

การปรับความยากง่ายของฉากอย่างอัตโนมัติในเกมประเภทแพลตฟอร์มจากประสิทธิภาพการเล่นของผู้เล่น:  
กรณีศึกษาซูเปอร์มาริโอ

นางสาวจริยา กำเหนิดนนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2550  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AUTOMATIC LEVEL DIFFICULTY ADJUSTMENT IN PLATFORM GAMES  
BASED ON PLAYER'S PERFORMANCE: SUPER MARIO CASE STUDY

Miss Chariya Kamnerdnond

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

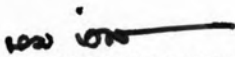
Copyright of Chulalongkorn University

500776


หัวข้อวิทยานิพนธ์      การปรับความยากง่ายของฉากอย่างอัตโนมัติในเกมประเภทแพลตฟอร์มจาก  
ประสิทธิภาพการเล่นของผู้เล่น: กรณีศึกษาซูเปอร์มาริโอ  
โดย                                    นางสาว จริยา กำเหนิดนนท์  
สาขาวิชา                            วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา                    อาจารย์ ดร. วิษณุ โคตรจรัส

---


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....  ..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปญฺสุม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. วิษณุ โคตรจรัส)

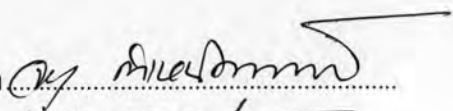
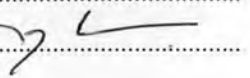
.....  ..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อติวงศ์ สุชาโต)

.....  ..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ไชติรัตน์ รัตนามัทธนะ)

จริยา กำเหนิดนันท : การปรับความยากง่ายของฉากอย่างอัตโนมัติในเกมประเภทแพลตฟอร์ม จากประสิทธิภาพการเล่นของผู้เล่น: กรณีศึกษาซูเปอร์มาริโอ (AUTOMATIC LEVEL DIFFICULTY ADJUSTMENT IN PLATFORM GAMES BASED ON PLAYER'S PERFORMANCE: SUPER MARIO CASE STUDY) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. วิษณุ โคตรจรัส, 113 หน้า.

งานวิจัยทางด้านเกมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่นั้นเป็นการปรับพฤติกรรมของตัวละคร ที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ตัวละครมีความท้าทายสมจริง หรือให้มีความยากง่ายเหมาะสมกับความสามารถของผู้เล่น แต่สำหรับเกมที่ศัตรูมีพฤติกรรมที่ไม่ซับซ้อนเช่นเกมประเภทแพลตฟอร์มซึ่งความท้าทายเกิดจากสภาพฉากเป็นหลักนั้น ยังไม่ปรากฏงานวิจัยใดที่เสนอวิธีการใช้ปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการสร้างฉากที่ฉากให้เหมาะสมกับผู้เล่นได้ คงมีในรูปแบบของวิธีการออกแบบเกมที่พิจารณาจากประสิทธิภาพการเล่นของผู้เล่นเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีใหม่ในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ซึ่งประยุกต์ใช้ตามการเรียนรู้แบบรีนฟอร์สมันท์ เพื่อปรับระดับความยากง่ายของเกมให้เหมาะสมกับประสิทธิภาพการเล่นของผู้เล่น ด้วยการสร้างฉากในเกมอย่างอัตโนมัติ โดยการรวบรวมทักษะของผู้เล่น สร้างความท้าทายเบื้องต้น และทำการคำนวณผลป้อนกลับของผู้เล่นเพื่อนำไปใช้ในการปรับสภาพฉาก วิธีการนี้ใช้ได้ผลกับเกมประเภทที่ปรับพฤติกรรมศัตรูได้ลำบากเช่นเกมประเภทแพลตฟอร์ม นอกจากนี้ยังเป็นการลดภาระของผู้ออกแบบฉากได้อย่างดีอีกด้วย และจากผลการทดลองสรุปได้ว่าเกมที่มีการปรับสภาพฉากโดยใช้แบบจำลองของระบบต้นแบบนั้นสามารถปรับเปลี่ยนและสร้างฉากให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้เล่นได้ในระดับดีพอใช้ (อัตราผลสำเร็จ 75%) ซึ่งผู้เล่นจะใช้ความสามารถในการเล่นเพิ่มขึ้นจากการสะสมทักษะในระดับที่พอดีกับความสามารถของผู้เล่นไปในแต่ละระดับเพื่อเป็นพื้นฐานให้ผู้เล่นเล่นผ่านฉากที่ยากขึ้นได้ดีขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

## 4870241221 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

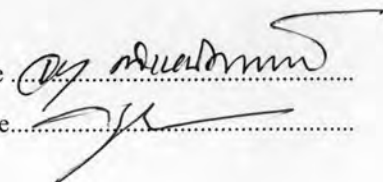
KEY WORD : LEVEL DIFFICULTY ADJUSTMENT / PLAYER'S PERFORMANCES /  
REINFORCEMENT LEARNING / PLATFORM GAMES

CHARIYA KAMNERDNOND : AUTOMATIC LEVEL DIFFICULTY ADJUSTMENT IN  
PLATFORM GAMES BASED ON PLAYER'S PERFORMANCE: SUPER MARIO CASE  
STUDY. THESIS ADVISOR : VISHNU KOTRAJARAS, 113 pp.

Most research in computer games focuses on finding ways to adjust computer - controlled characters such that they are realistically challenging or they give suitable challenge to players. For games that do not have complicated enemy behaviors, such as platform games, challenges come from the level's environments. There is currently no research that proposes an artificial intelligence method to adjust game levels to suit players. There exists only the game design method adjusted for player's performance. Therefore, this thesis proposes a new methodology for using artificial intelligence that utilizes Reinforcement learning to adjust games difficulty to suit players by automatically generating levels in games. The automatic level generation process performs skill collection, challenge generation and player's feedback data calculation to adjust level's environments. The methodology used in this thesis is effective on games where enemy behaviors are hard to change, such as platform games. The methodology also saves time for level designers. The experimental result shows that the proposed methodology can adjust game levels to suit player's skills, with a success rate of 75%. Players get to play levels suitable for their skills. They will in turn have opportunities to practice their skills and be more ready to tackle more difficult levels.

Department of Computer Engineering  
Field of study Computer Science  
Academic year 2007

Student's signature.....  
Advisor's signature.....



## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยซึ่งได้รับทุนวิจัยจากโครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ (วท.) ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความเมตตา สั่งสอนวิชาความรู้อันก่อเกิดคุณประโยชน์ ตลอดจนการแนะนำระบบการคิดและจินตนาการ ที่เสมือนเป็นแรงผลักดันทางความคิดให้บรรเจิด ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นที่เคารพรักในใจข้าพเจ้า เป็นผู้ให้ทุกๆ สิ่งแก่ข้าพเจ้าด้วยความรักเสมอมา ขอขอบคุณน้องสาวทั้งสองของข้าพเจ้าที่สามารถมีเรื่องคุยและปรึกษากันได้ทุกเรื่อง ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในแลบเกมทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมในการทดลองเล่นเกมทุกท่าน

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. วิษณุ โคตรจรัส ที่กรุณาให้คำแนะนำและเอาใจใส่ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
วิธีดำเนินการวิจัย .....	4
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทัศนั้วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1.1. โครงสร้างของเกม และการออกแบบ .....	6
2.1.1.1. ส่วนประกอบของเกม .....	6
2.1.1.2. การปรับส่วนประกอบต่างๆในขณะที่เล่นเกม .....	8
2.1.1.3. รูปแบบของการปรับความสามารถ และความท้าทาย .....	11
2.1.2. การเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ในเกม .....	11
2.1.3. การเรียนรู้แบบรีนฟอर्सเมนต์ (Reinforcement Learning) .....	12
2.2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	16
2.2.1. เทคนิคการออกแบบเกมให้เหมาะสมกับผู้เล่นแต่ละคน .....	16
2.2.2. เทคนิคการปรับตัวแบบไดนามิกสคริปต์ (Dynamic Scripting) .....	17
2.2.3. เทคนิคของระบบแบบไม่ตายตัว (Emergent System) .....	18

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
แนวคิดแบบจำลองในการสร้างฉาก .....	20
3.1. ส่วนการรวบรวมทักษะของผู้เล่น และสร้างความท้าทายเบื้องต้น (Skill Collection and Challenge Generation).....	21
3.1.1. การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ร่วมกันเพื่อปรับความสมดุล .....	21
3.1.2. การกำหนดรูปแบบแบบข้อมูลที่ใช้ร่วมกันเพื่อปรับความสมดุล .....	23
3.1.3. การคำนวณค่าความเชี่ยวชาญระดับมูลฐาน (Initial Expertise Level) .....	29
3.2. การสร้างสภาพฉากจากความท้าทาย (Level Generation from Challenge) .....	32
3.2.1. คุณสมบัติพื้นฐานของรูปแบบ โครงร่างของฉาก .....	32
3.2.2. การสร้างฉาก.....	32
3.2.3. แผนที่ของฉาก.....	32
3.3. การคำนวณผลป้อนกลับ (Feedback Data Calculation) .....	33
3.3.1. การเทียบเคียงกับรูปแบบของจุดตรวจสอบสำหรับวิถีของฉากและทักษะของผู้เล่น.....	33
3.3.2. การคำนวณค่าต่างๆที่ได้จากผลการกระทำของผู้เล่น (Feedback Data).....	33
3.4. การปรับตัวของสภาพฉากให้เหมาะสมต่อความสามารถของผู้เล่น (Level Difficulty Adjustment Based on Player's Performances) .....	37
3.4.1. ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเพิ่มหรือลดน้ำหนักของทักษะที่เกมท้าทายผู้เล่น.....	37
3.4.2. วิธีการปรับเพิ่ม และลดน้ำหนักของค่าความน่าจะเป็นในการเกิดความท้าทาย.....	38
3.4.3. การคำนวณค่าความเชี่ยวชาญระดับมูลฐานรายบุคคล (Individual Expertise Level).....	43
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	44
ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง.....	44
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	64
สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย .....	64
ข้อเสนอแนะ .....	65
รายการอ้างอิง.....	67



	หน้า
ภาคผนวก .....	69
ภาคผนวก ก การสร้างระบบต้นแบบสำหรับสร้างฉากตามความสามารถของผู้เล่น .....	70
ส่วนการรวบรวมทักษะของผู้เล่น และสร้างความท้าทายเบื้องต้น.....	70
การสร้างสภาพฉากจากความท้าทาย.....	77
การคำนวณผลป้อนกลับ และการปรับตัวของสภาพฉากให้เหมาะสมต่อความสามารถของผู้เล่น .....	79
ภาคผนวก ข หน้าจอของเกมที่ใช้ทดสอบ .....	83
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	86
อัตราการเล่นผ่านความท้าทายที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของค่าความยากของผู้เล่นกลุ่ม 2a .....	86
ลักษณะข้อมูลที่จัดเก็บเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการเล่นเกม.....	99
ภาคผนวก ง ผลการทดลองเล่นเกมเบื้องต้น .....	100
การใช้จำนวนตัวผู้เล่นเล่นผ่านฉากแต่ละฉากของผู้เล่นแต่ละคน .....	100
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์ .....	105
การปรับระดับความยากของฉากในเกมอย่างอัตโนมัติตามความสามารถของผู้เล่น .....	106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	113

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของการกระทำ ที่มีผลต่อเป้าหมาย .....	25
ตารางที่ 2 แสดงค่าความยากของลักษณะประจำจากคุณสมบัติต่างๆของผู้เล่น ศัตรู และแผนที่ ที่ทางผู้วิจัย ได้กำหนดขึ้นสำหรับเกมซูเปอร์มาริโอ .....	28
ตารางที่ 3 ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้เล่นจะควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครผู้เล่น ได้ถูกต้อง.....	34
ตารางที่ 4 ผลสรุปที่ได้จากแบบสอบถามสำหรับผู้เล่นเกมที่มีทักษะในการเล่นเกมนำไป (กลุ่ม 2a).....	50
ตารางที่ 5 ผลสรุปที่ได้จากแบบสอบถามสำหรับผู้เล่นเกมที่มีทักษะในการเล่นเกมนำไปกลาง และมีทักษะในการเล่นเกมนำไปสูง (กลุ่ม 2b).....	59
ตารางที่ 6 ตัวอย่างของผลการสุ่มสร้างเซตของความท้าทายบางส่วนสำหรับฉากระดับที่ 1 และ 2 ของกลุ่มทักษะที่ 1 (EE) หลบหลีกการโจมตีจากศัตรู .....	72
ตารางที่ 7 แสดงช่วงคะแนนความยากของการกระทำและเป้าหมาย .....	73
ตารางที่ 8 แสดงช่วงคะแนนความยากของการกระทำและเป้าหมาย .....	73
ตารางที่ 9 ผลการตอบคำถามจากแบบสอบถามของผู้เล่นแต่ละคน .....	95

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของเกมในแบบต่างๆ (ที่มา Game Design Workshop: Designing, Prototyping, and Playtesting Games [3]) .....	9
รูปที่ 2 แสดงปฏิกริยาโต้ตอบระหว่างเอเจนต์กับสภาพแวดล้อม (ที่มา Reinforcement Learning (An Introduction) [17]) .....	12
รูปที่ 3 แสดงการปรับค่า $Q$ จากสถานะ $s_1$ ไปเป็นสถานะถัดไป $s_2$ จากการกระทำ $a_{right}$ .....	15
รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเกมที่ปรับสถานะแวดล้อมของฉากให้เหมาะสมกับทักษะของผู้เล่น .....	20
รูปที่ 5 ตัวละครผู้เล่นในลักษณะต่างๆ (ที่มา Sprites Section, SMBHQ.com [22]) .....	21
รูปที่ 6 ศัตรูชนิดต่างๆ (ที่มา Sprites Section, SMBHQ.com [22]) .....	22
รูปที่ 7 แสดงวัตถุที่รวมกันได้เป็นแผนที่ (ที่มา Sprites Section, SMBHQ.com [22]) .....	22
รูปที่ 8 แสดงกราฟของการกระทำที่เป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง .....	24
รูปที่ 9 แสดงทิศทางของการกระโดด (1) กระโดดตามแนวโค้ง (2) กระโดดตามแนวเส้นโค้ง และ (3) กระโดดขึ้นไปด้านบน .....	25
รูปที่ 10 ตัวอย่างเซตของความท้าทายและลักษณะการเก็บข้อมูลแผนที่ของฉาก .....	26
รูปที่ 11 ลักษณะของฉากที่เป็นไปได้จากทักษะที่กำหนด .....	30
รูปที่ 12 แสดงเส้นทางของการวิ่งกระโดดอย่างแม่นยำ .....	32
รูปที่ 13 แสดงแผนที่ของความท้าทายของฉากที่ผู้เล่นต้องใช้ทักษะวิ่งกระโดดอย่างแม่นยำ .....	33
รูปที่ 14 แสดงแผนภาพผู้ปรับปรุงป่าไม้ (Mori Diagram; Probability View) .....	34
รูปที่ 15 แสดงค่าความพยายาม (Mori Diagram; Effort Level Ranking View) .....	35
รูปที่ 16 แสดงค่าความพยายามสัมพัทธ์ (Mori Diagram; Relative Effort Ranking View) .....	36
รูปที่ 17 ตัวอย่างการให้ความสำคัญในการเกิดความท้าทายในฉากถัดไป .....	40
รูปที่ 18 ตัวอย่างการ โหวตคะแนนให้กับความท้าทายที่มีค่าความยากน้อยกว่า ( $CL = 1$ และ $VF = 1$ ) .....	41
รูปที่ 19 ภาพตัดต่อจากหน้าจอของเกมที่ใช้ทดสอบ .....	45
รูปที่ 20 แผนภูมิแท่งของค่าเฉลี่ยของการใช้จำนวนตัวผู้เล่นเล่นผ่านฉากของผู้เล่นแต่ละคน .....	46
รูปที่ 21 แผนภูมิแท่งของค่าเฉลี่ยของค่าความยากรวมของฉากสำหรับผู้เล่นแต่ละคน .....	46
รูปที่ 22 กราฟทางซ้ายมือแสดงจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้ไปในแต่ละฉาก และกราฟทางส่วนขวามือ แสดงค่าความยากรวมของฉากแต่ละฉากสำหรับผู้เล่นลำดับที่ 1 2 5 6 7 8 และ 10 .....	48
รูปที่ 23 ตารางแสดงจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้เพื่อเล่นผ่านความท้าทายที่เกิดขึ้นในแต่ละฉากแยกตามประเภท สำหรับผู้เล่นลำดับที่ 1 2 5 6 7 8 9 และ 10 ในเกมที่มีการปรับสภาพฉาก .....	49

รูปที่ 24	กราฟทางซ้ายมือแสดงจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้ไปในแต่ละฉากและกราฟทางส่วนขวามือแสดงค่าความยากรวมของฉากแต่ละฉากสำหรับผู้เล่นลำดับที่ 9.....	51
รูปที่ 25	แผนภูมิแท่งแสดงอัตราการเล่นผ่านความท้าทายและสัดส่วนของการเกิดความท้าทายที่มีระดับความยากน้อยถึงปานกลางของผู้เล่นแต่ละคน.....	52
รูปที่ 26	ตารางแสดงความท้าทายที่เกิดขึ้น และจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้เพื่อเล่นผ่านความท้าทายที่เกิดขึ้นในแต่ละฉากแยกตามประเภทสำหรับผู้เล่นลำดับที่ 9 ในเกมที่มีการปรับสภาพฉาก.....	53
รูปที่ 27	ตัวอย่างของการปรับสภาพฉากในเกมจากฉากระดับที่ 4 ไปสู่ฉากระดับที่ 5 .....	54
รูปที่ 28	ค่าผลป้อนกลับต่างๆที่ใช้ในการปรับสภาพฉากในระดับที่ 5 ของความท้าทายในกลุ่มลำดับที่ 1 และเซตของความท้าทายที่สุ่มสร้างมาได้ของผู้เล่นลำดับที่ 9.....	54
รูปที่ 29	ภาพด้านบนแสดงแผนภูมิแท่งของค่าเฉลี่ยของการใช้จำนวนตัวผู้เล่นเล่นผ่านฉากของผู้เล่นแต่ละคน และภาพด้านล่างแสดงแผนภูมิแท่งของค่าเฉลี่ยของค่าความยากรวมของฉากสำหรับผู้เล่นแต่ละคน .....	55
รูปที่ 30	กราฟของค่าความยากรวมของฉากแต่ละฉากสำหรับผู้เล่นลำดับที่ 3 4 11 และ 12 .....	56
รูปที่ 31	กราฟของจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้ไปในแต่ละฉากสำหรับผู้เล่นลำดับที่ 3 4 11 และ 12.....	57
รูปที่ 32	ตารางแสดงจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้เพื่อเล่นผ่านความท้าทายที่เกิดขึ้นในแต่ละฉากแยกตามประเภทสำหรับผู้เล่นลำดับที่ 3 4 11 และ 12 ในเกมที่มีการปรับสภาพฉาก .....	58
รูปที่ 33	ตารางแสดงความท้าทายที่เกิดขึ้น และจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้เพื่อเล่นผ่านความท้าทายที่เกิดขึ้นในแต่ละฉากแยกตามประเภทสำหรับผู้เล่นลำดับที่ 3 ในเกมที่มีการปรับสภาพฉาก.....	61
รูปที่ 34	ค่าผลป้อนกลับต่างๆที่ใช้ในการปรับสภาพฉากในระดับที่ 18 ของความท้าทายในกลุ่มลำดับที่ 2 และเซตของความท้าทายที่สุ่มสร้างมาได้ของผู้เล่นลำดับที่ 3 .....	61
รูปที่ 35	ค่าความยากรวมเฉลี่ยของฉากแต่ละฉากสำหรับผู้เล่นในอุดมคติ .....	63
รูปที่ 36	ค่าความยากรวมของฉากแต่ละฉากของผู้เล่นในอุดมคติ.....	63
รูปที่ 37	จำนวนคุณสมบัติแบบพลวัตของทักษะของผู้เล่น .....	71
รูปที่ 38	ค่าความยากของศัตรูชนิดต่างๆ เรียงลำดับตามค่าความยาก.....	71
รูปที่ 39	จำนวนคุณสมบัติแบบพลวัตของแผนที่ .....	71
รูปที่ 40	ข้อมูลแสดงการจัดหมู่ของการกระทำต่างๆ และค่าความยากสูงสุดและต่ำสุด .....	74
รูปที่ 41	ค่าความยากสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละทักษะ .....	75
รูปที่ 42	ช่วงของค่าความยากที่เป็นไปได้ของแต่ละทักษะเมื่อทักษะแรกมีค่าความยากเท่ากับ 8 หน่วย ..	75

รูปที่ 43 ช่วงของค่าความยากที่เป็นไปได้ของแต่ละทักษะเมื่อทักษะแรกและทักษะที่สอง มีค่าความยากเท่ากับ 8 หน่วยและ 9 หน่วยตามลำดับ.....	76
รูปที่ 44 ช่วงของค่าความยากและผลการสุ่มเลือกค่าความยากทักษะกระโดด.....	76
รูปที่ 45 ข้อมูลแสดงค่าความยากของการกระทำและเป้าหมายต่างๆ สำหรับความท้าทายลำดับที่ 19.....	77
รูปที่ 46 แผนภาพคลาสแสดงคลาสต่างๆที่ใช้สำหรับสร้างเซตของความท้าทาย.....	77
รูปที่ 47 ลักษณะเฉพาะของฉากสำหรับแผนที่หมายเลข $M_1$ .....	78
รูปที่ 48 ลำดับของสภาพฉากที่ถูกสร้างขึ้นจากความท้าทาย.....	78
รูปที่ 49 แผนภาพคลาสแสดงคลาสต่างๆที่ใช้สำหรับสร้างสภาพฉาก.....	78
รูปที่ 50 ข้อมูลแสดงผลป้อนกลับต่างๆที่ได้จากฉากระดับที่ 5 และค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อปรับสภาพฉากในระดับที่ 6.....	79
รูปที่ 51 ข้อมูลแสดงความท้าทายที่เกิดขึ้นในฉากระดับที่ 6.....	79
รูปที่ 52 ข้อมูลแสดงผลป้อนกลับต่างๆที่ได้จากฉากระดับที่ 6 และค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อปรับสภาพฉากในระดับที่ 7.....	80
รูปที่ 53 ข้อมูลแสดงความท้าทายที่เกิดขึ้นในฉากระดับที่ 7.....	81
รูปที่ 54 ข้อมูลแสดงผลป้อนกลับต่างๆที่ได้จากฉากระดับที่ 7 และค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อปรับสภาพฉากในระดับที่ 8.....	82
รูปที่ 55 ฉากที่หนึ่งมีลักษณะเฉพาะของฉากเป็นฉากพื้นดิน.....	83
รูปที่ 56 ฉากที่สองมีลักษณะเฉพาะของฉากเป็นฉากต้นไม้.....	83
รูปที่ 57 ฉากที่สามมีลักษณะเฉพาะของฉากเป็นฉากใต้ดิน.....	84
รูปที่ 58 ฉากที่สี่มีลักษณะเฉพาะของฉากเป็นฉากหิมะ.....	84
รูปที่ 59 ฉากที่ห้ามีลักษณะเฉพาะของฉากเป็นฉากท้องฟ้า.....	85
รูปที่ 60 ฉากที่หกมีลักษณะเฉพาะของฉากเป็นฉากปราสาท.....	85
รูปที่ 61 กราฟของการอัตราการเล่นผ่านความท้าทายที่เกิดขึ้นแยกตามช่วงของค่าความยาก และอัตราส่วนการเกิดความท้าทายแต่ละช่วงของค่าความยากสำหรับผู้เล่นแต่ละคน.....	86
รูปที่ 62 ตารางแสดงความท้าทายที่เกิดขึ้น และจำนวนตัวผู้เล่นที่ใช้เพื่อเล่นผ่านความท้าทายที่เกิดขึ้น ในแต่ละฉากแยกตามประเภทในเกมที่มีการปรับสภาพฉากของผู้เล่น.....	94
รูปที่ 63 แบบสอบถามสำหรับให้ผู้เล่นตอบคำถามเพื่อเปรียบเทียบผลการเล่น.....	98
รูปที่ 64 ข้อมูลแสดงเซตของความท้าทายทั้งหมด และข้อมูลความท้าทายที่เกิดขึ้นในฉากระดับที่เจ็ด.....	99

## หน้า

รูปที่ 65	แผนภูมิแท่งของค่าเฉลี่ยของการใช้จำนวนตัวผู้เล่นเล่นผ่านฉากของผู้เล่นแต่ละคน .....	100
รูปที่ 66	กราฟของการใช้จำนวนตัวผู้เล่นเล่นผ่านฉากแต่ละฉากโดยเฉลี่ย.....	100
รูปที่ 67	กราฟของการใช้ตัวผู้เล่นในแต่ละฉาก และตารางแสดงค่าความยากรวมในแต่ละฉาก .....	103
รูปที่ 68	แผนภูมิแท่งของค่าเฉลี่ยของการใช้จำนวนตัวผู้เล่นเล่นผ่านฉากจำนวน 20 ฉาก.....	104
รูปที่ 69	กราฟของการใช้ตัวผู้เล่นในแต่ละฉากเพื่อผ่านฉากจำนวน 20 ฉาก.....	104

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบายความหมาย
$h_{dif}$	ค่าความยากของความท้าทาย
$\Delta h_{dif}$	ค่าความเชี่ยวชาญระดับมูลฐานเบื้องต้น (Initial Expertise Level)
$\underline{\Delta} h_{dif}$	ค่าความเชี่ยวชาญระดับมูลฐานรายบุคคล (Individual Expertise Level)
$PT$	จำนวนครั้งในการเล่น (Play Time)
$ST$	จำนวนครั้งในการเล่นผ่าน (Success Time)
$RL$	ระดับความสามารถ (Rank Level)
$PR$	ลำดับความสามารถในการเล่นสูงสุด (Play Rank)
$CR$	ระดับความท้าทายที่น่าจะสามารถเล่นได้ (Challenge Rank)
$Sp$	ความน่าจะเป็นในการใช้ทักษะเล่นผ่าน (Skill Probability)
$Sp^i(c)$	ความน่าจะเป็นเริ่มต้นในการใช้ทักษะเล่นผ่านความท้าทาย $c$ ในฉากระดับที่ $i$
$Cp'(c)$	ความน่าจะเป็นในการเกิดความท้าทาย $c$ ในฉากถัดไป (Challenge Probability)
$CR(\tilde{c})$	ระดับความท้าทายที่น่าจะสามารถเล่นได้สำหรับความท้าทาย $\tilde{c}$ (ความท้าทายหนึ่งที่ไม่ใช่ความท้าทาย $c$ )
$h_{dif}(c)$	ค่าความยากของความท้าทาย $c$
$h_{dif}(\tilde{c})$	ค่าความยากของความท้าทาย $\tilde{c}$ (ความท้าทายหนึ่งที่ไม่ใช่ $c$ )
$CR^+(\tilde{c})$	ระดับความท้าทายที่น่าจะสามารถเล่นได้ของ $\tilde{c}$ มีค่าเป็นจำนวนเต็มบวก
$CR^-(\tilde{c})$	ระดับความท้าทายที่น่าจะสามารถเล่นได้ของ $\tilde{c}$ มีค่าเป็นจำนวนเต็มลบ
$Cv'(c)$	คะแนนของโหวตของความท้าทาย $c$ ที่จะเกิดขึ้นในฉากถัดไป (Challenge Vote)
$Tv'$	คะแนนรวมของความท้าทาย ที่จะเกิดขึ้นในฉากถัดไป (Total Vote)
$CL$	ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Coefficient of Learning)
$VF$	ค่าโหวตแฟกเตอร์ (Vote Factor)
$W$	ค่าน้ำหนักในการเกิดความท้าทายที่น่าจะสามารถได้ในฉากถัดไป (Weight)
$W_{CR}$	ค่าน้ำหนักของระดับความท้าทายที่น่าจะสามารถเล่นได้ (Weight of Challenge Rank)
$W_{Cv}$	ค่าน้ำหนักของอัตราการโหวตคะแนน (Weight of Challenge Vote)