเกิดไฟ
- 3.2.6 เก็บผลการทำงานไว้ เพื่อนำมาเป็นส่วนของกลุ่มประชากรเริ่มต้น เมื่อต้องการสร้างเส้นทางของเหตุการณ์ใหม่ ถ้าเส้นทางใหม่คล้ายกับที่เคยสร้างมาแล้ว จะทำให้ค่าความเหมาะสมสูง จึงมีโอกาสถูกเลือกใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ทำให้ใช้เวลาในการหาประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงลดลง
- 3.2.7 แสดงผลต่อผู้ใช้

### 3.3 ลักษณะของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้จะมีลำดับการทำงานดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ลำดับการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในเครื่องมือ

3.3.1 โครโมโซมคือสมบัติที่มีผลต่อเหตุการณ์ที่ต้องการของเซลล์ทั้งหมดในแผนที่ โดยจะแยกกันระหว่างสมบัติที่มีผลต่อการไหลของน้ำ และสมบัติที่มีผลต่อการลามาของไฟ เนื่องจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำงานแยกกันระหว่างเหตุการณ์ทั้งสอง ทำให้ลดจำนวนข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง และเนื่องจากจะใช้การไขว้เปลี่ยนแบบสม่ำเสมอ โดยให้สมบัติของแต่ละเซลล์ไขว้เปลี่ยนแบบเดียวกัน ทำให้ลำดับการเรียงเซลล์ และสมบัติในโครโมโซมไม่มีความสำคัญ

- โครโมโซมการลามาของไฟประกอบด้วย ลักษณะของพื้นที่ อุณหภูมิ มวลของเชื้อเพลิง ความเสียหายของเชื้อเพลิงจากการลุกไหม้ และความชื้น (ภาพที่ 18)

Cell(0,0) Temp
Cell(0,0) Mass
Cell(0,0) Damage
Cell(0,0) Wetness
Cell(0,0) Material
⋮
Cell(7,7) Temp
Cell(7,7) Mass
Cell(7,7) Damage
Cell(7,7) Wetness
Cell(7,7) Material

ภาพที่ 18 ข้อมูลในโครโมโซมการลามของไฟ

- โครโมโซมการไหลของน้ำประกอบด้วย ความสูง (ภาพที่ 19)

Cell(0,0) Height
⋮
Cell(7,7) Height

ภาพที่ 19 ข้อมูลในโครโมโซมการไหลของน้ำ

- 3.3.2 ใช้กลุ่มประชากรขนาด 1000 หน่วย และทำงานทั้งหมด 100 รุ่น เนื่องจากเป็นค่าที่ให้ผลลัพธ์ได้ตามที่กำหนดไว้ ภายในเวลาที่สามารถทำการทดสอบได้
- 3.3.3 สร้างประชากรเริ่มต้นด้วยการสุ่ม 1000 ตัวรวมกับประชากรจากผลการทำงานครั้งก่อนหน้า โดยใช้ ช่วงของการสุ่มประชากรเริ่มต้น ดังตารางที่ 2 ซึ่งเหตุการณ์ส่วนใหญ่ที่ได้ทดลองจะมีสมบัติอยู่ในช่วงเหล่านี้ ทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหาค่าที่ถูกต้องได้เร็วยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 ช่วงของการสุ่มประชากรเริ่มต้น

สมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ลักษณะของพื้นที่	หญ้า	หญ้า
อุณหภูมิ	0 (ค่าต่ำสุด)	100
มวลของเชื้อเพลิง	1 (ค่าต่ำสุด)	1000 (ค่าสูงสุด)
ความเสียหายของเชื้อเพลิงจากการลุกไหม้	0 (ค่าต่ำสุด)	300
ความชื้น	0 (ค่าต่ำสุด)	100
ความสูง	100 (ค่าต่ำสุด)	1000 (ค่าสูงสุด)

### 3.3.4 สร้างประชากรในรุ่นถัดไปโดยทำงานตามลำดับดังนี้

- 3.3.4.1 เลือกประชากรตัวที่มีค่าความเหมาะสมที่สุดมาโดยตรง
- 3.3.4.2 เลือกประชากรจำนวนร้อยละ 1 ที่มีค่าความเหมาะสมสูงมากลายพันธุ์ เนื่องจากมีความเหมาะสมสูงอยู่แล้ว การปรับค่าเพียงเล็กน้อยก็อาจจะมีเหมาะสมเพิ่มขึ้นได้
- 3.3.4.3 ประชากรที่เหลือจะมาจากการไขว้เปลี่ยนโดยสุ่มอย่างถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ 6 โดยจะมีประชากรจากการไขว้เปลี่ยนครั้งหนึ่งที่จะถูกกลายพันธุ์ต่ออีกทอดหนึ่ง

$$selectPopulation = random(0, \frac{populationSize}{random(2,6)}) \quad (6)$$

โดย *selectPopulation* คือตำแหน่งของประชากรที่ถูกเลือก ซึ่งตำแหน่งที่ต่ำกว่าจะหมายถึงประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่า ฟังก์ชัน *random(a,b)* คือฟังก์ชันสุ่มค่าจำนวนเต็มตั้งแต่ *a* แต่ไม่รวม *b* และ *populationSize* คือจำนวนประชากรทั้งหมดซึ่งคือ 1000

สมการที่ 6 มีค่าตัวหารที่สุ่มได้คือ 2 3 4 และ 5 ทำให้ช่วงของประชากรที่สุ่มได้คือ ร้อยละ 50 ร้อยละ 33 ร้อยละ 25 และ ร้อยละ 20 ทำให้มีประชากรครั้งที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่าเท่านั้นที่มีสิทธิ์ถูกสุ่มมาไขว้เปลี่ยน และประชากรในช่วงร้อยละ 20 ที่มีค่าความเหมาะสมสูงมีโอกาสถูกสุ่มมามากที่สุด เนื่องจากมีโอกาสถูกเลือกไม่ว่าตัวหารที่สุ่มได้จะเป็นอะไรก็ตาม โดยวิธีการเลือกประชากรที่ใช้นี้จะทำให้ประชากรที่ไม่เหมาะสมถูกตัดทิ้งอย่างรวดเร็ว ทำให้พบประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงโดยเร็ว แต่จะมีข้อด้อยคือประชากรจะขาดความหลากหลายทำให้อาจติดปัญหาค่าสูงสุด เฉพาะที่ แต่เนื่องจากจำนวนประชากรเริ่มต้นมี

ปริมาณมาก และเกิดการกระจายพันธุ์มากกว่าครึ่งหนึ่งของกลุ่มประชากร ทำให้ลดข้อด้อยนี้ลงไปได้

3.3.5 การไขว้เปลี่ยนจะให้การไขว้เปลี่ยนแบบสม่ำเสมอ และใช้การรวมค่าตามสมการที่ 7 และ 8

$$p_{new1} = \beta p_1 + (1 - \beta) p_2 \quad (7)$$

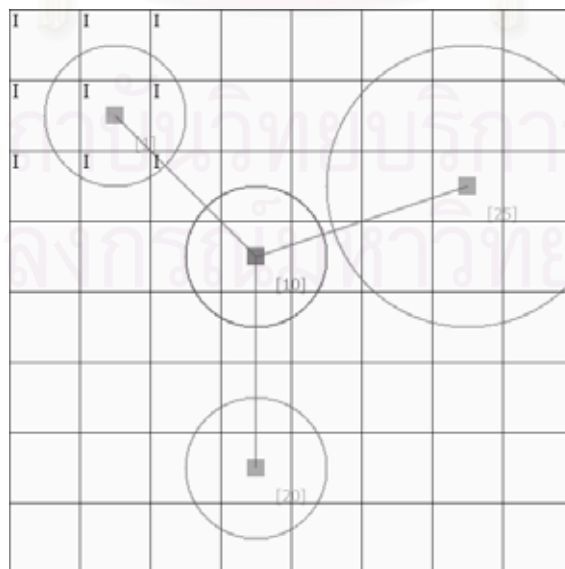
$$p_{new2} = \beta p_2 + (1 - \beta) p_1 \quad (8)$$

โดย  $p_{newi}$  คือค่าของโครโมโซมใหม่  $p_i$  คือค่าของโครโมโซม ต้นแบบ และ  $\beta$  คือค่า สุ่มตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยถ้าค่า  $\beta = 1$  จะคือการเลือกค่าโดยไม่สลับค่า และ  $\beta = 0$  คือการเลือกค่าโดยสลับค่า และค่าสมบัติของพื้นที่เดียวกันจะใช้ค่า  $\beta$  เท่ากันในการไขว้เปลี่ยน

อัตราการเลือกค่าโดยไม่สลับค่าต่อ การรวมค่าต่อการเลือกค่าโดยสลับค่าที่ใช้คือ 1:1:1 ซึ่งได้มาจากทดลองกำหนด อัตราการรวมค่าด้วยการเปลี่ยนอัตราการเลือกค่าโดยไม่สลับค่าต่อ การรวมค่าต่อการเลือกค่าโดยสลับค่า ระหว่าง 2:1:2 1:1:1 และ 1:3:1 ซึ่งคือ มี อัตราการรวมค่า ที่ ร้อยละ 20 ร้อยละ 33 และร้อยละ 60 ตามลำดับ

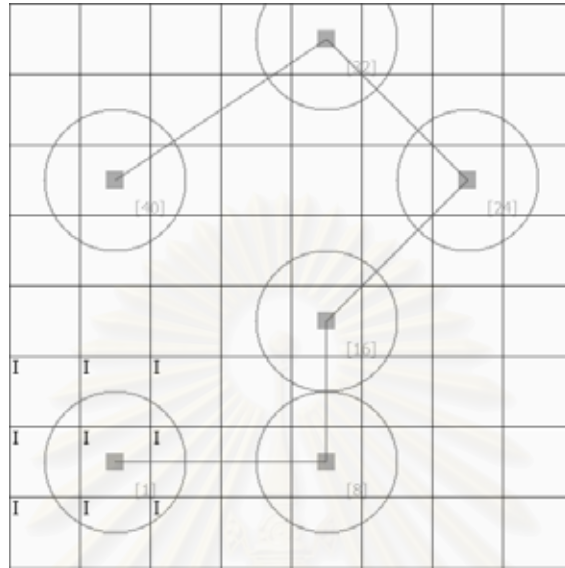
การวัดผลจะใช้ร้อยละของค่าความเหมาะสมที่เพิ่มขึ้นในการทำงาน 1 รุ่น เฉลี่ย 3 ครั้งของแผนที่ 3 แผนที่ ได้แก่

- แผนที่ T1 W0 B(1,1,1,1)-(3,3,1,10)-(3,6,1,20) B(3,3,1,10)-(6,2,2,25) (ภาพที่ 20) เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ที่ไม่ได้เกิดในเส้นทางเดียว



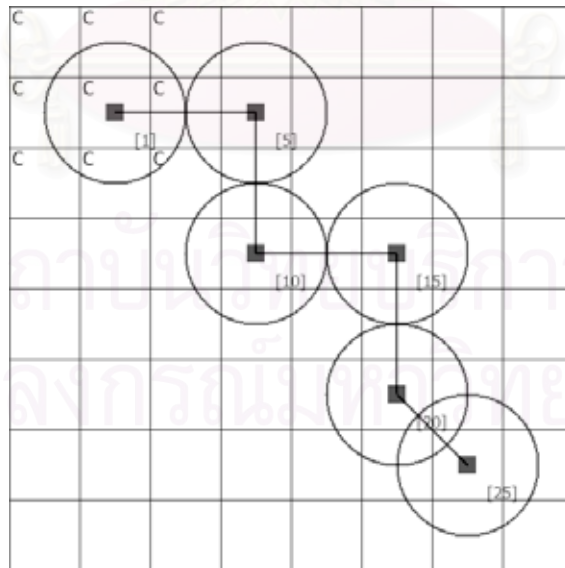
ภาพที่ 20 แผนที่ T1

- แผนที่ T2 W0 B(1,6,1,1)-(4,6,1,8)-(4,4,1,16)-(6,2,1,24)-(4,0,1,32)-(1,2,1,40) (ภาพที่ 21) เป็นตัวแทนของการลามของไฟ



ภาพที่ 21 แผนที่ T2

- แผนที่ T3 W0 F(1,1,1,1)-(3,1,1,5)-(3,3,1,10)-(5,3,1,15)-(5,5,1,20)-(6,6,1,25) (ภาพที่ 22) เป็นตัวแทนของการไหลของน้ำ



ภาพที่ 22 แผนที่ T3



โดย  $Wd$  หมายถึง มีลมในทิศทาง  $d$  ซึ่งถ้า  $d=0$  คือไม่มีลม ค่า  $d=1$  หมายถึงลมพัดไปทางทิศตะวันออก โดยโล่วนทวนเข็มนาฬิกา จนถึง  $d=4$  คือลมพัดไปทางทิศใต้ และ  $e(x_0, y_0, r_0, t_0)-(x_1, y_1, r_1, t_1)$  คือมีเส้นทางของเหตุการณ์  $e$  โดย  $e=B$  คือการลามของไฟ และ  $e=F$  คือการไหลของน้ำ ซึ่งเกิดที่ตำแหน่ง  $(x_0, y_0)$  ขนาดรัศมี  $r_0$  ที่เวลา  $t_0$  และเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง  $(x_1, y_1)$  ขนาดรัศมี  $r_1$  ที่เวลา  $t_1$

พบว่าได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 โดยที่อัตราการรวมค่า 1:1:1 ค่าความเหมาะสมจะเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนการรวมค่าอื่นที่ทดสอบ ดังแสดงในส่วนที่ขีดเส้นใต้ในตาราง

ตารางที่ 3 ผลการทดลองกำหนดอัตราการรวมค่า

อัตราการรวม ค่า	ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยที่ รุ่นที่ 0	ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยที่ รุ่นที่ 1	ร้อยละที่ เพิ่มขึ้น
2:1:2	0.3545	0.3807	7.40
1:1:1	0.3512	0.3833	<u>9.14</u>
1:3:1	0.3564	0.3806	6.79

3.3.6 การกลายพันธุ์จะสุ่มค่าเฉพาะในช่วง  $\pm 50$  หน่วยจากค่าเดิมเท่านั้น และอยู่ในช่วงค่าสูงสุด / ต่ำสุดที่กำหนดไว้ ยกเว้นค่าลักษณะของพื้นที่ซึ่งเป็นค่าที่ระบุชนิดของพื้นที่เท่านั้น จะสุ่มแบบสม่ำเสมอ โดยที่กำหนดช่วงการสุ่มนั้นเพื่อให้ค่าเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป เนื่องจากในการทดลองช่วงของค่าที่เกิดขึ้นจริงบางค่าเล็กกว่าช่วงของค่าที่เป็นไปได้มากจึงไม่ต้องการให้เกิดการกลายพันธุ์ไปยังช่วงของค่าที่ไม่เคยเกิด

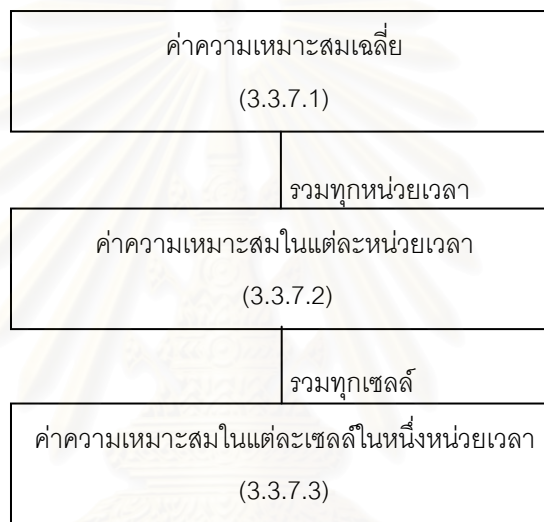
อัตรา การกลายพันธุ์ที่ใช้คือร้อยละ 20 ซึ่งได้มาจากทดลองการกำหนดลักษณะของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ด้วยการเปลี่ยน อัตราการกลายพันธุ์ระหว่างร้อยละ 10 20 และ 30

การวัดผลจะใช้ร้อยละของค่าความเหมาะสมที่เพิ่มขึ้นในการทำงาน 1 รุ่น เฉลี่ย 3 ครั้งของแผนที่ T1 T2 และ T3 ซึ่งพบว่าได้ผลดังตารางที่ 4 โดยที่อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 20 ค่าความเหมาะสมจะเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเทียบอัตราการกลายพันธุ์อื่นที่ทดสอบ ดังแสดงในส่วนที่ขีดเส้นใต้ในตาราง

ตารางที่ 4 ผลการทดลองกำหนดอัตราการกลายพันธุ์

อัตราการกลายพันธุ์	ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยที่รุ่นที่ 0	ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยที่รุ่นที่ 1	ร้อยละที่เพิ่มขึ้น
10	0.3499	0.3813	9.00
20	0.3512	0.3833	9.14
30	0.3643	0.3884	6.62

### 3.3.7 การวัดค่าความเหมาะสมของแต่ละเหตุการณ์จะมีลำดับการทำงานดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ลำดับการวัดค่าความเหมาะสม

3.3.7.1 หาค่าความเหมาะสมเฉลี่ยในทุกหน่วยเวลาที่เกิดเหตุการณ์ โดยมีค่าสูงสุดใกล้เคียง 1 ตามสมการที่ 9 ซึ่งใช้สมการที่ 10 และ 11 ในการถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมในแต่ละหน่วยเวลา

$$fitness = \frac{\sum_{i=1}^n fitness_{t=i}^{waypoint} + \sum_{j=1}^m fitness_{t=j}^{non-waypoint}}{2n + m} \quad (9)$$

$$fitness_t^{waypoint} = \left(1.8 + \frac{0.2 \times t}{time_{max}}\right) \times fitness_t \quad (10)$$

$$fitness_t^{non-waypoint} = \left(0.8 + \frac{0.2 \times t}{time_{max}}\right) \times fitness_t \quad (11)$$

โดย  $fitness_t^{waypoint}$  คือค่าความเหมาะสมในแต่ละหน่วยเวลาที่มีจุดกำหนดเส้นทางอยู่  $fitness_t^{non-waypoint}$  คือค่าความเหมาะสมในแต่ละหน่วยเวลาที่ไม่มีการกำหนด

กำหนดเส้นทางอยู่  $t$  คือหน่วยเวลาที่ต้องการค่าความเหมาะสม  $time_{max}$  คือหน่วยเวลาสูงสุดที่ยังมีเหตุการณ์เกิดขึ้นบนแผนที่ และ  $fitness_t$  คือค่าความเหมาะสมในแต่ละหน่วยเวลาที่ยังไม่ได้ถ่วงน้ำหนัก

การถ่วงน้ำหนักในหน่วยเวลาที่มีจุดกำหนดเส้นทางอยู่จะถูกถ่วงน้ำหนักประมาณ 2 เท่าของหน่วยเวลาอื่นๆ ( $1.8 + x$  เทียบกับ  $0.8 + x$ ) เนื่องจากเป็นหน่วยเวลาที่ใช้วัดผลการทำงาน แต่หน่วยเวลาอื่น ๆ มีค่าความเหมาะสมเพื่อให้เกิดเหตุการณ์ตามเส้นทางเท่านั้น

ค่าความเหมาะสมของเหตุการณ์ในหน่วยเวลาที่เกิดทีหลังจะถูกถ่วงน้ำหนักมากกว่าค่าความเหมาะสมของเหตุการณ์ในหน่วยเวลาที่เกิดก่อน ดังใน

ส่วน  $\frac{0.2 \times t}{time_{max}}$  ของสมการ เนื่องจากในการทดลองมักจะพบปัญหาเหตุการณ์จบ

ก่อนกำหนด หรือเคลื่อนที่ไปไม่ถึงจุดควบคุมในเวลาหลังๆ แต่ถ้าหากกำหนดการถ่วงน้ำหนักในส่วนนี้มากเกินไปจะพบปัญหาความร้อนเคลื่อนที่ไปไหม้ในช่วงหลังๆ ของเส้นทางโดยไม่ไหม้ส่วนต้นทาง

- 3.3.7.2 ค่าความเหมาะสมในแต่ละหน่วยเวลา คือผลรวมของค่าความเหมาะสมของเซลล์ที่เกิดเหตุการณ์ กับเซลล์ที่ถูกกำหนดให้เกิดเหตุการณ์ในหน่วยเวลานั้น (*relevantcell*) ต่อจำนวนเซลล์ที่ถูกกำหนดให้เกิดเหตุการณ์ในช่วงเวลานั้นๆ ( $m$ ) คูณด้วยค่าความเหมาะสมสูงสุด ในแต่ละเซลล์ในหนึ่งหน่วยเวลา (10 หน่วย) โดยจะมีค่าสูงสุดใกล้เคียง 1 ตามสมการที่ 12

$$fitness_t = \frac{\sum_{i=1}^n fitness(relevantCell_i)}{m \times 10} \quad (12)$$

- 3.3.7.3 ค่าความเหมาะสมในแต่ละเซลล์ ในหนึ่งหน่วยเวลาจะมีค่าสูงสุดเป็น 10 โดยการคิดคะแนนจะแบ่งได้เป็น

- เกิดเหตุการณ์ในเซลล์ที่อยู่นอกเส้นทาง - โดยถ้าเป็นเซลล์ที่อยู่ติดกับเซลล์ที่อยู่ในเส้นทางจะถูกหัก 1 คะแนน แต่ถ้าเป็นเซลล์ที่อยู่ห่างออกไป จะถูกหัก 5 คะแนน เนื่องจากการเหตุการณ์ในเซลล์ที่อยู่ติดกับเซลล์ที่อยู่ในเส้นทางจะปรับเหตุการณ์กลับเข้าเส้นทางได้ง่ายกว่า
- ไม่เกิดเหตุการณ์ในเซลล์ตามเวลาที่ควรเกิด - ในกรณีการลามของไฟจะได้คะแนนเป็น 2 เท่าของอุณหภูมิของเซลล์ต่ออุณหภูมิสูงสุด (5000 หน่วย) เนื่องจากถึงแม้ว่าเซลล์จะไม่ติดไฟแต่ก็ยังสามารถส่งผ่านความ

ร้อนไปยังเซลล์ถัดไปในเส้นทางได้ และถ้าเซลล์มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เซลล์เกิดการลุกไหม้ได้ง่าย ส่วนการไหลของน้ำจะไม่มีคะแนน เนื่องจากไม่มีค่าสมบัติที่จะนำมาคิดคะแนนในส่วนนี้

- เกิดเหตุการณ์ในเซลล์ตามเวลาที่ควรเกิด – จะได้ 8 คะแนน และในกรณีการลามของไฟ จะได้คะแนนเพิ่มอีกไม่เกิน 2 คะแนน เท่ากับ 2 เท่าของค่าการไหม้ต่อครั้งหนึ่งของอัตราการไหม้สูงสุดของพื้นที่ที่มีอัตราการไหม้สูงสุดน้อยที่สุด (หญ้า; 200 หน่วย) สำหรับการลามของไฟ ส่วนการไหลของน้ำจะได้คะแนนเพิ่มเท่ากับ 2 เท่าของปริมาณน้ำต่อครั้งหนึ่งของปริมาณน้ำที่เซลล์รองรับได้ (60 หน่วย) ซึ่งก็คือถ้าเหตุการณ์มีขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ (ซึ่งเป็นขนาดของเหตุการณ์ที่เครื่องมือแสดงให้ผู้เห็นในส่วนของเหตุการณ์ที่เครื่องมือออกแบบ) จะได้คะแนนเต็ม 2 คะแนน เนื่องจากถ้าเกิดเหตุการณ์ในเซลล์น้อยจะส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ในช่วงหลังๆของเส้นทางได้ยาก
- เกิดเหตุการณ์ก่อนเวลาที่ควรเกิดไม่เกิน 1 หน่วยเวลา – จะได้คะแนนเท่ากับ 5 ลบด้วยผลต่างของเวลา ซึ่งในส่วนนี้จะมีคะแนนแค่ 4 หรือ 0 เนื่องจากการเกิดเหตุการณ์เร็วไป 1 หน่วยเวลายังสังเกตได้ไม่ชัดเจน จึงให้คะแนนค่อนข้างสูง
- เกิดเหตุการณ์หลังเวลาที่ควรเกิดไม่เกิน 4 หน่วยเวลา – จะได้คะแนนเท่ากับ 5 ลบด้วยผลต่างของเวลา สำหรับการลามของไฟ เนื่องจากการลามของไฟโดยอิสระมักจะมีหางของไฟเกิดขึ้นด้วย โดยการไหลของน้ำจะไม่คิดคะแนนในส่วนนี้ เนื่องจากน้ำเมื่อเกิดแล้วจะคงอยู่ในเซลล์ตลอด

### 3.4 ลักษณะของวิธีป็นเขาขั้นสุด

วิธีป็นเขาขั้นสุด จะปรับปรุง ค่าสมบัติของแผนที่ตามค่าในโครโมโซมที่มีความเหมาะสมสูงสุดจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยใช้ ฟังก์ชันค่าความเหมาะสม เดียวกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

วิธีป็นเขาขั้นสุด จะปรับปรุงค่าสมบัติที่มีผลต่อเหตุการณ์ที่ปรับปรุงค่าอยู่ในทุกเซลล์บนแผนที่ แต่จะไม่ปรับค่าลักษณะของพื้นที่เมื่อปรับเหตุการณ์การลามของไฟ เนื่องจาก วิธีป็นเขาขั้นสุดจะถูกใช้เพื่อปรับปรุงค่าให้ดีขึ้นเท่านั้น และค่าลักษณะของพื้นที่เป็น ค่าที่ระบุชนิดของพื้นที่

เท่านั้นไม่สามารถค่อยๆปรับได้ ทำให้การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่จะส่งผลกระทบต่อเหตุการณ์ที่จะเกิดเป็นอย่างมาก

การทำงานจะเริ่มด้วยการทดลองเปลี่ยนค่าสมบัติที่มีผลต่อเหตุการณ์ที่ปรับค่าอยู่ทั้งเพิ่มขึ้น และลดลง และเลือกวิธีที่ให้ผลดีที่สุดในการปรับค่าจริง โดยจะเริ่มจากเปลี่ยนค่าทีละ 27 หน่วย และเมื่อไม่พบคำตอบที่ดีขึ้น จะลดค่าที่เปลี่ยนลงครึ่งละ 1 ใน 3 เหลือ 9 3 1 และจบการทำงานตามลำดับ ดังภาพที่ 24 โดยใช้การลดค่าที่เปลี่ยนลงครึ่งละ 1 ใน 3 เนื่องจากจะทำให้ปรับค่าสมบัติเดียวกันได้ถึง 2 ครั้ง เทียบกับการลดค่าครึ่งละ 1 ใน 2 ที่ต้องลดค่าที่เปลี่ยนบ่อยเกินไป และไม่ต้องทำงานบ่อยเกินไปเทียบกับลดค่าครึ่งละ 1 ใน 4 และใช้ค่าเริ่มต้นเป็น 27 เนื่องจาก เป็นรากของ 3 และค่าถัดไปคือ 81 มีค่ามากเกินไปที่จะนำมาใช้ปรับค่าเทียบกับช่วงที่เป็นไปได้ของค่าสมบัติ

```

currentFitness = get fitness from real map;
for each cell {
  step = 27;
  while (step >= 1) {
    for each possible modification {
      bestTuneFitness = currentFitness;
      add or subtract property in temporary map by step;
      fitness = get fitness from temporary map;
      if (fitness > bestTuneFitness) {
        bestTuneFitness = fitness;
      } // end if
    } // end for each possible modification
    if (bestTuneFitness > currentFitness) {
      commit best modification in real map;
      currentFitness = bestTuneFitness;
    } else {
      reduce step size;
    }
  } // end while
} // end for each cell

```

ภาพที่ 24 ขั้นตอนวิธีของวิธีปรับเขาขั้นสุด

วิธีปรับเขาขั้นสุด จะทำงาน เมื่อขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำงานในรอบที่ 60 80 และ 100 เสร็จซึ่งได้มาจากทดลองตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับปรับค่าประกอบด้วย

- เมื่อขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำงานในรอบที่ 20 40 60 80 และ 100 เสร็จ
- เมื่อขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำงานในรอบที่ 60 80 และ 100 เสร็จ
- เมื่อขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำงานในรอบสุดท้ายเสร็จ (รอบที่ 100)

- ไม่มีการปรับปรุงค่า

การวัดผลจะใช้ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยจาก การทดลองบนแผนที่ T1 T2 และ T3 แผนที่ละ 3 ครั้ง ซึ่งพบว่า การปรับปรุงค่าเมื่อขึ้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำงานในรอบที่ 60 80 และ 100 เสร็จ จะให้ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ 0.5566 ดังแสดงในส่วนที่ขีดเส้นใต้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองตำแหน่งการปรับปรุงค่า

รอบที่	20 40 60 80 100	60 80 100	100	ไม่ปรับปรุง
แผนที่ T1	0.5168	0.5429	0.5278	0.4766
แผนที่ T2	0.4485	0.4579	0.4480	0.4061
แผนที่ T3	0.6700	0.6691	0.6695	0.6697
เฉลี่ย	0.5451	<u>0.5566</u>	0.5484	0.5174

### 3.5 ลักษณะของแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง

กำหนดให้แผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง มีค่าสูงสุด/ต่ำสุด ของสมบัติ และตัวแปรต่างๆดังตารางที่ 6 โดยค่าเหล่านี้กำหนดไว้เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณ และแสดงผลได้ถูกต้อง คือ กำหนดค่าต่ำสุดเป็น 1 เพื่อป้องกันการหารด้วย 0 กำหนดความสูงในช่วงที่ต่างกันไม่เกิน 10 เท่า ทำให้น้ำไหลได้สมจริงตามระบบอิมเมอร์เจนต์

ตารางที่ 6 ค่าสูงสุด/ต่ำสุด ของตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
อุณหภูมิ	0	5000
มวลของเชื้อเพลิง	1	1000
ความเสียหายของเชื้อเพลิงจากการลุกไหม้	0	1000
ความชื้น	0	1000
ความสูง	100	1000
ปริมาณน้ำ	0	200

## บทที่ 4

### การทดสอบ ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะอธิบายการทดสอบ ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผล ที่ได้ทำในวิทยานิพนธ์

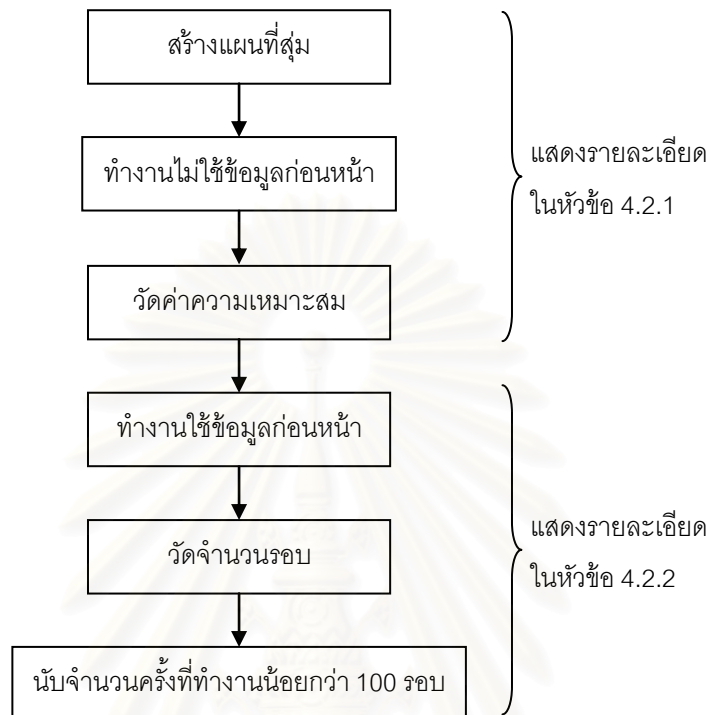
#### 4.1 การทดสอบการใช้งาน

จะทดสอบ และวัดผลตามที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อขอบเขตการดำเนินงาน กล่าวคือ

- ทดสอบโดยการสุ่มสร้างเหตุการณ์บนแผนที่ 100 รูปแบบ โดยจะควบคุมให้ทดสอบเส้นทางแต่ละแบบที่เป็นไปได้ในเชิงของจำนวน และวิธีการแบ่ง จุดควบคุมเส้นทาง ไม่น้อยกว่า 2 การทดสอบ และไม่เกิน 5 การทดสอบ
- ทดสอบด้วยแผนที่ขนาดกว้าง 8 เซลล์ ยาว 8 เซลล์
- เหตุการณ์ที่สุ่มทดสอบ ได้แก่ การลามของไฟ การไหลของน้ำ และการลามของไฟผสมกับการไหลของน้ำ
- มีจุดควบคุมเส้นทางในทุกเหตุการณ์ตั้งแต่ 2 ถึง 6 จุด
  - สุ่มตำแหน่งทั่วทั้งแผนที่
  - สุ่มขนาดรัศมีตั้งแต่ 1 ถึง 2 หน่วย
  - สุ่มเวลาเกิดไม่เกิน 50 หน่วยเวลา
- ลมจะสุ่มระหว่าง ไม่มีลม และสุ่มทิศทางลม
- การวัดผลโดยใช้ค่าดังต่อไปนี้
  - ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดจากเส้นทางที่ผู้ใช้ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง โดยเหตุการณ์ที่เกิดจริง หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามค่าสมบัติที่เครื่องมือกำหนดตามกฎของระบบอ็อบเจกต์
  - ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวมทุกเหตุการณ์ โดยพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ใดๆหมายถึง เซลล์ทั้งหมดที่ถูกกำหนดให้เกิดเหตุการณ์นั้นๆ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง และพื้นที่ที่อยู่นอกเส้นทางคือเซลล์ที่ไม่ได้ถูกกำหนดให้เกิดเหตุการณ์นั้นๆเลย

## 4.2 การทดสอบการลดเวลาการทำงานโดยการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า

การทดสอบมีลำดับการทำงานดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ลำดับการทดสอบการลดเวลาการทำงาน

- 4.2.1 จะวัดค่าความเหมาะสมของแผนที่สู่มของการลามของไฟ 5 รูปแบบ และการไหลของน้ำ 5 รูปแบบ เฉลี่ยแผนที่ละ 5 ครั้ง โดยไม่ใช้การปรับปรุ่ค่า และ ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า โดยจะควบคุมให้ทดสอบเส้นทางแต่ละแบบที่เป็นไปได้ในเชิงของจำนวน และวิธีการแบ่งจุดควบคุมเส้นทางเพียงการทดสอบเดียว
- 4.2.2 จะวัดจำนวนครั้งที่เครื่องมือทำงานน้อยกว่า 100 รอบ ที่ได้ค่าความเหมาะสมไม่น้อยกว่าค่าความเหมาะสมที่ได้จากการทดลองในส่วน 4.2.1 บนแผนที่เดียวกัน เฉลี่ยแผนที่ละ 5 ครั้ง โดยไม่ใช้การปรับปรุ่ค่า แต่ใช้ ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของการลามของไฟ 67 ข้อมูล และข้อมูลการไหลของน้ำ 98 ข้อมูล รวมทั้งหมด 165 ข้อมูล

## 4.3 การทดสอบผลของการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า

ทดสอบโดยวิธีการทดสอบที่แบบเป็นคู่ (Paired T-test) โดยมีการวัดผลเป็น 2 ส่วนคือ



4.3.1 ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดขึ้นจากเส้นทางที่ผู้ใช้ ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง

4.3.2 ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวมทุก เหตุการณ์

โดยเทียบระหว่างการทำงานโดยใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า กับการทำงานโดยไม่ใช้ ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า บนแผนที่ซูม 100 รูปแบบ

#### 4.4 การทดสอบผลของการใช้การปรับปรุงค่า

ทดสอบโดยวิธีการทดสอบที่แบบเป็นคู่ (Paired T-test) โดยมีการวัดผลเป็น 2 ส่วนคือ

4.4.1 ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดขึ้นจากเส้นทางที่ผู้ใช้ ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง

4.4.2 ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวมทุก เหตุการณ์

โดยเทียบ ระหว่างการทำงานโดยใช้การปรับปรุงค่าที่ทำงานหลังรอบที่ 60 80 และ 100 กับการทำงานโดยไม่ใช้การปรับปรุงค่า บนแผนที่ซูม 100 รูปแบบ

#### 4.5 ผลการทดสอบ

##### 4.5.1 ผลการทดสอบการใช้งาน

รูปแบบแผนที่ที่ซูมได้ทั้ง 100 รูปแบบจะแสดงในตารางที่ 11 ในภาคผนวก ค โดยการ ทดสอบได้ผลดังนี้

4.5.1.1 ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดขึ้นจาก เส้นทางที่ผู้ใช้ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง เท่ากับ 75.09

4.5.1.2 ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวม ทุกเหตุการณ์ เท่ากับ 2.34

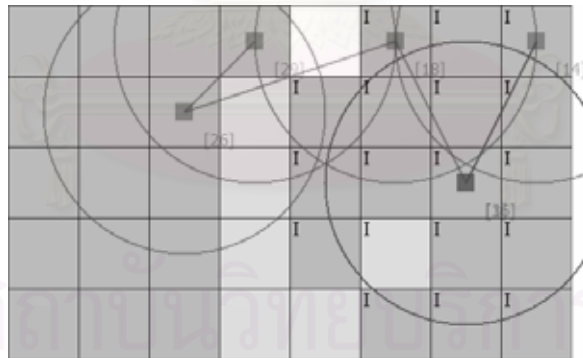
เมื่อแยกผลการทดสอบตามลักษณะของเส้นทางจะได้ผลตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการใช้งานแยกตามลักษณะของเส้นทาง

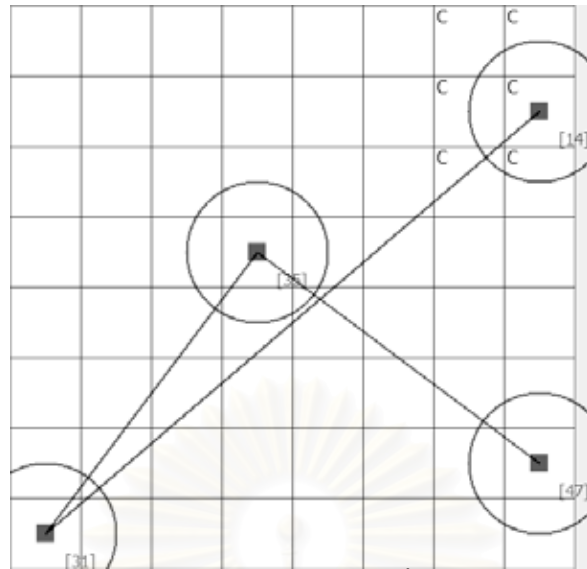
ลักษณะของ เส้นทาง	จำนวนการ ทดสอบ	ร้อยละที่จุด ควบคุม	ร้อยละนอก เส้นทางของไฟ	ร้อยละนอก เส้นทางของน้ำ
B6	2	26.06	5.45	-
B5	2	31.71	7.52	-
B4	3	49.06	5.72	-
B3	5	73.36	4.20	-
B2	4	76.52	3.39	-
B42	2	49.64	4.65	-
B32	4	57.16	9.49	-
B22	5	58.53	5.10	-
B33	2	52.85	6.72	-
B222	5	63.23	3.41	-
F6	2	73.34	-	0.00
F5	5	66.05	-	0.00
F4	4	63.93	-	0.00
F3	5	100.00	-	0.00
F2	5	91.79	-	0.00
F42	5	92.56	-	0.00
F32	4	91.39	-	0.00
F22	5	99.17	-	0.00
F33	5	95.26	-	0.00
F222	5	99.26	-	0.00
B4 F2	2	67.88	1.92	0.00
B3 F2	2	73.22	0.00	0.00
B2 F2	3	70.37	5.56	0.00
B3 F3	2	56.23	0.00	0.00
B2 F3	3	67.62	5.68	0.00
B2 F4	3	76.49	17.04	0.00
B22 F2	2	81.65	2.38	0.00
B2 F22	4	85.27	2.21	0.00

โดย  $B_{i_1, i_2, \dots, i_n}$   $F_{j_1, j_2, \dots, j_m}$  หมายถึง แผนที่ที่มีเส้นทางการลามของไฟ  $n$  เส้นทาง โดยเส้นทางแรกมีจุดควบคุมเส้นทาง  $i_1$  จุดต่อเส้นทาง เส้นทางที่สองมี  $i_2$  จุด จนถึงเส้นทางที่  $n$  มี  $i_n$  จุด และมีเส้นทางการไหลของน้ำ  $m$  เส้นทาง โดยเส้นทางแรกมีจุดควบคุมเส้นทาง  $j_1$  จุดต่อเส้นทาง เส้นทางที่สองมี  $j_2$  จุด จนถึงเส้นทางที่  $m$  มี  $j_m$  จุด

ในการทดลองที่ 4.1 พบว่ามี 11 แผนที่ที่ทดสอบ ที่เกิดเหตุการณ์ที่จุดควบคุมน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะของแผนที่ดังกล่าวพบว่าเกิดจากการกำหนดเหตุการณ์ที่เป็นไปไม่ได้ในทางธรรมชาติที่ไม่ได้ตรวจจับไว้ก่อน เช่น ให้ไฟไหม้อยู่ที่ตำแหน่งเดิมเป็นเวลานาน ไฟจึงมอดก่อนกำหนด และทำให้ไม่เหลือต้นเพลิงให้ไหม้ต่อ เช่นแผนที่ B6 - W0  $B(6,2,2,3)-(7,0,2,14)-(6,2,2,16)-(5,0,2,18)-(2,1,2,26)-(3,0,2,29)$  ดังภาพที่ 26 ไฟต้องไหม้อยู่บริเวณ (6,2) รัศมี 2 หน่วย นานถึง 13 หน่วยเวลา ดังแสดงในส่วนที่ขีดเส้นใต้ แต่ในการทดลองไฟเริ่มมอดตั้งแต่หน่วยเวลาที่ 7 ทำให้ได้ค่าความถูกต้องร้อยละ 24.07 และการกำหนดให้น้ำไหลไกลๆ หรือให้เวลาน้อยเกินไป เช่นแผนที่ F4 - W2  $F(7,1,1,14)-(0,7,1,31)-(3,3,1,35)-(7,6,1,47)$  ดังภาพที่ 27 น้ำต้องไหลจาก บริเวณ (7,1) ไปยังบริเวณ (0,7) ซึ่งห่าง 13 หน่วย โดยใช้เวลา 16 หน่วย ดังแสดงในส่วนที่ขีดเส้นใต้ ทำให้ในการทดลองได้ค่าความถูกต้องร้อยละ 44.44 เนื่องจากลักษณะของน้ำในระบบนี้ซึ่งเมื่อไหลไปห่างจากจุดกำเนิดน้ำจะไหลช้าลงเรื่อยๆ เพราะมีเซลล์ที่มีต้องแบ่งน้ำไปมากขึ้น แต่ปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบมีค่าเท่าเดิม ทำให้น้ำไหลไปไม่ถึงตำแหน่งที่ต้องการ

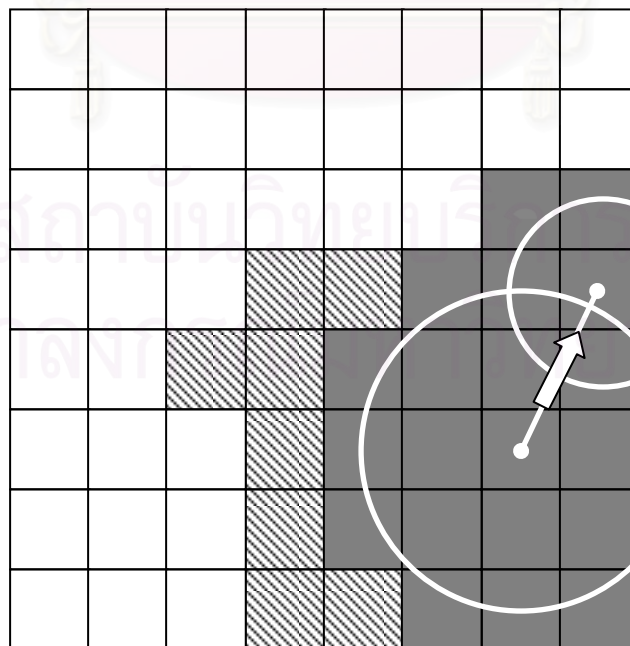


ภาพที่ 26 ตัวอย่างแผนที่ที่ไฟไหม้อยู่ที่ตำแหน่งเดิมเป็นเวลานาน



ภาพที่ 27 ตัวอย่างแผนที่ที่น้ำไหลไกล

ส่วนผลการทดสอบเหตุการณ์นอกเส้นทางนั้น ไม่พบการไหลของน้ำนอกเส้นทางเลย และพบการลามของไฟนอกเส้นทางที่มีผลการทดสอบมากกว่าร้อยละ 30 เพียงกรณีเดียว คือ เหตุการณ์ B2F4 - W0 B(6,5,2,7)-(7,3,1,12) F(2,2,2,11)-(2,5,1,17)-(7,4,2,22)-(2,4,2,42) ดังตารางที่ 11 ซึ่งเกิดจากที่ปริมาณเซลล์ที่เกิดไฟค่อนข้างน้อย ในขณะที่เกิดไฟ นอกเส้นทางค่อนข้างมาก ดังภาพที่ 28 โดยช่องสี่เหลี่ยมคือเซลล์กำหนดให้เกิดไฟ และช่องลายขวางคือเซลล์ นอกเส้นทางที่เกิดไฟ เมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนจึงมีค่าสูง



ภาพที่ 28 แผนที่แสดงเหตุการณ์ที่พบการลามของไฟนอกเส้นทางมากที่สุด

เครื่องมือใช้เวลาในการทำงานค่อนข้างนาน คือเฉลี่ย 3 ชั่วโมง 22 นาที ต่อแผนที่ บนเครื่องทดสอบที่ใช้หน่วยประมวลผลเพนเทียม 4 2.4 กิกะเฮิรซ์ และเฉลี่ย 37 นาทีบนเครื่องทดสอบที่ใช้หน่วยประมวลผลคอร์ทิวควอด 2.67 กิกะเฮิรซ์ โดยเวลาที่ใช้จะขึ้นกับ ระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ จำนวนเส้นทางของเหตุการณ์ และความเร็วของเครื่องที่ใช้ทดลอง

ส่วนในเชิงของขนาดแผนที่ เวลาในการทำงานจะแปรผันแบบเชิงเส้นกับจำนวนเซลล์บนแผนที่ กล่าวคือถ้าจำนวนเซลล์บนแผนที่เพิ่มเป็น 2 เท่า เวลาที่ใช้ก็จะเพิ่มเป็น 2 เท่าด้วย เนื่องจากเวลาส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม และการคำนวณกฎของสภาพแวดล้อมในระหว่างการหาค่าความเหมาะสม ซึ่งใช้เวลาทำงานตามจำนวนเซลล์บนแผนที่

#### 4.5.2 ผลการทดสอบการลดเวลาการทำงานโดยการนำข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า

รูปแบบแผนที่ที่สุ่มได้ประกอบด้วย

- B2 W4 B(7,4,1,4)-(3,4,2,12)
- B5 W0 B(6,4,2,5)-(4,2,2,10)-(5,7,1,29)-(1,7,1,40)-(4,0,1,48)
- B22 W0 B(7,2,1,3)-(4,7,2,41) B(1,0,2,9)-(6,2,1,10)
- B42 W0 B(6,4,1,2)-(4,1,2,10)-(1,4,1,18)-(7,0,2,29) B(1,6,1,27)-(1,0,2,31)
- B6 W0 B(2,2,2,17)-(7,0,2,26)-(4,2,1,28)-(0,2,1,29)-(0,4,1,34)-(0,3,1,36)
- F3 W0 F(1,2,1,1)-(5,0,2,24)-(7,3,1,45)
- F5 W0 F(2,6,2,2)-(5,3,1,8)-(4,5,1,12)-(5,2,1,15)-(4,5,2,20)
- F22 W0 F(4,0,2,5)-(3,0,1,22) F(0,0,2,11)-(2,6,2,20)
- F32 W4 F(0,3,2,8)-(2,7,2,24)-(4,1,2,32) F(1,4,1,9)-(5,4,2,25)
- F33 W2 F(7,3,1,6)-(2,4,2,17)-(0,4,2,41) F(3,7,1,5)-(0,0,1,14)-(3,0,2,26)

ได้ผลการทำงานดังตารางที่ 8 คือ มีจำนวนการทดลองร้อยละ 50 ที่ใช้เวลาทำงานลดลง และลดการทำงานไปได้โดยเฉลี่ย 42.53 รอบจากการทำงานดั้งเดิม 100 รอบ

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการลดเวลาการทำงานโดยการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า

ลักษณะของแผนที่	ค่าความเหมาะสมเป้าหมาย	%ที่เครื่องมือทำงานน้อยกว่า 100 รอบ	จำนวนรอบเฉลี่ยที่เครื่องมือใช้เฉพาะที่น้อยกว่า 100 รอบ
B2	0.7439	40	59.00
B5	0.3553	80	52.50
B22	0.3649	0	-
B42	0.4136	0	-
B6	0.4698	80	33.25
F3	0.7377	0	-
F5	0.8042	20	89.00
F22	0.8250	100	28.20
F32	0.7482	80	69.75
F33	0.6742	100	70.60
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.6137</b>	<b>50</b>	<b>57.47</b>

ในการทดลองที่ 4.2 เมื่อใช้ข้อมูล จากการทำงานก่อนหน้า มาช่วยลดเวลาการทำงาน พบว่ามีทั้งแผนที่ที่ใช้จำนวนรอบลดลงทุกรอบการทดลอง การทดลองที่ไม่สามารถลดจำนวนรอบลงเลย รวมทั้งการทดลองที่ลดจำนวนรอบได้ในบางครั้ง เนื่องจากการใช้ข้อมูล จากการทำงานก่อนหน้า สามารถลดเวลาการทำงานได้เฉพาะในกรณีที่เคยใช้เครื่องมือปรับเหตุการณ์ที่คล้ายกัน มาแล้วเท่านั้น เช่น เหตุการณ์ F22 - W0  $F(4,0,2,5)-(3,0,1,22)$   $F(0,0,2,11)-(2,6,2,20)$  พบว่าคล้ายกับเหตุการณ์ที่เคยพบมาแล้วคือเหตุการณ์ F5 - W0  $F(0,6,1,3)-(5,2,1,18)- (0,0,1,26)-(2,6,1,35)-(4,5,2,40)$  โดยส่วนที่คล้ายกันคือส่วนที่ขีดเส้นใต้ไว้ ซึ่งมีจุดเริ่มต้น และสิ้นสุดตรงกัน และใช้เวลาเท่ากัน โดยต่างกันตรงขนาดของเหตุการณ์ และเนื่องจาก ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ใช้การสุ่มในการทำงาน ทำให้พบการทดลองที่ลดจำนวนรอบได้ในบางครั้ง

#### 4.5.3 ผลการทดสอบผลของการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า

4.5.3.1 ผลการเปรียบเทียบ ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดจากเส้นทางที่ผู้ใช้ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 การใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้าจะทำให้ได้ผลลัพธ์ดีขึ้น 0.95% ถึง 2.69%

4.5.3.2 ผลการเปรียบเทียบ ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวมทุกเหตุการณ์ พบว่าความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ

ถึงแม้ว่า การใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้า จะลดจำนวนรอบการทำงานได้เพียงบางครั้ง แต่ก็สามารถช่วยทำให้ผลลัพธ์ดีขึ้นได้ ส่วน เหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง นั้นมีจำนวนน้อยอยู่แล้วจึงอาจจะลดผลลัพธ์ลงอีกไม่ได้

4.5.4 ผลการทดสอบผลของการใช้การปรับปรุงค่า

4.5.4.1 ผลการเปรียบเทียบ ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดจากเส้นทางที่ผู้ใช้ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 การใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้าจะทำให้ได้ผลลัพธ์ดีขึ้น 1.35% ถึง 3.24%

4.5.4.2 ผลการเปรียบเทียบ ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวมทุกเหตุการณ์ พบว่าความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ

การใช้การปรับปรุงค่าสามารถช่วยทำให้ผลลัพธ์ดีขึ้นได้ ส่วน เหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง นั้นมีจำนวนน้อยอยู่แล้วจึงอาจจะลดผลลัพธ์ลงอีกไม่ได้

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเอาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และวิธีป็นเขาสันสูตร มาสร้างเป็นเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่บนแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติ ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถทำงานได้ผลตามที่กำหนดไว้ และสามารถแก้ไขปัญหาที่ต้องการได้ กล่าวคือทำให้ผู้ใช้งานควบคุมพฤติกรรมของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองได้โดยง่าย และไม่ต้องแก้ไขสมบัติของสิ่งแวดล้อมเอง ดังข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ ร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดจริง ต่อเหตุการณ์ที่เครื่องมือกำหนดให้เกิดจากเส้นทางที่ผู้ใช้ลากในพื้นที่ และเวลา ณ จุดควบคุมเส้นทาง เท่ากับ 75.0 9 และร้อยละของเหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง ต่อพื้นที่เป็นเส้นทางของเหตุการณ์ รวมทุกเหตุการณ์ เท่ากับ 2.34

ในการทดลองพบเหตุการณ์ที่ไม่ได้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้จำนวนหนึ่ง ซึ่งเมื่อตรวจสอบดู พบว่า เหตุการณ์ที่ไม่เป็นไปตามที่ผู้ใช้กำหนด เกิดจากการกำหนดให้ไฟไหม้อยู่ที่ตำแหน่งเดิมเป็นเวลานาน ไฟจึงมอดก่อนกำหนด และการกำหนดให้นำไหลไกลๆ หรือให้เวลาน้อยเกินไป ทำให้นำไหลไปไม่ถึงตำแหน่งที่ต้องการ หมายความว่า ผู้ใช้งานได้กำหนดให้สถานการณ์ที่ไม่สามารถเป็นจริงได้ตามธรรมชาติ (ที่ใช้แบบจำลองอิมเมจเจนท์) เกิดขึ้น ระบบจึงทำได้เพียงสร้างสภาพธรรมชาติในแผนที่ให้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เท่านั้น

ในการทดลองเพื่อหาอัตราการออกนอกเส้นทางนั้น มีเพียงหนึ่งกรณีที่ไฟลามออกนอกเส้นทางเกินกว่าที่กำหนดไว้ เมื่อตรวจสอบดู พบว่า เป็นเหตุการณ์ที่กำหนดให้มีไฟลามเพียงเล็กน้อยในแผนที่ ดังนั้นเมื่อไฟลามออกนอกเส้นทาง อัตราส่วนของไฟที่ลามออกนอกเส้นทาง ต่อไฟที่ไหม้จริง จึงมีสูง จากรูปของสถานการณ์นั้น (ภาพที่ 28) จะเห็นว่า ไฟลามออกนอกเส้นทางจริงไปเพียงรัศมีหนึ่งช่องเท่านั้น ดังนั้นปัญหาการออกนอกเส้นทางของไฟเกินกว่ากำหนด จึงนับได้ว่า ไม่เกิดขึ้น

ในการใช้ข้อมูลที่ได้คำนวณมาแล้วในการลดเวลาในการคำนวณนั้น มีจำนวนการทดลองร้อยละ 50 ที่ใช้เวลาทำงานลดลง และลดการทำงานไปได้โดยเฉลี่ย 42.53 รอบจากการทำงานดั้งเดิม 100 รอบ นั่นคือ ถ้าสถานการณ์ในแผนที่หนึ่งๆ สามารถได้รับการลดเวลา จะลดเวลาการทำงานไปโดยเฉลี่ยถึงครึ่งหนึ่ง แต่ความเป็นไปได้ที่แผนที่หนึ่งๆ จะได้รับการลดเวลา ก็มีเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น ทั้งนี้จำนวนร้อยละที่ต่ำนี้ น่าจะมาจากกรณีที่เส้นทางที่ใช้ทดสอบทั้งหมด ทั้งที่ใช้เป็นฐานข้อมูล และที่ใช้เป็นเส้นทางทดสอบสุดท้าย เป็นเส้นทางที่ลุ่มขึ้นมา ทำให้มีโอกาสที่เส้นทางจะ



คล้ายกันน้อย ดังนั้นระบบจึงใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่บันทึกไว้ก่อนหน้านี้ได้ไม่เต็มที่ เวลาในการรันปกติจึงค่อนข้างนานแม้ว่าการใช้เครื่องมือนี้ในการจัดค่าของแผนที่จะช่วยประหยัดเวลาของผู้ออกแบบไปได้อย่างมากก็ตาม

จากการทดสอบที่พบว่าการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้านี้ และการปรับปรุงค่า ช่วยทำให้ผลลัพธ์ดีขึ้นได้ ส่วน เหตุการณ์ที่เกิดนอกเส้นทาง นั้นมีจำนวนน้อยอยู่แล้วจึงอาจจะลดผลลัพธ์ลงอีกไม่ได้

งานวิจัยที่ได้ดำเนินการก่อนหน้านี้ได้ใช้หน่วยงานประสาทเทียม ในการทำงานของ เครื่องมือ แต่ผลการทดลองไม่เป็นไปตามที่คาดหวังไว้ จึงได้เปลี่ยนมา ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ในการทำงานแทน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่า แต่ทำงานได้ช้ากว่าหน่วยงานประสาทเทียม โดยได้กล่าวถึงโดยละเอียดในภาคผนวก ข

เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่บนแผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติจากวิทยานิพนธ์นี้สามารถไปพัฒนาต่อเป็นเครื่องมือสร้างแผนที่สำหรับเกม โดยการเพิ่มองค์ประกอบอื่นๆตามลักษณะของเกมที่น่าไปใช้ เช่น เปลี่ยนรูปแบบการแสดงผล ส่วนใส่ตัวละคร และวัตถุประกอบฉากในเกม ส่วนกำหนดเนื้อเรื่อง เป็นต้น หรือนำไปใช้ในการสร้างสถานการณ์ที่ต้องการในการจำลองสภาพแวดล้อม โดย สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง ตามระบบอีเมจเอนต์ ถูกออกแบบมาให้ใช้กับ เกมวางแผนแบบใช้เวลาจริง กล่าวคือจะใช้กฎที่มี รายละเอียดมากพอที่ดูแลแล้วสมจริงในเกม แต่ไม่มากพอที่จะนำไปใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์ที่ต้องการความละเอียดสูง

## 5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้เครื่องมือที่ช่วยให้การพัฒนาเกมที่ใช้แผนที่ของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองมีความง่าย ผู้ใช้งานไม่ต้องลองผิดลองถูกในการปรับคุณสมบัติของแผนที่ด้วยตนเอง ทำให้ผู้ใช้งานมีเวลาในการทำงานที่อื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยส่งเสริมให้มีเกมประเภทนี้มากยิ่งขึ้นในท้องตลาด

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาไฟมอดก่อนกำหนด และน้ำไหลไปไม่ถึงตำแหน่งที่ต้องการ เกิดขึ้นเนื่องจาก ผู้ใช้งานได้พยายามให้เกิดสถานการณ์ที่ไม่สามารถเป็นจริงได้ตามธรรมชาติตามแบบจำลองอีเมจเอนต์ วิธีแก้ นั้น อาจทำได้โดย เพิ่มความยืดหยุ่นของระบบอีเมจเอนต์ที่ใช้งานออกไปอีก เพื่อให้ธรรมชาติในเกมมีทางเลือกในการแสดงผลมากขึ้น เช่น เพิ่มการปรับค่าความร้อนของจุดกำเนิดไฟ และเพิ่มการปรับปริมาณน้ำของจุดกำเนิดน้ำ (ระบบอีเมจเอนต์ที่ใช้เป็นขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้ ไม่นับค่าสองค่าข้างต้นเป็นสมบัติของแผนที่ จึงทำให้ทั้งสองค่าไม่ได้รับการปรับ)

สำหรับปัญหาเรื่องเวลาในการทำงานนั้น เนื่องจากการทดลองใช้การสุ่มแผนที่ดี ค่าการลดเวลาจึงไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควรเนื่องจากไม่เจอสถานการณ์ที่คล้ายกันบ่อยนัก วิธีแก้ปัญหานี้ อาจทำได้โดย การบันทึกแผนที่ที่ผู้ใช้ออกแบบจริง นำไปเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลเบื้องต้นด้วย การใช้ข้อมูลจากผู้ออกแบบจริงน่าจะทำให้โอกาสคล้ายกันของสถานการณ์มีมากขึ้น ส่งผลให้เทคนิคการลดเวลาใช้ได้ผลดีขึ้นด้วย หากต้องการนำเครื่องมือที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้กับแผนที่ที่มีขนาดใหญ่ หรือเกิดเหตุการณ์นานขึ้น ควรศึกษาวิธีเพิ่มความเร็วในการทำงานเพิ่มเติม เช่น ลดจำนวนเซลล์ของแผนที่ที่จะปรับค่า และลดการคำนวณลง โดยตัดเซลล์ที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป

ในการเพิ่มขีดความสามารถให้กับเครื่องมือนี้ อาจให้เครื่องมือสามารถสร้างพื้นที่เพิ่มเองได้ เช่น ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปรับสมบัติ พื้นที่ให้กลายเป็นพื้นที่ใหม่ได้ เพื่อให้เครื่องมือกำหนดเหตุการณ์ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่ต้องกำหนดขอบเขตของตัวแปรที่กำหนด ลักษณะของพื้นที่แต่ละประเภทไว้ด้วย เพื่อความสมจริงของแผนที่ เช่น พื้นที่ประเภทป่าควรมีช่องของจุดติดไฟ สูงกว่าพื้นที่ประเภทหญ้า พื้นที่ประเภทน้ำไม่ควรจะติดไฟได้ เป็นต้น

ในการวิจัยขั้นต่อไป ควรเพิ่มการทดลองกับสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง อื่นๆ เพื่อให้สามารถนำเครื่องมือที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้กับงานด้านอื่นๆได้ เช่น การช่วยสร้างสถานการณ์ที่ต้องการในระบบนิเวศจำลอง หรือการจำลองไฟไหม้อาคารบ้านเรือน ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะต้องมีการทดลองกับเซลล์ลูอาร์ ออโตมาตา สามมิติ ว่าวิธีการของงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ได้ผลดีเพียงไร

หากต้องการให้สามารถสร้างเหตุการณ์ได้ละเอียดยิ่งขึ้น ควรศึกษาวิธีกำหนดสถานการณ์เพิ่มเติมจากการใช้เส้นทางของเหตุการณ์ เช่น สามารถกำหนดเวลาที่เกิดเหตุการณ์ในแต่ละจุดได้โดยตรง แต่การกำหนดเหตุการณ์ไว้ละเอียดจนเกินไปจะขัดกับหลักการของ สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง ซึ่งเน้นที่การเกิดเหตุการณ์อย่างอิสระ จึงต้องพิจารณาในส่วนนี้ด้วย

โดยวิธีหนึ่งที่ใช้กำหนดสถานการณ์ได้คือการใช้คีย์เฟรม ด้วยการกำหนดรูปแบบของเหตุการณ์ที่ต้องการให้เกิดในเวลาที่กำหนดให้เป็นคีย์เฟรมไว้ แล้วให้เครื่องมือสร้างเหตุการณ์ในเวลาอื่นๆระหว่างคีย์เฟรมโดยอัตโนมัติ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถกำหนดเหตุการณ์ที่เวลาที่เป็นคีย์เฟรมได้ละเอียด แต่จะมีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหตุการณ์ระหว่างคีย์เฟรมได้ และผู้ใช้อาจจะกำหนดเหตุการณ์ที่คีย์เฟรมขัดกับหลักการของ สภาพแวดล้อมได้ และเนื่องจากกำหนดเหตุการณ์ได้ละเอียด จึงทำให้โอกาสในการสร้างเหตุการณ์ที่ขัดกับธรรมชาติในแต่ละคีย์เฟรมมีมากขึ้นไปด้วย ทำให้ผู้ใช้ต้องมีความรู้เกี่ยวกับกฎที่ใช้ในสภาพแวดล้อมพอสมควร

## รายการอ้างอิง

- [1] Sweetser, P. and Wiles, J. 2005. Scripting versus Emergence Issues for Game Developers and Players in Game Environment Design. International Journal of Intelligent Games and Simulations. 4 (1): 1-9.
- [2] Von Neumann, J. and Burks, A. W. 1966. Theory of self-reproducing automata. Urbana: University of Illinois Press.
- [3] Weisstein, E.W. 2006. Cellular Automaton [Online]. MathWorld -- A Wolfram Web Resource. Available from: <http://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html>, Access: 19/08/2006
- [4] Wikimedia Commons. Image:Torus.jpg [Online]. Wikimedia Commons. Available from: <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Torus.jpg>, Access: 19/08/2006
- [5] Holland, J.H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Michigan: The University of Michigan Press.
- [6] Haupt, R.L. and Haupt, S.E. 2004. Practical Genetic Algorithms. 2 nd ed. New Jersey: Wiley Interscience.
- [7] Rosenblatt, F. 1958. The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain, Cornell Aeronautical Laboratory, Psychological Review. 65(6): 386-408.
- [8] Morse, P. M. and Feshbach, H. 1953. Asymptotic Series; Method of Steepest Descent. Methods of Theoretical Physics, Part I. New York: McGraw-Hill: 434-443
- [9] Hargrove, W.W., Gardner, R.H., Turner, M.G., Romme, W.H., and Despain, D.G. 2000. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes. Ecological Modelling. 135(2-3): 243-263.
- [10] Song, W., Weicheng, F., Binghong W., and Jianjun, Z. 2001. Self-organized criticality of forest fire in China. Ecological Modelling. 145: 61-68.
- [11] Sweetser, P. and Wiles, J. 2005. Using Cellular Automata to Facilitate Emergence in Game Environments. Proceedings of the 4th International Conference on Entertainment Computing. Sanda, Japan. Sep.: 19-21.

- [12] Forsyth, T. 2002. Cellular Automata for Physical Modelling. In: Treglia, D. (ed.): Game Programming Gems. 3: 200-214. Massachusetts: Charles River Media, Inc.
- [13] Merz, C.J., Pazzani, M., and Danyluk, A.P. 1996. Tuning Numeric Parameters of a Knowledge-Based System for Troubleshooting the Local Loop of the Telephone Network. IEEE Expert. Feb.: 44-49.
- [14] Legenstein, R.A., Maass, W., and Markram, H. 2003. Input Prediction and Autonomous Movement Analysis in Recurrent Circuits of Spiking Neurons. Neurosciences. (Special Issue on Neuroinformatics of Neural and Artificial Computation) 14(1-2): 5-19.
- [15] Breukelaar, R. and Back, Th. 2005. Using a Genetic Algorithm to Evolve Behavior in Multi Dimensional Cellular Automata. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference 2005. Washington, DC, USA. : 107-114
- [16] Karafyllidis, I. 2004. Design of a dedicated parallel processor for the prediction of forest fire spreading using cellular automata and genetic algorithms. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 17(1): 19-36.
- [17] Karafyllidis, I. and Thanailakis, A. 1997. A model for predicting forest fire spreading using cellular automata. Ecological Modelling. 99: 87-97.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก ผลงานการตีพิมพ์

Tanawat Kumnoonsate and Vishnu Kotrajaras 2006. Emergent Environments Parameter Adjustment in Games and Nature Simulations Using Neural Networks. Proceedings of the 10th National Computer Science and Engineering Conference. Kon Khan, Thailand.: 202-206.

Tanawat Kumnoonsate and Vishnu Kotrajaras 2008. Parameters Adjustment for Emergent Environments in Games Using Artificial Intelligence. Proceedings of Computer Games & Allied Technology. Singapore.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Emergent Environments Parameter Adjustment in Games and Nature Simulations Using Neural Networks

Tanawat Kumnoonsate and Vishnu Kotrajaras  
 Department of Computer Engineering, Chulalongkorn University  
 Patumwan, Bangkok 10330, Thailand  
 Email: g49tkm@cp.eng.chula.ac.th and vishnu@cp.eng.chula.ac.th

## Abstract

*This paper discusses the design, implementation, testing and application of neural networks for controlling behaviors of cellular automata-based maps by adjusting maps' properties. We also implement a map editing tool that can create scenarios in emergent environment maps automatically using technique discussed in this paper. By using this tool, game developers and ecological modelers are able to create scenarios in this type of map with less time and effort. Examples of features in commercial games that can be improved by using emergent environments are also provided.*

**Key Words:** Neural Networks, Cellular Automata, Emergent Environments

## 1. Introduction

For computer games that rely on players interacting with the game maps, or ecological simulations that model natural disasters, emergent and realistic environments become crucial to their degree of realism. Emergent environments can be created on a map by dividing the map into cells, augmenting the cells with various physical properties, and building rules for influencing properties between each cell [1]. Natural phenomena, such as fire, look more dynamic and realistic than similar phenomena created using scripts [2].

For computer games, emergent maps have not seen much use. One reason is because when a given scenario is required to take place on a map, every property of every cell needs to be set in order to produce such scenario. Developers need to put in a lot of time and effort. Moreover, scenarios that have not been well-set may behave in ways that the developers had not anticipated. One way to produce the desired scenario is to make properties inactive and play out the scenario using a script, and then switch the properties back on later. This solution has a

limitation, because players cannot interfere with the scenario. Players must wait until the scenario is completely finished before being able to do anything to any altered part of the map.

Cellular automata maps have been widely used in ecological modeling [3]. However, their usage is in the form of "Setting all properties first (usually imitating an actual natural map) then let the scenario plays itself out". The study of what causes a given scenario is through trial and error. It will be very useful if, given a scenario, natural properties that cause it can be found automatically.

We present in this paper an application of neural networks for adjusting properties of every cell on a cellular automata map in order to produce a given scenario. With tool based on our technique, game developers and ecological modelers are able to focus on designing their scenario and spend much less time setting cell properties.

## 2. Related Works

Regarding game environment, Sweetser has developed and tested a deterministic cellular automata-based map [1] for Real-Time Strategy games. Sweetser's experimental system was called EmerGEnT system. Although EmerGEnT system did not model an environment in great detail, it was good enough for using in games, with fire, water, and explosions being integrated into its cellular automata properties. We modeled our own emergent environment after it. However, in our experiment, we modeled only fire with simpler equations in order to experiment with neural networks. Our current environment can be divided into 3 levels, similar to EmerGEnT system. The first layer is "behavior" – the effects that players see. The second layer is "rule" – control behavior both between cells and within each cell. Finally, "property" is our final layer – determining factors of how cells interact according to the rules. Sweetser's work, although consists of more physical properties, does not provide any

feature for setting cell properties following given effects that users see.

A probabilistic model can also be used to simulate fire in broad-scale over long time periods [3]. Hargrove's model was designed for simulating real forest fires. It included humidity, fuel types, wind, and firebrand. These factors influenced probability of fire spreading from one cell to another, and probability of isolated cells getting ignited. Our work currently includes only humidity and fuel types. However, the uses of these two parameters are very different from Hargrove's. While the humidity value in each of Hargrove's cells is only used for determining the spread probability and remains constant during simulation. Our cell humidity values change according to surrounding fire. Another difference is that an ignited cell in Hargrove's model will stop burning in one unit of time, while an ignited cell in our model can continue to burn according to the amount of fuel left in it. Fuel types in Hargrove's model are only used for determining probability. Most importantly, Hargrove's model and other ecological simulators still do not provide any feature for setting cell properties automatically following given scenarios.

Probabilistic models do not perform well for small cell sizes compared to thermodynamic models (Hargrove et al. used  $50 \times 50 \text{ m}^2$  cell size in their work.). To be able to work with cells in a game map, which generally represents small areas; thermodynamic models are more suitable. Probabilistic models are also more difficult to control compared to thermodynamic models, which have precise rules for events.

Techniques for adjusting environment properties include searching algorithms such as hill climbing and neural networks. Hill climbing can be used for tuning system parameters. Merz et al. [4] developed Opi-MAX for tuning MAX's numeric parameters. MAX is an expert system for high-level diagnosis of customer-reported telephone troubles. It can be customized by changing a set of numeric parameters. Opi-MAX uses a searching algorithm called greedy hill-climbing to optimize parameters. It works by randomly changing parameters one by one. A parameter is repeatedly changed from its initial value and each of its change effect can be observed from overall output. A change that results in a better output will be carried out, and a change that does not contribute to a better output will be ignored. Each parameter is changed for a constant number of times. The system stops when all parameters are dealt with. This technique, however, may not be suitable for our work, since we have no good initial values of any property. Moreover, maps that we use can have hundreds or thousands of parameters in

total, making linear search algorithms, such as Opi-MAX's algorithm, unusable.

Neural networks can also be used for parameter tuning. Legenstein et al. [5] developed a movement prediction method for objects moving on  $8 \times 8$  grids. Each cell on a grid provides an input to the recurrent unsupervised neural networks. It can predict object movement by predicting sensor inputs, which are numeric values like cell properties. Their neural networks were trained online while our own neural networks were trained offline. Given previous events, Legenstein et al.'s work predicts the next event, while our work predicts the initial condition given a sequence of events in time.

### 3. Designing and Setting up the Emergent Environment

Our work was built upon deterministic cellular automata-based maps. A neural network was associated with each cell of each map. Each neural network was trained to set the property of each environment cell based on cellular automata transition rules and the desired behavior of neighboring cells and itself.

Our prototype maps consisted of neural networks that control the spreading of fire on the maps. The environment that simulates fire on grass fields based on humidity and fuel (the intensity of the grass) was constructed. Each grass cell was a cellular automaton with two states - burning and not burning (Outside of the grass fields, we assume that the status is always not burning.).

Humidity of grass varied from 0 - 9 unit. The amount of fuel in each cell was fixed at 9 units. The rules of fire used are:

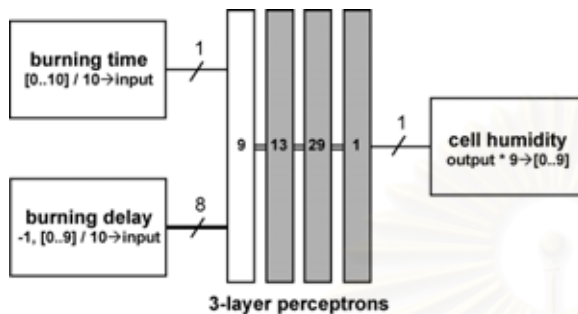
- In one unit of time, humidity of each cell is reduced by an amount equal to the number of neighboring burning cells.
- A cell is "burning" if its humidity is less than or equal to zero and there is fuel left in the cell.
- In one unit of time, a burning cell has its fuel reduced by an amount equal to the number of neighboring burning cells plus one.

Each cell's neural network was constructed using three-layer perceptrons. The neural network on a map cell had 9 inputs. The first input was "burning time" - the duration that the cell had been on fire. Each of the remaining eight inputs was "burning delay" - the time the cell took to catch fire after one of its eight neighboring cells caught fire. (The value of -1 was used if the neighboring cell had not caught fire before the current cell.) The output of the



cell's neural network contained all properties of the cell.

Possible input/output values of our neural network can be seen in figure 1. The values are shown below the name of each input and output block. The number of neurons in each layer is shown at the center of each layer's block.



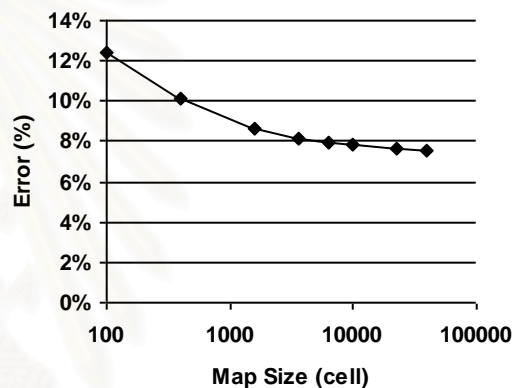
**Figure 1. Diagram of neural network and it's input/output used in the prototype environment.**

Training of the neural networks was done automatically. First, a map was generated, with each cell containing random properties. Then, events were randomly generated at several locations on the map (For instance, a fire was started on a cell.). The spreading of fire in that situation was used as training data for the neural networks. Properties of cells were used as expected output. The training was then repeated. In our prototype, we trained neural networks until mean square error became less than  $10^{-3}$  (about 30000 rounds) using 1000 random data sets. Each simulation lasts 10 time units (frames).

**4. Results**

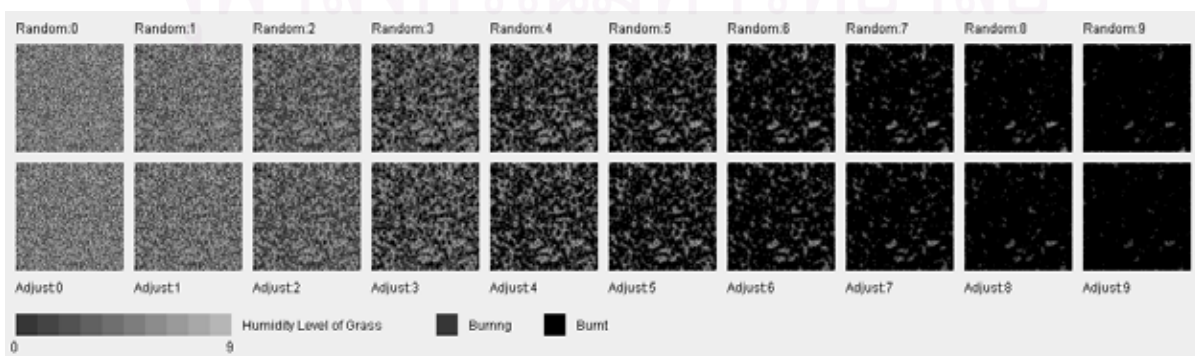
Testing was initiated in a map with 100 x 100 cells by randomly setting cells' humidity and having cells with humidity value of 0 acting as the initial fire positions (so about 10% of the map became the initial fire positions). Then, the spreading of fire was observed for 10 frames. Since most of the cells would be completely

burnt by the 10th frame, we only needed to observe 10 frames. The neural networks received the fire behavior as their input and then adjusted the humidity of the cells and played out the spreading of fire after the adjustment. Then, we compared burning behavior and humidity obtained from the neural networks with the original. Testing with 100 test scenarios, the average percentage of cells that did not burn with exact timing as the original, compared frame by frame, was 7.81%. More complex topology of neural network may reduce this error. We considered this result as acceptable considering the large number of actual cells needed to be set. The difference between expected scenarios and the scenarios created by the neural networks was almost visually unnoticeable.



**Figure 3. Burning error / map size graph**

In term of cells humidity property, 59.61% of the cells did not receive their original humidity values. This number seems large. However, when examined closely, most of the errors were only one unit apart from their original values. Only one third (20.99%) of the cells with property errors had greater than one unit error, and only one ninth (6.61%) had error greater than two units. For applications in games, what we are most concerned is the observable burning behavior, not the properties. Therefore this error is irrelevant. For nature simulations, more



**Figure 2. Target map (top), compared frame by frame, against neural networks adjusted map (bottom)**

accurate models may be needed if the domain of use requires very precise predictions for even small areas. But for most nature simulations, our result should be adequate.

We also carried out the same tests for other map sizes varying from 10 x 10 cells to 200 x 200 cells. Both burning errors and humidity errors seemed to be higher in smaller maps and decreased exponentially as map size grew – 12.43% burning error and 64.44% humidity error in 10 x 10 maps compared to 7.56% burning error and 59.38% humidity error in 200 x 200 maps.

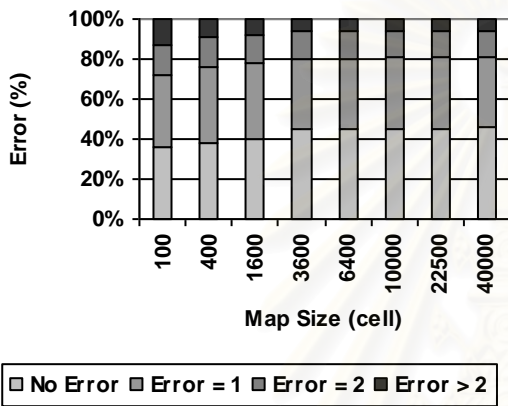


Figure 4. Humidity error / map size graph

### 5. Map Editing Tool

In order to make use of our technique, we developed a tool which combines map editor and the neural networks. With this tool, cellular automata map users can create any scenario on maps straight away.

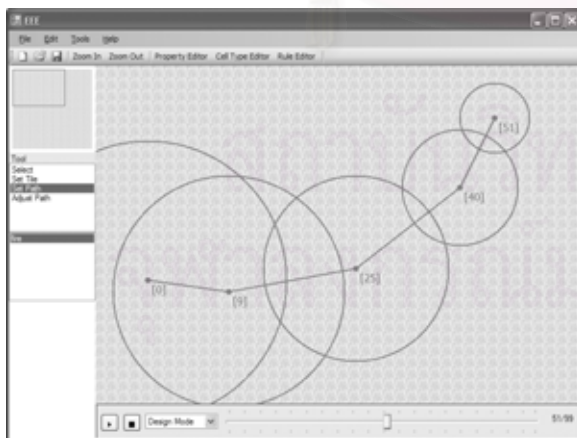


Figure 5. Emergent Environment Editor – showing a path with 5 nodes

Our neural networks map editor is called "Emergent Environment Editor". It has more components than typical map editors, as follows:

**Cell's property editor** – set each cell properties manually.

**Property editor** – set available types of property, such as fuel and humidity, in a map.

**Cell type editor** – set available types of cell in a map. Each cell type has its own possible range of properties. For example, it is impossible for a grass cell to contain more fuel than a tree cell. Therefore the amount of fuel in a grass cell can be constrained from 1-3, while the amount of fuel in a tree cell can be constrained from 4-6.

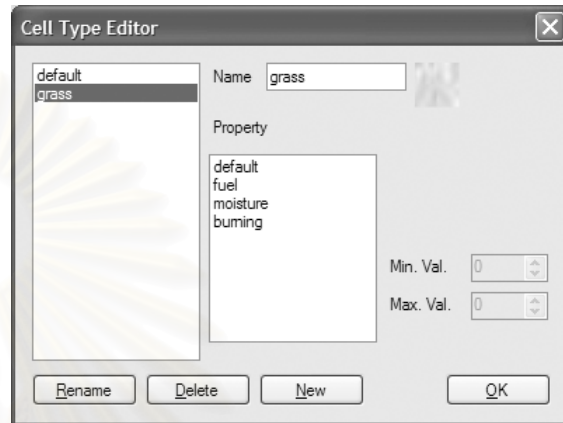


Figure 6. Cell Type Editor

**Rule editor** – set rules to control the behavior of a phenomenon in the map. Each rule is a combination of expressions. Users can setup rules freely, not limited to rules about fire. Rules are linked to one of the available properties. For example, burn property can be set to show the effect of our rule about fire.

**Neural networks** – are the core of the automatic cell properties adjustment system. There are separate neural networks for each rule and cell type. All of them are trained by the method described earlier. More than one phenomenon may occur in the same cell which leads to many possibilities of neural networks outputs for the same property. However, different phenomena do not usually affect the same property. Consequently, to set a cell property, our tool will only use output from the neural networks of the phenomena related to that property. If there is more than one possible value for the property, an average is taken.

**Path editor** – set path of a spreading incident such as the spreading of fire. Each path is a list of nodes describing location, radius and timing of a desired effect. All paths will be converted to the table of the beginning and ending time of a desired incident for each cell. The neural networks use this table as input for adjusting cells' properties.

**Effect player** – display the effect of a desired scenario using the table of the beginning and ending time of a desired incident (Design Mode), or using cellular automata (Automata Mode).

Maximum time that the desired effect can be presented is limited to 100 frames, which is equal to 100 seconds, as specified by the tool.

All graphics in the tool are 2D. However, graphics in games of which maps are created by this tool are not limited to 2D. Also, each time unit in games does not need to be one second.

## 6. Contribution

In some commercial games, players can have interaction with game environment. For example, in *Command & Conquer: Generals* (2003), players can set up fires on a map, and the fire can damage opponent units. But these fires are static. In *Bahamut Lagoon* (1996), players can use terrain to take advantage of enemies. For example, players can set fire to forests to damage enemies.

Some games have natural phenomena which affect gameplay, such as *Star Wars: Empire at War* (2006), where each planet has different weather, which can slow down units, reduce units' line of sight, etc.

These games can be made more realistic by implementing emergent environment. But with emergent environment, game behaviors are hard to control. This is where our tool and technique can come in. Controllable games scenarios lead to the following features, which are usually unavailable in emergent games:

- **Editable Scenario** – Scenario is very important for games. Crucial moments in a game story can be revealed using well-set scenarios. Furthermore, a well-set scenario can provide challenge for players. Normally, a scenario is played out using scripts, sacrificing any possible interactions from players. Our editable scenario is different. Developers can specify how a scene is played out just like writing scripts to dictate what happens during the game, but the environment remains emergent throughout the entire play.
- **In-game Cut-scene** – Although cut-scenes produced as movies can be used, in-game cut-scenes can tell story while players are still in the middle of scenarios, without disrupting game flow.

With accurate physics rule, this work also has potential for being an analyzer for natural phenomena. For example, number of trees that needs to be cut down in order to maintain certain

natural fire boundaries in a national park can be estimated. Also, given burning scenarios, the number of starting vegetation in the forest can be determined.

## 7. Conclusion and Future Work

From our experiment, we conclude that neural networks can be used effectively for tuning parameters in emergent maps for games and ecological simulations.

There is much work to be done, however. Our neural networks are only tested with the spreading of fire through adjacent cells and only able to set initial property values for cell humidity. In order to model and control a more realistic fire, additional properties such as wind and firebrand need to be implemented. Water and pressure are also interesting additions. We plan to integrate such natural phenomena into our next version of the tool. With more complex scenarios, neural networks topology may also need change in order to remain effective. We plan to use neuroevolution technique to obtain more suitable topology. Also, in our current system, phenomena duration is limited to 100 frames. Larger time frame is required for more detailed scenarios. It is also important that more functions need to be added to our tool in order to match existing map editing tools.

## 8. References

- [1] Sweetser, P. and Wiles, J. 2005. "Using Cellular Automata to Facilitate Emergence in Game Environments." In *Proceedings of the 4th International Conference on Entertainment Computing* (Sanda, Japan Sep. 19-21).
- [2] Sweetser, P. and Wiles, J. 2005. "Scripting versus Emergence Issues for Game Developers and Players in Game Environment Design." *International Journal of Intelligent Games and Simulations* 4 (1): 1-9.
- [3] Hargrove, W.W. et al. 2000. "Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes" *Ecological Modelling* 135(2-3): 243-263.
- [4] Merz, C.J. et al. 1996 "Tuning Numeric Parameters of a Knowledge-Based System for Troubleshooting the Local Loop of the Telephone Network." *IEEE Expert*, Feb.: 44-49.
- [5] Legenstein, R.A. et al. 2003. "Input Prediction and Autonomous Movement Analysis in Recurrent Circuits of Spiking Neurons." *Neurosciences (Special Issue on Neuroinformatics of Neural and Artificial Computation)*, 14(1-2): 5-19.

# Parameters Adjustment for Emergent Environments in Games Using Artificial Intelligence

**Tanawat Kumnoonsate**

Department of Computer Engineering  
Chulalongkorn University  
Payathai Road, Patumwan  
Bangkok 10330, Thailand  
Tel. +66890025782  
underspica@hotmail.com

**Vishnu Kotrajaras**

Department of Computer Engineering  
Chulalongkorn University  
Payathai Road, Patumwan  
Bangkok 10330, Thailand  
Tel. +66890212323  
ajarntoe@gmail.com

## Abstract

This paper presents the design, development and test results of a tool for adjusting properties of emergent environment maps automatically according to a given scenario. Adjusting properties for a scenario allows a specific scene to take place while still enables players to meddle with emergent maps. The tool uses genetic algorithm and steepest ascent hill-climbing to learn and adjust map properties. Using the proposed tool, the need for time consuming and labor-intensive parameter adjustments when setting up scenarios in emergent environment maps is greatly reduced. The tool works by converting the paths of events created by users (i.e. the spreading of fire and the flow of water) for a map to the properties of the map that plays out the scenario set by the given paths of events. Vital event points are preserved while event points outside the given scenario are minimized. Test results show that the tool preserves more than 70 percent of vital event points and reduces event points outside given scenarios to less than 30 percent.

## Keywords

emergent environments, cellular automata, genetic algorithm, steepest ascent hill-climbing

## 1. Introduction

For computer games that rely on players interacting with the game maps, emergent and realistic environments become crucial to their degree of realism. Emergent environments can be created on a map by dividing the map into cells, augmenting the cells with various physical properties, and building rules for influencing properties between each cell [1]. Natural phenomena, such as the spreading of fire or the flow of water, look more dynamic and realistic than similar phenomena created using scripts [2].

Emergent maps have been widely used in ecological modeling [3], but for computer games, emergent maps have not seen much use. One reason is because when a given scenario is required to take place on a map, every property of every cell needs to be set in order to produce such scenario. Developers need to put in a lot of time and effort. Moreover, scenarios that have not been well-set may behave in ways that the developers had not anticipated. One way to produce a scenario is to make properties inactive and play out the scenario using a script, and then switch the properties back

on later. This solution has a limitation, because players cannot interfere with the scenario. Players must wait until the scenario is completely played out before being able to do any change to parts of the map that are changed by the scenario. In ecological modeling, an emergent map is used by setting all its properties first (usually imitating a real world map) then allowing the scenario to play itself out. The study of what causes a given scenario is through trial and error. Therefore, it will be very useful if, given a scenario, natural properties that cause it can be found automatically.

We present in this paper a hybrid of genetic algorithm and steepest ascent hill-climbing for adjusting properties of every cell on a cellular automata map in order to produce a given scenario. With a tool based on our technique, game developers are able to focus on designing their scenario and spend much less time setting cell properties. Controllable games scenarios lead to the following features, which are usually unavailable in emergent games.

- Editable Scenario – Scenario is very important for games. Crucial moments in a game story can be revealed using well-set scenarios. Furthermore, a well-set scenario can provide challenge for players. Normally, a scenario is played out using scripts, sacrificing any possible interactions from players. Our editable scenario is different. Developers can specify how a scene is played out just like writing scripts to dictate what happens during the game, but the environment remains emergent throughout the entire play.
- In-game cut-scene – Although cut-scenes produced as movies can be used, in-game cut-scenes can tell story while players are still in the middle of scenarios, without disrupting game flow.

## 2. Related Works

Regarding game environment, Sweetser [1] has developed and tested a cellular automata map for Real-Time Strategy games. Sweetser's experimental system was called EmerGEnT system. Although EmerGEnT system did not model an environment in great detail, it was good enough for using in games, with fire, water, and explosions being integrated into its cellular automata properties. EmerGEnT system can be divided into 3 levels. The first layer is the behavior layer, which shows the effects that players see. The second layer is the rule layer, which controls behavior both between cells and within each cell. The final layer is the property layer, which determines how cells interact according to the rules. Sweetser's work, although consists of many physical properties, does not provide any feature for setting cell properties following given effects that users see.

A probabilistic model can also be used to simulate fire in broad-scale over long time periods [3][4]. Hargrove's model was designed for simulating real forest fires. It included humidity, fuel types, wind, and firebrand. These factors influenced the probability of fire spreading from one cell to another, and the probability of isolated cells getting ignited. Probabilistic models do not perform well for small cell sizes compared to thermodynamic models. To be able to work with cells in a game map, which generally represents small areas, thermodynamic models are more suitable. Probabilistic models are also more difficult to control compared to thermodynamic models, which have precise rules for events.

Hill climbing can be used for tuning system parameters. Merz et al. [5] developed Opi-MAX for tuning MAX's numeric parameters. MAX is an expert system for high-level diagnosis of customer-reported telephone troubles. It can be customized by changing a set of numeric parameters. Opi-MAX uses a searching algorithm called greedy hill-climbing to optimize parameters. It works by randomly changing parameters one by one. A parameter is repeatedly changed from its initial value and each of its change effect can be observed from overall output. A change that results in a better output will be carried out, and a change that does not contribute to a better output will be ignored. Each parameter is changed for a constant number of times. The system stops when all parameters are dealt with. This technique, however, is not suitable for our work, since we have no good initial values of any property. It can be used to help improving some partially tuned parameters nevertheless. Therefore we use it for fine tuning environment properties adjusted during our genetic algorithm runs.

Neural networks can also be used for parameter tuning. Legenstein et al. [6] developed a movement prediction method for objects moving on 8 x 8 grids. Each cell on a grid provides an input to the recurrent unsupervised neural networks. It can predict object movement by predicting sensor inputs, which are numeric values like cell properties. Given previous events, Legenstein et al.'s work predicts the next event, while our work predicts the initial condition given a sequence of events in time. We have experimented with neural networks but found that results are unsatisfactory. Therefore we switched to genetic algorithm.

Breukelaar [7] used genetic algorithm to generate cellular automata's transition rules that displays a desired behavior. The work was demonstrated by finding rules that evolve all cells to the same state by majority, evolve cells to form a checkerboard, and evolve cells to form desired bitmaps. The main focus was to find transition rules, given a single parameter. In our work, the rules are given, but we need to find several parameter values of all cells at the start of each scenario. Therefore, the genetic encoding is totally different from [7]. Karafyllidis [8] used genetic algorithm to convert continuous-state cellular automata that predicts forest fire spreading to discrete-state cellular automata that outputs nearest results. The number of cells and states for the discrete-state version were also minimized. The outcome cellular automata were used to build a dedicated parallel processor for real-time processing. Only one parameter was used in each cell. It was the rate of fire spreading. Using only one parameter allows faster execution. However, such approximation is not applicable for our work since we want players to still be able to physically change all properties of each cell.

### **3. Tool for adjusting properties of emergent environment maps**

#### **3.1 Overview**

We base our cellular automata maps and rules on EmerGEnT system [1]. Our tool can adjust properties in EmerGEnT system-like map automatically to create a scenario of fire spreading and water flowing that matches the scenario given by a user. Properties that our tool adjusts include material, temperature, mass, damage, and wetness for the spreading of fire, and height for the flow of water. Paths of both kinds of events are controlled by waypoints. Each waypoint is defined by its

position, the time an event takes place at that position, and the radius of the event. The tool then creates a timetable containing the beginning and the end of each event on every cell. Impossible paths, such as fire crossing water ways or fire spreading in the opposite direction to the wind, are not produced. When a fire is spreading, its burning area moves along the given waypoints. For water, flooding areas never dry out. At the beginning of the spreading of fire, an object that changes temperature to 3000 units is put into the first waypoint at the time given by a user. For water, an object that adds 30 units of water per unit time is put into the first waypoint at the time given by the user. The map properties are then adjusted by genetic algorithm, with steepest ascent hill-climbing being applied at selected generations. Finally the best chromosomes are kept for included in the initial population of genetic algorithm when adjusting other scenarios. These chromosomes will be chosen during genetic algorithm if they fit any newly given scenario.

### 3.2 Genetic Algorithm

Our genetic algorithm has population of 1000 chromosomes and evolves for 100 generations. Each chromosome contains map's properties (material, temperature, mass, damage and wetness for the spreading of fire and height for the flow of water) stored in real values, except for the material property, which is stored as material id number. A new generation is selected from the chromosomes with highest fitness, the mutation of the next 1% of high fitness chromosomes, and the crossover of randomly selected chromosomes with weight taken from equation (1). Half of these crossover chromosomes are also mutated. *selectPopulation* is the position of selected populations. The lower the position, the higher the fitness. Function *random(a,b)* returns a random number between *a* and *b*, but not including *b*.

$$selectPopulation = random(0, \frac{populationSize}{random(2,6)}) \quad (1)$$

We use uniform crossover with blending defined by equation (2) and (3).  $\beta$  is selected randomly from 0, 1, and a random value between 0 and 1.

$$p_{new1} = \beta p_1 + (1 - \beta) p_2 \quad (2)$$

$$p_{new2} = \beta p_2 + (1 - \beta) p_1 \quad (3)$$

Mutation rate is 20% and the mutation range is constrained to be within 50 units away from the old value.

The fitness value of each chromosome is calculated from the average of the fitness of each time unit that events occur, with weight defined by equation (4) and (5).

$$fitness_t^{waypoint} = (1.8 + \frac{0.2 \times t}{time_{max}}) \times fitness_t \quad (4)$$

$$fitness_t^{non-waypoint} = (0.8 + \frac{0.2 \times t}{time_{max}}) \times fitness_t \quad (5)$$

The fitness of each time unit before weighing ( $fitness_t$ ) is the average of the fitness of cells in the map that have events actually taking place in that time frame and cells that do not produce an event when the event is set to occur, divided by the number of cells in the map that events are set to occur multiplied by the maximum fitness value of a cell, which is 10.

The fitness value of each cell is calculated from

- If a cell outside specified paths produces events – lose 1 point if an adjacent cell is inside any event path. If the cell does not have any adjacent path, 5 points are deducted instead.
- If a cell does not produce an event when the event is set to occur – gain points equal to two times the cell temperature divided by maximum temperature if the event is the spreading of fire. Water events get no score here. The fire situation gets some score because the cell may still burn if its temperature is high enough.
- If a cell produces an event at its specified time – gain 8 points. In case of fire, get additional points equal to two times the burn value divided by half the burn rate of the material that has minimum burn rate, but not more than 2 points. In case of water event, get additional points equal to two times the fluid value divided by half of maximum fluid that the cell can contain, but not more than 2 points.
- If a cell produces a specified event before its intended starting time, but not more than 1 time unit – gain 5 points minus the difference between current time and the designed starting time.
- If a cell still produces a given event after its intended end time, but not more than 4 time unit – In case of fire, gain 5 points minus the difference between current time and end time. There is no mark for water since our system uses the model that lets water stays in a cell indefinitely.

### 3.3 Steepest Ascent Hill-climbing

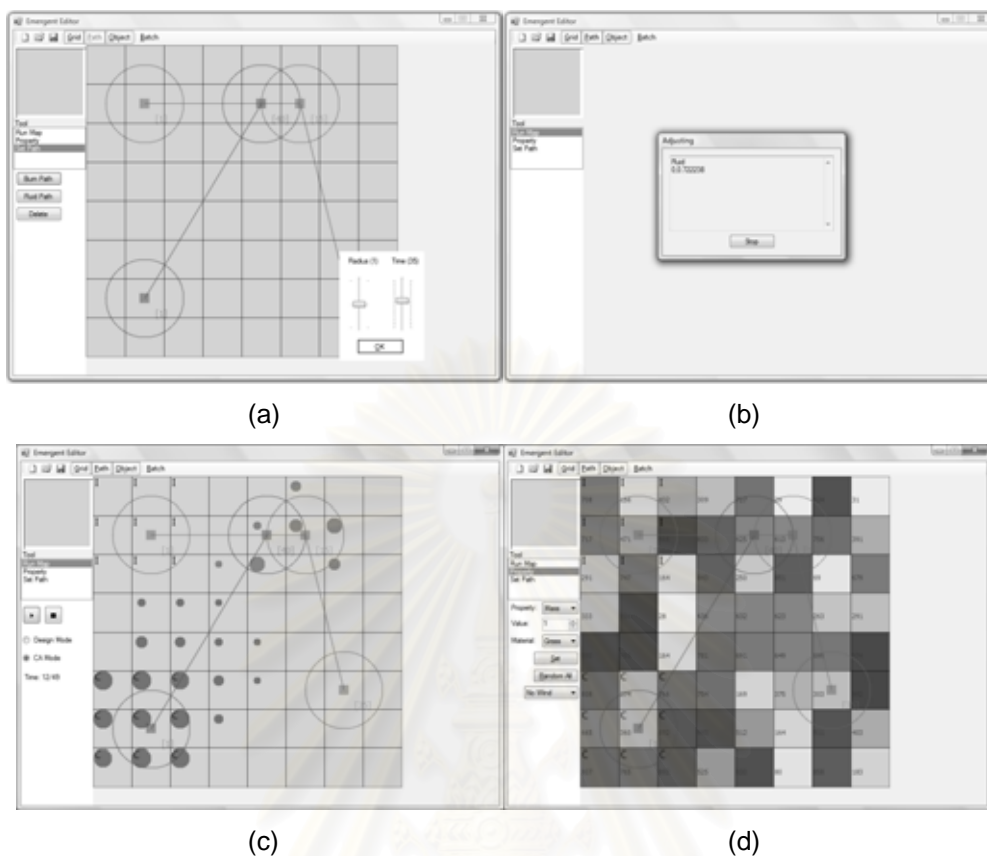
We use steepest ascent hill-climbing, with the same fitness function as our genetic algorithm in order to improve map's properties. Steepest ascent hill-climbing is applied to the best chromosome after the genetic algorithm reaches 60, 80 and 100 generation. It begins by changing the map's property values by 27 units at a time. If no better value is found, the adjustment range reduces to 9, 3, 1 and 0 respectively.

### 3.4 Emergent Editor

Our tool for adjusting properties of emergent environment maps is in the form of a map editor. We name the editor Emergent Editor. Its features can be divided into 4 parts:

- Path Editor (Figure 1 (a)) – a user can define, edit, or delete waypoints of fire events and water events.
- Automatic Properties Adjustment (Figure 1 (b)) – this feature adjusts map properties automatically according to a given scenario defined by paths of events.
- Event Player (Figure 1 (c)) – It can show the original scenario defined by paths of events, and the scenario created after the map properties are set.





**Figure 1. Each part of our Emergent Editor**

- Property Editor (Figure 1 (d)) – A user can also view or edit map properties directly from this view.

#### 4. Testing and Results

Testing is initiated by creating paths of events randomly on a map of 8 x 8 cells. Paths of events are limited to total of 6 waypoints. Events with the same number of waypoints are tested between 2 – 5 times. Each waypoint has its radius of one or two cells. The total running time of each event is limited to 50 time units. The wind direction is chosen randomly between no wind and random direction. From 100 tests, our result shows that the tool preserves 75.09% of event points at waypoints on average and produces event points outside given scenarios by only 2.3% on average.

Figure 2 shows our test result grouped by the number of waypoints.  $F_{m_1 m_2 \dots m_n}$  represents  $n$  fire paths in the map, where the first path has  $m_1$  waypoints, the second path has  $m_2$  waypoints, and so on.  $W_{m_1 m_2 \dots m_n}$  represents water paths in the same way.

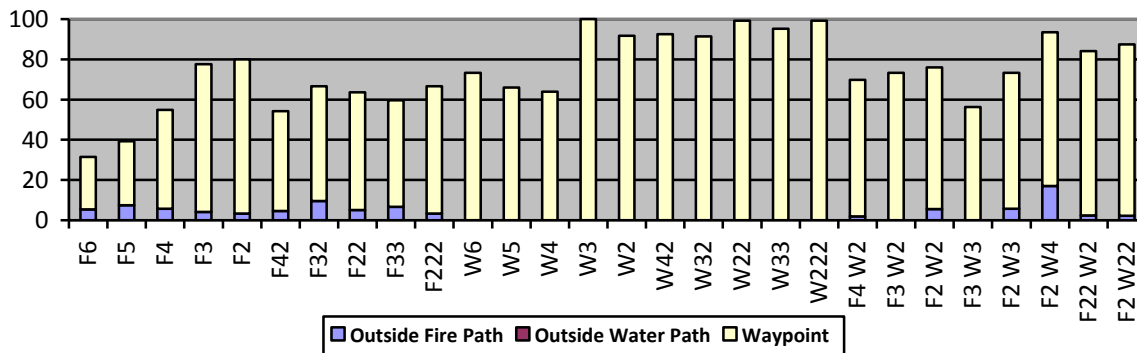


Figure 2. Test Result

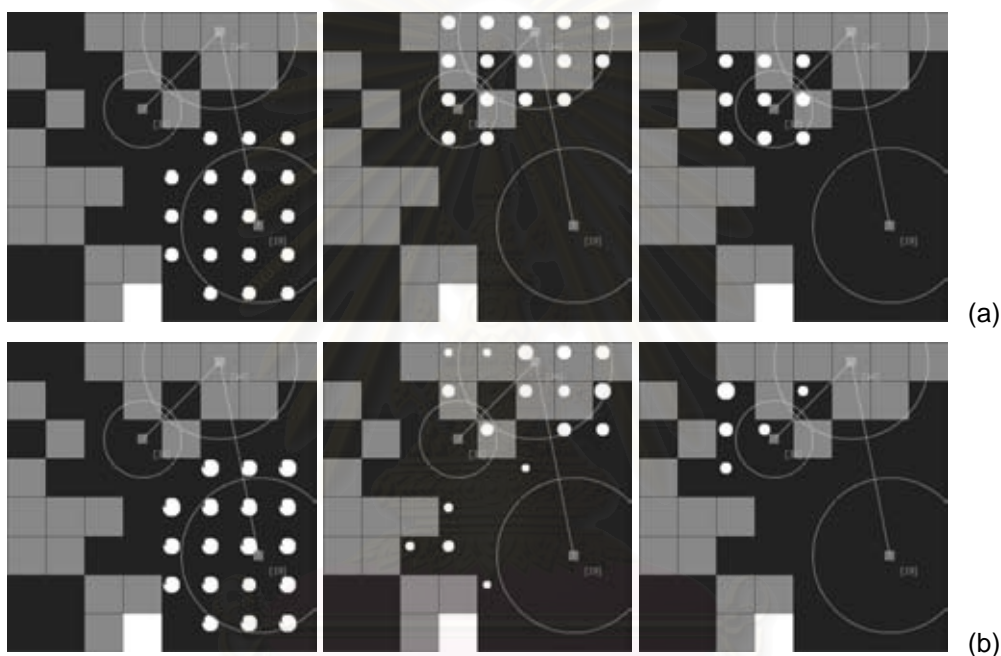


Figure 3. Test Scenario

Figure 3 illustrates one of the test scenarios with 3 waypoints of fire spreading. Figure 3 (a) shows the events designed to take place at 3 points in time, while figure 3 (b) shows actual events that take place after the actual parameter adjustment at the same points in time. Darker cells are forest cells, while lighter cells are grass cells. There is also a water cell at the middle-bottom of the map (white cell). Cells with white circles are cells that catch fire.

There are 11 tests that our tool gives less than half of events correctly at waypoints. This is because the fire was set to burn longer than the fuel in the map could support. Another reason some tests have unsatisfactory results was that the water was set to flow too quick or too far from its source. In our system, the further away from its source, the slower the water can flow. This is because there are more cells to absorb water.

## Conclusion

From our experiment, we conclude that genetic algorithm, with help from steepest ascent hill-climbing technique, can be used effectively for adjusting parameters in emergent maps which leads to simple-to-control scenarios without the need to manually edit any property.

Some problems, such as fire burning out before the expected ending time and water running too slowly or too short in distance, still need to be solved. This can be solved by having the algorithm also adjust the initial temperature of fire and the amount of water at the first waypoint. There are also other possible improvements. It may be useful to allow users to control scenarios with other means besides creating paths of events. Increasing the speed of the tool will allow a better use with bigger maps and more complex environments. Other kinds of emergent environments, such as environments used for actual ecological modeling, are good candidates for expanding the value of our tool.

## Acknowledgement

This research is sponsored by Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

## References

- [1] Sweetser, P. and Wiles, J. Using Cellular Automata to Facilitate Emergence in Game Environments. *In Proceedings of the 4th International Conference on Entertainment Computing* (Sanda, Japan Sep. 19-21). 2005.
- [2] Sweetser, P. and Wiles, J. Scripting versus Emergence Issues for Game Developers and Players in Game Environment Design. *International Journal of Intelligent Games and Simulations* 4 (1): 1-9. 2005.
- [3] Hargrove, W.W. et al. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes *Ecological Modelling* 135(2-3): 243-263. 2000.
- [4] Song, W., Weicheng, F., Binghong W., and Jianjun, Z. Self-organized criticality of forest fire in China. *Ecological Modelling*. 145: 61-68. 2001.
- [5] Merz, C.J. et al. Tuning Numeric Parameters of a Knowledge-Based System for Troubleshooting the Local Loop of the Telephone Network. *IEEE Expert*, Feb.: 44-49. 1996.
- [6] Legenstein, R.A. et al. Input Prediction and Autonomous Movement Analysis in Recurrent Circuits of Spiking Neurons. *Neurosciences* (Special Issue on Neuroinformatics of Neural and Artificial Computation), 14(1-2): 5-19. 2003.
- [7] Breukelaar, R. and Back, Th. Using a Genetic Algorithm to Evolve Behavior in Multi Dimensional Cellular Automata. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference 2005*. Washington, DC, USA. : 107-114. 2005.
- [8] Karafyllidis, I. 2004. Design of a dedicated parallel processor for the prediction of forest fire spreading using cellular automata and genetic algorithms. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 17(1): 19-36.

ภาคผนวก ข งานวิจัยที่ได้ดำเนินการก่อนหน้านี้

ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับ เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่ บนแผนที่ของ สภาพแวดล้อมแบบ ปรากฏขึ้นเองแบบอัตโนมัติ โดยใช้ข่ายงานประสาทเทียม เนื่องจากต้องการให้เครื่องมือสามารถทำงานได้ รวดเร็ว

สภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองที่ใช้จะจำลองการเกิดไฟโดยมีลักษณะดังนี้

- ไฟมี 2 สถานะคือ มีไฟ และไม่มีไฟ
- สมบัติของพื้นที่มีสองอย่างคือ ความชื้น จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 9 หน่วย และ ปริมาณเชื้อเพลิงจะมี ค่า 9 หน่วยเสมอ
- กฎในการควบคุมประกอบด้วย
  - ค่าความชื้นจะลดลงตามจำนวนเซลล์รอบข้างที่ติดไฟ
  - ถ้าความชื้นมีค่าเป็น 0 และปริมาณเชื้อเพลิงมีค่ามากกว่า 0 เซลล์จะติดไฟ
  - ปริมาณเชื้อเพลิงในเซลล์ที่ติดไฟจะลดลงเรื่อยๆ และจะลดเร็วขึ้นถ้าเซลล์รอบข้างติดไฟ ด้วย

ข่ายงานประสาทเทียม ที่ใช้เป็นข่ายงานประสาทเทียม แบบเพอร์เซปตรอน 3 ชั้น ซึ่งจะทำงานกับ เซลล์แต่ละเซลล์บนแผนที่ โดยมีข้อมูลขาเข้า และขาออกดังนี้

- ข้อมูลขาเข้า ประกอบด้วย ระยะเวลาที่เซลล์ติดไฟ และระยะเวลาที่เซลล์ใช้ในการเริ่มลุกไหม้ หลังจากที่เซลล์ข้างเคียงติดไฟ ซึ่งจะมีแปดค่าตามจำนวนเซลล์ข้างเคียงในระบบนี้
- ข้อมูลขาออก คือ ค่าความชื้นของเซลล์

การฝึกข่ายงานประสาทเทียม จะใช้อัลกอริทึมการแพร่กระจายย้อนกลับ โดยการสร้างแผนที่ที่สุ่ม ค่าความชื้น และจุดกำเนิดไฟ และนำการลามของไฟที่เกิดขึ้น แปลงเป็นข้อมูลสำหรับฝึก ข่ายงานประสาท เทียม โดยในการทดลองจะใช้ผลจากการลามของไฟใน 10 หน่วยเวลา รวมทั้งหมด 1000 ข้อมูล

การทดสอบผลจะมีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่มค่าความชื้น และการเกิดไฟขึ้นมาบนแผนที่
2. ปล่อยให้ไฟลามเป็นเวลา 10 หน่วย
3. นำข้อมูลการลามไปให้ข่ายงานประสาทเทียมทำนายค่าความชื้นออกมา
4. เทียบการติดไฟของเซลล์ในแต่ละหน่วยเวลา ระหว่างค่าความชื้นที่สุ่มขึ้นมาในตอนต้นกับค่าที่ ข่ายงานประสาทเทียมทำนายออกมา

ผลการทดสอบจำนวน 100 การทดสอบพบว่า การติดไฟของเซลล์ ในทั้งสองกรณี แตกต่างกันโดย เฉลี่ยร้อยละ 7.81

แม้ว่าผลการทดลองขั้นพื้นฐานจะเป็นที่น่าพอใจ แต่จากการนำขั้วสายงานประสาทเทียม ตามการทดลองนี้มาใช้ควบคุมการลากลมของไฟตามระบบอีเมอเจนต์ และใช้ ขั้นตอนการทดสอบผล ตามขั้นตอนในหัวข้อขอบเขตการดำเนินงาน พบว่าเกิดความผิดพลาดสูง เช่นในการทดลองที่ใช้จุดกำหนดเส้นทางสองจุด พบว่าโดยส่วนใหญ่ ไฟจะลากลมไม่ถึงจุดกำหนดเส้นทางปลายทาง และไฟไม่ลากลมตามเส้นทางที่กำหนด (หากวัดผลตามวิธีในหัวข้อแนวคิดและวิธีการดำเนินงาน จะได้ผลประมาณร้อยละ 50 และมากกว่าร้อยละ 100 ตามลำดับ) ซึ่งคาดว่าเกิดจากสาเหตุดังนี้

- กฎในระบบอีเมอเจนต์ มีความซับซ้อนมากกว่ากฎในการทดลองก่อนหน้านี้ มีจำนวนสมบัติที่ต้องกำหนดเพิ่มขึ้น และระยะเวลาที่ไฟลากลมเพิ่มขึ้น
- สมบัติของเซลล์ที่ไม่เหมือนกัน สามารถทำให้เกิดไฟที่ลากลมในลักษณะเดียวกันได้ แต่มีความแรงของไฟไม่เท่ากัน ซึ่งไม่เกิดในการทดลองก่อนหน้านี้เนื่องจากความแรงของไฟมีค่าเดียว ทำให้ในการฝึกข่ายงานประสาทเทียม ข้อมูลขาเข้าชุดเดียวกันอาจจะถูกฝึกกับข้อมูลขาออกที่ต่างกัน ทำให้เกิดความผิดพลาดได้
- การเปลี่ยนแปลงวิธีการทดสอบผล จากการที่การทดลองก่อนหน้านี้ ใช้การลากลมของไฟที่เกิดแบบสุ่มในการเปรียบเทียบ มาใช้การลากลมของไฟที่ผู้ใช้กำหนด

ด้วยเหตุผลดังกล่าววิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จึงเปลี่ยนมาใช้ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ในการกำหนดสมบัติของแผนที่แทน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่า แต่ทำงานได้ช้ากว่าข่ายงานประสาทเทียม

นอกจากนี้ยังได้ทดลองกับข่ายงานประสาทเทียม แบบอื่นๆอีก ซึ่งผลลัพธ์ไม่เป็นที่น่าพอใจเช่นเดียวกัน ได้แก่

- ข่ายงานประสาทเทียมที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการฝึกสอน
- ข่ายงานประสาทเทียมที่รับข้อมูลจากทั้งแผนที่ และให้ผลลัพธ์เป็นสมบัติของเซลล์ทั้งแผนที่
- ข่ายงานประสาทเทียม ที่ใช้สมบัติของเซลล์ข้างเคียงเป็นข้อมูลขาเข้าด้วย โดยจะทำงาน วนซ้ำเมื่อสมบัติของเซลล์ข้างเคียงเปลี่ยนไปตามผลลัพธ์ของข่ายงานประสาทเทียมของเซลล์นั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค ผลการทดลองโดยละเอียด

ผลการทดลองโดยละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 9 ถึง 13

ตารางที่ 9 ผลการทดลองอัตราารรวมค่า และอัตราารกลายพันธุ์โดยละเอียด

รุ่น	ค่าความเหมาะสม		
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
<b>อัตราารรวมค่า 2:1:2 แผนที่ T1</b>			
รุ่นที่ 0	0.3093	0.2947	0.2922
รุ่นที่ 1	0.3093	0.3286	0.3140
<b>อัตราารรวมค่า 2:1:2 แผนที่ T2</b>			
รุ่นที่ 0	0.0762	0.1906	0.1019
รุ่นที่ 1	0.1644	0.1906	0.1656
<b>อัตราารรวมค่า 2:1:2 แผนที่ T3</b>			
รุ่นที่ 0	0.6368	0.6411	0.6479
รุ่นที่ 1	0.6443	0.6530	0.6570
<b>อัตราารรวมค่า 1:1:1 แผนที่ T1</b>			
รุ่นที่ 0	0.2822	0.2781	0.3211
รุ่นที่ 1	0.3080	0.3434	0.3211
<b>อัตราารรวมค่า 1:1:1 แผนที่ T2</b>			
รุ่นที่ 0	0.1237	0.1081	0.1376
รุ่นที่ 1	0.1657	0.2009	0.1726
<b>อัตราารรวมค่า 1:1:1 แผนที่ T3</b>			
รุ่นที่ 0	0.6324	0.6365	0.6412
รุ่นที่ 1	0.6425	0.6397	0.6561
<b>อัตราารรวมค่า 1:3:1 แผนที่ T1</b>			
รุ่นที่ 0	0.2659	0.3114	0.3168
รุ่นที่ 1	0.3449	0.3114	0.3193
<b>อัตราารรวมค่า 1:3:1 แผนที่ T2</b>			
รุ่นที่ 0	0.0921	0.1282	0.1670
รุ่นที่ 1	0.1321	0.1968	0.1670
<b>อัตราารรวมค่า 1:3:1 แผนที่ T3</b>			
รุ่นที่ 0	0.6345	0.6464	0.6452

รู้นที่ 1	0.6458	0.6464	0.6619
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 10 แผนที่ T1</b>			
รู้นที่ 0	0.2989	0.3222	0.2853
รู้นที่ 1	0.3633	0.3222	0.2861
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 10 แผนที่ T2</b>			
รู้นที่ 0	0.1054	0.1374	0.0819
รู้นที่ 1	0.1845	0.1885	0.1480
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 10 แผนที่ T3</b>			
รู้นที่ 0	0.6424	0.6468	0.6284
รู้นที่ 1	0.6451	0.6554	0.6387
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 20 แผนที่ T1</b>			
รู้นที่ 0	0.2822	0.2781	0.3211
รู้นที่ 1	0.3080	0.3434	0.3211
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 20 แผนที่ T2</b>			
รู้นที่ 0	0.1237	0.1081	0.1376
รู้นที่ 1	0.1657	0.2009	0.1726
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 20 แผนที่ T3</b>			
รู้นที่ 0	0.6324	0.6365	0.6412
รู้นที่ 1	0.6425	0.6397	0.6561
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 30 แผนที่ T1</b>			
รู้นที่ 0	0.3306	0.2901	0.2901
รู้นที่ 1	0.3306	0.2942	0.2929
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 30 แผนที่ T2</b>			
รู้นที่ 0	0.1510	0.2134	0.1019
รู้นที่ 1	0.2220	0.2134	0.2054
<b>อัตราการกลายพันธุ์ร้อยละ 30 แผนที่ T3</b>			
รู้นที่ 0	0.6341	0.6438	0.6238
รู้นที่ 1	0.6517	0.6462	0.6395

ตารางที่ 10 ผลการทดลองตำแหน่งการปรับปรุงค่าโดยละเอียด

แผนที่	การทดลองที่	รอบที่ 20-100	รอบที่ 60-100	รอบที่ 100	ไม่มี
T1	1	0.5186	0.5307	0.5100	0.4820
	2	0.4938	0.5496	0.5376	0.4692
	3	0.5380	0.5484	0.5358	0.4785
T2	1	0.4434	0.4477	0.4389	0.3807
	2	0.4396	0.4453	0.4572	0.4209
	3	0.4624	0.4808	0.4478	0.4167
T3	1	0.6691	0.6692	0.6703	0.6691
	2	0.6704	0.6703	0.6691	0.6706
	3	0.6704	0.6678	0.6692	0.6692

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบการใช้งานโดยละเอียด

ลักษณะ ของ แผนที่	แผนที่	ร้อยละที่ จุด ควบคุม เส้นทาง	ร้อยละ นอก เส้นทาง ของไฟ	ร้อยละ นอก เส้นทาง ของน้ำ
B6	W0 B(6,2,2,3)-(7,0,2,14)-(6,2,2,16)- (5,0,2,18)-(2,1,2,26)-(3,0,2,29)	24.07	0.00	-
B6	W0 B(7,5,2,5)-(2,3,2,16)-(3,1,2,26)- (3,2,2,27)-(3,3,2,30)-(0,6,2,37)	28.04	10.91	-
B5	W0 B(3,7,1,6)-(6,5,1,13)-(7,2,2,26)- (7,4,2,30)-(7,3,2,45)	38.12	9.68	-
B5	W0 B(2,7,2,6)-(4,0,2,27)-(4,1,1,28)- (0,0,1,44)-(7,7,2,47)	25.30	5.36	-
B4	W0 B(7,3,1,2)-(4,0,1,11)-(7,2,2,16)- (1,5,2,35)	52.78	6.00	-
B4	W0 B(4,1,2,11)-(1,7,1,19)-(7,1,2,28)- (7,4,2,33)	43.27	1.89	-
B4	W0 B(7,1,2,8)-(6,5,2,15)-(2,3,2,26)- (4,7,2,29)	51.13	9.26	-



B3	W4 B(2,1,1,1)-(6,2,2,10)-(4,4,1,20)	66.67	2.70	-
B3	W0 B(6,5,2,19)-(5,0,2,24)-(3,2,1,32)	80.06	5.00	-
B3	W0 B(6,7,2,8)-(1,0,1,23)-(1,0,1,29)	61.11	0.00	-
B3	W0 B(1,6,2,12)-(5,2,2,28)-(4,3,2,29)	66.67	9.30	-
B3	W0 B(5,7,1,7)-(6,2,1,15)-(7,2,2,16)	92.31	4.00	-
B2	W0 B(0,2,1,22)-(4,1,1,42)	72.22	0.00	-
B2	W0 B(5,5,1,10)-(1,0,2,38)	72.73	0.00	-
B2	W0 B(7,4,2,5)-(5,5,1,13)	77.78	5.88	-
B2	W0 B(1,2,1,7)-(0,4,1,31)	83.33	7.69	-
B42	W0 B(0,6,2,5)-(2,2,1,12)-(7,2,1,21)- (0,7,2,23) B(0,6,1,4)-(4,7,1,49)	55.56	9.30	-
B42	W0 B(2,4,2,1)-(2,0,2,8)-(3,2,1,9)-(2,5,1,10) B(0,3,1,14)-(0,7,2,27)	43.72	0.00	-
B32	W0 B(3,1,1,13)-(0,2,2,27)-(1,6,1,35) B(0,2,2,4)-(5,2,2,33)	55.78	0.00	-
B32	W0 B(6,2,2,14)-(7,6,1,21)-(1,3,1,34) B(7,0,1,6)-(3,2,2,17)	60.48	0.00	-
B32	W0 B(6,3,2,6)-(5,3,2,9)-(4,0,1,21) B(7,7,1,3)-(4,3,1,44)	63.33	22.86	-
B32	W0 B(7,1,2,10)-(5,6,1,27)-(2,5,1,32) B(3,5,2,4)-(0,2,2,29)	49.06	15.09	-
B22	W0 B(7,5,1,27)-(5,2,1,46) B(2,2,2,29)- (5,4,2,49)	51.19	6.82	-
B22	W0 B(0,5,1,27)-(1,3,1,32) B(3,7,1,29)- (1,2,2,43)	68.06	0.00	-
B22	W0 B(7,6,2,21)-(2,6,1,31) B(4,1,2,10)- (2,6,1,25)	66.67	14.89	-
B22	W0 B(7,5,2,6)-(0,5,2,19) B(2,3,2,24)- (5,1,2,39)	54.40	0.00	-
B22	W0 B(5,5,2,14)-(2,6,1,47) B(1,5,2,24)-	52.35	3.77	-

	(2,0,2,46)			
B33	W0 B(4,6,2,12)-(4,2,1,20)-(0,7,2,29) B(7,3,1,10)-(5,7,2,16)-(3,5,1,25)	56.62	3.92	-
B33	W0 B(2,1,2,5)-(1,2,2,13)-(1,2,1,38) B(5,3,1,9)-(6,4,2,16)-(4,1,1,17)	49.07	9.52	-
B222	W0 B(1,1,1,13)-(4,4,2,22) B(5,6,1,2)- (4,3,1,11) B(1,0,2,3)-(4,2,1,16)	56.35	4.76	-
B222	W0 B(3,4,2,8)-(2,0,2,13) B(6,7,1,1)- (5,7,1,47) B(7,0,1,23)-(3,6,2,35)	65.87	0.00	-
B222	W0 B(5,5,2,5)-(3,2,1,41) B(3,1,1,14)- (7,7,2,23) B(1,2,1,17)-(7,2,1,20)	62.04	4.17	-
B222	W0 B(2,6,1,29)-(4,2,2,43) B(2,3,2,34)- (2,0,1,46) B(6,2,1,14)-(5,0,1,17)	69.44	6.00	-
B222	W0 B(4,3,2,23)-(1,2,2,41) B(1,0,1,11)- (6,0,2,27) B(0,0,1,5)-(1,4,2,17)	62.46	2.13	-
F6	W4 F(5,0,2,4)-(4,3,2,11)-(5,6,2,32)- (0,7,2,38)-(5,2,1,42)-(0,2,2,47)	63.65	-	0.00
F6	W0 F(2,6,2,3)-(0,1,2,27)-(4,1,2,31)- (4,6,1,38)-(4,3,2,41)-(3,2,2,45)	83.02	-	0.00
F5	W0 F(7,5,2,4)-(0,6,1,10)-(2,2,2,22)- (4,2,1,23)-(5,5,1,24)	57.14	-	0.00
F5	W0 F(0,6,1,3)-(5,2,1,18)-(0,0,1,26)- (2,6,1,35)-(4,5,2,40)	50.48	-	0.00
F5	W2 F(3,7,2,1)-(4,1,2,9)-(5,1,2,12)- (2,5,2,25)-(2,0,2,37)	48.80	-	0.00
F5	W3 F(6,4,2,3)-(3,4,1,5)-(4,0,2,14)- (7,6,2,18)-(6,5,2,28)	80.51	-	0.00
F5	W0 F(4,4,1,1)-(5,7,1,6)-(4,7,1,7)-(4,1,2,13)- (5,1,1,42)	93.33	-	0.00
F4	W0 F(7,7,2,6)-(4,4,2,14)-(0,7,2,20)-	44.05	-	0.00

	(4,2,2,26)			
F4	W1 F(2,2,2,12)-(7,2,2,22)-(7,0,2,33)- (6,2,1,36)	85.34	-	0.00
F4	W2 F(7,1,1,14)-(0,7,1,31)-(3,3,1,35)- (7,6,1,47)	44.44	-	0.00
F4	W1 F(5,4,1,3)-(4,5,2,9)-(4,3,1,13)-(1,1,2,31)	81.90	-	0.00
F3	W3 F(2,7,2,4)-(3,7,2,7)-(0,6,1,21)	100.00	-	0.00
F3	W0 F(5,1,2,4)-(5,3,1,5)-(3,0,1,10)	100.00	-	0.00
F3	W4 F(6,5,2,11)-(7,5,2,21)-(6,4,2,29)	100.00	-	0.00
F3	W4 F(4,4,2,22)-(5,1,1,35)-(4,1,2,41)	100.00	-	0.00
F3	W2 F(4,1,2,17)-(6,1,1,19)-(3,1,2,28)	100.00	-	0.00
F2	W2 F(1,7,2,9)-(5,7,1,17)	83.33	-	0.00
F2	W2 F(5,4,2,12)-(2,1,1,29)	83.33	-	0.00
F2	W1 F(2,7,2,16)-(0,4,2,32)	92.31	-	0.00
F2	W0 F(7,6,2,27)-(6,6,2,37)	100.00	-	0.00
F2	W0 F(2,6,1,7)-(1,7,2,44)	100.00	-	0.00
F42	W0 F(7,3,1,7)-(2,7,2,17)-(1,3,2,27)- (4,2,1,41) F(1,5,1,9)-(5,1,2,20)	94.66	-	0.00
F42	W0 F(2,5,2,1)-(0,7,2,2)-(3,4,2,8)-(5,5,1,14) F(2,4,1,34)-(6,6,2,43)	98.89	-	0.00
F42	W1 F(4,1,2,18)-(3,1,1,23)-(3,1,1,27)- (1,7,1,46) F(5,4,2,5)-(0,1,2,48)	97.22	-	0.00
F42	W2 F(6,1,2,2)-(7,3,1,7)-(0,4,2,17)-(6,2,1,18) F(1,3,1,23)-(2,1,2,29)	84.05	-	0.00
F42	W0 F(5,1,1,7)-(2,0,1,11)-(3,3,1,12)- (6,2,2,16) F(2,4,1,6)-(3,1,1,44)	87.96	-	0.00
F32	W4 F(4,7,2,6)-(1,1,1,36)-(1,3,2,40) F(7,6,2,23)-(7,7,2,49)	76.67	-	0.00
F32	W3 F(0,2,2,12)-(2,2,1,15)-(5,3,2,24) F(6,4,1,5)-(4,1,1,26)	97.78	-	0.00

F32	W0 F(2,1,1,22)-(2,7,2,39)-(1,2,1,47) F(2,2,2,5)-(0,5,1,30)	100.00	-	0.00
F32	W0 F(5,6,2,6)-(6,1,1,18)-(7,7,2,21) F(7,2,1,7)-(5,1,1,10)	91.11	-	0.00
F22	W0 F(1,7,1,25)-(1,3,1,27) F(3,3,2,16)- (0,5,2,40)	95.83	-	0.00
F22	W0 F(4,6,1,10)-(0,6,1,24) F(2,5,1,7)- (1,7,2,40)	100.00	-	0.00
F22	W1 F(7,5,1,2)-(6,4,2,34) F(7,4,2,9)- (6,7,1,14)	100.00	-	0.00
F22	W4 F(3,5,1,1)-(4,5,1,21) F(3,3,2,18)- (1,1,2,48)	100.00	-	0.00
F22	W1 F(1,4,2,12)-(4,4,2,48) F(6,0,2,2)- (3,2,2,40)	100.00	-	0.00
F33	W0 F(1,2,1,15)-(3,0,1,41)-(2,2,1,46) F(0,4,2,5)-(2,2,1,40)-(4,4,2,47)	92.06	-	0.00
F33	W0 F(6,0,1,10)-(5,2,2,21)-(4,3,1,32) F(3,5,1,2)-(5,5,1,12)-(4,3,2,24)	100.00	-	0.00
F33	W0 F(0,3,2,4)-(2,4,1,23)-(6,0,1,31) F(7,0,1,7)-(5,0,1,15)-(3,0,2,20)	100.00	-	0.00
F33	W0 F(5,1,1,14)-(2,7,2,20)-(1,1,1,30) F(1,6,2,5)-(4,5,1,8)-(2,4,1,9)	87.04	-	0.00
F33	W4 F(4,0,2,1)-(1,1,1,11)-(4,7,1,24) F(2,6,2,12)-(1,6,1,17)-(7,4,1,37)	97.22	-	0.00
F222	W0 F(1,4,2,18)-(0,7,1,48) F(0,7,1,18)- (4,6,1,42) F(4,1,2,11)-(6,5,1,36)	98.15	-	0.00
F222	W0 F(5,6,2,4)-(3,4,1,29) F(4,0,2,8)- (4,6,1,17) F(3,3,1,8)-(6,7,1,18)	100.00	-	0.00
F222	W4 F(1,6,1,13)-(4,2,1,38) F(6,4,1,30)- (4,5,1,47) F(1,3,2,36)-(1,6,2,42)	98.15	-	0.00

F222	W0 F(4,6,1,14)-(1,6,2,18) F(2,4,2,1)- (0,0,1,2) F(0,1,2,2)-(0,5,1,6)	100.00	-	0.00
F222	W0 F(1,7,1,23)-(2,2,2,27) F(6,2,2,1)- (4,2,1,10) F(4,2,2,15)-(6,3,2,38)	100.00	-	0.00
B4 F2	W0 B(0,1,2,2)-(0,3,2,7)-(2,1,2,17)-(7,2,2,25) F(3,6,1,15)-(3,3,1,46)	70.01	0.00	0.00
B4 F2	W0 B(7,2,1,1)-(2,1,1,7)-(3,0,1,11)-(3,1,2,23) F(4,4,1,28)-(2,6,1,40)	65.74	3.85	0.00
B3 F2	W0 B(1,1,2,6)-(2,6,1,12)-(6,7,1,47) F(2,4,1,14)-(2,0,1,31)	72.00	0.00	0.00
B3 F2	W0 B(1,3,2,7)-(4,7,1,15)-(1,2,1,16) F(5,2,2,26)-(5,3,2,40)	74.44	0.00	0.00
B2 F2	W0 B(5,7,2,8)-(1,1,2,23) F(4,7,1,26)- (6,1,1,38)	68.33	0.00	0.00
B2 F2	W0 B(3,2,1,16)-(2,2,1,36) F(7,5,1,17)- (3,7,1,32)	56.94	16.67	0.00
B2 F2	W0 B(3,1,2,22)-(4,5,1,29) F(7,4,2,29)- (6,1,2,44)	85.83	0.00	0.00
B3 F3	W2 B(6,2,1,4)-(7,0,1,31)-(2,0,1,38) F(7,4,2,22)-(4,7,2,28)-(7,6,2,43)	53.42	0.00	0.00
B3 F3	W1 B(6,7,1,21)-(7,2,2,32)-(7,7,1,36) F(2,0,1,2)-(0,5,2,21)-(4,3,2,47)	59.04	0.00	0.00
B2 F3	W0 B(3,6,1,2)-(1,6,2,8) F(3,7,1,13)- (4,4,2,23)-(1,4,2,30)	73.97	5.26	0.00
B2 F3	W1 B(6,7,1,15)-(7,0,1,32) F(1,7,2,18)- (2,6,1,31)-(7,2,2,48)	70.00	0.00	0.00
B2 F3	W0 B(6,2,1,1)-(7,6,1,9) F(1,0,2,5)- (4,6,2,20)-(6,6,1,30)	58.89	11.76	0.00
B2 F4	W0 B(6,5,2,7)-(7,3,1,12) F(2,2,2,11)- (2,5,1,17)-(7,4,2,22)-(2,4,2,42)	81.90	40.00	0.00

B2 F4	W0 B(5,4,1,23)-(7,4,2,39) F(1,1,2,1)- (2,3,1,13)-(0,1,1,16)-(0,2,2,21)	84.62	11.11	0.00
B2 F4	W0 B(4,6,1,4)-(2,6,1,10) F(0,2,1,16)- (1,4,1,24)-(7,0,2,32)-(4,5,1,38)	62.96	0.00	0.00
B2 F22	W0 B(0,6,2,1)-(1,6,2,4) F(5,7,2,16)- (2,0,1,38) F(0,5,1,26)-(5,5,2,40)	81.43	0.00	0.00
B2 F22	W0 B(4,6,1,4)-(5,6,2,6) F(5,0,1,6)-(7,3,2,15) F(4,1,1,4)-(2,2,1,20)	92.45	0.00	0.00
B2 F22	W0 B(6,7,2,2)-(0,1,1,42) F(7,4,1,10)- (6,0,1,37) F(7,7,2,26)-(4,4,2,41)	80.16	8.82	0.00
B2 F22	W0 B(3,7,2,12)-(4,7,1,17) F(4,2,2,5)- (4,0,2,7) F(2,7,2,24)-(3,1,2,36)	87.04	0.00	0.00
B22 F2	W0 B(4,0,1,15)-(1,3,2,24) B(2,0,2,1)- (0,5,1,10) F(7,5,1,4)-(6,6,2,15)	76.67	0.00	0.00
B22 F2	W4 B(4,3,2,5)-(6,4,2,12) B(4,3,2,12)- (0,3,2,15) F(6,7,1,21)-(2,6,1,48)	86.64	4.76	0.00

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบการไม่ใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้าโดยละเอียด

ลักษณะ ของแผนที่	ค่าความเหมาะสม				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
B2	0.7220	0.7298	0.7873	0.7514	0.7293
B5	0.3531	0.3605	0.3539	0.3536	0.3553
B22	0.3566	0.4076	0.3817	0.3265	0.3518
B42	0.4177	0.4154	0.4069	0.4152	0.4129
B6	0.4597	0.4668	0.4483	0.4600	0.5140
F3	0.7354	0.7454	0.7362	0.7357	0.7358
F5	0.8038	0.8057	0.8039	0.8038	0.8038
F22	0.8259	0.8212	0.8242	0.8263	0.8273
F32	0.7473	0.7483	0.7472	0.7514	0.7466
F33	0.6724	0.6760	0.6715	0.6762	0.6749

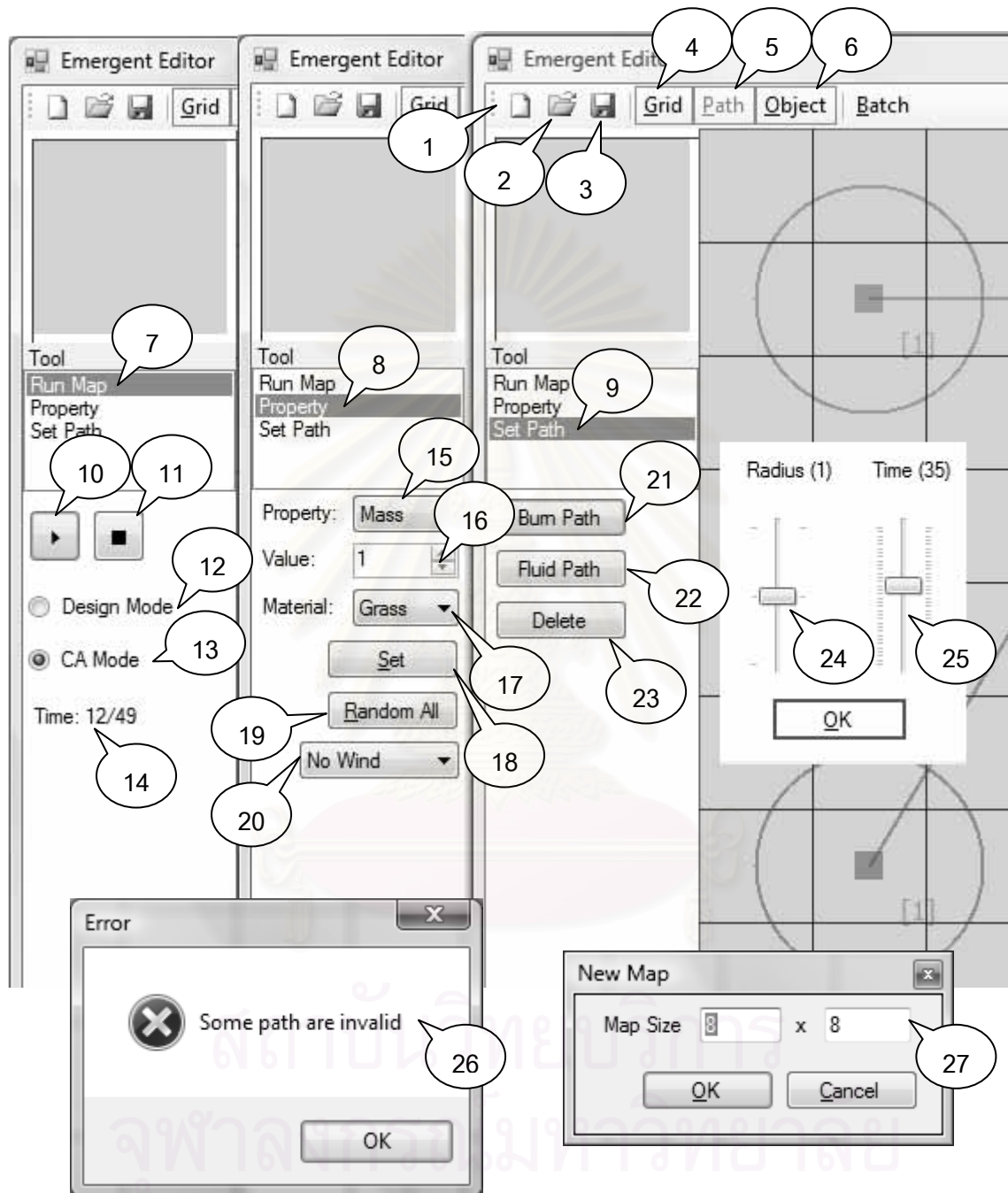
ตารางที่ 13 ผลการทดสอบการใช้ข้อมูลจากการทำงานก่อนหน้าโดยละเอียด

ลักษณะ ของแผนที่	จำนวนรอบ				
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5
B2	59	-	-	59	-
B5	93	29	29	-	59
B22	-	-	-	-	-
B42	-	-	-	-	-
B6	16	24	-	64	29
F3	-	-	-	-	-
F5	-	-	89	-	-
F22	25	27	29	32	28
F32	-	75	81	53	70
F33	47	71	86	57	92

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง วิธีการใช้งานเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่

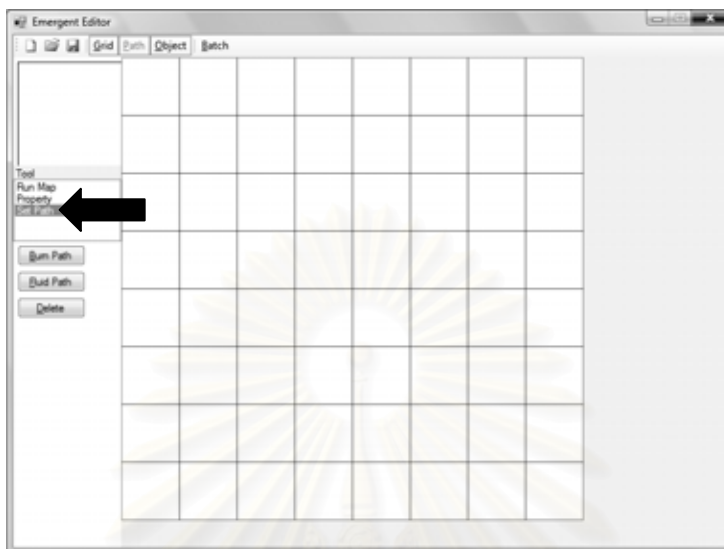
เครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่ที่ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังภาพที่ 29 และมีวิธีการใช้งานดังนี้



ภาพที่ 29 ส่วนต่างๆของเครื่องมือกำหนดสมบัติของพื้นที่

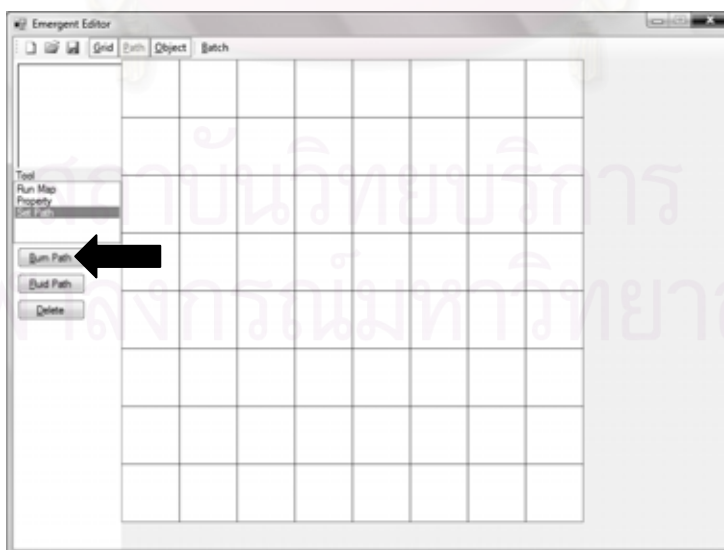


1. ผู้ใช้สามารถ สร้าง / ลบ / แก้ไข จุดควบคุมเส้นทาง ในส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง โดยเลือก หัวข้อ “Set Path” (9) ดังภาพที่ 30



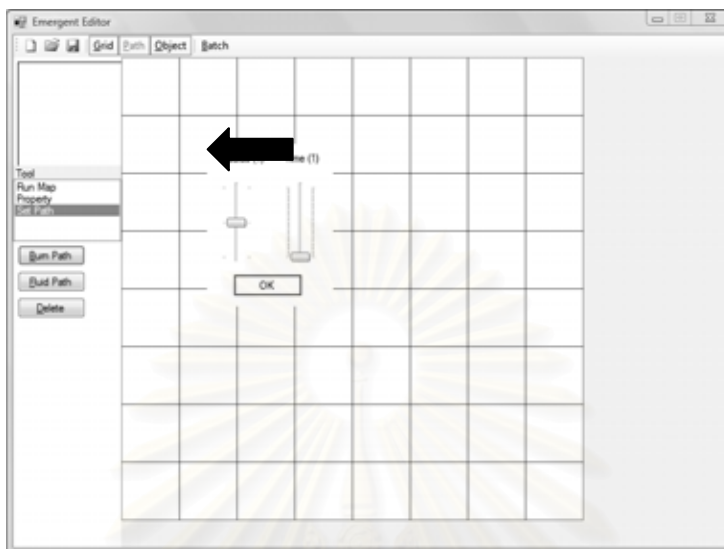
ภาพที่ 30 เลือกหัวข้อ “Set Path”

2. ผู้ใช้เลือกชนิดของเหตุการณ์ของเส้นทาง ที่จะสร้าง โดยการคลิกปุ่ม “Burn Path” (21) เพื่อเลือกสร้างเส้นทางความร้อนของไฟ ซึ่งจะแสดงเป็นเส้นสีแดง หรือ “Fluid Path” (22) เพื่อเลือกสร้างเส้นทางความร้อนของน้ำ ซึ่งจะแสดงเป็นเส้นสีฟ้า โดยในภาพที่ 31 จะแสดงการเลือกสร้างเส้นทางความร้อนของไฟ



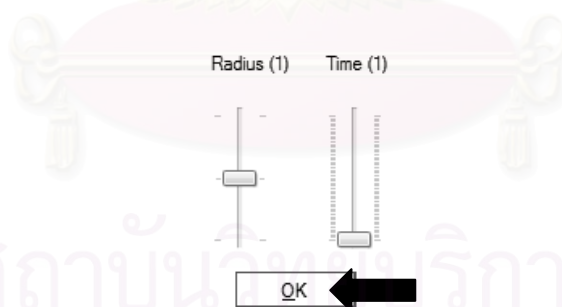
ภาพที่ 31 เลือกสร้างเส้นทางความร้อนของไฟ

3. ผู้ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดควบคุมเส้นทาง โดยการคลิกตำแหน่งที่ต้องการบนแผนที่ โดยในภาพที่ 32 จะแสดงการสร้างจุดควบคุมเส้นทางที่ตำแหน่ง (1,1)



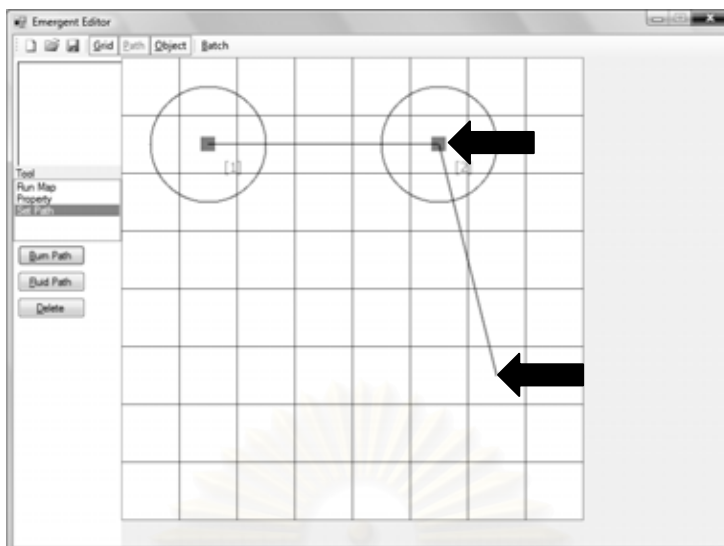
ภาพที่ 32 การสร้างจุดควบคุมเส้นทาง

4. ผู้ใช้กำหนดขนาดรัศมีของจุดควบคุมเส้นทาง (24) และเวลาที่จะเกิดเหตุการณ์ที่จุดนั้น (25) โดยการเลื่อนแถบกำหนดขนาดที่ขึ้นมาให้เลือก และกดปุ่ม "OK" โดยในภาพที่ 33 จะกำหนดขนาดรัศมีที่ 1 หน่วย และเวลาเป็น 1 หน่วย



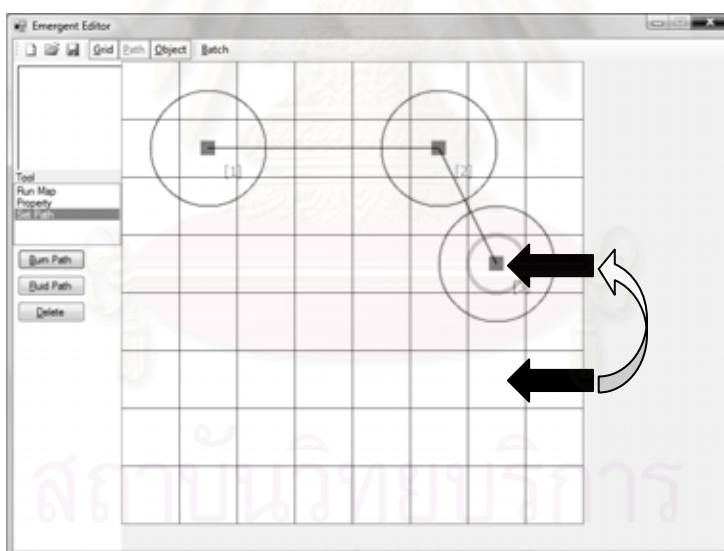
ภาพที่ 33 กำหนดขนาดรัศมี และเวลาของจุดควบคุมเส้นทาง

5. ผู้ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดควบคุมเส้นทางถัดไป โดยใช้วิธีเดียวกับข้อ 2 หรือปิดเส้นทาง โดยการคลิกขวา โดยในภาพที่ 34 หากคลิกจะเป็นการสร้าง จุดควบคุมเส้นทางที่ตำแหน่ง (6,5) แต่ถ้าคลิกขวาจะเป็นการปิดเส้นทาง ทำให้เป็นเส้นทางที่มีจุดควบคุม 2 จุด



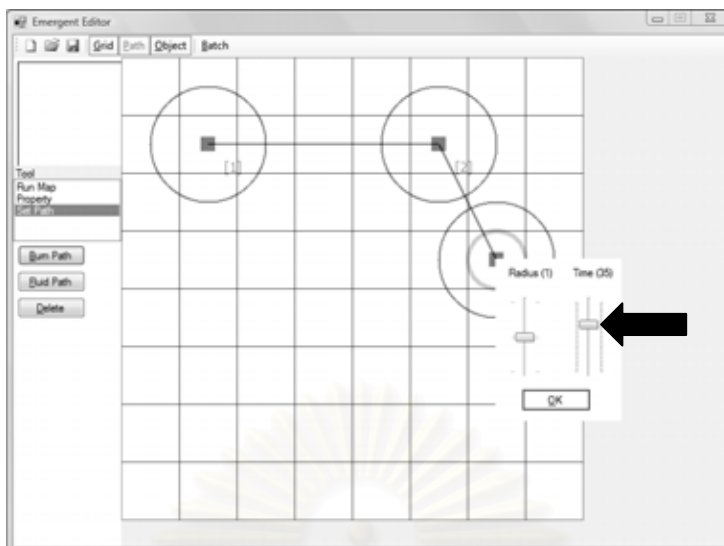
ภาพที่ 34 การสร้างจุดควบคุมเส้นทางเพิ่มเติม หรือปิดเส้นทาง

6. ผู้ใช้สามารถเลือกจุดควบคุมเส้นทางเพื่อ ย้ายตำแหน่ง โดยการลาก จุดควบคุม เส้นทางไปยัง ตำแหน่งใหม่ โดยในภาพที่ 35 จะย้ายจุดควบคุมที่ 3 ไปที่ตำแหน่ง (6,3)



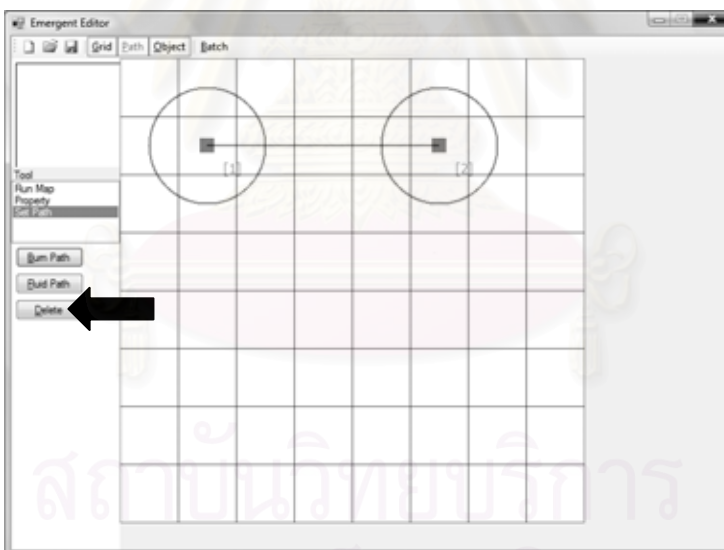
ภาพที่ 35 ย้ายตำแหน่งจุดควบคุมเส้นทาง

7. ผู้ใช้สามารถเลือกจุดควบคุมเส้นทางเพื่อแก้ไขขนาดรัศมี และเวลา โดยการคลิกขวาที่ จุดควบคุม เส้นทาง แล้วเลื่อนแถบกำหนดขนาด และเวลาที่ขึ้นมา และกดปุ่ม "OK" โดยในภาพที่ 36 จะแก้ไข เวลาที่เกิดเหตุการณ์ของจุดควบคุมที่ 3 เป็น 35 หน่วย



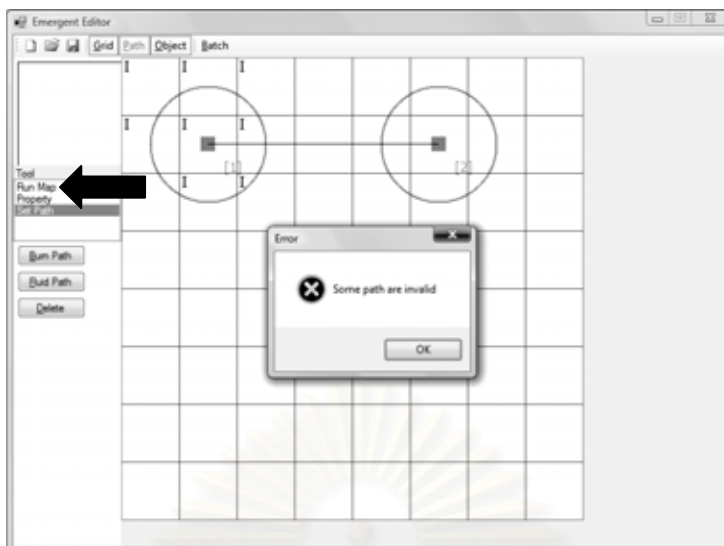
ภาพที่ 36 แก้ไขเวลาที่เกิดเหตุการณ์

8. ผู้ใช้สามารถลบจุดควบคุมเส้นทางได้ โดยการคลิกจุดควบคุมเส้นทาง แล้วคลิกปุ่ม “Delete” (23) โดยในภาพที่ 37 จะลบจุดควบคุมที่ 3



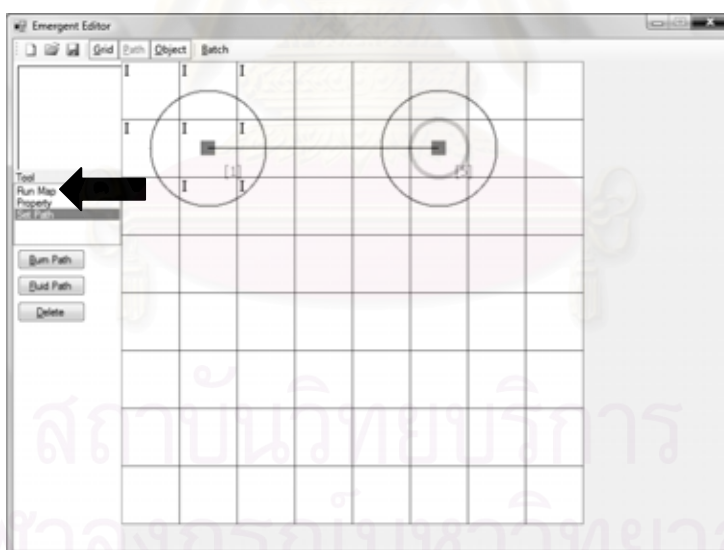
ภาพที่ 37 ลบจุดควบคุมเส้นทาง

9. เมื่อผู้ใช้ออกจากส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง ถ้าเส้นทางที่กำหนดเป็นไปไม่ได้ เครื่องมือจะเตือนว่า “Some path are invalid” (26) ดังภาพที่ 38 ให้กดปุ่ม “OK” และแก้ไขเส้นทางโดยใช้วิธีในข้อ 5 และ 6



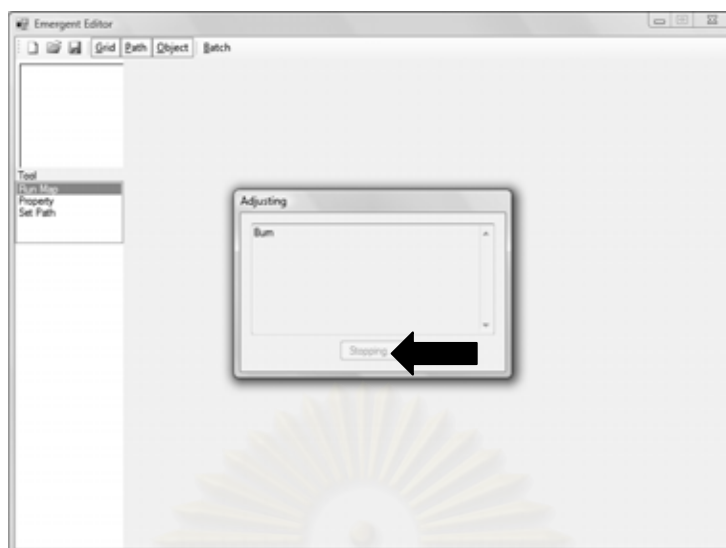
ภาพที่ 38 เส้นทางที่กำหนดเป็นไปไม่ได้

10. ผู้ใช้ออกจากส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง โดยเลือกหัวข้อ “Run Map” (7) เพื่อไปยัง ส่วนแสดงเหตุการณ์ หรือเลือกหัวข้อ “Property” (8) เพื่อไปยังส่วนแสดงสมบัติของแผนที่ โดยในภาพที่ 39 จะแสดงการเลือกหัวข้อ “Run Map”



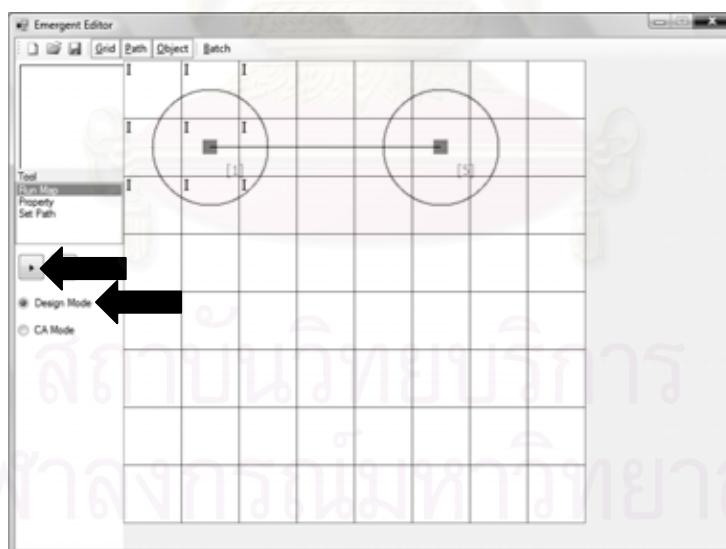
ภาพที่ 39 เลือกหัวข้อ “Run Map”

11. ส่วนกำหนดสมบัติของพื้นที่แบบอัตโนมัติจะกำหนดสมบัติของพื้นที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ เมื่อผู้ใช้ออกจากส่วนกำหนดจุดควบคุมเส้นทาง โดยจะทำงานจนกว่าจะครบจำนวนรอบที่กำหนด หรือจนกว่าผู้ใช้สั่งให้หยุด โดยการคลิกปุ่ม “Stop” และเมื่อผู้ใช้ดูข้อมูลการทำงานเสร็จแล้วให้กดปุ่ม “OK” โดยในภาพที่ 40 จะสั่งให้หยุดการทำงาน



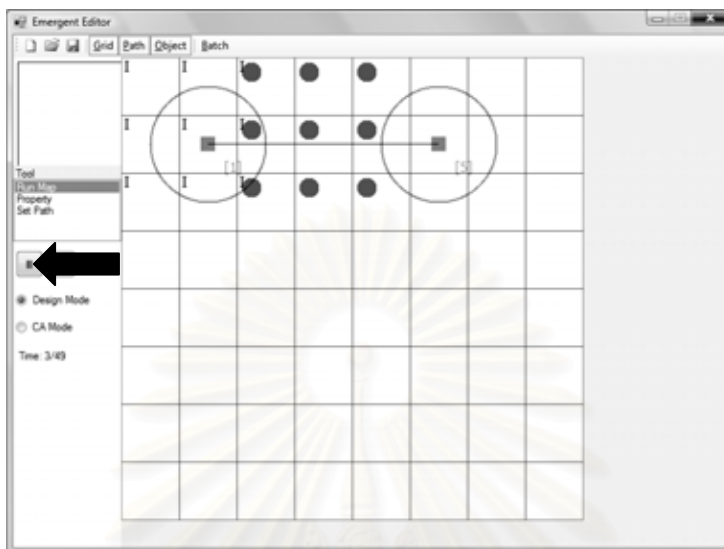
ภาพที่ 40 หยุดการทำงานของส่วนกำหนดสมบัติของพื้นที่

12. ในส่วนแสดงเหตุการณ์ผู้ใช้สามารถดูเหตุการณ์ที่ออกแบบตามจุดควบคุมเส้นทาง โดยการเลือก “Design Mode” (12) หรือดูเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงตามสมบัติของพื้นที่ในส่วนแสดงเหตุการณ์ โดยการเลือก “CA Mode” (13) จากนั้นคลิกปุ่ม “▶” (10) เพื่อแสดงเหตุการณ์ โดยในภาพที่ 41 จะแสดงการดูเหตุการณ์ที่ออกแบบ



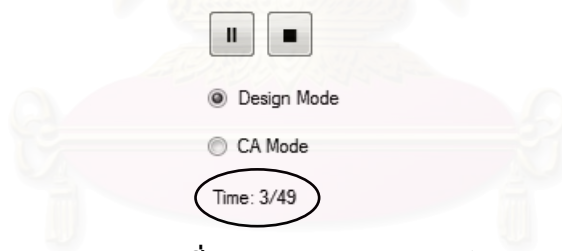
ภาพที่ 41 ดูเหตุการณ์ที่ออกแบบ

13. ในขณะที่แสดงเหตุการณ์อยู่ผู้ใช้สามารถคลิกปุ่ม “ || ” (10) (ปุ่มเดียวกับ “ ▶ ”) เพื่อหยุดเหตุการณ์ หรือคลิกปุ่ม “ ■ ” (11) เพื่อจบการแสดงผลเหตุการณ์ โดยในภาพที่ 42 จะหยุดเหตุการณ์



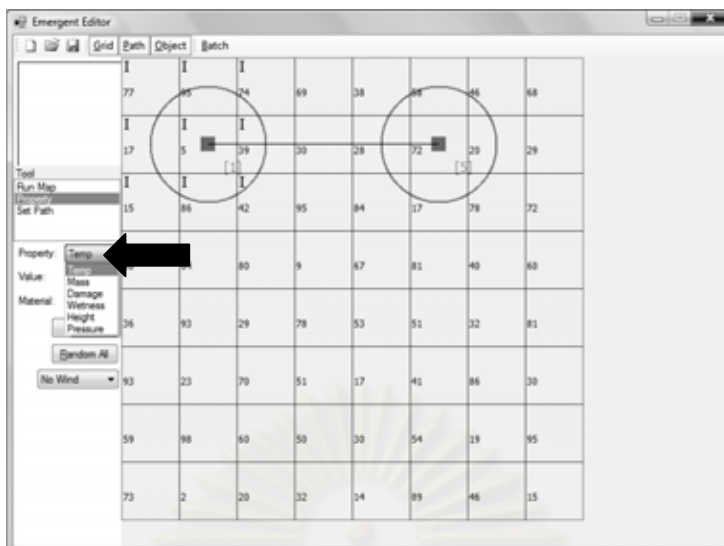
ภาพที่ 42 หยุดเหตุการณ์

14. เครื่องมือจะแสดงเวลาของเหตุการณ์ในส่วน “Time” (14) ดังภาพที่ 43



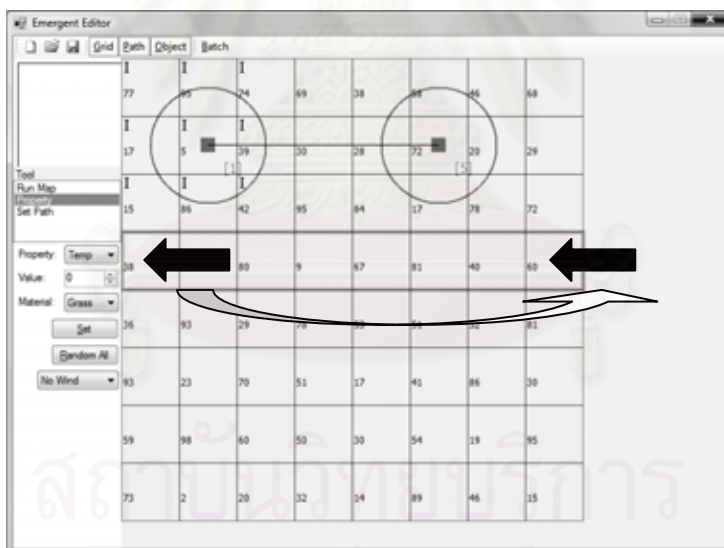
ภาพที่ 43 เวลาของเหตุการณ์

15. ในส่วนแสดงสมบัติของแผนที่ ผู้ใช้สามารถเลือกชนิดของสมบัติที่ต้องการให้แสดงข้อมูลโดยการเลือกตัวเลือกในส่วน “Property” (15) โดยในภาพที่ 44 จะแสดงคุณสมบัติของเซลล์ ซึ่งจะ แสดงเป็นตัวเลข และความเข้มของสีในแต่ละเซลล์



ภาพที่ 44 แสดงคุณสมบัติของเซลล์

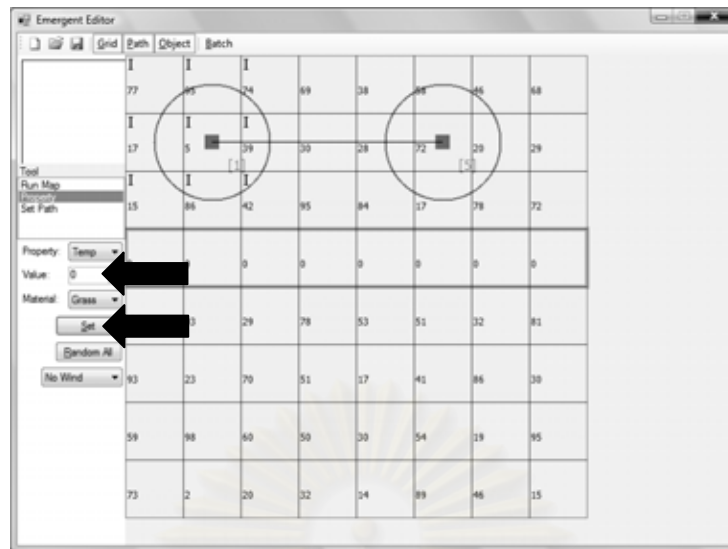
16. ผู้ใช้สามารถเลือกเซลล์ที่ต้องการแก้ไข โดยการลากเมาส์ผ่านไปบนเซลล์นั้น โดยในภาพที่ 45 จะเลือกเซลล์ (0,3) ถึง เซลล์ (7,3)



ภาพที่ 45 เลือกเซลล์ที่ต้องการแก้ไข

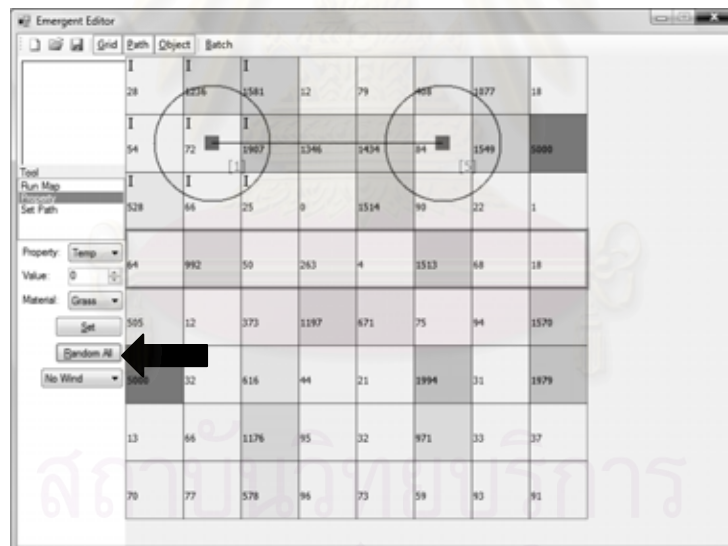
17. ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าของสมบัติที่เลือกอยู่ของเซลล์ที่เลือกอยู่ โดยการกำหนดค่าใหม่ที่ช่องในส่วน "Value" (16) หรือเลือกตัวเลือกในส่วน "Material" (17) ถ้าต้องการแก้ไขลักษณะของพื้นที่ของเซลล์ที่เลือกอยู่ จากนั้นคลิกปุ่ม "Set" (18) โดยในภาพที่ 46 จะแก้ไขค่าคุณสมบัติของเซลล์ (0,3) ถึง เซลล์ (7,3) เป็น 0





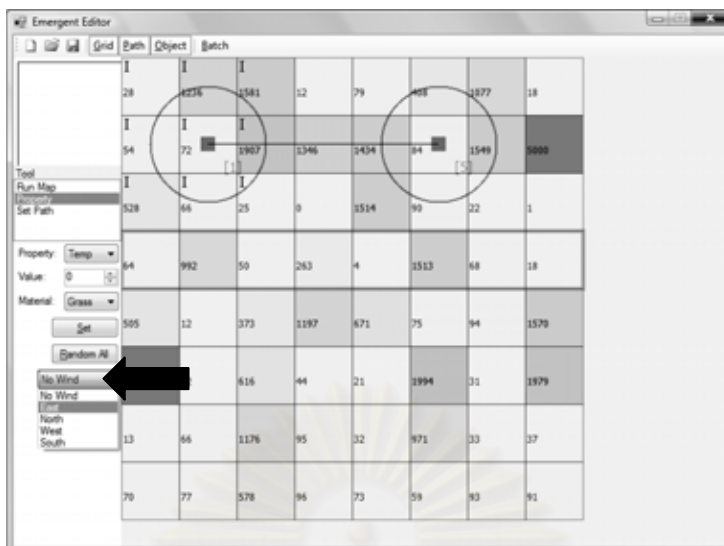
ภาพที่ 46 แก้ไขค่าของสมบัติ

18. ผู้ใช้สามารถสุ่มสมบัติของเซลล์ทั้งหมดบนแผนที่ โดยการคลิกปุ่ม “Random All” (19) ดังภาพที่ 47




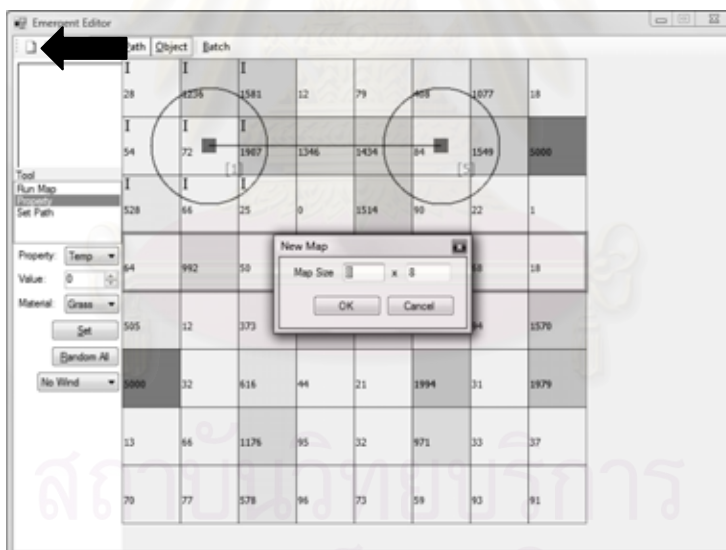
ภาพที่ 47 สุ่มสมบัติของเซลล์

19. ผู้ใช้สามารถเลือกทิศทางลมโดยเลือกตัวเลือก ได้ปุ่ม “Random All” (20) โดยในภาพที่ 48 จะเปลี่ยนทิศทางลมให้พัดไปทางตะวันออก






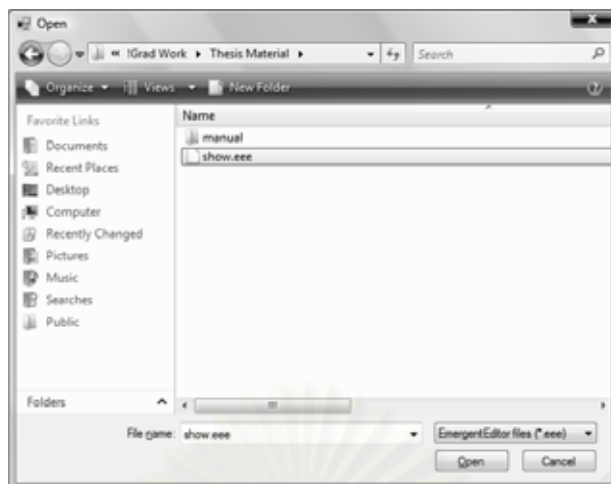
ภาพที่ 48 เลือกทิศทางลม

20. ผู้ใช้สามารถสร้างแผนที่ใหม่โดยคลิกปุ่ม “” (1) จากนั้น ใส่ขนาดของแผนที่ในส่วน “Map Size” (27) จากนั้นคลิกปุ่ม “OK” หรือคลิกปุ่ม “Cancel” ถ้าต้องการยกเลิก ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 สร้างแผนที่ใหม่

21. ผู้ใช้สามารถเปิดไฟล์แผนที่โดยคลิกปุ่ม “” (2) และบันทึกแผนที่โดยคลิกปุ่ม “” (3) โดยในภาพที่ 50 จะแสดงหน้าต่างการเปิดไฟล์หลังจากคลิกปุ่ม “”



ภาพที่ 50 หน้าต่างการเปิดไฟล์

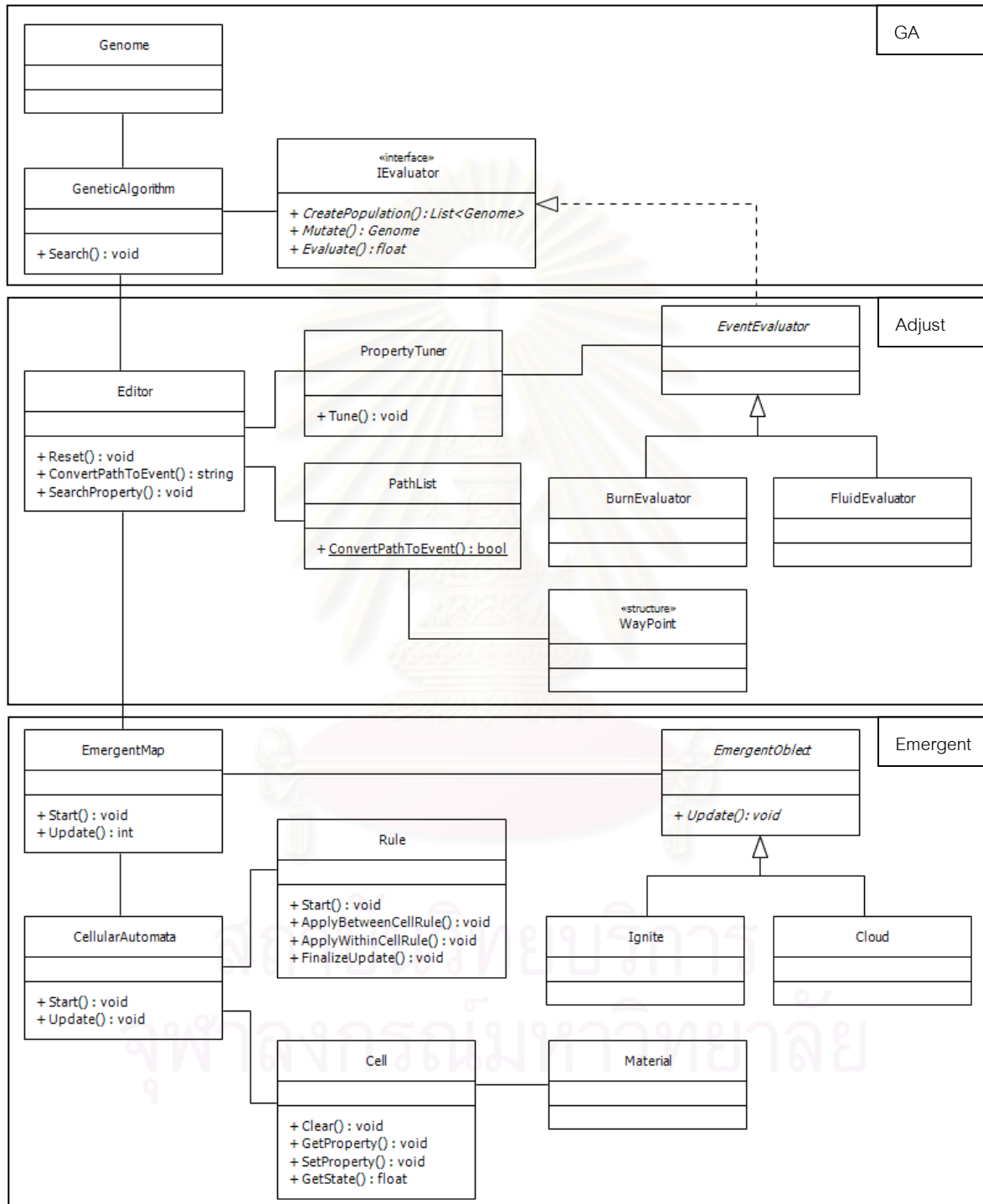
22. ผู้ใช้สามารถเปิด/ปิดการแสดงผล เส้นตาราง เส้นทางของเหตุการณ์ และจุดกำเนิดเหตุการณ์ โดยการคลิกปุ่ม “Grid” (4) “Path” (5) และ “Object” (6) ตามลำดับ โดยในภาพที่ 51 จะปิดการแสดงผลเส้นตาราง เส้นทาง และจุดกำเนิด



ภาพที่ 51 ปิดการแสดงผล เส้นตาราง เส้นทาง และจุดกำเนิด

## ภาคผนวก จ คลาสไดอะแกรม

คลาสไดอะแกรมของเครื่องมือแสดงได้ดังภาพที่ 52 โดยแต่ละคลาสมีหน้าที่ดังนี้



ภาพที่ 52 คลาสไดอะแกรม

### คลาสในส่วน GA

- คลาส Genome คือโครโมโซมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มีหน้าที่เก็บข้อมูล และค่าความเหมาะสมของโครโมโซม
- คลาส GeneticAlgorithm มีหน้าที่ปรับค่าใน Genome โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยใช้คลาสตามอินเตอร์เฟส IEvaluator ในการสร้างกลุ่มประชากร กระจายพันธุ์ และหาค่าความเหมาะสม ส่วนการไขว้เปลี่ยน และรวมค่าจะถูกกำหนดในคลาสนี้เลย
- อินเตอร์เฟส IEvaluator เป็นตัวกำหนดลักษณะของคลาสที่ GeneticAlgorithm จะเรียกใช้

### คลาสในส่วน Adjust

- คลาส EventEvaluator มีหน้าที่สร้างกลุ่มประชากร กระจายพันธุ์ และหาค่าความเหมาะสม ในส่วนที่เหมือนกันทั้งการลามของไฟ และการไหลของน้ำ โดยทำงานตามอินเตอร์เฟส IEvaluator
- คลาส BurnEvaluator มีหน้าที่สร้างกลุ่มประชากร กระจายพันธุ์ และหาค่าความเหมาะสม ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการลามของไฟ
- คลาส FluidEvaluator มีหน้าที่สร้างกลุ่มประชากร กระจายพันธุ์ และหาค่าความเหมาะสม ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำ
- คลาส PropertyTuner มีหน้าที่ปรับปรุงสมบัติของพื้นที่โดยใช้วิธีป็นเขาชันสุด
- คลาส Editor เป็นคลาสหลักของระบบมีหน้าที่รับการทำงานจากส่วนติดต่อผู้ใช้ และเรียกใช้คลาสต่างๆที่เกี่ยวข้อง และวัดผลการทำงาน
- คลาส PathList คือเส้นทางแต่ละเส้นทางที่ผู้ใช้สร้าง มีหน้าที่เก็บ WayPoint ที่เป็นเส้นทาง และแปลงเส้นทางของเหตุการณ์เป็นตารางเวลาของการเริ่ม และสิ้นสุดเหตุการณ์ในแต่ละเซลล์ของแผนที่
- สตริงเจอร์ WayPoint คือจุดกำหนดเส้นทาง มีหน้าที่เก็บข้อมูลของจุดกำหนดเส้นทาง

### คลาสในส่วน Emergent

- คลาส EmergentMap เป็นคลาสที่เป็นสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง มีหน้าที่ติดต่อกับคลาสอื่นนอกส่วน Emergent และกำหนดลักษณะของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองตามระบบอีเมอเจนต์
- คลาส CellularAutomata มีหน้าที่ปรับค่าในเซลล์ตามคลาส Cell โดยใช้กฎตามคลาส Rule โดยวิธีของเซลลูลาร์ ออโตมาตา

- คลาส Rule มีหน้าที่คำนวณการเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์ เพื่อให้ เซลล์ลูลาร์ ออกโตมาตา แสดงผลเป็นสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเองตามระบบบิโมเจนต์
- คลาส Cell คือเซลล์บนแผนที่ มีหน้าที่เก็บค่าสมบัติ และสถานะของเซลล์ไว้
- คลาส Material คือสมบัติของพื้นที่ มีหน้าที่เก็บค่าสมบัติของพื้นที่
- คลาส EmergentObject มีหน้าที่เสริมการทำงานของสภาพแวดล้อมแบบปรากฏขึ้นเอง โดยการปรับค่าใน Cell ที่ EmergentObject วางอยู่ตามที่กำหนด
- คลาส Ignite คือ EmergentObject ที่เป็นจุดกำเนิดไฟ
- คลาส Cloud คือ EmergentObject ที่เป็นจุดกำเนิดน้ำ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ นายฐณวัฒน์ คำคุณเศรษฐ์ เกิดเมื่อ พ .ศ. 2527 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ในสาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 โดยมีความสนใจในงานด้านการสร้างเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับสร้างโปรแกรม และส่วนประกอบอื่นๆของโปรแกรม ดังเช่นแผนที่เกม ในวิทยานิพนธ์นี้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย