

การสร้างสนามแข่งที่สนุกและมีความยากต่าง ๆ ในเกมประเภทแข่งรถ



นางสาวดวงตะวัน สุรฤกษ์

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GENERATING FUN TRACKS WITH VARYING DIFFICULTIES IN RACING GAME

Miss Duangtawan Surarerks



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 2015
Copyright of Chulalongkorn University

ดวงตะวัน สุรฤกษ์ : การสร้างสนามแข่งที่สนุกและมีความยากต่าง ๆ ในเกมประเภทแข่งรถ (GENERATING FUN TRACKS WITH VARYING DIFFICULTIES IN RACING GAME) อ.ที่
 ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วิษณุ โคตรจรัส, 123 หน้า.

สนามแข่งรถเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสนุกและความยากของเกมแข่งรถ สนามแข่งที่ไม่มีความสนุก จะทำให้ผู้เล่นรู้สึกเบื่อและเลิกเล่นเกมได้ นอกจากความสนุกแล้ว ความยากที่แตกต่างของสนามแข่งก็เป็นสิ่งสำคัญต่อการกำหนดจุดสนามแข่งในเกมส์ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการสร้างสนามแข่งให้มีความสนุกตามระดับความยากที่ต้องการ โดยหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่งกับความสนุกและความยากของสนามแข่งสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะและผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ ด้วยการหาสมการถดถอยเชิงเส้น จากนั้นนำสมการถดถอยเชิงเส้นทั้งของความยากและความสนุกไปเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์สร้างสนามแข่งรถที่ทำให้ผู้เล่นเกิดความสนุกในระดับความยากที่กำหนดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ผลการทดลองพบว่า ค่าความยากและความสนุกจากสมการมีค่าสอดคล้องกับค่าที่ได้จากผู้เล่นส่วนใหญ่ ในส่วนการวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นทั้งสองทักษะนั้นไม่สามารถวิวัฒนาการให้เข้าใกล้ค่าความยากที่ต้องการได้ การวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะนั้นไม่สามารถสรุปได้ว่าสนามแข่งตามความยากที่ต้องการมีความสนุกขึ้นจากประชากรรุ่นแรก ส่วนการวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะนั้น ไม่สามารถสรุปได้ว่าสนามแข่งที่มีความยากที่ต้องการนั้นมีความสนุกเพิ่มขึ้นจากประชากรรุ่นแรก แต่พบว่า มีสนามแข่งที่มีค่าความยากต่างออกไปบ้างแต่มีความสนุกเพิ่มขึ้น ซึ่งหากค่าความยากไม่ต่างกับที่ผู้ใช้งานต้องการมาก ก็สามารถใช้งานสนามแข่งดังกล่าวได้ ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ จึงสามารถนำไปใช้ในการสร้างสนามแข่งที่มีความยากสูงสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะได้

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5570486721 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS: FUN / RACING GAMES / RACING TRACKS / DIFFICULTY LEVEL / LEVEL GENERATION / LINEAR REGRESSTION

DUANGTAWAN SURARERKS: GENERATING FUN TRACKS WITH VARYING DIFFICULTIES IN RACING GAME. ADVISOR: ASST. PROF. DR. VISHNU KOTRAJARAS, 123 pp.

Racing track is an important factor to the enjoyment and the difficulty of racing games. If a track is not fun, players may feel bored and stop playing. Apart from fun, varying difficulty levels in racing tracks is also important for track sets allocation in games. This research intends to propose track generation algorithm that can generate fun tracks at specified difficulty levels. Relationship between racing track's properties and players' enjoyment and difficulty level, for both high skilled players and low skilled players, is established using linear regression analysis. Obtained equations for player enjoyment and difficulty level are used as fitness function for generating fun tracks at specified difficulty levels. Results show that the difficulty score and the enjoyment score from the equation mostly agree with players' opinions. But the proposed algorithm cannot evolve low difficulty tracks for either type of players. For high difficulty track generation for skilled players, the result cannot show that generated tracks are more fun than the first generation tracks with the intended difficulty. For high difficulty track generation for low skilled players, the result does not show that generated track with the intended difficulty level is more fun than the first generation of tracks. However, we find that a track with slightly different difficulty level but higher enjoyment score exists. It means that if the difference in difficulty level is acceptable by users, tracks with higher enjoyment score can be used. Thus, the algorithm developed by this research can be used to generate tracks with high difficulty level for low skilled players.

Department: Computer Engineering Student's Signature

Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นที่เคารพของข้าพเจ้า ญาติพี่น้อง ที่ให้กำลังใจ ครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่สั่งสอนวิชา แนะนำระบบความคิด รวมถึงการเปิดวิสัยทัศน์ในด้านต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในแลบเกมทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมในการทดลองเล่นเกมทุกท่าน

ขอขอบคุณพี่ป๊อป ที่ให้คำปรึกษา ให้ข้อแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณผศ.ดร. วิษณุ โคตรจรัส ที่คอยให้คำแนะนำและเอาใจใส่ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	11
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	12
ขอบเขตของการวิจัย	12
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	13
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	13
วิธีดำเนินการวิจัย	13
ลำดับการจัดเรียงเนื้อหาในวิทยานิพนธ์	14
ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์.....	14
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1.1 เกมส์แข่งรถ.....	15
2.1.2 การถดถอยเชิงเส้น.....	15
2.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	16
2.1.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ.....	17
2.1.5 กระบวนการกราเดียนเดสเซนส์.....	17
2.1.6 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	18
ค่าความเหมาะสมมาตรฐาน	19
การจำลองการคัดเลือกโดยธรรมชาติ.....	19
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

2.2.1 งานวิจัยการสร้างสนามแข่งให้เหมาะสมกับผู้เล่นเป็นกันไป	20
2.2.2 งานวิจัยการสร้างสนามแข่งให้เหมาะสมกับผู้เล่นโดยรวม.....	25
แนวคิดของการวิจัย.....	31
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานในการสร้างสนามแข่ง.....	33
3.1.1 การสร้างสนามแข่งเพื่อทำการทดลอง.....	33
3.2 การสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น.....	35
3.3 การสร้างสนามแข่งที่มีความสนุกในระดับความยากต่าง ๆ ที่กำหนด	35
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
4.1. ขั้นตอนการเตรียมการทดลองเพื่อทำการหาสมการถดถอยเชิงเส้น	37
4.2 วิธีการจำแนกผู้เล่น	39
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	39
4.3.1 สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้.....	39
4.3.2 สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้.....	40
4.3.3 สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้.....	42
4.3.4 สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้.....	43
4.4 ผลการทดลอง.....	45
4.5 การทดสอบสมการเบื้องต้น.....	45
4.5.1 สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ.....	45
4.5.2 สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ.....	46
4.6 ผลการทดสอบสมการ	48
5.1 ขั้นตอนการเตรียมการทดลองเชิงพันธุกรรม.....	51
5.1.1 การสร้างเส้นสนามแข่ง	51
5.1.2 การจำลองโครโมโซมให้เข้ากับปัญหา.....	52

5.1.3 การกำเนิดโครโมโซมรุ่นแรกและการสร้างโครโมโซมรุ่นต่อไป.....	52
5.1.4 การกลายพันธุ์.....	54
5.2 การหาผลต่างของความยาว.....	59
5.3 ปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	60
5.4 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการสร้างสนามแข่งด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	62
5.4.1 ผู้เล่นที่มีทักษะ.....	63
5.4.2 ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ.....	65
5.5 การนำสนามแข่งที่ได้มาทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง.....	68
5.5.1 การคัดเลือกผู้เล่น.....	68
5.5.2 วิธีการทดลอง.....	68
5.5.3 สนามแข่งรถที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	69
5.5.4 ผลการทดลอง.....	70
สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ.....	70
สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ.....	74
สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย.....	80
ข้อเสนอแนะ.....	81
รายการอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก.....	85
ตัวเกมที่ใช้ทดลอง.....	85
สนามแข่งที่นำมาทดสอบ.....	86
ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่งที่นำมาทดลอง.....	90
แบบสอบถามเพื่อทำการหาคุณสมบัติของสนามแข่งที่ทำให้เกิดความสุขและความยาว.....	92
ค่าคะแนนความสุขและค่าคะแนนความยาวของสนามแข่งจากสมการและผู้เล่น.....	96

อันดับของสนามแข่งที่เรียงโดยค่าคะแนนต่าง ๆ.....	102
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ.....	102
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ	103
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ	104
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ.....	105
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ.....	106
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ	107
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ	108
สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ	109
สนามแข่งตั้งต้น 30 ตัว.....	110
สนามแข่งที่ได้จากการทดลอง.....	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	123

สารบัญตาราง

ตาราง 1 ข้อมูลความโค้งในแต่ละส่วนของแต่ละเส้นสนามแข่งทั้งหมด 4 สนาม (ตารางจาก [3])	27
ตาราง 2 ข้อมูลความเร็วในแต่ละส่วนของแต่ละเส้นสนามแข่งทั้งหมด 4 สนาม (ตารางจาก [3]).....	28
ตาราง 3 แสดงรายชื่อของสนามทั้งหมด 51 สนามจากเกมส์ TORCS และ Formula1.....	34
ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของสนาม Aalborg	34
ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้	40
ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้	42
ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึก ได้.....	43
ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึก ได้.....	44
ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความยากระหว่างสมการกับผู้เล่นที่มีทักษะ.....	48
ตาราง 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความสนุกระหว่างสมการกับผู้เล่นที่มีทักษะ.....	48
ตาราง 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความยากระหว่างสมการกับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ	49
ตาราง 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความสนุกระหว่างสมการกับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ	50
ตาราง 13 แสดงรูปแบบสนามแข่งของเกมส์ฟอร์มูล่าวันทั้งหมด 18 สนาม	87
ตาราง 14 แสดงรูปแบบสนามแข่ง (โดยเรียงจากตัวอักษรของสนามแข่งที่ขึ้นต้นด้วย A ถึง E) ของเกมส์ TORCS ทั้งหมด 18 สนาม	88
ตาราง 15 แสดงรูปแบบสนามแข่ง (โดยเรียงจากตัวอักษรของสนามแข่งที่ขึ้นต้นด้วย E ถึง Z) ของเกมส์ TORCS ทั้งหมด 15 สนาม	89
ตาราง 16 แสดงค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่ง (สนามแข่ง Aalborg -สนามแข่ง E-track3).....	90
ตาราง 17 แสดงค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่ง (สนามแข่ง E-track4 – สนามแข่ง Yeongam).....	91
ตาราง 18 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่มีทักษะและสมการ ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Aalborg – สนามแข่ง D-Speedway)	96

ตาราง 19 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่มีทักษะและสมการ ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง E-raod – สนามแข่ง Nurburing).....	97
ตาราง 20 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่มีทักษะและสมการ ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Olethros road1 – สนามแข่ง Yeongam)	98
ตาราง 21 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะและสมการ ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Aalborg – สนามแข่ง D-Speedway)	99
ตาราง 22 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะและสมการ ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง E-raod – สนามแข่ง Nurburing).....	100
ตาราง 23 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะและสมการ ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Olethros road1 – สนามแข่ง Yeongam)	101
ตาราง 24 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุก จากมากไปน้อย	102
ตาราง 25 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไป น้อย	102
ตาราง 26 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุก จากน้อยไปมาก	103
ตาราง 27 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไป มาก	103
ตาราง 28 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยาก จากมากไปน้อย	104
ตาราง 29 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไป น้อย	104
ตาราง 30 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยาก จากน้อยไปมาก	105
ตาราง 31 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไป มาก	105

ตาราง 32 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย	106
ตาราง 33 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย	106
ตาราง 34 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก	107
ตาราง 35 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก.....	107
ตาราง 36 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย	108
ตาราง 37 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย	108
ตาราง 38 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก	109
ตาราง 39 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก.....	109
ตาราง 40 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 1- 21).....	111
ตาราง 41 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 22- 30)	112
ตาราง 42 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจากค่าคะแนนความสนุก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย.....	112
ตาราง 43 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจากค่าคะแนนความสนุก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก	112
ตาราง 44 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจากค่าคะแนนความยาก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย.....	113

ตาราง 58 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 1- 21).....	120
ตาราง 59 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 22- 30)	121
ตาราง 60 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดย เรียงจากค่าคะแนนความสนุก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย.....	121
ตาราง 61 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดย เรียงจากค่าคะแนนความสนุก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก.....	121
ตาราง 62 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดย เรียงจากค่าคะแนนความยาก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย	122
ตาราง 63 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดย เรียงจากค่าคะแนนความยาก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก.....	122

สารบัญภาพ

รูปที่ 1: ตัวอย่างการหาการถดถอยเชิงเส้นของพื้นที่ในบ้านกับราคาบ้าน (ภาพมาจาก [1]).....	16
รูปที่ 2: กราฟแสดงค่าพีเทนส (ภาพจาก [4])	21
รูปที่ 3: เส้นสนามแข่งที่ได้จากการทดลอง (ภาพจาก [4])	22
รูปที่ 4: สนามแข่งเพื่อทำการทดสอบ (ภาพจาก [2]).....	23
รูปที่ 5: สนามแข่งที่พัฒนาด้วยวิธีที่สอง (ภาพจาก [2])	24
รูปที่ 6: สนามแข่งที่พัฒนาจากวิธีการเริ่มต้นด้วยสนามแบบวงกลม (ภาพจาก [2])	24
รูปที่ 7: เส้นสนามแข่งที่ใช้ไอโวลูชันนารีแอลกอริทึม (ภาพจาก [3]).....	25
รูปที่ 8: อัลกอริทึมที่ผู้วิจัยใช้สร้างสนามแข่ง (ภาพจาก [3])	26
รูปที่ 9: ภาพรวมของวิธีการดำเนินงาน.....	32
รูปที่ 10: แสดงเวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B	37
รูปที่ 11: กราฟแสดงการแบ่งค่าความโค้งมากและค่าความโค้งน้อย	38
รูปที่ 12: กราฟแสดงการแบ่งช่วงของค่าความเร็วน้อยและค่าความเร็วมาก	38
รูปที่ 13: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา)	46
รูปที่ 14: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความสนุกสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา)	46
รูปที่ 15: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา)	47
รูปที่ 16: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความสนุกสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา).....	47
รูปที่ 17: แสดงการเปลี่ยนองศาความโค้งของตัวสร้างสนามแข่ง	51
รูปที่ 18 ข้อมูลโครโมโซม 1 สาย.....	52
รูปที่ 19 แผนผังการกำเนิด 100 โครโมโซมในแต่ละรุ่นของประชากร	53
รูปที่ 20 ตัวอย่างการกลายพันธุ์ของโครโมโซม 1 สาย.....	54

รูปที่ 21: กระบวนการเน็ดโครโมโซมแต่ละโครโมโซม ในส่วนที่ 1	55
รูปที่ 22: กระบวนการกลายพันธุ์ในส่วนที่ 1.....	56
รูปที่ 23: กระบวนการเพิ่มจุดหรือลดจุดควบคุมส่วนที่ 1.....	56
รูปที่ 24: กระบวนการเน็ดโครโมโซมแต่ละโครโมโซม ในส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3	57
รูปที่ 25: กระบวนการกลายพันธุ์ในส่วนที่ 2 และ 3.....	58
รูปที่ 26: กระบวนการเพิ่มจุดหรือลดจุดควบคุม ส่วนที่ 2 และ 3.....	59
รูปที่ 27: แสดงการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทางของปัญญาประดิษฐ์.....	60
รูปที่ 28: แสดงการปล่อยตัวตรวจสอบในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ของเอไอรอด.....	61
รูปที่ 29: แสดงการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทาง -90 และ 90 องศาของปัญญาประดิษฐ์.....	61
รูปที่ 30: ตัวอย่าง เมื่อตัวตรวจสอบระยะทางตรวจสอบระยะทางระหว่างจุด A B C กับตัว ปัญญาประดิษฐ์ แล้วพบว่า จุด C คือจุดที่ไกลสุด ปัญญาประดิษฐ์จะเคลื่อนที่เข้าหาจุด C.....	62
รูปที่ 31: แสดงการแบ่งช่วงค่าคะแนนความยากที่กำหนด.....	63
รูปที่ 32: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มี ทักษะ.....	63
รูปที่ 33: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มี ทักษะ.....	64
รูปที่ 34: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มี ทักษะ.....	64
รูปที่ 35: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มี ทักษะ.....	65
รูปที่ 36: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มี ทักษะ.....	66
รูปที่ 37: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มี ทักษะ.....	66
รูปที่ 38: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งที่ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มี ทักษะ.....	67

รูปที่ 39: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งที่ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ.....	67
รูปที่ 40: รูปแบบสนามแข่ง Alpine1.....	68
รูปที่ 41: แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ ที่พยายามวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่าย เลือกจากค่าความยากที่ใกล้เคียงกับค่าความยากที่ต้องการ ...	70
รูปที่ 42: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นรอกความยากและความสนุกของสนามแข่งรูปที่ 41.....	71
รูปที่ 43: แสดงภาพของสนามแข่งสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ ที่พยายามวิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย เลือกจากค่ากลางคะแนนความยาก.....	71
รูปที่ 44: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นรอกความยากและความสนุกของสนามแข่งรูปที่ 43.....	72
รูปที่ 45: แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ เลือกจากค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับค่าคะแนนความยากที่ต้องการ	73
รูปที่ 46: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 45.....	73
รูปที่ 47: แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ เลือกจากค่ากลางคะแนนความยาก.....	74
รูปที่ 48: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 47.....	74
รูปที่ 49: แสดงภาพของสนามแข่ง รุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่าย สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ เลือกจากค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับค่าคะแนนความยากที่ต้องการ	75
รูปที่ 50: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 49.....	75
รูปที่ 51: แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่าย สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ เลือกจากค่ากลางคะแนนความยาก.....	76
รูปที่ 52: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 51.....	76
รูปที่ 53: แสดงภาพของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก รุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ เลือกจากค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับค่าคะแนนความยากที่ต้องการ	77
รูปที่ 54: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 53.....	77
รูปที่ 55: แสดงภาพของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก รุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ เลือกจากค่ากลางคะแนนความยาก.....	78

รูปที่ 56: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 55รูปที่ 53.....	79
รูปที่ 57: ภาพตัวอย่างจากเกมที่ใช้ทดลอง	85
รูปที่ 58: ภาพตัวอย่างจากตัวเกมที่ใช้ทดลอง.....	85
รูปที่ 59: แสดงภาพสนามแข่งตั้งต้นทั้งหมด 30 สนาม.....	110



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบายความหมาย
<i>L</i>	ค่าความยาวของสนามแข่งรถมีหน่วยเป็นกิโลเมตร
<i>BL</i>	ค่าเวลารอบที่ผู้เล่นทำได้ดีที่สุดใน 1 รอบสนาม
<i>CC</i>	ค่าความเปลี่ยนแปลงของความโค้งสนามแข่งในหนึ่งรอบสนาม
<i>DC</i>	ค่าความแตกต่างความโค้งในสนามแข่ง
<i>HC</i>	จำนวนจุดตรวจสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งมาก
<i>LC</i>	จำนวนจุดตรวจสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งน้อย
<i>LS</i>	จำนวนจุดตรวจสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วน้อย
<i>HS</i>	จำนวนจุดตรวจสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วมาก
<i>DS</i>	ค่าความแตกต่างความเร็วของสนามแข่ง
<i>AS</i>	ค่าความเร็วเฉลี่ยต่อ 1 รอบสนาม
<i>F</i>	ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่ง
<i>H</i>	ค่าคะแนนความยากของสนามแข่ง
<i>X</i>	ค่าพิกัดแกน x ของจุดควบคุม
<i>Y</i>	ค่าพิกัดแกน y ของจุดควบคุม
<i>S</i>	ค่าองศาความโค้งของจุดควบคุม
<i>DH</i>	คือผลต่างของความยาก ยิ่งค่า DH เข้าใกล้ศูนย์ยิ่งดี
<i>HE</i>	คือความยากของสนามแข่งที่คำนวณได้จากสมการ
<i>HF</i>	คือความยากของสนามแข่งที่กำหนด

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เกมส์คอมพิวเตอร์เปรียบเสมือนการสร้างโลกแห่งหนึ่งที่สามารถทำให้ผู้เล่นได้มีความรู้สึกเหมือนกำลังอยู่บนโลกนั้นจริง ๆ ด้วยเทคนิคทาง กราฟิก เสียงประกอบ การออกแบบตัวละคร การติดต่อสื่อสาร เป็นต้น ทำให้ผู้เล่นเกิดความสุขร่วมไปกับการเล่นเกม หากผู้เล่นเล่นเกมไม่สนุกผู้เล่นก็จะรู้สึกเบื่อทำให้ไม่อยากเล่นเกม ดังนั้นความสุขของผู้เล่นจึงเป็นศูนย์กลางของการออกแบบเกมส์ ทำให้มีผู้วิจัยหาตัวแปรความสุขของเกมเพื่อส่งผลที่ดีต่อรายได้ของผู้ผลิต

นอกจากความสุขแล้ว ความยากที่เหมาะสมของเกมก็ยังคงเป็นสิ่งสำคัญต่อการดึงดูดผู้เล่นเช่นกัน เกมที่สนุก ถ้าง่ายหรือยากเกินไป ผู้เล่นก็จะเบื่อหน่าย ส่วนเกมที่ยากกำลังพอดี แต่เล่นแล้วไม่มีความรู้สึกสนุกก็จะทำให้ผู้เล่นเลิกเล่นไปเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ความยากที่ระดับต่าง ๆ กัน ยังใช้ในการเตรียมฉากระดับต่าง ๆ ให้ผู้เล่นได้ประสบการณ์การเล่นที่หลากหลายได้อีกด้วย

เกมส์ประเภทแข่งรถถูกสร้างขึ้นเพื่อให้ผู้เล่นได้รับประสบการณ์และความรู้สึกขณะเล่นเกมเสมือนได้ขับรถแข่งกับผู้อื่น เกมแข่งรถเป็นเกมที่ได้รับความนิยมเนื่องจากเรียนรู้การเล่นได้ง่ายและสามารถเล่นคนเดียวหรือหลายคนก็ได้ โดยมีเป้าหมายคือการควบคุมรถเพื่อให้เข้าเส้นชัยให้เร็วที่สุด หากผู้เล่นใดเข้าเส้นชัยก่อนก็จะเป็นฝ่ายชนะ

สนามแข่งรถเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสุขและความยากของเกมแข่งรถ หากสนามมีรูปแบบไม่น่าสนใจหรือไม่สนุกแล้ว อาจทำให้ผู้เล่นเกิดอาการเบื่อและเลิกเล่นเกมไปในที่สุดจึงมีงานวิจัยที่พัฒนารูปแบบสนามทั้งงานวิจัยที่สร้างสนามแข่งให้เหมาะกับผู้เล่นเป็นคน ๆ ไป [2, 4, 5] และงานวิจัยที่สร้างสนามแข่งให้เหมาะกับผู้เล่นโดยรวม [3] ซึ่งมีการตั้งสมมุติฐานถึงคุณสมบัติของสนามที่สนุกและมีความท้าทาย ซึ่งมีผลการทดสอบคุณสมบัติเหล่านั้นออกมาบ้างแล้ว แต่คุณสมบัติบางอย่างยังไม่เพียงพอต่อการสร้างสนามแข่งที่ซับซ้อนหรือใช้ไม่ได้กับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะในการเล่นเกมส์แข่งรถ

งานวิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ในการหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของสนามแข่งต่าง ๆ โดยเฉพาะคุณสมบัติที่ยังไม่มีการศึกษาในงานวิจัยอื่น กับความสุขและความยากของสนามแข่งรถ นำเสนอฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับความสุขของเกมแข่งรถ ฟังก์ชันสำหรับระบุความยากของ

เกมส์แข่งรถและพัฒนาวิธีการสร้างสนามแข่งรถที่ทำให้ผู้เล่นเกิดความสุขในระดับความยากที่กำหนด

งานวิจัยของ Cardamone ได้แบ่งประเภทเกมส์แข่งรถตามความถูกต้องของการจำลองทางฟิสิกส์ [6] ได้เป็น อาร์เชด (Arcade) เช่น Need for speed และเกมส์เสมือน (Simulator) เช่น เกมส์ rFactor เป็นต้นนอกจากนี้ยังสามารถแบ่งเกมส์ได้ตามบริบทของเกมส์ เช่น เกมส์ EA F1-2010 เป็นเกมส์ที่จำลองเนื้อหาการแข่งขันรถฟอร์มูล่าวันในปี 2010 มาโดยตรง ส่วน Adams & Rolling ได้แบ่งประเภทของเกมส์แข่งรถเป็นเกมส์ที่มีการแข่งขันจริง (Organize racing) [7] เช่น เกมส์ NASCAR และเกมส์ฟอร์มูล่าวันกับเกมส์ที่มีสนามในจินตนาการ (Imaginary racing) เช่น เกมส์มาริโอ้คาร์ท เป็นต้น เห็นได้ว่าประเภทของเกมส์แข่งรถสามารถจำแนกได้เป็นเกมส์แข่งรถแบบสมจริง (Realistic) และเกมส์แข่งรถแบบไม่สมจริง (Fantasy) สำหรับสนามแข่งในงานวิจัยนี้จะใช้สนามแข่งในแบบสมจริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อนำเสนอคุณสมบัติของสนามแข่งที่ทำให้เกิดความสุขในเกมแข่งรถ
2. เพื่อนำเสนอวิธีการคิดคำนวณความยากของสนามแข่งรถในเกม
3. เพื่อนำเสนอฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการสร้างสนามแข่งรถให้มีความสุขตามค่าความยากที่ระบุ
4. เพื่อนำเสนอวิธีการสร้างสนามแข่งอย่างอัตโนมัติที่มีความสุขในระดับความยากที่ต้องการ

ขอบเขตของการวิจัย

1. เกมส์แข่งรถที่ใช้ทดสอบ ทำการเขียนขึ้นจากยูนิตี้ (Unity game engine) โดยใช้แพ็คเกจรถของยูนิตี้
2. เกมส์ที่เขียนขึ้นประกอบด้วยรถแข่งจำนวนสองคัน คันหนึ่งให้ผู้ทดสอบเป็นผู้บังคับ อีกคันหนึ่งสร้างด้วยปัญญาประดิษฐ์เพื่อเป็นคู่แข่ง ซึ่งรถทั้งสองคันมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกันทุกประการ
3. สนามแข่งมีคุณสมบัติคล้ายกับสนามแข่งรถของฟอร์มูล่าวัน ซึ่งเป็นสนามแข่งที่สมจริงโดยมีคุณสมบัติดังนี้
 - 3.1 สนามแข่งมีลักษณะเรียบ ไม่ขรุขระ

- 3.2 ไม่มีวัตถุประสงค์หรือสิ่งกีดขวางใด ๆ ในสนามแข่ง เช่น ก้อนหิน ต้นไม้ เป็นต้น
4. รูปแบบของสนามแข่งที่ใช้ในการทดลองได้ทำการอ้างอิงมาจากเกมส์ TORCS และ ฟอรัม ล่าวัน
5. ในการสร้างสมการการถดถอยเชิงเส้นนั้น ใช้สนามแข่งที่ได้สร้างไว้เป็นจำนวน 51 สนาม โดยแต่ละสนามแข่งจะต้องมีการเล่นอย่างน้อยสนามละสามครั้ง โดยผู้เล่นคนละคนกัน
6. ในการสร้างสมการการถดถอยเชิงเส้นนั้น ให้ผู้เล่น เล่นคนละอย่างน้อย 5 สนาม
7. ในการสร้างสมการการถดถอยเชิงเส้นนั้น ผู้เล่นที่มีทักษะและไม่มีทักษะจะถูกแยกโดยใช้เกณฑ์ตามบทที่ 4
8. ในการทดสอบความสนุกของสนามแข่งที่สร้างตามความยากที่กำหนดนั้น ใช้สนามแข่งจากสนามแข่งที่นำมาจำลอง 1 สนามเพื่อคัดแยกผู้เล่น แล้วจึงใช้สนามแข่งที่ค่อนข้างง่ายและสนามแข่งที่ค่อนข้างยากที่ถูกสร้างขึ้นจำนวน 8 สนามสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ และ 8 สนามสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยผู้เล่นแต่ละคนเล่นคนละ 9 สนาม สนามละ 3 รอบ การทดสอบแต่ละสนามแข่งนั้นให้มีการเล่นอย่างน้อยสนามแข่งละ 5 ครั้งโดยผู้เล่นคนละคนกัน

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ความสนุก, เกมส์แข่งรถ, สนามแข่งรถ, เกมส์, ฉาก, ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม, สมการถดถอยเชิงเส้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สมการความสนุกของสนามแข่ง
2. ได้สมการความยากของสนามแข่ง
3. ได้เครื่องมือสร้างสนามแข่งที่สนุกที่สุดตามระดับความยากที่ต้องการ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาวิธีการใช้งานยูนิตี

3. ใช้ Unity Game Engine ออกแบบและพัฒนาเกมส์ในลักษณะเกมส์แข่งรถที่สามารถเล่นได้สองคน
4. ทำการสร้างสนามโดยอ้างอิงจากเกมส์ TORCS และฟอร์มูล่าวัน
5. ทำการทดลองสนามและบันทึกข้อมูลคุณสมบัติต่าง ๆ ของแต่ละสนามแข่ง
6. นำเกมส์ที่สร้างนั้นไปให้กลุ่มตัวอย่างเล่นและตอบแบบสอบถาม
7. คิดคำนวณสมการการถดถอยเชิงเส้นของความสนุกและความยาก
8. สร้างสนามแข่งโดยใช้ฟังก์ชันของความสนุกเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (กำหนดค่าคะแนนความยากไว้ต่างหาก)
9. นำสนามแข่งที่สร้างไปทดลองกับผู้เล่น
10. วิเคราะห์ผลการทดลอง
11. สรุปผลการวิจัยและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

ลำดับการจัดเรียงเนื้อหาในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทดังต่อไปนี้ บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งกล่าวถึง ความ เป็นมาและความสำคัญของปัญหา รวมถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานในการสร้างสนามแข่งและการสร้าง สมการถดถอยเชิงเส้น บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองเพื่อทำการหาสมการถดถอยเชิงเส้น การวิเคราะห์ สมการถดถอยเชิงเส้นและผลการทดลอง บทที่ 5 กล่าวถึงขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อพัฒนา สนามแข่งและผลการทดลอง บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง

“Finding the Relationship between Racing Tracks Properties and Its enjoyment and difficulty for experienced and inexperienced players”

โดย ดวงตะวัน สุรฤกษ์ และ วิษณุ โคตรจรัส, ในงานประชุมวิชาการ International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-con2016) , วันที่ 28 มิ.ย. – 1 ก.ค. 2559 , ประเทศไทย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เกมแข่งรถ

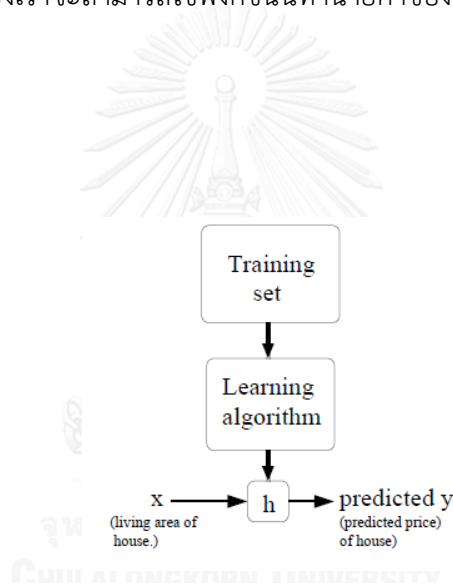
เกมแข่งรถ (Racing Games) [6, 7] เป็นเกมประเภทหนึ่งได้รับความนิยมมานานมีการพัฒนารูปแบบของเกมส์มาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดความสนุกและความหลากหลายของเกมส์ เกมแข่งรถเป็นเกมส์ที่เล่นง่ายและใช้เวลาน้อยในการเล่น มีเป้าหมายคือการควบคุมรถให้เข้าเส้นชัยด้วยเวลาน้อยที่สุด นอกจากการควบคุมรถให้เข้าเส้นชัยแล้ว เกมแข่งรถบางเกมส์ยังมีการเพิ่มความท้าทายให้กับผู้เล่น โดยการเพิ่มอุปสรรคต่าง ๆ เช่น การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง การขับบนพื้นผิวลักษณะต่าง ๆ การขับตามกฎจราจร เป็นต้น เกมแข่งรถที่เป็นที่นิยมอย่างเกมส์มาริโอเคอร์ซิ่งมีการเพิ่มไอเทมต่าง ๆ ให้กับผู้เล่น เช่น ไอเทมเพิ่มความเร็ว ไอเทมฟ้าผ่าทำให้ความเร็วรถของผู้เล่นอื่นช้าลง เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อประสบการณ์การเล่นมีได้ตั้งแต่จำนวนรอบการวิ่ง จำนวนผู้เล่น ไปจนถึงเส้นทางในการวิ่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เป็นต้น

เกมแข่งรถที่สามารถสร้างสนามแข่งได้นั้นแบ่งออกเป็นสองประเภท ประเภทแรกคือเกมแข่งรถที่สร้างสนามแข่งโดยอัตโนมัติ เช่น Island racer [8] เป็นเกมแข่งรถที่มีการสร้างสนามแข่งเพื่อให้ความหลากหลาย ด้วยการสุ่มการสร้างสนามแข่งแบบปิด และประเภทที่สองคือเกมแข่งรถที่ผู้เล่นสามารถสร้างสนามแข่งได้เอง เช่น Ridge Racer Unbounded [9], Modnation Racer [10], Gran Turismo 5 [11], Trackmania [12], Micro Machines V4 [13], V-rally2 [14] เป็นต้น เกมแข่งรถที่สามารถสร้างสนามแข่งได้นั้นส่วนมากจะเป็นการให้ผู้เล่นสร้างสนามเอง เกมส์ที่สร้างสนามแข่งแบบอัตโนมัติมีให้เห็นน้อยมากและใช้การสร้างสนามแข่งเพียงเพื่อให้เกิดสนามที่หลากหลายเท่านั้น

2.1.2 การถดถอยเชิงเส้น

การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) [15, 16] เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรสองชนิด โดยตัวแปรชนิดที่หนึ่งเรียกว่าตัวแปรตาม (criterion variable) แทนด้วย y ส่วนตัวแปรอีกชนิดหนึ่งเรียกว่าตัวแปรอิสระ (predictor variable) แทนด้วย x ซึ่งตัวแปรชนิดนี้

สามารถมีได้มากกว่าหนึ่งตัว เป็นการดูความสัมพันธ์ว่า ถ้าตัวแปร x เปลี่ยนไปแล้วตัวแปรตาม เปลี่ยนไปด้วยหรือไม่ ซึ่งสองตัวแปรนั้นจะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นสามารถเขียนรูปแบบความสัมพันธ์ของสองตัวแปรได้ในรูปของสมการการถดถอย ซึ่งสามารถพยากรณ์ค่าได้ในอนาคตหรือสามารถดูแนวโน้มของตัวแปรตามได้เมื่อเราทราบค่าตัวแปรอิสระ รูปที่ 1 แสดงกระบวนการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระและตัวแปรตามอย่างละหนึ่งตัว ซึ่งตัวแปรอิสระในที่นี้คือพื้นที่ในบ้านและตัวแปรตามในที่นี้คือราคาบ้าน [1] โดยเริ่มจาก เทรนนิ่งเซต (Training set) ประกอบด้วย $\{(x^{(i)}, y^{(i)}); i = 1, \dots, m\}$ ซึ่ง $(x^{(i)}, y^{(i)})$ เป็นคู่ตัวอย่างเทรนนิ่ง (Training example) และ m เป็นจำนวนตัวอย่างเทรนนิ่งทั้งหมดจากนั้นทำการเรียนรู้อัลกอริทึมจะได้ฟังก์ชัน h (hypothesis) ออกมาซึ่งเราจะสามารถใช้ฟังก์ชันนี้ทำนายค่าของ y ได้จากค่าของ x ที่ได้มา



รูปที่ 1: ตัวอย่างการหาการถดถอยเชิงเส้นของพื้นที่ในบ้านกับราคาบ้าน (ภาพมาจาก [1])

2.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) [1, 15, 16] คือการวิเคราะห์การถดถอยเมื่อมีตัวแปรอิสระหนึ่งตัวแปรและตัวแปรตามหนึ่งตัวแปร มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1) เมื่อ θ แทนน้ำหนัก (weight)

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 + \theta_1 x \quad (1)$$

2.1.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) [1, 15, 16] คือการวิเคราะห์การถดถอยเมื่อมีตัวแปรตามหนึ่งตัวแปรกับตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแปร มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการ (2)

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_3 + \dots + \theta_i x_i \quad (2)$$

2.1.5 กระบวนการกราเดียนเตสเซ็นต์

กระบวนการกราเดียนเตสเซ็นต์ (Gradient descent method) เป็นการทำให้ $h(x)$ มีค่าเข้าใกล้ค่า y มีการนิยาม cost function เป็นดังสมการที่ (3)

$$J(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (h_{\theta}(x^{(i)}) - y^{(i)})^2 \quad (3)$$

โดยคำตอบที่ได้จะต้องทำให้ค่าของฟังก์ชันผลประโยชน์ (cost function) มีค่าน้อยสุด ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการค่อย ๆ ปรับ (θ_j) ทุกตัวไปเรื่อย ๆ โดยอาศัยสมการที่ (4)

$$\theta_j = \theta_j - \alpha \frac{\partial}{\partial \theta_j} J(\theta) \quad (4)$$

เมื่อ α เป็นอัตราการเรียนรู้ซึ่งกำหนดขึ้นเอง ในการใช้งานสมการ (3) ได้นั้นในกรณีที่มีข้อมูลสำหรับฝึกแค่ตัวเดียวจะต้องทำการแทนค่าอนุพันธ์ภายในสมการซึ่งมีวิธีการดังสมการที่ (5)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \theta_j} J(\theta) &= \frac{\partial}{\partial \theta_j} \frac{1}{2} (h_{\theta}(x) - y)^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{2} (h_{\theta}(x) - y) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta_j} (h_{\theta}(x) - y) \\ &= (h_{\theta}(x) - y) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta_j} (\sum_{i=0}^n \theta_i x_i - y) \\ &= (h_{\theta}(x) - y) x_i \end{aligned} \quad (5)$$

หลังจากนั้นนำไปแทนค่าอนุพันธ์ในสมการ (4) จะทำให้ได้สมการที่ (6)

$$\theta_j = \theta_j + \alpha (y^{(i)} - h_{\theta}(x^{(i)})) x_j^{(i)} \quad (6)$$

ถ้ามีข้อมูลตัวอย่างเป็นจำนวนมากกว่าหนึ่ง สามารถใช้สมการได้สองแบบคือ

- Batch gradient descent จะเป็นการคำนวณข้อมูลตัวอย่างที่มีทั้งหมดสำหรับการปรับค่าของ θ_j ทุก j ดังสมการที่ (7) จึงต้องทำซ้ำจนกว่าจะได้ค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว

$$\theta_j = \theta_j + \alpha \sum_{i=1}^m (y^{(i)} - h_{\theta}(x^{(i)})) x_j^{(i)} \quad (7)$$

- Stochastic gradient descent จะเป็นการเปลี่ยนค่า θ_j ในทุก ๆ ครั้งที่มีการคำนวณค่าจากสมการที่ (8) โดยที่ค่า i คือตัวเลขบอกถึงลำดับข้อมูลที่กำลังคำนวณอยู่ และต้องทำวนไปจนกว่าจะครบ m รอบแล้วทำซ้ำจนกว่าจะได้ค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลง

$$\theta_j = \theta_j + \alpha (y^{(i)} - h_{\theta}(x^{(i)})) x_j^{(i)} \quad (8)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.6 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) [17, 18] เป็นการเรียนรู้โดยจำลองการวิวัฒนาการ ซึ่งมีแนวคิดมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เช่น การไขว้เปลี่ยนของโครโมโซม (Chromosome crossover) การกลายพันธุ์ของยีน (Gene mutation) โดยการไขว้เปลี่ยนเป็นการที่ยีนจากโครโมโซมพ่อแม่สลับเปลี่ยนกันทำให้เกิดโครโมโซมใหม่ขึ้น 2 คู่ ส่วนการกลายพันธุ์เป็นการเปลี่ยนแปลงของยีนที่มาจากยีนพ่อแม่และแม่เกิดเป็นยีนที่ไม่เคยมีมาก่อน

ค่าความเหมาะสมมาตรฐาน

ค่าความเหมาะสม (Fitness) [17, 18] คือความน่าจะเป็นที่โครโมโซมจะอยู่รอดในรุ่น (generation) ถัดไปได้ โดยค่าความเหมาะสมมาตรฐานสามารถนิยามได้ดังสมการที่ (9)

$$f_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j} \quad (9)$$

โดยที่ f_i คือค่าความเหมาะสมของโครโมโซมเส้นที่ i ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และ q_i คือคุณภาพที่ถูกกำหนดโดยโครโมโซมเส้นที่ i

การจำลองการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

การจำลองการคัดเลือกโดยธรรมชาติ [17, 18] สามารถทำได้โดยใช้ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- กำหนดประชากรเริ่มต้น อาจมีโครโมโซม 1 เส้น หรือหลายเส้นก็ได้ อาจทำการสุ่มโครโมโซมเหล่านี้หรือกำหนดขึ้นเองก็ได้
- ทำการกลายพันธุ์ยีนโครโมโซมในรุ่นปัจจุบันและผลิตลูก
- ทำการไขว้เปลี่ยนโครโมโซม (พ่อแม่)
- เพิ่มลูกที่เกิดใหม่ในประชากร

สร้างประชากรรุ่นใหม่โดยเลือกโครโมโซมมาจำนวนหนึ่งตามค่าเหมาะสม ทำการกลายพันธุ์และไขว้เปลี่ยนเพื่อสร้างประชากรเพิ่มจนครบจำนวนที่ต้องการ ทำขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้ซ้ำเรื่อยไปจนกว่าจะได้ช่วงคำตอบที่ต้องการ

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสนามแข่งแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ งานวิจัยการสร้างสนามแข่งให้เหมาะสมกับผู้เล่นเป็นคน ๆ ไป และงานวิจัยการสร้างสนามแข่งให้เหมาะสมกับผู้เล่นโดยรวม

2.2.1 งานวิจัยการสร้างสนามแข่งให้เหมาะสมกับผู้เล่นเป็นคณๆไป

งานวิจัยการสร้างสนามแข่งให้เหมาะสมกับผู้เล่นเป็นคณๆไป มีจุดประสงค์ในการสร้างสนามแข่งโดยคำนึงถึงรูปแบบ ลักษณะการเล่นของคณเพียงคณเดียว

J. Togelius [4] ได้นำเสนอวิธีการสร้างสนามแข่งให้เหมาะสมกับผู้เล่นโดยใช้โอโวลูชันนารีอัลกอริทึมดังนี้

ผู้วิจัยได้นิยามความสนุกของเกมแข่งรถตามประสบบารณดังนี้

- ความเร็วสูงสุด เนื่องจากผู้เล่นชอบขับด้วยความเร็ว ทำให้สนามแข่งควรจะมีส่วนที่อนุญาตให้ผู้เล่นใช้ความเร็วสูงสุดได้
- สนามแข่งที่มีแต่ทางตรงทำให้ไม่สนุก ควรมีความท้าทายในการขับด้วยความเร็วที่สูงได้
- การปะทะหรือชนสิ่งกีดขวางก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เล่นไม่สนุก
- ผู้เล่นชอบความท้าทายที่หลากหลาย สนามแข่งจึงไม่ควรมีรูปแบบซ้ำๆ
- การเหวี่ยงหรือการลื่นไหลเวลาเข้าทางโค้งเป็นปัจจัยหนึ่งของความสนุก

จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการจำลองผู้เล่น (เพื่อใช้ในการให้คะแนนสนามแข่งอย่างอัตโนมัติ) โดยได้ทดลองวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1. เรียนรู้จากพฤติกรรมของผู้เล่นโดยตรง โดยใช้ Neural Network และ Nearest-Neighbor วิธีนี้ไม่ประสบผลสำเร็จเมื่อรถถึงทางโค้งปัญญาประดิษฐ์เลี้ยวช้าเกินไป ทำให้รถพุ่งเข้าชนกำแพงก่อนเลี้ยวหรือบางทีเลี้ยวเร็วเกินไปแล้วชนกำแพง แล้วไม่สามารถขับต่อไปได้
2. เรียนรู้จากผลการขับ ด้วยโอโวลูชันนารีอัลกอริทึม โดยใช้ระยะทางที่วิ่งได้ทั้งหมด ค่าความแปรปรวนของระยะทางที่วิ่งได้จากการเล่นหลายๆรอบ และจำนวนการเปลี่ยนคำสั่งในการบังคับ ผลการทดลองพบว่าของระยะทางที่วิ่งได้เหมือนกับผู้เล่นซึ่งเล่นบนสนามแข่งเดียวกัน แต่ค่าความแปรปรวนและจำนวนการเปลี่ยนคำสั่งนั้นไม่ตรงกับผู้เล่น
3. เรียนรู้จากผลการขับในสนามแข่งที่ต่าง ๆ กันเพื่อเรียนรู้ผู้วิจัยจำลองสนามแข่งขึ้นมาสามสนาม สนามแข่งแรกเป็นสนามที่ประกอบไปด้วยโค้งที่มีองศาชันน้อย สนามแข่งที่สองประกอบด้วยทางตรงและโค้งหักศอก และสนามแข่งที่สามประกอบด้วยทางวิ่งแคบ ๆ และสิ่งกีดขวาง ให้ผู้เล่นแต่ละคนขับรถทั้งสามสนามแข่งและให้โอโวลูชันนารีอัลกอริทึมเรียนให้ขับได้ระยะทางเท่าผู้เล่นแต่ละคนในทุกสนามแข่ง พบว่าปัญญาประดิษฐ์สามารถเรียนรู้ได้ดี แม้รายละเอียดในการบังคับจะต่างจากคณจริง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกปัญญาประดิษฐ์ตัวนี้มาใช้ในการให้คะแนนสนามแข่ง

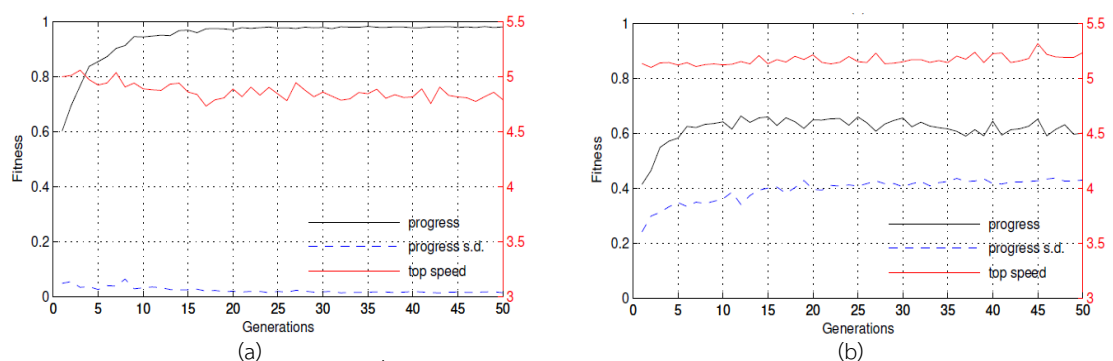
สนามแข่งนั้นมีลักษณะเป็นชิ้นส่วนที่มีความยาวเท่ากันหมดเท่ากัน บางชิ้นส่วนเป็นทางตรง บางชิ้นส่วนเป็นทางโค้งซึ่งมีความโค้งที่แตกต่างกันทั้งหมดสามแบบ และตรงส่วนปลายของแต่ละชิ้นสามารถมีความกว้างที่แตกต่างกันสามแบบ (แต่ต้องต่อกับส่วนที่มาก่อนได้) สนามแข่งจะไม่วนกลับมาที่จุดเริ่มต้น

ในการสร้างสนามนั้นผู้วิจัยใช้ฟิตเนส 3 ตัวดังนี้

1. $f_1 = 1 - (P_f - P_d)$ คือผลต่างระหว่างระยะทางที่วิ่งได้จริงกับระยะทางที่ต้องการในเวลาที่กำหนด (หากมีความแตกต่างน้อยค่าฟิตเนสที่ได้ก็จะดี)
2. ความเร็วสูงสุดที่สามารถวิ่งได้ (ให้มีการใช้ความเร็วสูง ๆ ได้)
3. มีความแปรปรวนสูงของระยะทางที่วิ่งได้ในเวลาจำกัด (น่าจะเป็นสนามแข่งที่มีความท้าทายสูง)

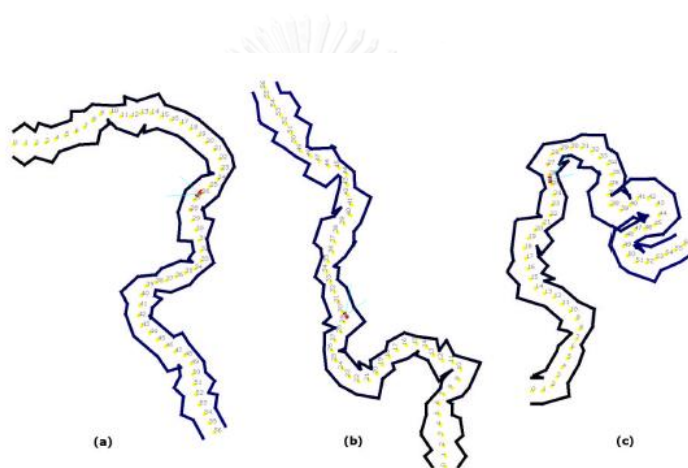
สำหรับการสร้างสนามแข่งขึ้นนั้น เริ่มแรกกำหนดประชากรของ 100 ยีนในรุ่นแรก ในแต่ละรุ่นกลุ่มยีนจะถูกประเมินผลให้สอดคล้องกับฟิตเนสตัวแรก แล้วเก็บ 50 ตัวที่ดีที่สุด แล้วนำไปประเมินกับฟิตเนสตัวที่สอง แล้วเก็บ 30 ตัวที่ดีที่สุด นำ 30 ตัวที่ดีที่สุดไปประเมินผลกับฟิตเนสตัวสุดท้าย จะเหลือ 15 ตัวที่ดีที่สุด ไม่มีการข้ามสายพันธุ์ (Crossover) มีการกลายพันธุ์โดยการเปลี่ยนชิ้นส่วนหนึ่งให้เป็นแบบอื่นด้วยค่าความน่าจะเป็น 0.1

ผลของการสร้างสนามแข่งนั้น รูปที่ 2-(a) แสดงกราฟของค่าฟิตเนสสามค่า (แต่ใช้เฉพาะฟิตเนสแรกในการให้คะแนนสนามเท่านั้น) จะสังเกตว่าค่าความเร็วสูงสุดจะมีค่าลดลงเมื่อพยายามเพิ่มค่าฟิตเนสแรกส่วนกราฟ (b) แสดงค่าฟิตเนสสามค่า เมื่อพยายามเพิ่มค่าของทั้งสามฟังก์ชันในการให้คะแนนสนามจะสังเกตว่าค่าฟิตเนสทั้งสามนั้นมีความขัดแย้งกันเอง



รูปที่ 2: กราฟแสดงค่าฟิตเนส (ภาพจาก [4])

รูปที่ 3 แสดงสนามแข่งแบบเปิดสามแบบ ซึ่งเมื่อผู้เข้าร่วมทดสอบเล่นไปจนถึงสุดเส้นสนามแข่งจะทำการเทเลพอร์ตกลับมายังจุดเริ่มต้น รูปที่ 3-(a) แสดงเส้นสนามแข่งที่พัฒนาเพื่อผู้เล่นที่เล่นไม่เก่งด้วยค่าระยะทางที่วิ่งได้ในเวลาที่กำหนดมีค่าเท่ากับ 1.1 กิโลเมตร, รูปที่ 3-(b) แสดงเส้นสนามแข่งเพื่อผู้เล่นที่เล่นเป็นด้วยค่าระยะทางที่วิ่งได้ในเวลาที่กำหนดมีค่าเท่ากับ 1.5 กิโลเมตร, ส่วนรูปที่ 3-(c) แสดงเส้นสนามแข่งเพื่อผู้เล่นที่เล่นเป็นด้วยค่าระยะทางที่วิ่งได้ในเวลาที่กำหนดมีค่าเท่ากับ 1.5 กิโลเมตร รูปที่ 3-(a) และ (b) ใช้ค่าฟิตเนสทั้งสามค่า ส่วน รูปที่ 3-(c) ใช้แค่ค่าระยะทางที่ต้องการในเวลาที่กำหนด

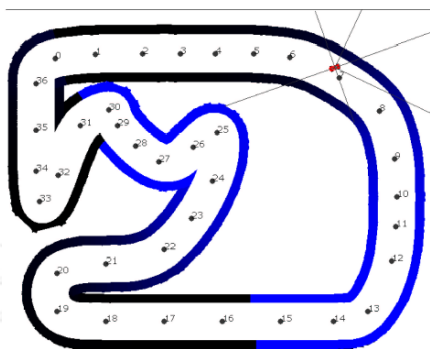


รูปที่ 3: เส้นสนามแข่งที่ได้จากการทดลอง (ภาพจาก [4])

จากงานวิจัยนี้ เห็นได้ว่า มีคุณสมบัติหลายอย่างที่มีส่วนจริงในการกำหนดความสนุกและความยากของสนามแข่ง คุณสมบัติที่น่านำไปทำการสำรวจทางสถิติจริง ๆ นั้นมี ความเร็วสูงสุด ความเปลี่ยนแปลงและความหลากหลายของสนามแข่ง ซึ่งจะได้ทำการสำรวจกับผู้เล่นกลุ่มตัวอย่างในงานวิทยานิพนธ์นี้ ส่วนค่าอื่น ๆ อย่างเช่นฟิตเนสที่ 1 กับที่ 3 นั้นเป็นค่าที่ต้องการโมเดลของผู้เล่นเป็นคน ๆ ไป จึงไม่สามารถนำไปใช้ในการสร้างสนามแข่งสำหรับคนจำนวนมากได้ ส่วนตัวสนามแข่งนั้นไม่วนรอบจึงไม่สามารถนำวิธีนี้มาใช้สร้างสนามแข่งรถที่มีความสมจริงได้

J. Togelius [2] ได้พัฒนาต่อจากงานวิจัยของเขาด้วยวิธีการเดิม [4] แต่มีการเปลี่ยนจำนวนยีนสุดท้ายที่คัดจากวัตถุประสงค์ที่สามเป็น 20 ตัว และเปลี่ยนวิธีการสร้างสนามแข่งเพื่อให้สนามแข่งวนรอบได้

ผู้วิจัยทำการสร้างสนามแข่งดังรูปที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยสองทางตรง ทางโค้งที่โค้งน้อย และ โค้งหักศอก โดยเส้นสนามแข่งนี้มีจุดนำทาง (Waypoint) ทั้งหมด 30 จุด ให้ผู้เข้าร่วมทดสอบเล่นแล้ว บันทึกค่าความเร็วในแต่ละจุด และค่าเบี่ยงเบนจากเส้นตรงระหว่างจุดนำทางของแต่ละจุด สร้าง ปัญหาประดิษฐ์แทนตัวผู้เล่นแต่ละคนขึ้นมาด้วยวิธีทางพันธุกรรม โดยมีฟิตเนสสามค่า (เรียงตาม ความสำคัญจากมากไปน้อย) คือ ระยะทางที่วิ่งได้ในเวลาที่กำหนด ค่าความเร็วที่วิ่งผ่านแต่ละจุด และ ค่าการเบี่ยงเบนจากทางตรง



รูปที่ 4: สนามแข่งเพื่อทำการทดสอบ (ภาพจาก [2])

ค่าฟิตเนสที่ผู้วิจัยใช้ในการสร้างสนามแข่งนั้นเหมือนกับงานวิจัยก่อนหน้า โดยเรียงลำดับตาม ความสำคัญจากมากไปน้อยดังนี้

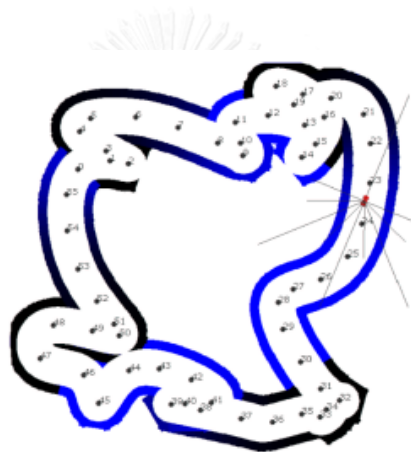
1. ผลต่างระหว่างระยะทางที่วิ่งได้จริงกับระยะทางที่ต้องการในเวลาที่กำหนด
2. มีความแปรปรวนสูงของระยะทางที่วิ่งได้ในเวลาจำกัด
3. ความเร็วสูงสุดที่สามารถวิ่งได้

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างสนามแข่งแบบปิดด้วยเส้นโค้งเบซิเออร์ (Bezier curve) ซึ่งในแต่ละ ส่วนของสนามแข่งจะประกอบไปด้วยจุดควบคุมสองจุด โดยแต่ละชิ้นส่วนจะใช้จุดร่วมจุดหนึ่งเพื่อ ต่อกัน การเริ่มต้นสร้างสนามแข่งแบบปิดและการกลายพันธุ์มี 3 วิธีดังนี้

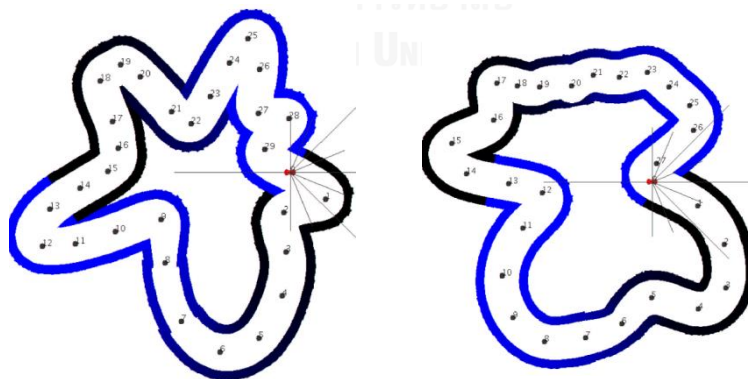
1. เริ่มต้นโดยให้สนามแข่งมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีมุมโค้งมน การดำเนินการกลายพันธุ์จะเลือกจุดควบคุมหนึ่งจุด โดยการเพิ่มตัวเลขมาจากการกระจายแบบเกาส์ (Gaussian distribution) ด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 20 พิกเซลทั้งแกน x และ y วิธีการนี้ทำให้ได้สนามแข่งที่มีความราบรื่น ระยะทางที่ต้องการและระยะทางที่วิ่งได้ในเวลาที่กำหนดมีความใกล้เคียงกันมาก แต่ การพัฒนาสนามแข่งวิธีนี้ทำให้ได้สนามแข่งที่มีรูปร่างคล้ายกันมากเกินไป

2. การกลายพันธุ์มีลักษณะคล้ายกับวิธีแรกแต่ต่างกันตอนเริ่ม โดยเริ่มด้วยการมีเวทีจุดควบคุมต่าง ๆ เป็นจำนวนหลายร้อยครั้ง (ยกเลิกการมีเวทีครั้งใดครั้งหนึ่งถ้าครั้งนั้นทำให้ปัญหาประติมากรรมซับซ้อนเกินไป) แล้วค่อยเอาสนามแข่งที่ได้มาเป็นประชากรเริ่มต้น วิธีนี้ได้ผลไม่ค่อยดีนักเพราะได้สนามแข่งที่ตัวโมเดลผู้เล่นวิ่งไม่ได้ระยะตามต้องการ และเป็นสนามวิ่งด้วยความเร็วต่ำอีกด้วย (ดูรูปที่ 5)

3. เริ่มต้นสร้างสนามแข่งจากวงกลม โดยจุดควบคุมแต่ละจุดจะทำมุมจากจุดศูนย์กลางของวงกลมเท่า ๆ กัน แล้วทำการสุ่มระยะห่างของแต่ละจุดควบคุมจากจุดศูนย์กลาง ได้ชุดสนามแข่งเริ่มต้นออกมา การสุ่มเปลี่ยนค่านั้นใช้การเปลี่ยนระยะจากจุดศูนย์กลางของแต่ละจุดควบคุมเท่านั้น วิธีการนี้ทำให้ได้สนามแข่งที่แตกต่างกันดังรูปที่ 6 ได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังได้สนามแข่งที่มีลักษณะโดยรวมคล้ายดอกไม้



รูปที่ 5: สนามแข่งที่พัฒนาด้วยวิธีที่สอง (ภาพจาก [2])

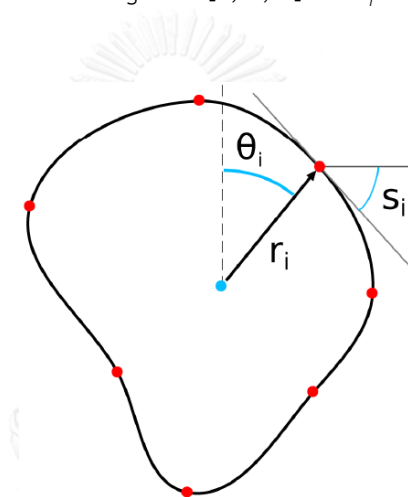


รูปที่ 6: สนามแข่งที่พัฒนาจากวิธีการเริ่มต้นด้วยสนามแบบวงกลม (ภาพจาก [2])

งานวิจัยนี้นิยมความสนุกเหมือนกับงานวิจัยก่อนหน้า ดังนั้นจึงไม่มีความรู้ใหม่ในเรื่องนี้ แต่รูปแบบของการสร้างสนามแข่งที่วนรอบได้นั้นน่าสนใจมาก งานวิทยานิพนธ์นี้จะอาศัยรูปแบบดังกล่าวเป็นโครงสร้างเบื้องต้นของการสร้างสนามแข่ง

2.2.2 งานวิจัยการสร้างสนามแข่งที่เหมาะสมกับผู้เล่นโดยรวม

Loiacono [3] ได้นำเสนอวิธีการสร้างเส้นสนามแข่งโดยใช้วิธีโวลูชันนารีอัลกอริทึม โดยใช้งานของ Togelius [2, 4, 5] เป็นต้นแบบ นิยามของสนามแข่งนั้นเป็นการวางจุดควบคุมเป็นเส้นสนามแข่งวงกลมปิด ดังรูปที่ 7 โดยจุดสีแดงคือจุดควบคุม จุดสีฟ้าคือจุดศูนย์กลาง r_i คือรัศมีของเส้นสนามแข่ง มีพารามิเตอร์ที่ได้เพิ่มขึ้นจากงานของ Togelius [2, 4, 5] คือ s_i ซึ่งเป็นมุมของเส้นสัมผัส และ θ_i ซึ่งเป็นมุมของรัศมีของจุดควบคุม



รูปที่ 7: เส้นสนามแข่งที่ใช้วิธีโวลูชันนารีอัลกอริทึม (ภาพจาก [3])

รูปที่ 8 แสดงอัลกอริทึมในการสร้างสนามแข่งหนึ่ง ๆ จากตัวแปรข้างต้น โดยอัลกอริทึมนี้รับจุดควบคุม n จุด เป็นอินพุต ตัวแปร p คืออาเรย์ของจุดควบคุม ตัวแปร t คืออาเรย์ของส่วนประกอบต่าง ๆ ของสนามแข่ง ตัวแปร l คือ ค่าความชันของเส้นสัมผัส (บรรทัดที่ 2) ถ้ามีจุดควบคุมที่มีความชันที่ไม่สามารถเป็นไปได้ (ส่วนของสนามแข่งไม่สามารถเชื่อมกับส่วนอื่นได้) อัลกอริทึมจะส่งค่ากลับเป็น NULL

ถ้าช่วงความชันยังเป็นไปได้ ความชันจะถูกคำนวณจาก S_i ของแต่ละจุดควบคุม (บรรทัดที่ 6) จากนั้น การสร้างสนามแข่งใน TORCS ใช้ทั้งตำแหน่งและความชันของจุดควบคุมปัจจุบันและจุดควบคุมถัดไปหนึ่งจุด เมื่อเหลือส่วนของสนามแข่งเพียงส่วนเดียวตัวอัลกอริทึมจะพยายามสร้างส่วน

สุดท้ายให้ไปต่อกับส่วนแรก (ส่วนสุดท้ายอาจประกอบด้วยชิ้นส่วนสนามแข่งหลายชิ้น) ซึ่งถ้าสำเร็จก็จะได้สนามออกมา แต่ถ้าไม่สำเร็จจะรีเทิร์น NULL ออกมา

```

1: procedure GENERATETRACK( $\vec{p}$ )
     $\triangleright \vec{p}$ : array of  $n$  control points  $\langle r_i, \theta_i, s_i \rangle$ 
     $\triangleright \vec{t}$ : array of TORCS segments  $\langle t_1, \dots, t_n \rangle$ 
2:    $\{I_i\} = \text{GENERATESLOPERANGES}(\vec{p})$ 
     $\triangleright$  No feasible slope range
3:   if  $\exists i \mid I_i = \emptyset$  then
4:     return NULL
5:   end if
     $\triangleright$  Select slope values
6:    $\vec{\alpha} = \text{SELECTSLOPES}(\vec{p}, \{I_i\})$ 
     $\triangleright$  Generate the first  $n - 1$  segments
7:   for  $i = 1$  to  $n - 1$  do
     $t_i = \text{GENERATESEGMENT}(p_i, p_{i+1}, \alpha_i)$ 
8:   end for
     $\triangleright$  Close the track
9:    $t_n = \text{CLOSETRACK}(t_{n-1}, t_1)$ 
     $\triangleright$  Check whether the procedure failed
10:  if  $\text{CLOSEDTRACK}(\vec{t})$  then
11:    return  $\vec{t}$ 
12:  else
13:    return NULL
14:  end if
15: end procedure

1: procedure GENERATESEGMENT( $p_i, p_j, \alpha$ )
     $\triangleright$  Compute the slope of  $\overline{p_i p_j}$ 
2:    $\alpha^* = \text{SLOPE}(p_i, p_j)$ 
3:   if  $|\alpha - \alpha^*| < \epsilon$  then
    return GenerateStraightSegment( $p_i, p_j$ )
4:   else if  $\alpha < \alpha^*$  then
    return GenerateLeftTurn( $p_i, p_j, \alpha$ )
5:   else if  $\alpha > \alpha^*$  then
    return GenerateRightTurn( $p_i, p_j, \alpha$ )
6:   end if
7:   end if
8: end procedure

```

รูปที่ 8: อัลกอริทึมที่ผู้วิจัยใช้สร้างสนามแข่ง (ภาพจาก [3])









ผู้วิจัยได้กำหนดค่าพิตเนสฟังก์ชันสองค่า คือ ค่าเอ็นโทรปีความโค้งของเส้นสนามแข่งและค่าเอ็นโทรปีความเร็วที่รถสามารถทำได้ในสนามแข่ง เพื่อให้ได้เส้นสนามแข่งที่มีรูปแบบหลากหลายทำให้เกิดความท้าทายและน่าสนใจต่อผู้เล่นซึ่งการสุ่มเปลี่ยนค่านั้นทำแบบเดียวกับของ Togelius [2, 5] แต่เปลี่ยนค่ามุมของจุดควบคุมได้ด้วย ความโค้งและความเร็วที่ทำได้ในสนามแข่งถูกจัดกลุ่มเป็นอย่างไรละ 16 กลุ่ม

ค่าเอ็นโทรปีความโค้งของเส้นสนามแข่ง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความหลากหลายของความโค้งของเส้นสนาม โดยหาได้จาก สมการที่ (10)

$$H(c) = - \sum_{i=1}^{16} c_i \log_2 c_i \quad (10)$$

โดย $H(c)$ คือค่าเอ็นโทรปีของความโค้ง มีค่า $0 \leq H(c) \leq \log_2 16$ โดย c_i เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของเส้นสนามแข่งที่มีความโค้งในกลุ่มเดียวกัน ค่าของ $H(c)$ นั้นจะมีค่ามากที่สุด ถ้า $c_i = 1/16$ นั่นคือ เมื่อความโค้งแต่ละกลุ่มของเส้นสนามแข่งทั้งหมดมีจำนวนเท่า ๆ กัน

ตาราง 1 ข้อมูลความโค้งในแต่ละส่วนของแต่ละเส้นสนามแข่งทั้งหมด 4 สนาม (ตารางจาก [3])

Track Name	Profile	Shape
D-Speedway		
Wheel-2		
Aalborg		
Spring		









ตาราง 1 แสดงตัวอย่างการกระจายของความโค้งสนามแข่งในแบบต่าง ๆ เส้นสนามแข่ง D-Speedway มีรูปร่างเป็นรูวงรีประกอบไปด้วยทางตรงยาวและความโค้งสองแบบซึ่งมีรัศมีที่กว้างทั้งสองแบบ ทำให้ค่า $H(c)$ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เส้นสนามที่มีลักษณะเป็นทางตรงจะมีค่า $H(c)$ เป็นศูนย์ และเส้นสนามแข่งที่มีทางโค้งด้วยรัศมีที่กว้างจะมีค่า $H(c)$ เข้าใกล้ศูนย์ เส้นสนาม Spring เป็นเส้นสนามแข่งที่มีทางโค้งที่หลากหลายที่สุด

ค่าเอ็นโทรปีความเร็ว เป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความหลากหลายของความเร็วที่รถสามารถทำได้ในสนามแข่ง ผู้วิจัยได้ทดลองเพื่อเก็บค่าความเร็วโดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์ควบคุมรถวิ่งตามทางสนามแข่งเป็นจำนวนหลายรอบ แล้วพยายามแบ่งกลุ่มความเร็วที่ทำได้ จนออกมาได้ 16 กลุ่ม หากมีสนามแข่งใหม่ จะสามารถจัดสนามแข่งนั้นเข้ากลุ่มได้โดยให้ปัญญาประดิษฐ์ควบคุมรถวิ่งรอบสนามแข่งสามรอบ แล้วเก็บข้อมูลความเร็วของแต่ละส่วนของสนามแข่งในรอบที่สอง แล้วค่อยจัดกลุ่ม โดยค่าเอ็นโทรปีความเร็วหาได้จากสมการที่ (11)

$$H(s) = - \sum_{i=1}^6 s_i \log_2 s_i \quad (11)$$

เอ็นโทรปีนี้เป็นแบบเดียวกับเอ็นโทรปีความโค้งของสนามแข่งทุกประการ ตัวอย่างนั้นแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ข้อมูลความเร็วในแต่ละส่วนของแต่ละเส้นสนามแข่งทั้งหมด 4 สนาม (ตารางจาก [3])

Track Name	Profile	Shape
D-Speedway		
Aalborg		
Forza		
Wheel-2		

จากตาราง 2 แสดงให้เห็นว่าเส้นสนามแข่ง D-Speedway มีค่าความเร็วอยู่ในกลุ่มเดียวเท่านั้นซึ่งคล้ายกับเอ็นโทรปีของความโค้ง แต่สนามแข่งที่มีเอ็นโทรปีความโค้งมากกว่าก็ไม่จำเป็นต้องมีเอ็นโทรปีความเร็วมากกว่า ดังจะสังเกตได้จากสนามแข่ง Aalborg และ Wheel-2 สนามแข่ง Aalborg มีเอ็นโทรปีความโค้งมากกว่า Wheel-2 แต่มีเอ็นโทรปีความเร็วต่ำกว่า Wheel-2 อย่างเห็นได้ชัด

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองผลการวิจัยโดยใช้วิธีเชิงทางพันธุกรรม ทั้งแบบวัตถุประสงค์เดียวและหลายวัตถุประสงค์ สนามถูกสร้างด้วยสามวิธี คือ

1. พยายามให้ค่าเอ็นโทรปีของความโค้งมีค่ามากที่สุด
2. พยายามให้ค่าเอ็นโทรปีของความเร็วมี่ค่ามากที่สุด
3. พยายามให้ค่าเอ็นโทรปีทั้งคู่มีค่ามากที่สุด

ในด้านการพยายามให้ค่าเอ็นโทรปีความโค้งมีค่ามากที่สุดนั้น ผู้วิจัยสร้างสนามแข่งที่ซับซ้อนต่างกันสามแบบ (ใช้จำนวนจุดควบคุม 5, 10 และ 15)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ายังมีจุดควบคุมมากขึ้นจะทำให้ค่าฟิตเนสเฉลี่ยของประชากรโตช้าลง และจำนวนที่ได้เส้นสนามแบบวนรอบได้น้อยลงด้วยการใช้จุดควบคุมเพียง 5 จุดนั้นดูจะเพียงพอต่อการสร้างสนามแข่งที่มีความโค้งกระจายสูงสุด การใช้จุดควบคุมมากขึ้นยังสามารถทำให้ได้สนามแข่งที่มีความโค้งกระจายได้ แต่ไม่เท่าเมื่อใช้เพียง 5 จุด

ส่วนในการสร้างสนามแข่งโดยพยายามให้ค่าเอ็นโทรปีความเร็วมี่ค่ามากที่สุดนั้น ใช้จำนวนจุดควบคุมคือ 5, 10 และ 15 จุดเช่นกัน ผลที่ได้นั้นปรากฏว่า จำนวนจุดควบคุมยังคงมีผลต่อจำนวนเส้นสนามแข่งแบบวนรอบที่สร้างออกมาได้ แต่ว่า ค่าเอ็นโทรปีของความเร็วนั้นสามารถปรับได้ง่ายกว่าค่าความโค้ง จึงสามารถขึ้นไปถึงค่าสูงสุดค่าเดียวกันได้แม้ใช้จำนวนจุดควบคุมต่างกัน การใช้จุดควบคุมเพียง 5 จุดก็เพียงพอต่อการสร้างสนามแข่งที่มีค่าเอ็นโทรปีสูงแล้ว แต่ค่าเอ็นโทรปีของสนามแข่งที่ใช้จุดควบคุม 10 และ 15 จุด ก็เป็นค่าที่ดีแทบไม่ต่างกันเลย

ในการสร้างสนามแข่งโดยพยายามให้เอ็นโทรปีทั้งสองแบบมีค่ามากที่สุดนั้น ทางผู้วิจัยใช้วิธีการทางสถิติหาความสัมพันธ์ของทั้งสองวัตถุประสงค์ก่อน ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.56 แสดงว่าทั้งสองอย่างนี้ไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กัน เส้นสนามแข่งที่มีค่าเอ็นโทรปีความโค้งสูงไม่จำเป็นต้องมีค่าเอ็นโทรปีความเร็วสูงตาม ผู้วิจัยได้ใช้วิธีทางพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์มาพัฒนาเส้นสนามแข่งโดยใช้จำนวนจุดควบคุม 5, 10 และ 15 จุด จากพาเรโตฟรอนต์ที่ได้ออกมา ทำให้ทราบว่าเอ็นโทรปีทั้งสองนี้มีความขัดแย้งกัน แต่ก็ยังสามารถสร้างสนามแข่งที่มีค่าของเอ็นโทรปีทั้งสองเป็นค่าที่สูงได้

ทางผู้วิจัยได้ทำการสร้างสนามแข่งให้กลุ่มตัวอย่างเลือกและเล่น (สนามแข่งที่ให้เลือกกับให้เล่นเป็นคนละชุดกัน) สำหรับการเลือกนั้น ให้กลุ่มตัวอย่างทำการเลือกสนามแข่งจากสนามที่มีค่าเอ็น

โทรปีความโค้งต่าง ๆ กัน (เอ็นโทรปีความเร็ว ไม่สามารถรู้ได้จากการมองดูสนาม จึงไม่ได้ใช้) พบว่าผู้เล่นเลือกที่จะเล่นสนามแข่งที่มีค่าเอ็นโทรปีความโค้งสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อใช้จำนวนจุดควบคุมมากเพื่อให้สนามแข่งนั้นซับซ้อน พบว่าเอ็นโทรปีความโค้งจะไม่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าเอ็นโทรปีนี้อย่างเดียวยังไม่สามารถใช้สร้างสนามแข่งที่ซับซ้อนและน่าเล่นได้ จำต้องมีคุณสมบัติอื่น ๆ ด้วย นอกจากนี้ ถ้าผู้เล่นไม่คุ้นกับเกมส์แข่งรถ เอ็นโทรปีนี้ก็ไม่มีส่วนในการให้ผู้เล่นตัดสินใจเลือกสนามแข่งเลย

สำหรับสนามแข่งที่ให้กลุ่มตัวอย่างเล่นนั้น สร้างโดยใช้วิธีทางพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ ผลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างคือ สนามแข่งที่มีเอ็นโทรปีทั้งสองแบบสูงชันนั้น มีความยากขึ้นจริง (ถ้านับแต่คนที่มีการประสพการณ์ ก็มีความเห็นนี้เช่นเดียวกัน) คนส่วนมากอยากเล่นสนามแข่งที่มีเอ็นโทรปีทั้งสองแบบสูงในการเล่นครั้งต่อไป (ถ้านับแต่คนที่มีการประสพการณ์ ก็มีความเห็นนี้เช่นเดียวกัน) แต่เมื่อนำไปเล่นจริง ๆ ปรากฏว่ามีคนอยากเล่นสนามแข่งแบบนี้เพียงครึ่งเดียว เพราะสนามแข่งมีความยากเกินไป (ถ้านับแต่คนที่มีการประสพการณ์ จะชอบเล่นสนามแข่งแบบนี้เกือบทั้งหมด)

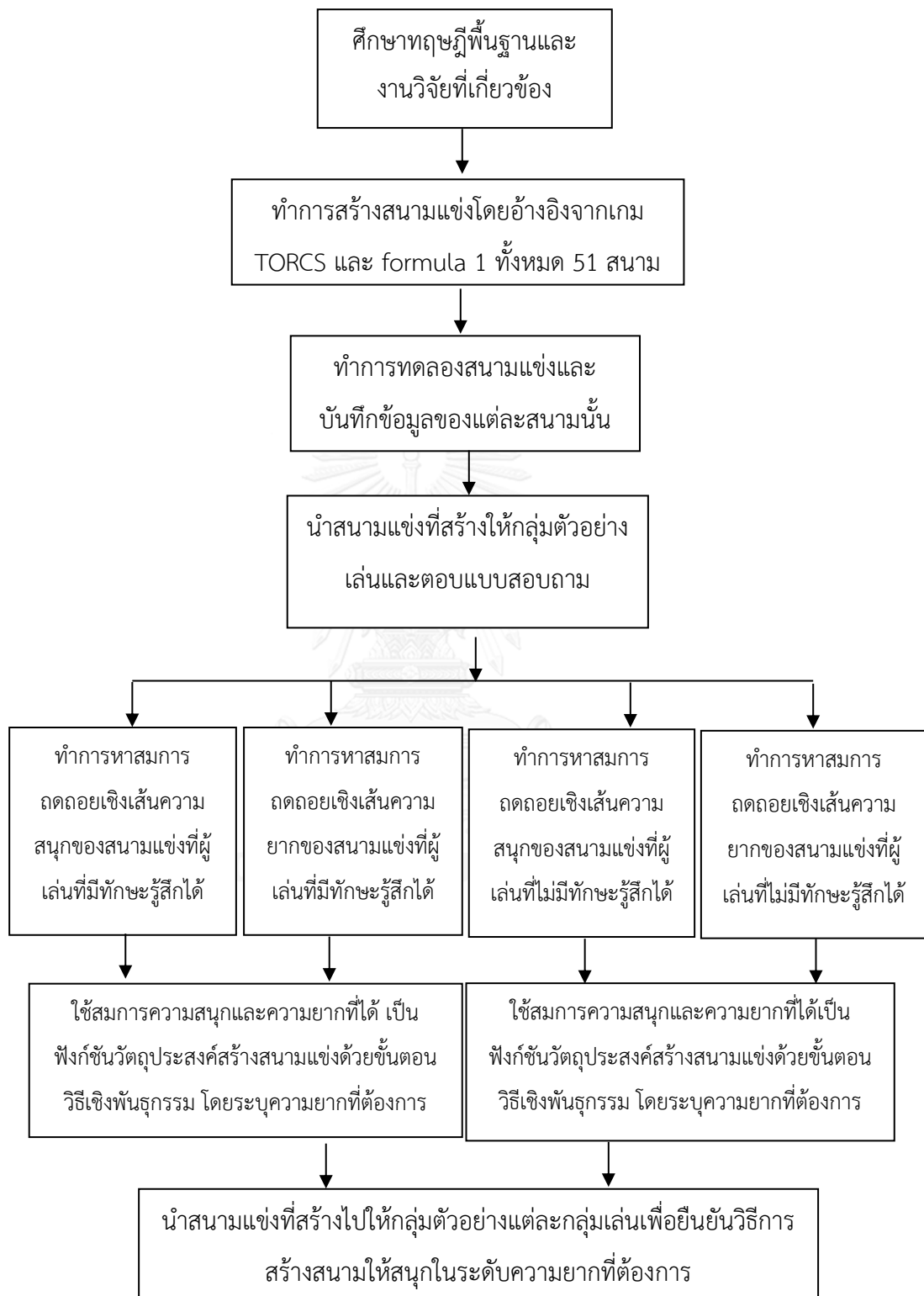
งานวิทยานิพนธ์นี้จะทำในสิ่งที่งานวิจัยข้างบนยังไม่ได้ทำ คือ การทดลองคุณสมบัติอื่น ๆ ของสนามแข่งที่ทำให้สนามแข่งมีความน่าเล่น เพื่อนำคุณสมบัติเหล่านั้นไปใช้ทำให้สนามแข่งที่ซับซ้อนมีความน่าเล่นขึ้น การใช้คุณสมบัติอื่นมาเสริม น่าจะช่วยให้การดึงดูดผู้เล่นที่ไม่มีทักษะได้ดีขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ในการทดสอบเพื่อให้รู้พารามิเตอร์ที่มีส่วนต่อความสนุกของเราสามารถทำกับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะได้ด้วย นอกจากนี้ งานวิทยานิพนธ์นี้จะทดสอบการสร้างสนามแข่งให้มีความยากได้หลายระดับเพื่อลดความเสี่ยงที่ผู้เล่นจะไม่อยากเล่นเพราะสนามแข่งมีความยากเกินไปด้วย ส่วนทางด้านตัวอีโวลูชันนารีอัลกอริทึมนั้น จะนำวิธีการของงานวิจัยนี้ไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

แนวคิดของการวิจัย

รูปที่ 9 แสดงภาพรวมของงานวิทยานิพนธ์นี้ โดยจะเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้น เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่งกับความสนุกและความยาก จึงทำการสร้างสนามแข่งเพื่อทดลองกับกลุ่มตัวอย่างโดยอ้างอิงจากสนามแข่งรถจากเกมส์ฟอร์มูล่าวันและสนามแข่งจากเกมส์ไอเฟ่นซอร์ส TORCS จากนั้นให้ผู้เล่นแข่งในสนามแข่งเหล่านั้น แล้วให้ตอบแบบสอบถามที่ให้ ผู้เล่นจัดระดับความสนุกและความยากของสนามแข่งที่ทดสอบ เมื่อได้ข้อมูลจากแบบสอบถามแล้ว จึงสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นของความสนุกและความยากจากข้อมูลที่ได้ นำสมการที่ได้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสนามด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยให้ผู้สร้างระบุความยาก (ช่วงความยาก) ที่ต้องการ แล้วจึงนำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างอีกครั้ง เพื่อทำการยืนยันว่าสามารถสร้างสนามแข่งที่มีความสนุกตามความยากที่ต้องการได้หรือไม่เพียงใด ผู้เล่นที่มีทักษะกับไม่มีทักษะในเกมส์แข่งรถจะถูกรวบรวมข้อมูลและทดสอบแยกกันเนื่องจากมีแนวโน้มที่ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติจะแตกต่างกัน [5]



รูปที่ 9: ภาพรวมของวิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานในการสร้างสนามแข่ง

3.1.1 การสร้างสนามแข่งเพื่อทำการทดลอง

สร้างตัวเกมส์และจำลองสนามแข่ง โดยทำการจำลองสนามแข่งทั้งหมด 51 สนาม ดังตาราง 3 ซึ่งประกอบไปด้วยสนามแข่งจากเกมส์ TORCS จำนวน 33 สนาม และสนามแข่งจากเกมส์ฟอร์มูล่า วัน จำนวน 18 สนาม จากสนามแข่งต่าง ๆ เหล่านี้ สามารถทำการระบุคุณสมบัติหรือพารามิเตอร์ของสนามแข่งออกมาได้ด้วยการให้ปัญญาประดิษฐ์วิ่งบันทึกค่าต่าง ๆ ดังนี้ (ตัวอย่างค่าคุณสมบัติจากสนาม Aalborg แสดงในตาราง 4)

- ค่าความยาวของเส้นสนาม
- ค่าเวลาที่ทำรอบได้ดีที่สุด
- ค่าความแตกต่างของความโค้งในสนาม
- ค่าความเปลี่ยนแปลงของความโค้งสนามในหนึ่งรอบสนาม
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งมาก
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งน้อย
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง
- ค่าความแตกต่างของความเร็วในสนาม
- ค่าความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งผ่านจุดตรวจ

ทำการทดลองสนามแข่งและบันทึกข้อมูลทุกสนามแข่ง (นิยามของพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถดูได้ในบทที่ 4) จากนั้นจึงให้กลุ่มตัวอย่างทำการเล่นเกมส์ (กลุ่มตัวอย่าง ต้องมีการเลือกผู้เล่นที่มีทักษะและไม่มีทักษะมาเป็นอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน เพราะงานวิจัยนี้จะต้องทำการหาคุณสมบัติที่ใช้ได้กับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะในการเล่นเกมส์แข่งรถด้วย) พร้อมกับตอบแบบสอบถามของความสุขและความยากในแต่ละสนามแข่ง

ตาราง 3 แสดงรายชื่อของสนามทั้งหมด 51 สนามจากเกมล์ TORCS และ Formula1

TORCS (33)		Formula1 (18)
Aalborg	E-Speedway	Albert park
Alpine1	E-track1	Austin
Alpine2	E-track2	Bahrain
A-Speedway	E-track3	Barcelona-Catalunya
Brondehach	E-track4	Budapest
B-Speedway	E-track5	Monaco
CGspeedway number1	E-track6	Gilles-Villeneuve
CG track2	Forza	Monza
CG track3	F-Speedway	Newdelhi
Corkscrew	G-Speedway	Nurburgring
C-Speedway	Hill	Sao Paulo
Dirt1	Michigan Speedway	Sepang
Dirt2	Mixed1	Shanghai
Dirt3	Mixed2	Silverstone
D-Speedway	Olethros road1	Singapore
E-road	Ruudskogen	Spa_Francorchamps
	Street1	YasMrina
		Yeongam

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของสนาม Aalborg

Tracks	Length (m.)	Best Lap Time (sec.)	H(c)	Total of tangent	Tangent change /round		Speed (km./hr.) / round		H(s)	Avg Speed
					low	high	Slow	Fast		
Aalborg	1650	90.76	2.1978	737.45	39	15	42	12	3.37	104.18

3.2 การสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น

นำข้อมูลที่ได้มาทำการหาสมการถดถอยเชิงเส้นของความสุขและความยาก โดยแบ่งออกเป็น

- สมการความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้
- สมการความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้
- สมการความสุขของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้
- สมการความสุขของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้

สมการความยากและสมการความสุขที่ได้มาจะถูกนำมาใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยสมการความยากจะถูกนำมาใช้กำหนดค่าความยากสำหรับสนามแข่งที่ต้องการสร้างขึ้น และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะพยายามให้ได้สนามแข่งที่มีค่าความสุขมากที่สุด

3.3 การสร้างสนามแข่งที่มีความสนุกในระดับความยากต่าง ๆ ที่กำหนด

ขั้นตอนนี้เป็น การสร้างสนามแข่งโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าความยากที่กำหนด และค่าความสุขที่มากที่สุด โดยในการทดลองสร้างสนามแข่งด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะมีการกำหนดค่าความยากไว้สองระดับ คือ ระดับสนามที่ค่อนข้างง่ายกับระดับสนามที่ค่อนข้างยากเพื่อทดสอบการสร้างสนามแข่งที่มีความยากมากกว่าหนึ่งระดับ แต่แต่ละระดับนั้นต้องทำการสร้างสนามแข่งมาเป็นจำนวนหนึ่งเพื่อวัดผล

หลังจากทำการวิวัฒนาการสนามแข่งแล้ว จึงทำการยืนยันคุณภาพของสนามแข่งที่สร้างโดยอาศัยการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1. Unity 3D engine
ใช้ในการสร้างโปรแกรมต้นแบบขึ้นมา โดยใช้ภาษา C# และ Java
2. Direct X 9.0 SDK
ใช้ฟังก์ชันจากไลบรารีช่วยสร้างส่วนแสดงภาพกราฟิกส์
3. Microsoft Office 365 (Word, Excel and Visio)
ใช้โปรแกรมประยุกต์ช่วยในการวาดกราฟ และแผนภาพต่าง ๆ
4. Blender
ใช้โปรแกรมเพื่อช่วยในการสร้างสนามแข่งที่จะนำไปทดลอง
5. SPSS
ใช้โปรแกรมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นต่าง ๆ



บทที่ 4

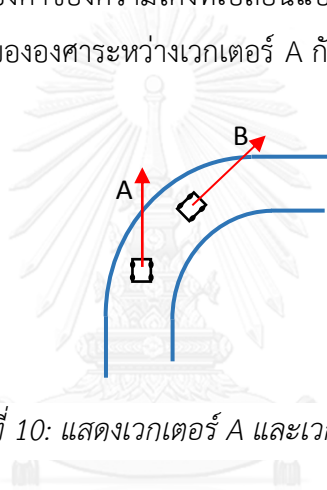
การทดลองเพื่อทำการหาสมการถดถอยเชิงเส้น และผลการทดลอง

4.1. ขั้นตอนการเตรียมการทดลองเพื่อทำการหาสมการถดถอยเชิงเส้น

ทำการจำลองสนามแข่งทั้งหมด 51 สนาม โดยแต่ละสนามแข่งจะเป็นสนามที่วนรอบตัวเอง ทำการเก็บเวลาที่ผู้เล่นทำได้ใน 1 รอบสนาม และมีจุดตรวจ (ระยะห่างระหว่างจุดตรวจในแต่ละจุดห่างกัน 30 เมตร) ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลดังนี้

- ค่าความเร็ว (V) คือความเร็วที่ผู้เล่นขับผ่านจุดตรวจ
- ค่าความโค้ง (C) คือองศาของความโค้งที่เปลี่ยนแปลงระหว่างจุดตรวจสองจุด ดังรูปที่ 10

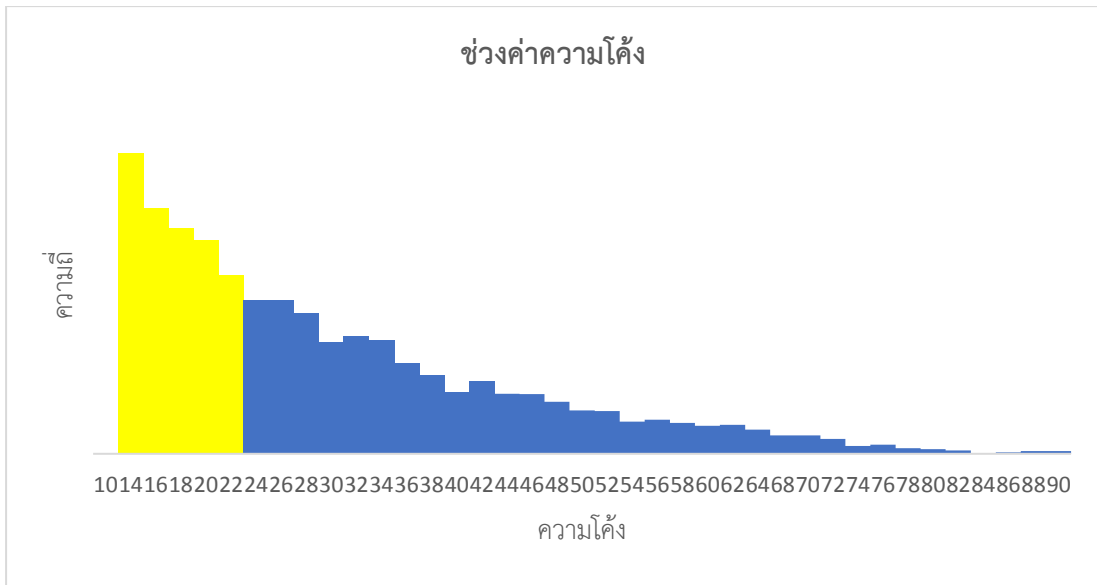
ค่าความโค้งหาได้จากความต่างขององศาระหว่างเวกเตอร์ A กับ เวกเตอร์ B



รูปที่ 10: แสดงเวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B

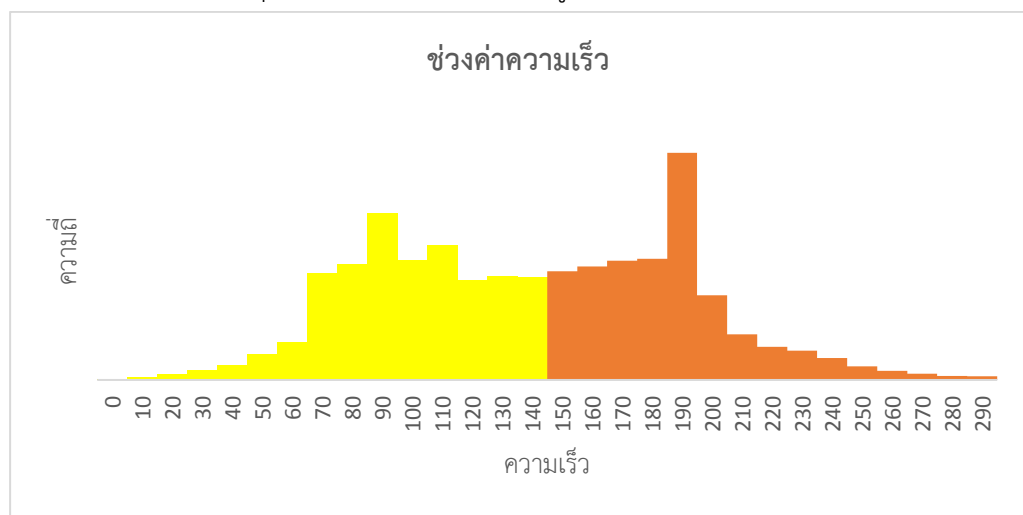
นำค่าความเร็วและความโค้งในแต่ละจุดที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าคุณสมบัติ หรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ค่าความยาวของสนามแข่ง หาได้จาก จำนวนจุดตรวจในหนึ่งรอบสนาม $\times 30$
- ค่าเวลาที่ผู้เล่นทำได้ดีที่สุดใน 1 รอบสนาม
- ค่าความแตกต่างความโค้งในสนามแข่ง หาได้จากสมการที่ (10)
- ค่าความเปลี่ยนแปลงของความโค้งสนามแข่งในหนึ่งรอบสนาม คือค่าองศาของความโค้งที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด รวมจากทุกจุดตรวจ
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งมาก นำข้อมูลค่าความโค้งของจุดตรวจทุกจุดมาสร้างกราฟความถี่แล้วจึงทำการแบ่งกราฟออกเป็นสองช่วงโดยในแต่ละช่วงจะมีความถี่เท่า ๆ กันดังรูปที่ 11 ช่วงค่าความโค้งมากจะอยู่ทางฝั่งขวามือของกราฟ สำหรับแต่ละสนามแข่งค่าพารามิเตอร์นี้คือจำนวนจุดตรวจในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงความโค้งมาก



รูปที่ 11: กราฟแสดงการแบ่งค่าความโค้งมากและค่าความโค้งน้อย

- จำนวนจุดตรวจภายในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งน้อย ทำการหาได้โดยวิธีเดียวกับจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งมาก แต่จะใช้ค่าทางฝั่งซ้ายมือของกราฟ
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ จากรูปที่ 12 แสดงค่าการแบ่งช่วงของค่าความเร็วออกเป็นสองช่วงที่มีความถี่เท่ากัน (แบ่งเป็นช่วงค่าความเร็วต่ำและค่าความเร็วสูง) โดยมาจากค่าความเร็วจากทุกจุดตรวจที่ปัญญาประดิษฐ์ขับรถผ่าน สำหรับแต่ละสนามแข่งค่าพารามิเตอร์นี้คือจำนวนจุดตรวจของสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง วิธีการหาเหมือนกับช่วงค่าความเร็วต่ำ แต่จะใช้ค่าจำนวนจุดตรวจที่ความเร็วของรถอยู่ทางฝั่งขวาแทน



รูปที่ 12: กราฟแสดงการแบ่งช่วงของค่าความเร็วน้อยและค่าความเร็วมาก

- ค่าความแตกต่างความเร็วของสนามแข่ง หาได้จากสมการที่ (11)
- ค่าความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งผ่านจุดตรวจ หาได้จาก ผลรวมค่าความเร็วที่บันทึกได้จากทุกจุดตรวจ/ จำนวนจุดตรวจ

นำค่าคุณสมบัติที่ได้ไปหาสมการถดถอยเชิงเส้นทั้ง 4 สมการโดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์สมการ

4.2 วิธีการจำแนกผู้เล่น

การแบ่งแยกผู้เล่นออกเป็นผู้เล่นที่มีทักษะหรือไม่มีทักษะนั้น สามารถแบ่งได้โดยนำค่าเวลารอบที่ดีที่สุดของผู้เล่นมาจัดเรียงจากน้อยไปมากในแต่ละสนามแข่ง แล้วทำการแบ่งกลุ่มดังนี้

- กลุ่มแรก เป็นกลุ่มของผู้เล่นที่มีทักษะโดยเลือกจาก 40% แรกของค่าเวลารอบที่ดีที่สุด
- กลุ่มสอง เป็นกลุ่มของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะโดยเลือกจาก 40% หลังของค่าเวลารอบที่ดีที่สุด
- กลุ่มสุดท้าย เป็นกลุ่มที่ไม่สามารถแบ่งได้ ซึ่งจะไม่นำไปใช้ในการหาสมการถดถอยเชิงเส้น

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่าง ความยาวสนาม ค่าความแตกต่างความโค้งของสนามแข่งใน 1 รอบสนาม จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง ค่าความแตกต่างความเร็วของสนามแข่งใน 1 รอบสนาม และค่าความเร็วเฉลี่ย ส่งผลต่อความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับร้อยละ 36.1 โดยตัวแปรพยากรณ์ทั้ง 6 ตัวร่วมกันพยากรณ์ความสนุกของสนามที่แข่งผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ ได้ร้อยละ 13.0

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ β พบว่า จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำและจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในค่าความเร็วสูงสามารถพยากรณ์ความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้สูงสุด และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและ

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐานของจำนวนจุดที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ (b , β) เป็น 1.043 และ 9.429 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐานของจำนวนจุดที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง (b , β) เป็น 0.984 และ 9.143 ตามลำดับ ส่วนค่าความแตกต่างความเร็วของสนามแข่ง สามารถพยากรณ์ความสุขของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้น้อยที่สุด โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b , β) เป็น -0.510 และ -0.229 ตามลำดับ สมการที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ เท่ากับ ± 1.79

สมการพยากรณ์ความสุขของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้

$$FFE' = 0.978 - 0.034L + 1.651DC + 1.043LS + 0.984HS - 0.510DS + 0.04AS \quad (12)$$

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความสุขของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้

Variable	b	SE _b	β	t	p-value
L	-0.034	0.016	-6.335	-2.098	<.05
DC	1.651	0.324	0.609	5.097	<.05
LS	1.043	0.486	9.429	2.146	<.05
HS	0.984	0.485	9.143	2.029	<.05
DS	-0.510	0.220	-0.229	-2.322	<.05
AS	0.040	0.011	0.809	3.810	<.05
constant 0.978 ; SE _{est} = ± 1.79					
R = 36.1 ; R ² = 13.0 ; F = 5.199 ; p-value <.05					

4.3.2 สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้

ตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่าง ค่าความยาวสนามแข่ง ค่าการ

เปลี่ยนแปลงความโค้งใน 1 รอบสนาม จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง และค่าความเร็วเฉลี่ย ส่งผลต่อความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ โดยมีสัมประสิทธิ์เท่ากับร้อยละ 44.1 โดยตัวแปรพยากรณ์ทั้ง 5 ตัวร่วมกันพยากรณ์ความยากที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ร้อยละ 19.4

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ β พบว่า จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำและจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง สามารถพยากรณ์ความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ ได้สูงสุด และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b , β) เป็น 1.191 และ 8.537 ตามลำดับและจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูงมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b , β) เป็น 1.087 และ 8.010 ตามลำดับ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงความโค้งของสนามแข่งใน 1 รอบสามารถพยากรณ์ความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ได้น้อยที่สุด โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b , β) เป็น 0.006 และ 0.659 ตามลำดับ สมการที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 2.16

สมการพยากรณ์ความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้

$$FDE' = -1.031 - 0.041L + 0.006CC + 1.191LS + 1.087HS + 0.059AS \quad (13)$$

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความยาวของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้

Variable	b	SE _b	β	t	p-value
L	-0.041	0.020	-6.043	-2.049	<.05
CC	0.006	0.001	0.659	6.575	<.05
LS	1.191	0.595	8.537	2.002	<.05
HS	1.087	0.594	8.010	1.830	<.05
AS	0.059	0.012	0.935	4.931	<.05
constant -1.031 ; SE _{est} = \pm 2.16					
R = 44.1 ; R ² = 19.4 ; F = 10.065 ; p-value <.05					

4.3.3 สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้

ผลการวิเคราะห์ตาราง 7 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่าง ค่าความยาวสนามแข่ง ค่าความแตกต่างความโค้งของสนามแข่งใน 1 รอบสนาม จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง และค่าความเร็วเฉลี่ย ส่งผลต่อความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับร้อยละ 19.7 โดยตัวแปรพยากรณ์ทั้ง 5 ตัวร่วมกันพยากรณ์ความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ร้อยละ 3.9

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ β พบว่า จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำและจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง สามารถพยากรณ์ความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ได้สูงสุด และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 0.594 และ 5.246 ตามลำดับและจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูงมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 0.548 และ 5.004 ตามลำดับ ส่วนค่าความแตกต่างความโค้งของสนามแข่งใน 1 รอบสนามสามารถพยากรณ์ความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ได้น้อยที่สุด โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูป

คะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 0.591 และ -3.508 ตามลำดับ สมการที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ เท่ากับ ± 1.91

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้

Variable	b	SE _b	β	t	p-value
L	-0.019	0.008	-3.508	-2.425	<.05
DC	0.591	0.252	0.218	2.343	<.05
LS	0.594	0.242	5.246	2.456	<.05
HS	0.548	0.222	5.004	2.465	<.05
AS	0.025	0.010	0.752	2.390	<.05
constant 1.854 ; SE _{est} = ± 1.91					
R = 19.7 ; R ² = 3.9 ; F = 1.681 ; p-value <.05					

สมการพยากรณ์ความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้

$$FIF' = 1.854 - 0.019L + 0.591DC + 0.594LS + 0.548HS + 0.025AS \quad (14)$$

4.3.4 สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้

ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่าง ค่าความยาวสนามแข่ง ค่าเวลาที่ผู้เล่นทำได้ดีที่สุดใน 1 รอบ ค่าความแตกต่างความโค้งของสนามแข่งใน 1 รอบสนาม จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง และค่าความเร็วเฉลี่ยส่งผลต่อความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับร้อยละ 49.1 โดยตัวแปรพยากรณ์ทั้ง 6 ตัวร่วมกันพยากรณ์ความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ ได้ร้อยละ 24.1

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ β พบว่า จำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำและจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง สามารถพยากรณ์ความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ ได้สูงสุด และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 1.713 และ 11.547 ตามลำดับและจำนวนจุดตรวจที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูงมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 1.591 และ 11.086 ตามลำดับ ส่วนค่าเวลาที่ผู้เล่นทำได้ที่ดีที่สุดใน 1 รอบ สามารถพยากรณ์ความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ได้น้อยที่สุด โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 0.021 และ 0.232 ตามลำดับ สมการที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 2.24

สมการพยากรณ์ความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้

$$FDIE' = -6.637 - 0.056L + 0.021BL + 2.099DC + 1.713LS + 1.591HS + 0.076AS \quad (15)$$

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้

Variable	b	SE _b	β	t	p-value
L	-0.056	0.009	-7.992	-5.987	<.05
BL	0.021	0.012	0.232	1.779	0.077
DC	2.099	0.296	0.590	7.081	<.05
LS	1.713	0.288	11.547	5.951	<.05
HS	1.591	0.267	11.086	5.957	<.05
AS	0.076	0.013	1.748	6.027	<.05
constant -6.637 ; SE _{est} = ± 2.24					
R = 49.1 ; R ² = 24.1 ; F = 11.003 ; p-value <.05					

4.4 ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์พบความสัมพันธ์ดังนี้

- คุณสมบัติจากตาราง 5 ส่งผลต่อความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ เท่ากับ 13.0%
- คุณสมบัติจากตาราง 6 ส่งผลต่อความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ เท่ากับ 19.4%
- คุณสมบัติจากตาราง 7 ส่งผลต่อความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ เท่ากับ 19.7%
- คุณสมบัติจากตาราง 8 ส่งผลต่อความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ เท่ากับ 24.1%

แสดงว่าค่าความยากและค่าความสนุกส่งผลต่อผู้เล่นที่ไม่มีทักษะมากกว่าผู้เล่นที่มีทักษะ และพบว่าค่าสหสัมพันธ์ทุกคุณส่วนใหญ่จะมีค่าร้อยละน้อยกว่า 50 แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบเกมส์แข่งรถนั้นอาจไม่ได้มีแค่เพียงคุณสมบัติของสนามแข่งเพียงอย่างเดียว อาจมีองค์ประกอบอื่นร่วมด้วย เช่น คู่แข่ง, สภาพแวดล้อม, เสียง เป็นต้น แต่ถึงอย่างไร คุณสมบัตินี้ของสนามแข่งน่าจะยังคงมีอิทธิพลต่อกับความสนุกและความยากที่ผู้เล่นรู้สึกได้

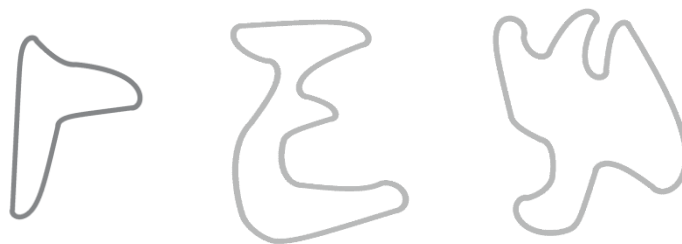
4.5 การทดสอบสมการเบื้องต้น

ทำการทดสอบสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อให้ค่าคะแนนตรงกับผู้เล่นเพียงใดในเบื้องต้น ทางผู้วิจัยได้เลือกสนามแข่งมาทดสอบจำนวนหนึ่งจากสนามแข่งที่ทำไว้เป็นสนามตั้งต้นสำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่จะทำต่อไป โดยเลือกสนามแข่งทดสอบดังนี้

4.5.1 สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ แบ่งออกตามค่าคะแนนความยากของสนามแข่งดังรูปที่ 13 จากซ้ายไปขวา โดยได้เลือกมาทั้งหมด 3 สนาม ดังนี้

- สนามแข่งที่ค่อนข้างยากน้อย (ค่าคะแนนเท่ากับ 4.50125)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างยากปานกลาง (ค่าคะแนนเท่ากับ 5.710324)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างยากมาก (ค่าคะแนนเท่ากับ 7.330503)



รูปที่ 13: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา)

สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ แบ่งออกตามค่าคะแนนความสุขของสนามแข่งดัง

รูปที่ 14 จากซ้ายไปขวา ทั้งหมด 3 สนาม ดังนี้

- สนามแข่งที่ค่อนข้างสนุกน้อย (ค่าคะแนนเท่ากับ 5.259873)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างสนุกปานกลาง (ค่าคะแนนเท่ากับ 6.69057)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างสนุกมาก (ค่าคะแนนเท่ากับ 7.643925)



รูปที่ 14: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความสุขสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา)

4.5.2 สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ แบ่งตามค่าคะแนนความยากของสนามแข่ง ดัง

รูปที่ 15 จากซ้ายไปขวา ทั้งหมด 3 สนาม ดังนี้

- สนามแข่งที่ค่อนข้างยากน้อย (ค่าคะแนนเท่ากับ 5.109776)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างยากปานกลาง (ค่าคะแนนเท่ากับ 6.660288)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างยากมาก (ค่าคะแนนเท่ากับ 9.76365)



รูปที่ 15: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา)

สนามแข่งทดสอบสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ แบ่งตามค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่ง ดังรูปที่ 16 จากซ้ายไปขวา ทั้งหมด 3 สนาม ดังนี้

- สนามแข่งที่ค่อนข้างสนุกน้อย (ค่าคะแนนเท่ากับ 5.462601)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างสนุกปานกลาง (ค่าคะแนนเท่ากับ 6.060295)
- สนามแข่งที่ค่อนข้างสนุกมาก (ค่าคะแนนเท่ากับ 7.165329)






รูปที่ 16: สนามแข่งทดสอบค่าคะแนนความสนุกสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนจากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา)

เมื่อได้สนามแข่งทดสอบแล้วจึงให้ผู้เล่นทดสอบ โดยมีผู้ทดสอบทั้งหมด 10 คน แบ่งเป็นผู้เล่นที่มีทักษะ 4 คน และผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 6 คน เล่นเกมบนสนามแข่งทั้ง 6 สนาม (สนามแข่งที่ซ้ำกันจะนับรวมเป็นสนามแข่งเดียว) สนามแข่งละ 3 รอบ จากนั้นให้ผู้เล่นทำการให้คะแนนความสนุกและความยากของสนามแข่งนั้น เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าคะแนนความสนุกและความยากระหว่างสมการถดถอยเชิงเส้นและผู้เล่น




4.6 ผลการทดสอบสมการ

ผลการทดสอบสมการทั้ง 4 สมการจะถูกแยกออกเป็นตาราง 9 ตาราง 10 ตาราง 11 และ ตาราง 12 ซึ่งในแต่ละตารางจะประกอบด้วย 3 คอลัมน์ คอลัมน์แรกจะเป็นรูปร่างของสนามแข่ง คอลัมน์ที่สองคือคะแนนจากสมการถดถอยเชิงเส้น และคอลัมน์ที่สามคือคะแนนเฉลี่ยจากผู้เล่น

ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความยากระหว่างสมการกับผู้เล่นที่มีทักษะ

pic	hard_equation	hard_tester
	5.5422994	4.25
	5.6048804	6
	6.6074156	6.5




ตาราง 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความสนุกระหว่างสมการกับผู้เล่นที่มีทักษะ

pic	fun_equation	fun_tester
	5.907040134	4.5
	6.787126007	6.5
	7.18847096	7




ตาราง 9 และ ผลการทดสอบสมการทั้ง 4 สมการจะถูกแยกออกเป็นตาราง 9 ตาราง 10 ตาราง 11 และตาราง 12 ซึ่งในแต่ละตารางจะประกอบด้วย 3 คอลัมน์ คอลัมน์แรกจะเป็นรูปร่างของสนามแข่ง คอลัมน์ที่สองคือคะแนนจากสมการถดถอยเชิงเส้น และคอลัมน์ที่สามคือคะแนนเฉลี่ยจากผู้เล่น

แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากระหว่างสมการถดถอยเชิงเส้นและคะแนนที่ได้จากผู้เล่นที่มีทักษะ พบว่า ส่วนใหญ่แล้วค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากจากสมการมีค่าใกล้เคียงกับค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่มีทักษะ ในระดับที่คะแนนห่างกันไม่ถึงหนึ่งคะแนน และค่าคะแนนความสนุกและความยากของผู้ทดสอบกับของสมการนั้นไปในทิศทางเดียวกัน

ตาราง 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความยากระหว่างสมการกับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

pic	hard_equation	hard_tester
	5.947452776	4.5
	8.544490399	6.5
	8.51365175	8

ตาราง 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความสนุกระหว่างสมการกับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

pic	fun_equation	fun_tester
	5.736017814	4
	6.272961461	6
	6.329388905	7

ตาราง 11 และ ตาราง 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากระหว่างสมการถดถอยเชิงเส้นและคะแนนที่ได้จากผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ พบว่า ส่วนใหญ่แล้วค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากจากสมการมีค่าเท่ากับคะแนนที่ผู้เล่นให้ไม่เกินหนึ่งคะแนน แต่ก็มีบางสนามที่คะแนนห่างกันเกินหนึ่งคะแนน และค่าคะแนนความสนุกและความยากของผู้ทดสอบกับของสมการนั้นไปในทิศทางเดียวกัน

สนามแข่งที่รูปร่างไม่ซับซ้อนนั้นจะมีค่าคะแนนความสนุกน้อยกว่าสนามแข่งที่มีรูปร่างซับซ้อน ทั้งจากผู้เล่นที่มีทักษะและไม่มีทักษะ และสนามแข่งที่มีรูปร่างซับซ้อนจะมีค่าคะแนนความยากมากกว่าสนามแข่งที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนทั้งจากผู้เล่นที่มีทักษะและไม่มีทักษะเช่นกัน แสดงว่าสนามแข่งยังมีรูปร่างที่ซับซ้อนจะมีแนวโน้มของค่าคะแนนความสนุกและความยากเพิ่มขึ้นด้วย

นอกจากนี้ ทั้งสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะและไม่มีทักษะ ยังสังเกตได้ว่า สนามแข่งที่ได้รับค่าคะแนนจากการคำนวณความสนุกหรือความยาก มากกว่าสนามแข่งอื่น ก็มีแนวโน้มที่ผู้เล่นจะให้คะแนนมากกว่าด้วยเช่นกัน

จากการเปรียบเทียบคะแนนที่ได้จากสมการและผู้เล่นแล้ว จึงมีแนวโน้มว่าน่าจะสามารถนำสมการถดถอยเชิงเส้นมาใช้ในขั้นตอนเชิงพันธุกรรมต่อไปได้

บทที่ 5

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อพัฒนาสนามแข่ง และผลการทดลอง

5.1 ขั้นตอนการเตรียมการทดลองเชิงพันธุกรรม

5.1.1 การสร้างเส้นสนามแข่ง

การสร้างเส้นสนามแข่งระหว่างจุดควบคุม จะใช้วัตถุ (เรียกว่า ตัวสร้างสนามแข่ง) ลากเส้นระหว่างจุดควบคุมต่าง ๆ (จุดควบคุมเป็นตำแหน่งที่เกิดการเลียอย่างชัดเจนในสนามแข่ง ซึ่งเป็นคนละอย่างกับจุดตรวจ) ตัวสร้างสนามแข่งจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดในการไปยังจุดควบคุมถัดไป โดยจะมีการเลียด้วยมุมมองเท่ากับค่า S ในแต่ละขั้นของการลากเส้น จุดควบคุมแต่ละจุดจะมีค่า S ของมันเองกำกับอยู่ ซึ่งค่านี้จะถูกตัวสร้างสนามแข่งใช้เมื่อตัวสร้างสนามแข่งเข้าใกล้จุดควบคุมในระยะที่กำหนด หากค่า S มีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่า ตัวสร้างจะไม่ทำการเลียใด ๆ และถ้าหาก S มีค่ามากเกินไป ตัวสร้างจะสร้างสนามแข่งที่ทับกัน ทำให้ต้องมีการกำหนดค่า S ให้อยู่ระหว่าง 0.5 – 2 เพื่อลดการเกิดปัญหาดังกล่าว



รูปที่ 17: แสดงการเปลี่ยนองศาความโค้งของตัวสร้างสนามแข่ง

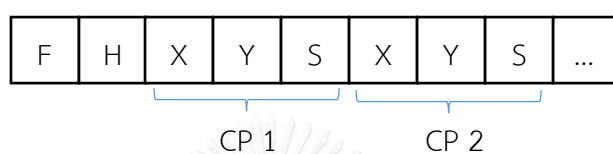
รูปที่ 17: แสดงการเปลี่ยนองศาความโค้งของตัวสร้างสนามแข่งจากจุดควบคุมแรก (CP1) ที่มีค่า S_1 ไปยังจุดควบคุมที่สอง (CP2) ที่มีค่า S_2 และมีเส้นประรูปวงกลมสีแดงแสดงพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า S เมื่อตัวสร้างสนามแข่งเข้าไปในเส้นประสีแดงแล้วจึงจะทำการเปลี่ยนค่า S จาก S_1 เป็นค่า S_2 แทน

เมื่อสร้างเส้นสนามแข่งขึ้นมาแล้วจึงทำการคำนวณความยาวของเส้นสนามแข่งนั้นเพื่อตรวจสอบว่าสนามแข่งนั้นอยู่ในความยาวที่กำหนดหรือไม่ โดยความยาวของเส้นสนามแข่งที่กำหนดมีค่าอยู่ระหว่าง 1,000 – 9,000 เมตร (เป็นการประมาณค่าจากสนามแข่งที่มีค่าความยาวน้อยและ

สนามแข่งที่มีค่าความยาวมากที่สุดของสนามแข่งทดลอง 51 สนามในตอนแรก โดยเพื่อระยะสำหรับการเพิ่มระยะทางของสนามแข่งในระหว่างขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไว้ด้วย)

5.1.2 การจำลองโครโมโซมให้เข้ากับปัญหา

รูปที่ 18 ข้อมูลโครโมโซม 1 สาย โครโมโซมแต่ละเส้นจะแทนสนามแข่ง 1 สนามและจะประกอบด้วย ค่าความสนุก, ค่าความยากและจุดควบคุม (ย่อด้วย CP ซึ่ง 1 จุดควบคุมประกอบด้วย X, Y, S ซึ่งนิยามไว้ในหน้า 3) โครโมโซม 1 สายสามารถมีจุดควบคุมได้ตั้งแต่ 3 จุดควบคุมขึ้นไป

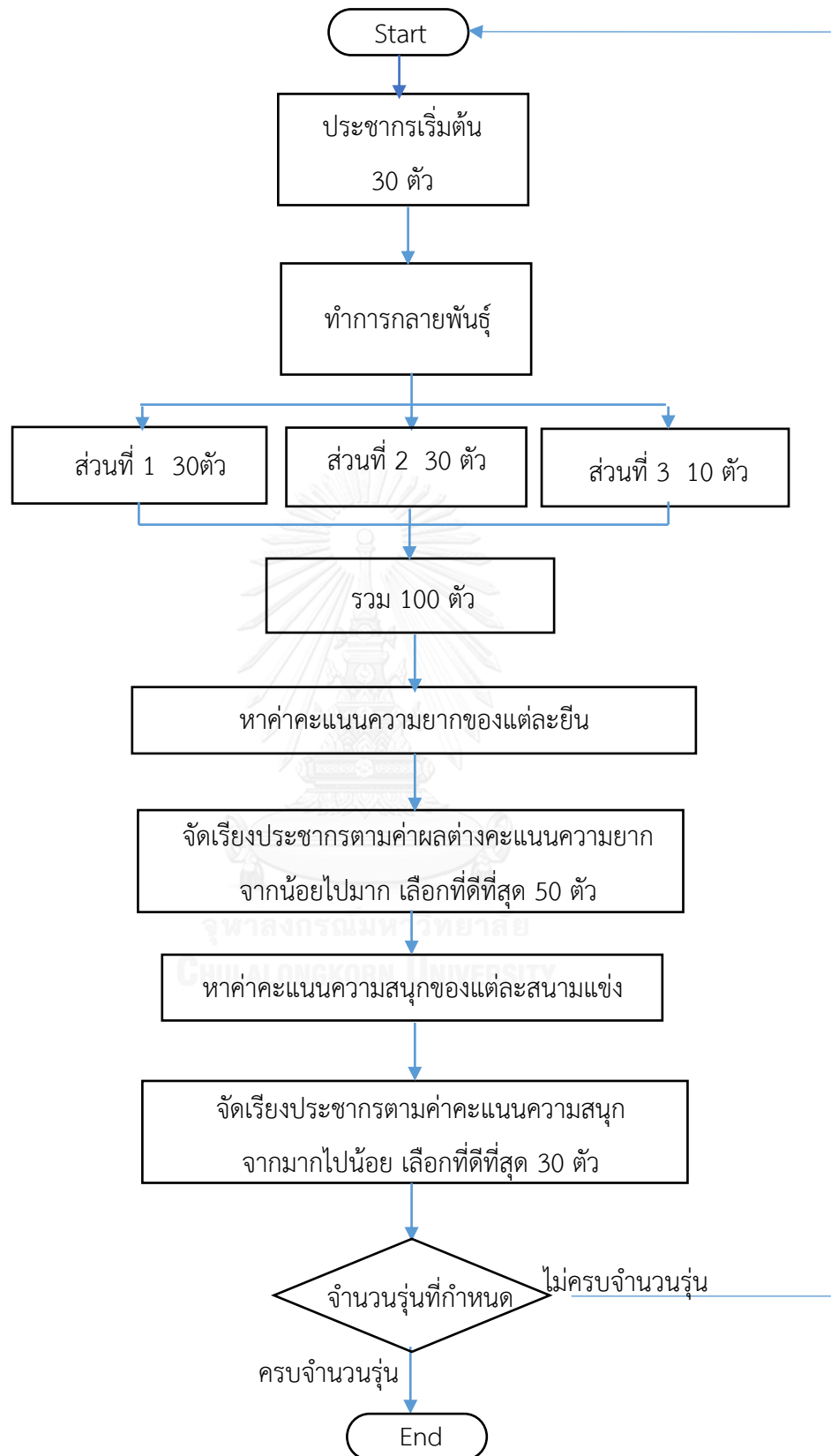


รูปที่ 18 ข้อมูลโครโมโซม 1 สาย

5.1.3 การกำเนิดโครโมโซมรุ่นแรกและการสร้างโครโมโซมรุ่นต่อไป

โครโมโซมรุ่นแรกเกิดจากการจำลองสนามแข่งต้นแบบ 30 สนาม เพื่อนำมาใช้เป็นโครโมโซมต้นแบบ โดยจำลองรูปแบบสนามแข่งคล้ายกับสนามแข่งที่มีคุณสมบัติที่ดีในการทดลองหาสมการถดถอยเชิงเส้น โดยระบบจะทำการกำหนดค่าความยากเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งไว้ ซึ่งแต่ละกลุ่มจะเป็นค่าเดียวกันหมด

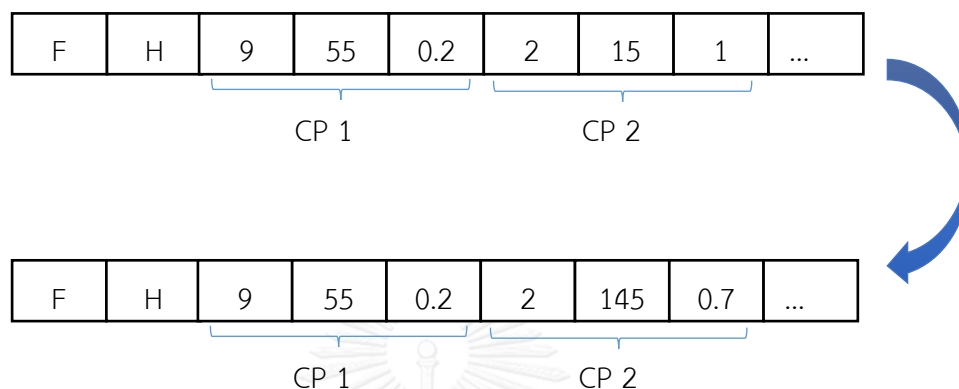
จากนั้นจึงทำการกลายพันธุ์เพื่อสร้างสนามแข่งเพิ่มขึ้นมาจากโครโมโซมที่มีอยู่ (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมจากหัวข้อ 5.1.4) ให้ครบ 100 โครโมโซม ทำการหาค่าคะแนนความยากของแต่ละโครโมโซมแล้วทำการจัดเรียงโครโมโซมตามค่าผลต่างคะแนนความยากระหว่างค่าคะแนนความยากที่ต้องการกับค่าคะแนนความยากของโครโมโซมจากน้อยไปมาก แล้วเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด 50 ตัว จากนั้นทำการหาค่าคะแนนความสนุก แล้วนำมาจัดเรียงโครโมโซมด้วยค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย แล้วเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด 30 ตัวเพื่อนำไปเป็นประชากรตั้งต้นในรุ่นถัดไป รูปที่ 19 แสดงการสร้างประชากร 100 ตัวสำหรับแต่ละรุ่นประชากร



รูปที่ 19 แผนผังการกำเนิด 100 โครโมโซมในแต่ละรุ่นของประชากร

5.1.4 การกลายพันธุ์

รูปที่ 20 แสดงตัวอย่างการกลายพันธุ์ของโครโมโซม 1 สาย การกลายพันธุ์ในตัวอย่างนี้เกิดที่จุดควบคุมที่ 2 (CP2) โดยค่า Y และ ค่า S มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม ส่วนค่า X ไม่มีการเปลี่ยนแปลง



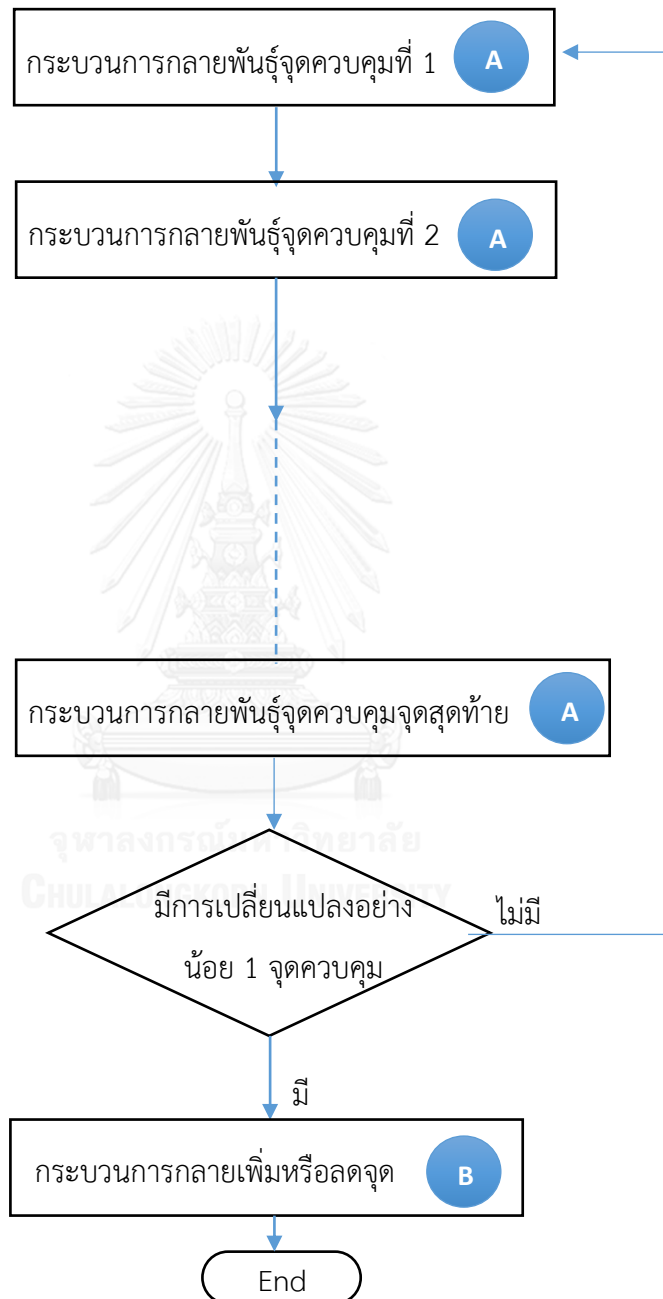
รูปที่ 20 ตัวอย่างการกลายพันธุ์ของโครโมโซม 1 สาย

การกลายพันธุ์ของโครโมโซมแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

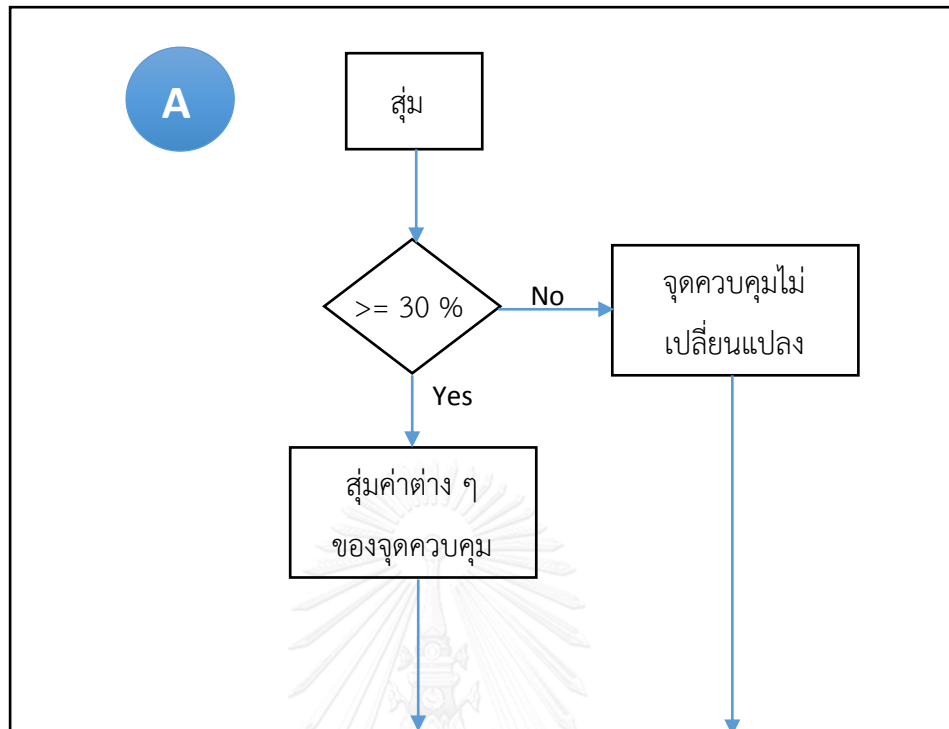
- โครโมโซมที่สร้างขึ้นมาในส่วนแรกนั้นจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนโครโมโซมต้นแบบคือ 30 โครโมโซม เกิดจากการกลายพันธุ์ของเหล่าโครโมโซมต้นแบบดังรูปที่ 21 ระบบจะทำการสุ่มเปอร์เซ็นต์ของแต่ละจุดควบคุม หากค่าร้อยละที่สุ่มมานั้นมากกว่าหรือเท่ากับ 30 ขึ้นไป (รูปที่ 22) ค่าต่าง ๆ ในจุดควบคุมจุดนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยค่า X จะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 100 – 300 หน่วย ค่า Y จะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 100 – 300 หน่วย และค่า S เปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0.5 - 2 หน่วย แต่ถ้าจุดควบคุมมีค่าการสุ่มน้อยกว่าร้อยละ 30 ทุกจุด ระบบจะทำการสุ่มใหม่จนกว่าจะมีจุดควบคุมอย่างน้อยหนึ่งจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

จากนั้นระบบจะทำการสุ่ม ณ จุดควบคุมตัวสุดท้ายดังรูปที่ 23 ถ้าสุ่มได้ร้อยละมากกว่า 30 จะไม่มีการเพิ่มหรือลดจุดควบคุมเกิดขึ้นในโครโมโซมนั้น แต่ถ้าสุ่มได้ร้อยละน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 จะทำการสุ่มอีกครั้ง หากสุ่มได้มากกว่าหรือเท่ากับ 50 ระบบจะทำการเพิ่มจุดควบคุม 1 จุดควบคุมในโครโมโซมสายนั้นโดยทำการสุ่มค่าต่าง ๆ ของจุดควบคุมที่เพิ่มมา จุดควบคุมที่เพิ่มมานั้นจะมีข้อจำกัดคือ ระยะห่างของจุดควบคุมที่เพิ่มมาจะห่างจากจุดควบคุมตัวสุดท้ายเป็นระยะอย่างน้อย 100 หน่วย และจะไม่มากกว่า 300 หน่วย และถ้าสุ่มได้น้อยกว่า 50 ระบบจะทำการตรวจสอบจำนวนจุดควบคุม

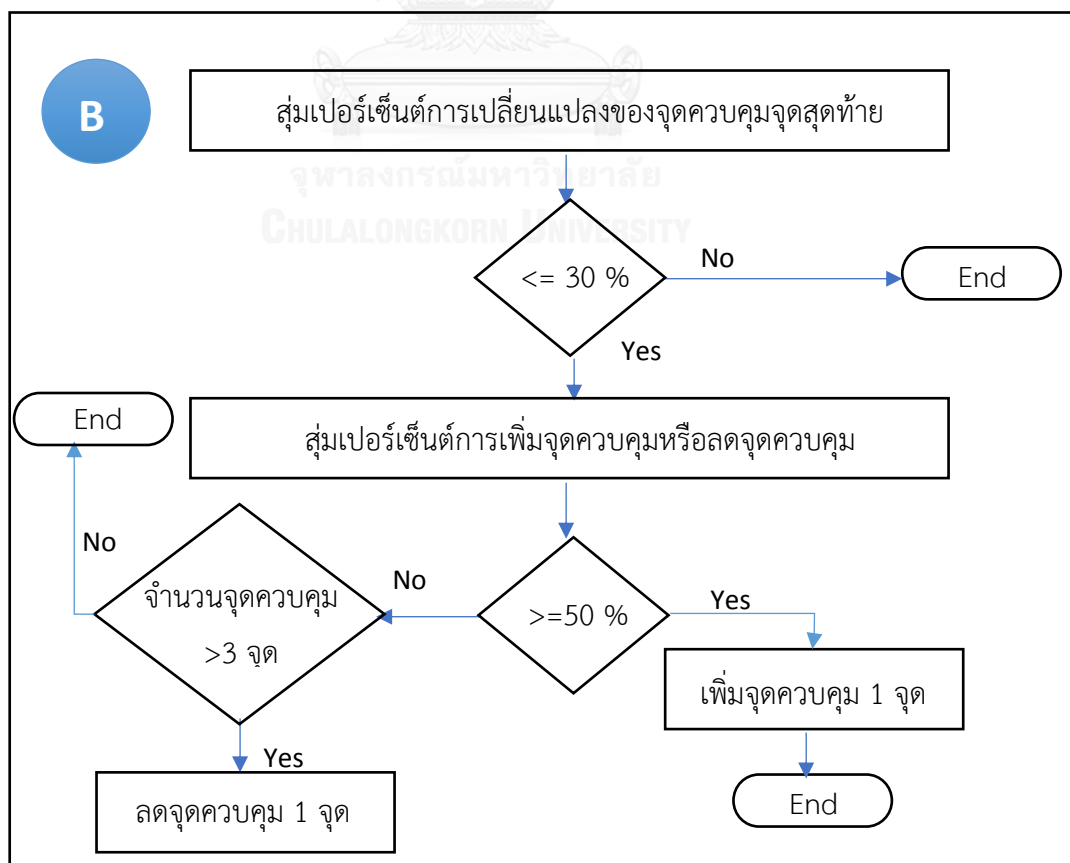
ทั้งหมดในโครโมโซมสายนั้นว่ามีมากกว่า 3 จุดหรือไม่ ถ้ามีมากกว่า 3 จุด ระบบจะทำการลดจุดควบคุมตัวสุดท้ายออกจากโครโมโซมสายนั้น 1 จุดควบคุม



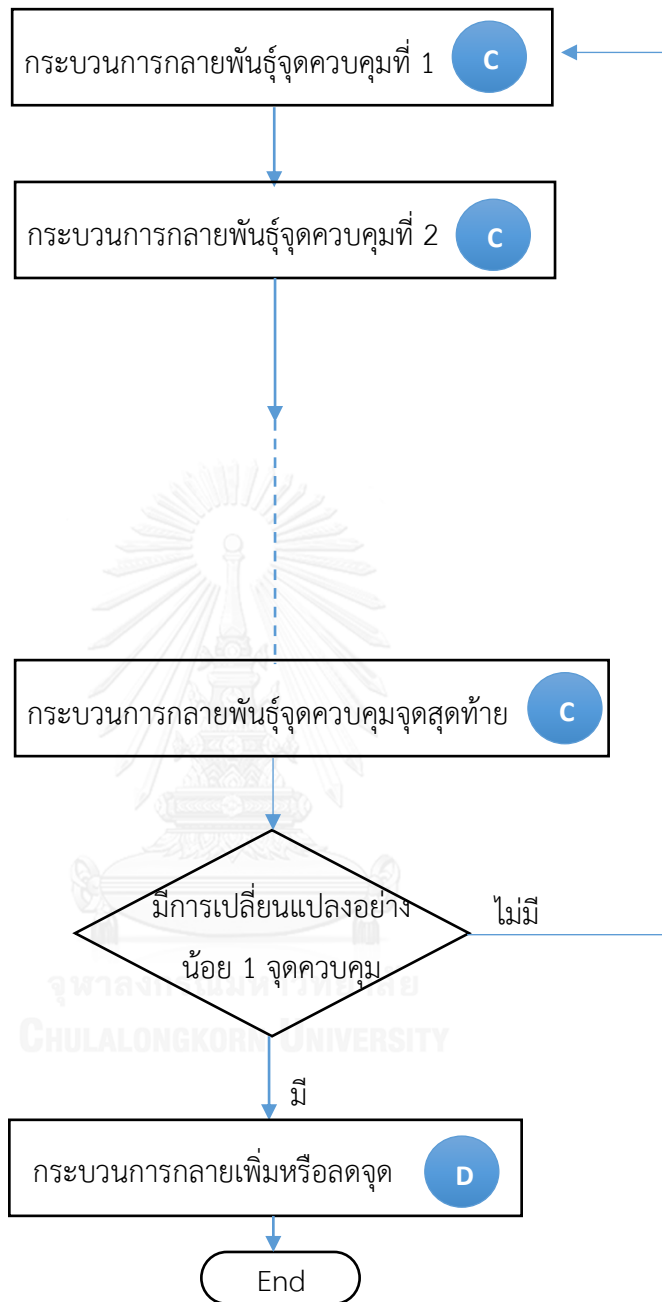
รูปที่ 21: กระบวนการเน็ตโครโมโซมแต่ละโครโมโซม ในส่วนที่ 1



รูปที่ 22: กระบวนการกลายพันธุ์ใน ส่วนที่ 1



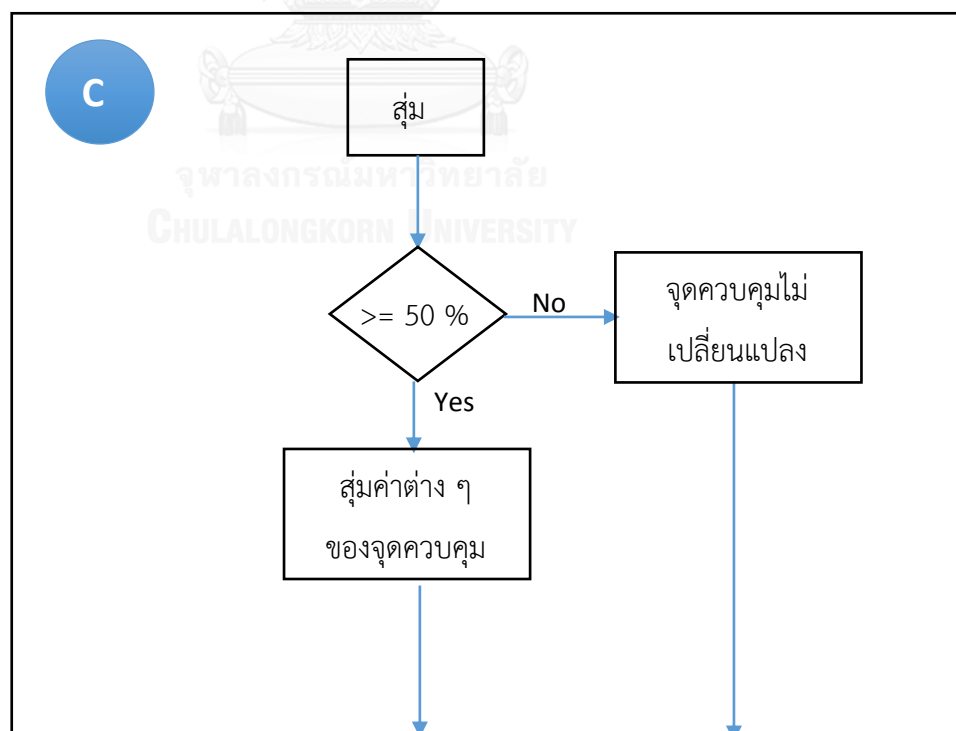
รูปที่ 23: กระบวนการเพิ่มจุดหรือลดจุดควบคุมส่วนที่ 1



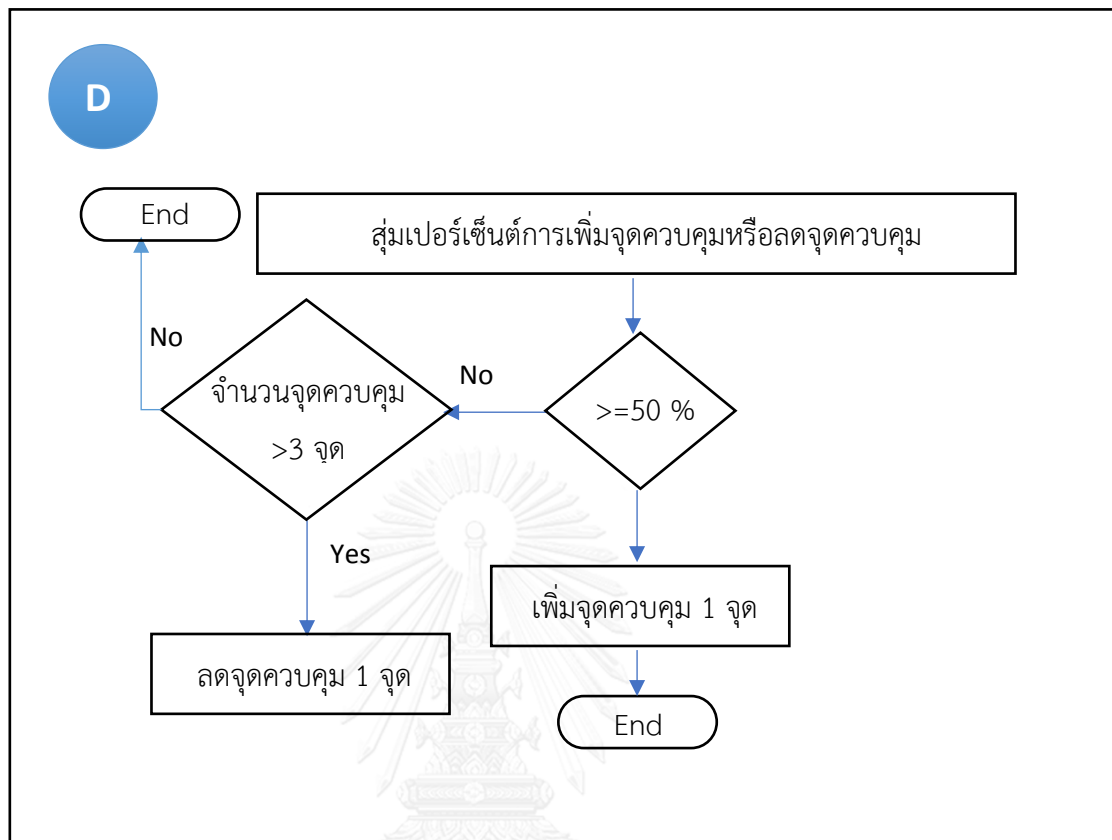
รูปที่ 24: กระบวนการเน็ตโครโมโซมแต่ละโครโมโซม ในส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3

2. โครโมโซมที่สร้างขึ้นในส่วนที่สองนั้นจะมีจำนวนเท่ากับโครโมโซมต้นแบบคือ 30 โครโมโซม เกิดจากการกลายพันธุ์ของโครโมโซมต้นแบบดังรูปที่ 24 จะทำการสุ่มเปอร์เซ็นต์ของแต่ละจุดควบคุม หากค่าร้อยละนั้นมากกว่าหรือเท่ากับ 50 ขึ้นไป (รูปที่ 25) ค่าต่าง ๆ ในจุดควบคุมจุดนั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าจุดควบคุมมีค่าการสุ่มน้อยกว่าร้อยละ 50 ทุกจุด ระบบจะทำการสุ่มใหม่จนกว่าจะมีจุดควบคุมอย่างน้อยหนึ่งจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

จากนั้นระบบจะทำการสุ่ม ณ จุดควบคุมตัวสุดท้ายดังรูปที่ 26 ถ้าสุ่มได้ร้อยละมากกว่าหรือเท่ากับ 50 ระบบจะทำการเพิ่มจุดควบคุม 1 จุดควบคุมในโครโมโซมสายนั้นโดยทำการสุ่มค่าต่าง ๆ ของจุดควบคุมที่เพิ่มมา จุดควบคุมที่เพิ่มมานั้นจะมีข้อจำกัดคือ ระยะห่างของจุดควบคุมที่เพิ่มมาจะห่างจากจุดควบคุมตัวสุดท้ายเป็นระยะอย่างน้อย 100 หน่วย และจะไม่มากกว่า 300 หน่วย แต่ถ้าสุ่มได้ร้อยละน้อยกว่า 50 ระบบจะทำการตรวจสอบจำนวนจุดควบคุมทั้งหมดในโครโมโซมสายนั้นว่ามีมากกว่า 3 จุดหรือไม่ ถ้ามีมากกว่า 3 จุด ระบบจะทำการลดจุดควบคุมตัวสุดท้ายออกจากโครโมโซมสายนั้น 1 จุดควบคุม



รูปที่ 25: กระบวนการกลายพันธุ์ในส่วนที่ 2 และ 3



รูปที่ 26: กระบวนการเพิ่มจุดหรือลดจุดควบคุม ส่วนที่ 2 และ 3

3. โครโมโซมที่สร้างขึ้นมาในส่วสุดท้ายนั้นจะมีจำนวน 10 ตัว เกิดจากการกลายพันธุ์ของโครโมโซมต้นแบบที่มีค่าพิตเนสที่ดีที่สุด 10 โครโมโซม โดยใช้กระบวนการเดียวกับรูปที่ 24

5.2 การหาผลต่างของความยาก

การหาค่าผลต่างของความยากที่ต้องการและความยากที่ได้จากสมการถดถอยเชิงเส้นนั้น เพื่อทำการเปรียบเทียบว่าสนามแข่งนั้นมีค่าความยากใกล้เคียงกับความยากที่ต้องการหรือไม่ โดยใช้สมการ (4)

$$DH = |HE - HF| \quad (4)$$

โดยที่ DH คือผลต่างของความยาก ยิ่งค่า DH เข้าใกล้ศูนย์ยิ่งดี

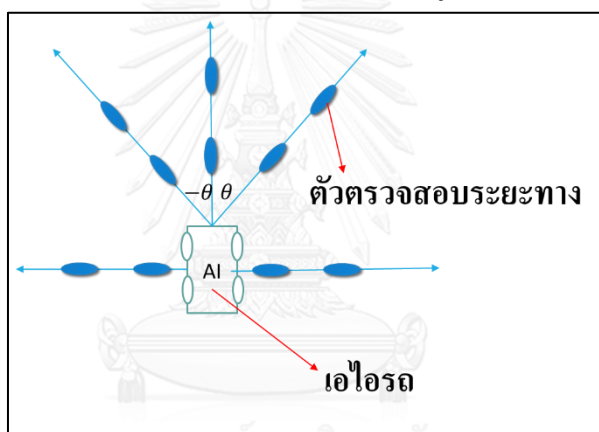
HE คือความยากของสนามแข่งที่คำนวณได้จากสมการ

HF คือความยากของสนามแข่งที่กำหนด

5.3 ปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง

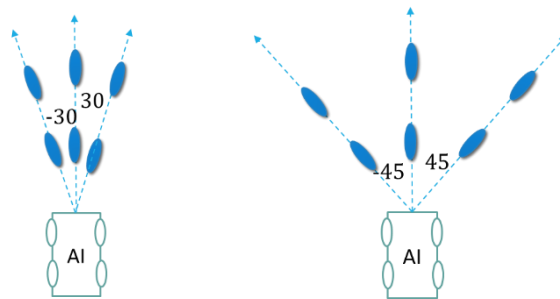
ปัญญาประดิษฐ์เป็นปัญญาประดิษฐ์อย่างง่าย โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ปัญญาประดิษฐ์ทำการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทาง ซึ่งเป็นวัตถุทรงกลมรีที่ยิงออกไปทำมุมกับตัวรถเป็นมุม $-90, -45, -30, 0, 30, 45, 90$ ดังแสดงในรูปที่ 27



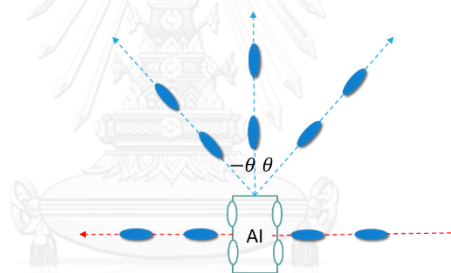
รูปที่ 27: แสดงการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทางของปัญญาประดิษฐ์รถ

- หากปัญญาประดิษฐ์อยู่ในกรณีที่สนามแข่งมีทางตรงยาว จะทำการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทางทั้งหมด 3 ตัว แบ่งโดยแบ่งปล่อยเป็น 2 ชุด ชุดแรกจะทำการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทาง 3 ตัว โดยใช้มุม $-30, 0, 30$ องศา ส่วนชุดที่สองจะทำการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทาง 3 ตัว โดยใช้มุม $-45, 0, 45$ องศา ดังแสดงในรูปที่ 28 ตัวตรวจสอบระยะทางจะถูกปล่อยสลับชุดกันไปทุก ๆ 5 เฟรมของการทำงานในเกม



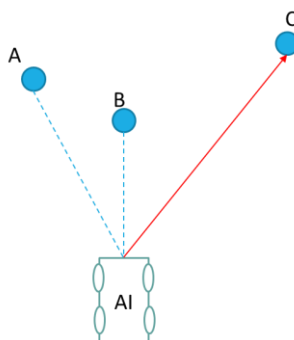
รูปที่ 28: แสดงการล่อยตัวตรวจสอบในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ของเอไอรอด

- ในกรณีที่ปัญญาประดิษฐ์รุดอยู่ในจุดที่มีความโค้งมาก จะทำการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทางเพิ่มอีก 2 ตัวในทางด้านซ้ายและด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 29 โดยใช้มุม -90 กับ 90 องศา ซึ่งจะปล่อยทุก 5 เฟรมเช่นกัน



รูปที่ 29: แสดงการปล่อยตัวตรวจสอบระยะทาง -90 และ 90 องศาของปัญญาประดิษฐ์รุด

2. เมื่อตัวตรวจสอบระยะทางไปพ้นขอบสนามแข่งหรือออกนอกสนามแข่งหรือมีระยะทางเกินที่กำหนด จะทำการคำนวณระยะทางระหว่างรถกับตัวตรวจสอบระยะทาง
3. เมื่อได้ระยะทางจากตัวตรวจสอบระยะทางทุกตัวในเฟรมหนึ่ง ๆ แล้ว เลือกจุดที่มีระยะทางมากที่สุดเพื่อให้ปัญญาประดิษฐ์รุดเคลื่อนที่ไปยังจุดนั้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 30

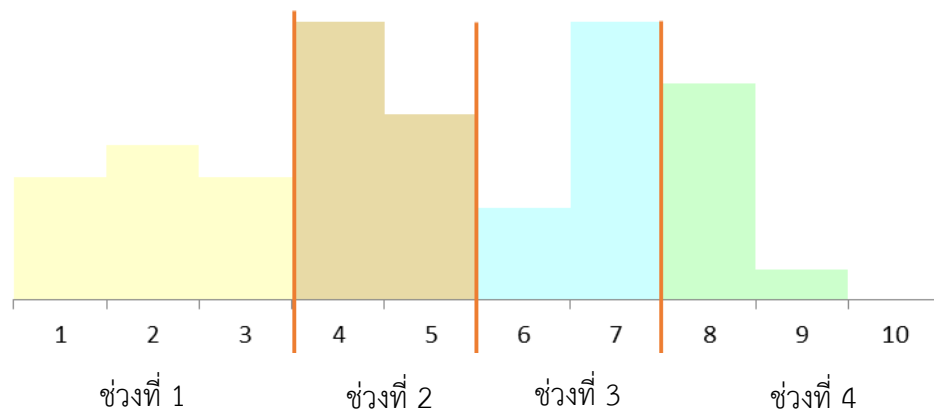


รูปที่ 30: ตัวอย่าง เมื่อตัวตรวจสอบระยะทางตรวจสอบระยะทางระหว่างจุด A B C กับตัว
ปัญหาประติษฐ์รถ แล้วพบว่า จุด C คือจุดที่ไกลสุด ปัญหาประติษฐ์รถจะเคลื่อนที่เข้าหาจุด C

5.4 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการสร้างสนามแข่งด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีการวิวัฒนาการสนามแข่งทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ วิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ วิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ วิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ และวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

การพิจารณาว่าสนามแข่งเป็นสนามแข่งที่ค่อนข้างง่ายหรือค่อนข้างยากยากนั้น ทำได้โดยแบ่งช่วงของค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นให้กับสนามต่าง ๆ ในช่วงการหาสมการถดถอยเชิงเส้นออกเป็น 4 ช่วงเท่า ๆ กันระหว่างช่วงค่าคะแนนความยาก 1 – 10 ดังรูปที่ 31 แสดงการแบ่งช่วงค่าคะแนนความยาก ช่วงที่ 1 มีค่าคะแนนความยากระหว่าง 1 – 3 ซึ่งสนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากในช่วงที่ 1 นั้นจัดเป็นสนามแข่งที่ค่อนข้างง่าย จึงนำค่าคะแนนความยาก 3 มาเป็นค่าคะแนนความยากที่กำหนดว่าเป็นสนามแข่งที่ค่อนข้างง่าย และในช่วงที่ 2 มีค่าคะแนนความยากระหว่าง 8 – 10 ซึ่งสนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากในช่วงที่ 4 จัดเป็นสนามแข่งที่ค่อนข้างยาก จึงนำค่าคะแนน 8 เป็นค่าคะแนนความยากที่กำหนดว่าเป็นสนามแข่งที่ค่อนข้างยาก

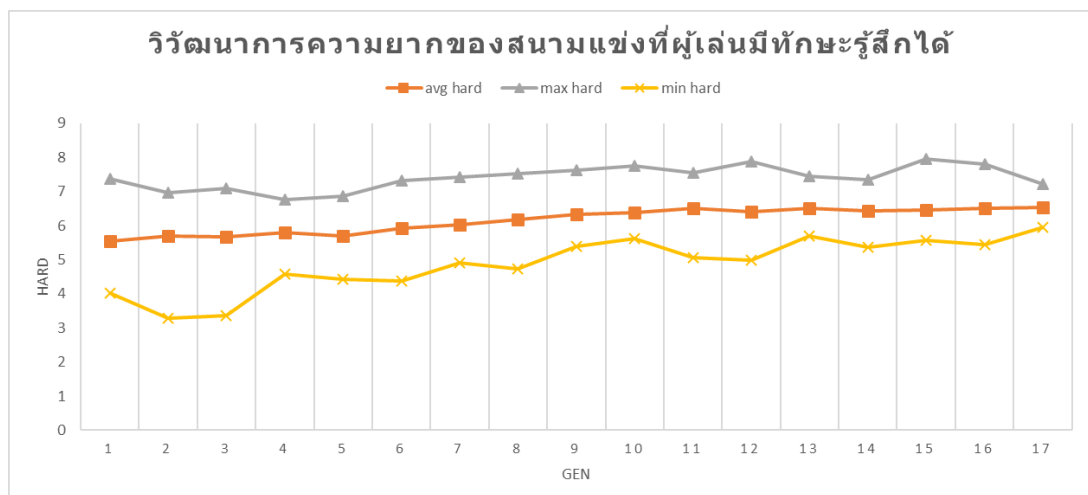


รูปที่ 31: แสดงการแบ่งช่วงค่าคะแนนความยากที่กำหนด

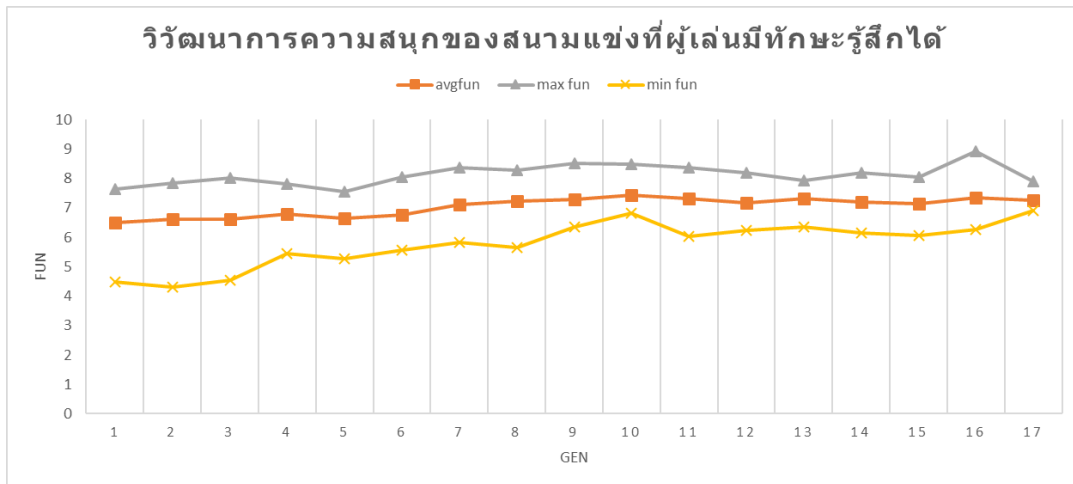
ผลการทดลองจากการสร้างสนามแข่งด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม แบ่งออกเป็นดังนี้

5.4.1 ผู้เล่นที่มีทักษะ

- สนามแข่งที่ค่อนข้างง่าย รูปที่ 32 แสดงวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่าคะแนนความยากทั้งสาม (ค่าคะแนนความยากเฉลี่ย ค่าคะแนนความยากมากที่สุด และค่าคะแนนความยากน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ รูปที่ 33 แสดงวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่าคะแนนความสนุกทั้งสาม (ค่าคะแนนความสนุกเฉลี่ย ค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด และค่าคะแนนความสนุกน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

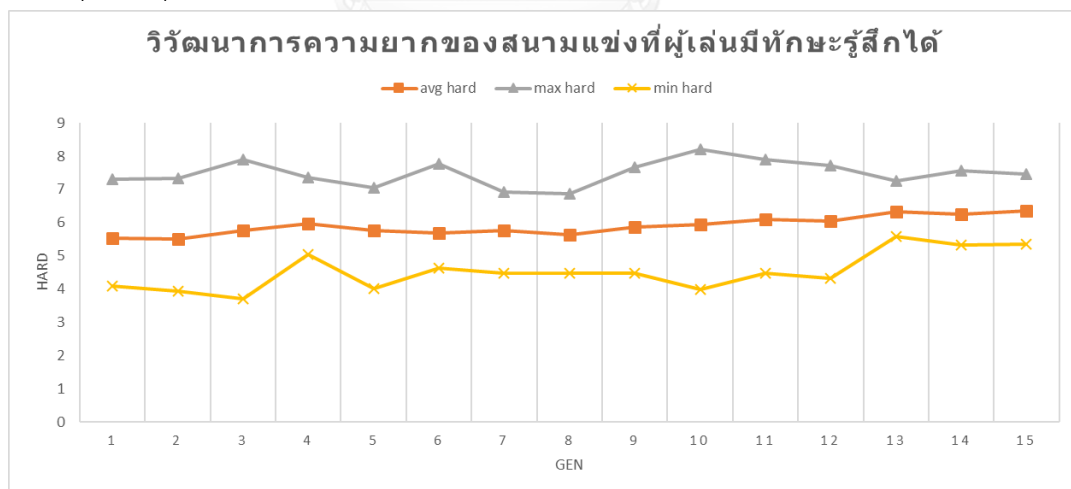


รูปที่ 32: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

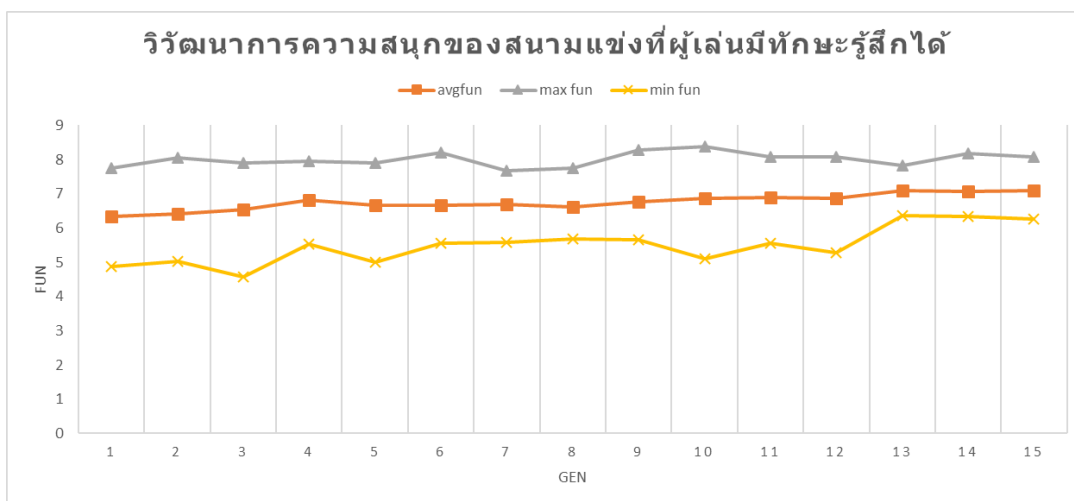


รูปที่ 33: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

- สนามแข่งที่ค่อนข้างยาก รูปที่ 34 แสดงวิวัฒนาการความยากของสนามให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่าคะแนนความยากทั้งสาม (ค่าคะแนนความยากเฉลี่ย ค่าคะแนนความยากมากที่สุด และค่าคะแนนความยากน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ รูปที่ 35 แสดงวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่าคะแนนความสนุกทั้งสาม (ค่าคะแนนความสนุกเฉลี่ย ค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด และค่าคะแนนความสนุกน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ



รูปที่ 34: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ



รูปที่ 35: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

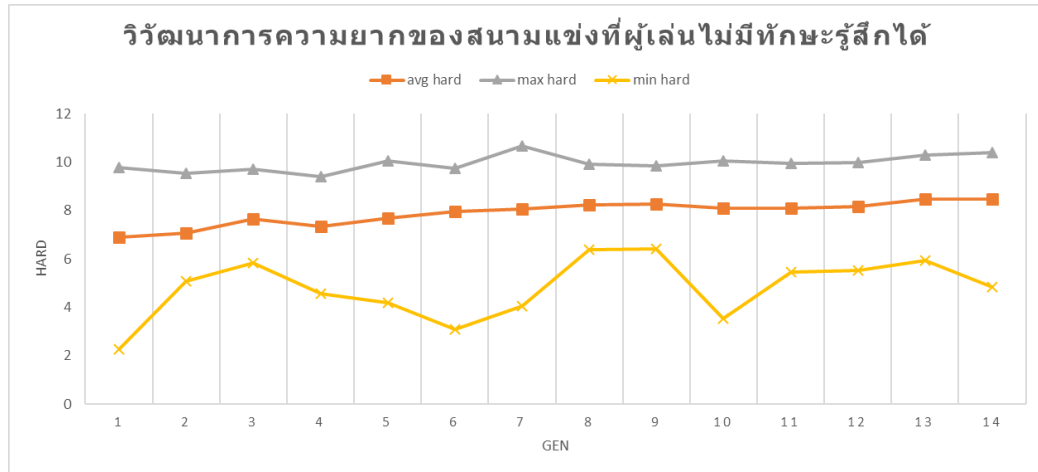
ในการวิวัฒนาการสนามแข่งด้วยสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ พบว่า การวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะนั้น ไม่สามารถวิวัฒนาการให้มีความง่ายได้ จากการตรวจสอบพบว่า สนามแข่งที่ง่ายนั้นจะถูกตัดออกไปในขั้นตอนวิวัฒนาการ เนื่องจากเป็นสนามแข่งที่มีค่าความสนุกน้อย ส่วนสนามแข่งที่ค่อนข้างยากนั้น สามารถวิวัฒนาการค่าคะแนนความยากไปทางค่าที่ต้องการได้และค่าคะแนนความสนุกก็มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าจะวิวัฒนาการค่าคะแนนความยากไปถึงค่าที่ต้องการได้จริงหรือไม่ ทั้งนี้ต้องอาศัยการทดลองเพิ่มเติม โดยให้มีจำนวนรุ่นวิวัฒนาการที่เพิ่มขึ้น หรือจำนวนประชากรตั้งต้นที่เพิ่มขึ้น จึงจะสามารถสรุปได้ชัดเจน

เมื่อเทียบกราฟค่าคะแนนความยากของสนามแข่งและกราฟค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งแล้ว พบว่า เมื่อสนามแข่งมีความยากเพิ่มขึ้น สนามแข่งนั้นจะมีความสนุกเพิ่มขึ้นไปด้วย นั่นคือผู้เล่นที่มีทักษะน่าจะเห็นว่า ยิ่งสนามแข่งรดยิ่งยาก จะยิ่งเล่นได้สนุกมากขึ้นไปด้วย

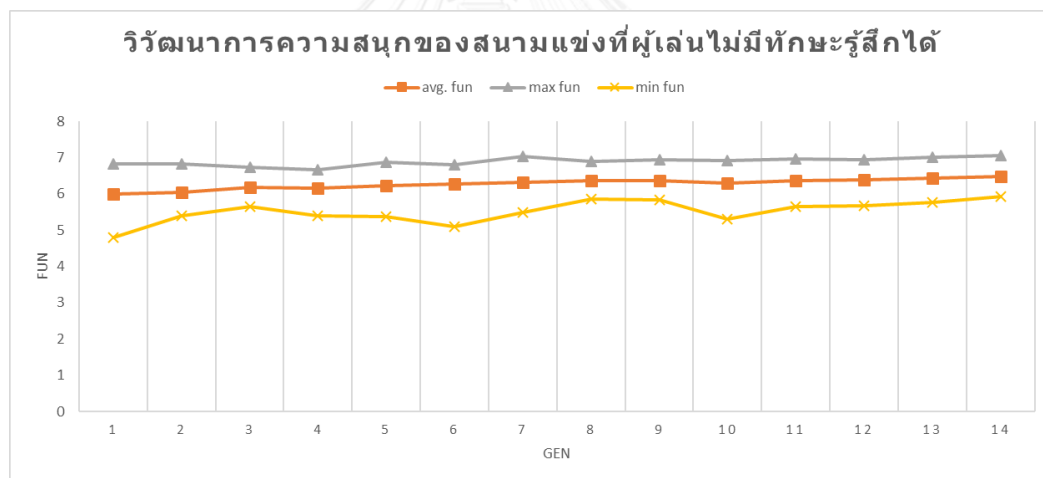
5.4.2 ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- สนามแข่งที่ค่อนข้างง่ายรูปที่ 37 แสดงวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่าคะแนนความยากทั้งสาม (ค่าคะแนนความยากเฉลี่ย ค่าคะแนนความยากมากที่สุด และค่าคะแนนความยากน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย รูปที่ 38 แสดงวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่า

คะแนนความสนุกทั้งสาม (ค่าคะแนนความสนุกเฉลี่ย ค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด และค่าคะแนนความสนุกน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

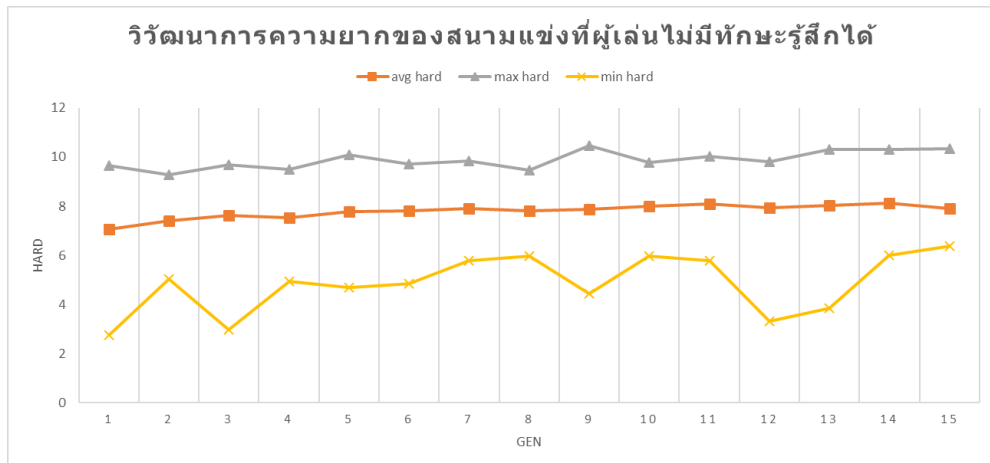


รูปที่ 36: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

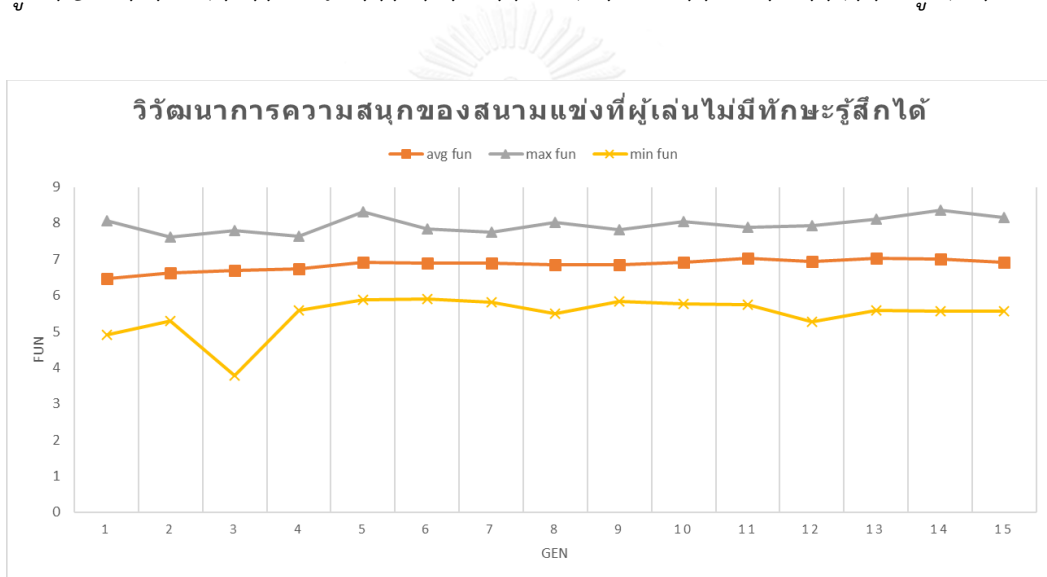


รูปที่ 37: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- สนามแข่งที่ค่อนข้างยาก รูปที่ 38 แสดงวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่าคะแนนความยากทั้งสาม (ค่าคะแนนความยากเฉลี่ย ค่าคะแนนความยากมากที่สุด และค่าคะแนนความยากน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเข้าถึงค่าคะแนนความยากที่กำหนดไว้ รูปที่ 39 แสดงวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะในแต่ละรุ่น จะเห็นว่าค่าคะแนนความสนุกทั้งสาม (ค่าคะแนนความสนุกเฉลี่ย ค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด และค่าคะแนนความสนุกน้อยสุด) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ



รูปที่ 38: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความยากของสนามแข่งที่ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ



รูปที่ 39: กราฟแสดงการวิวัฒนาการความสนุกของสนามแข่งที่ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ พบว่า การวิวัฒนาการให้สนามแข่งค่อนข้างง่ายนั้นไม่สามารถทำได้ จากการตรวจสอบพบว่า สนามแข่งที่ค่อนข้างง่ายถูกตัดทิ้งไปในขั้นตอนการวิวัฒนาการเนื่องจากมีค่าคะแนนความสนุกน้อย ส่วนสนามแข่งที่ค่อนข้างยากนั้นสามารถวิวัฒนาการค่าคะแนนความยากไปทางค่าคะแนนความยากที่ต้องการได้และค่าคะแนนความสนุกก็มีค่าเพิ่มขึ้น โดยจากการทดลองนี้ ค่าคะแนนความยากสามารถไปถึงค่าที่ตั้งไว้ได้

เมื่อเทียบกราฟค่าคะแนนความยากของสนามแข่งและกราฟค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งแล้ว พบว่า เมื่อสนามแข่งมีความยากเพิ่มขึ้น สนามแข่งนั้นจะมีความสนุกเพิ่มขึ้นไปด้วย นั่นคือผู้เล่นที่ไม่มีทักษะก็น่าจะมีความเห็นว่า ยิ่งสนามแข่งรดยิ่งยาก ยิ่งเล่นได้สนุกมากขึ้นไปด้วย

5.5 การนำสนามแข่งที่ได้มาทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

ในขั้นตอนนี้ เป็นการทดสอบสนามแข่งกับผู้เล่นจริง เพื่อทดสอบว่า สนามแข่งที่ได้ วิวัฒนาการตามขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้น สามารถสร้างสนามแข่งที่ผู้เล่นมีความเห็นว่าสนุกขึ้น ได้จริงหรือไม่ และมีข้อจำกัดอย่างไรบ้าง

5.5.1 การคัดเลือกผู้เล่น

การคัดเลือกผู้เล่นออกเป็นผู้เล่นที่มีทักษะหรือไม่มีทักษะนั้น คัดได้จากเวลาที่ผู้เล่นสามารถทำได้ดีที่สุดใน 1 รอบสนาม โดยใช้สนามแข่งรถ Alpine 1 เป็นสนามทดสอบเนื่องจากเป็นสนามแข่งที่สามารถแบ่งแยกผู้เล่นได้ชัดเจน โดยสนามมีลักษณะรูปร่าง ดังรูปที่ 40



รูปที่ 40: รูปแบบสนามแข่ง Alpine1

5.5.2 วิธีการทดลอง

ผู้เล่น 1 คนจะต้องเล่นบนสนามแข่งทดสอบ 1 สนาม เพื่อคัดเลือกว่าเป็นผู้เล่นที่มีทักษะหรือไม่มีทักษะ จากนั้นจึงเล่นบนสนามแข่งแข่งรถ 8 สนาม (สนามแข่งสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 8 สนาม หรือสนามแข่งสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 8 สนาม) จำนวน 3 รอบต่อสนาม แล้วจึงให้คะแนนความยากและคะแนนความสนุกของสนามนั้น โดยให้เป็นคะแนนเต็มสิบ (1 – 10 คะแนน)

5.5.3 สนามแข่งรถที่นำมาใช้ในการทดลอง

สนามแข่งรถที่นำมาใช้ในการทดลองแบ่งเป็นสนามแข่งรถสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 8 สนาม และผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 8 สนาม รวมเป็นทั้งหมด 16 สนาม

สนามแข่งทั้งหมดมีรายละเอียดดังนี้

- สนามแข่งรถที่เลือกจากค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับค่าคะแนนความยากที่กำหนด แบ่งเป็น

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นแรกที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับ 3 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นท้ายสุด ที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับ 3 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นแรกที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับ 8 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นท้ายสุดที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับ 8 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นแรก ที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียง 3 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นท้ายสุด ที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียง 3 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นแรกที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียง 8 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- สนามแข่งรถในประชากรรุ่นท้ายสุดที่มีค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียง 8 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- สนามแข่งรถที่เลือกจากค่ากลางของคะแนนความยาก แบ่งเป็น

- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรรุ่นแรกที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 3 สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรรุ่นท้ายสุดที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 3 สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

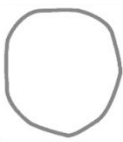

- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรรุ่นแรกที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 8 สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ
- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรท้ายสุดที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 8 สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ
- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรรุ่นแรกที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 3 สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ
- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรรุ่นท้ายสุดที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 3 สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ
- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรรุ่นแรกที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 8 สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ
- สนามแข่งรถที่มีค่าความยากเป็นค่ากลาง จากประชากรท้ายสุดที่วิวัฒนาการความยากให้เข้าใกล้ 8 สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

5.5.4 ผลการทดลอง

ในการทดลองแบ่งเป็นผู้เล่นที่มีทักษะ 6 คน และผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 13 คน รวมทั้งหมด 19 คนเพื่อทำการทดสอบสนามแข่ง โดยผลออกมาดังนี้

สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ

รูปที่ 41 แสดงภาพของสนามแข่งรถจากรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่เลือกจากค่าคะแนนความยากที่มีค่าใกล้เคียง 3 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ จะเห็นว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าเพิ่มขึ้น รูปที่ 42 แสดงค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งจากผู้เล่นที่เล่นทดสอบทั้งสองสนามแข่ง พบว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

	First Gen	Last Gen
Tracks		
Hard	4.013413	6.268646
Fun	4.477443	5.443529



รูปที่ 41: แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ ที่พยายามวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่าย เลือกจากค่าความยากที่ใกล้เคียงกับค่าความยากที่ต้องการ

	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	4	3	8	7
	4	5	6	5
	3	4	5	7
	4	3	7	7
	2	2	6	6
	1	1	3	4
Avg.	3	3	5.8333333	6

รูปที่ 42: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามแข่งรูปที่ 41

ผลการทดลองสำหรับสนามแข่งที่พยายามวิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่าย ของผู้เล่นที่มีทักษะ จะเห็นว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าเพิ่มขึ้นไปในทางเดียวกับสมการ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 5.4.1 นั่นคือ แม้จะวิวัฒนาการสนามแข่งให้สนุกขึ้นได้ แต่ไม่สามารถวิวัฒนาการสนามแข่งให้เข้าใกล้ค่าความยากที่ต้องการได้

รูปที่ 43 แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้ายที่เลือกจากค่ากลางของคะแนนความยากจากประชากรรุ่นนั้น ๆ รูปที่ 44 แสดงค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งจากผู้เล่นทั้งสองสนาม พบว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งเป็นการชี้เพิ่มเติมให้เห็นว่า โดยรวมแล้ว สนามแข่งส่วนใหญ่โดนวิวัฒนาการให้ยากขึ้น และไม่วิวัฒนาการเข้าสู่ค่าน้อยที่กำหนดไว้ โดยผู้เล่นก็มีความเห็นไปในทางเดียวกันกับสมการ

	First Gen	Last Gen
Tracks		
hard	5.649935	6.345613
Fun	6.291069	7.181794

รูปที่ 43: แสดงภาพของสนามแข่งสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ ที่พยายามวิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่าย รุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย เลือกจากค่ากลางคะแนนความยาก



	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	4	5	8	8
	5	6	7	10
	4	6	7	6
	6	5	7	7
	6	8	7	5
	2	3	5	5
Avg.	4.5	5.5	6.8333333	6.8333333

รูปที่ 44: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามแข่งรูปที่ 43

รูปที่ 45 และรูปที่ 46 แสดงภาพของสนามแข่งรถจากรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่เลือกจากค่าคะแนนความยากที่มีค่าใกล้เคียง 8 มากที่สุดสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ จะเห็นว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าใกล้เคียงทั้งสนามแข่งที่เลือกรุ่นแรกและสนามแข่งที่เลือกรุ่นสุดท้าย สังเกตสนามแข่งจากรุ่นแรกและรุ่นสุดท้ายมีลักษณะคล้ายกัน เมื่อพิจารณาค่าคะแนนจากผู้เล่นจากรูปที่ 46 แสดงค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของผู้เล่นที่มีทักษะ พบว่า ค่าคะแนนความยากเฉลี่ยและค่าคะแนนความสนุกเฉลี่ยมีค่าลดลงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาค่าคะแนนความยากของแต่ละผู้เล่นแล้วพบว่า แม้สนามแข่งในรุ่นสุดท้ายจะมีค่าคะแนนความยากลดลง แต่ผู้ที่เล่นที่ให้คะแนนยากขึ้นมี 2 คน ผู้เล่นที่ให้คะแนนง่ายลงมี 3 คน และผู้เล่นให้คะแนนเท่ากันมี 1 คน ซึ่งน่าจะถือได้ว่าค่าคะแนนที่ผู้เล่นให้ก็เป็นค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าคะแนนความสนุกนั้นเมื่อพิจารณาค่าคะแนนของแต่ละผู้เล่นแล้ว พบว่า แม้ค่าคะแนนความสนุกโดยเฉลี่ยจะลดลงเล็กน้อย แต่ผู้เล่นที่ให้คะแนนความสนุกเพิ่มขึ้นมี 3 คน และผู้เล่นที่ให้คะแนนความสนุกน้อยลงนั้นมี 3 คนเช่นกัน ซึ่งเป็นอัตราส่วนเท่ากัน จึงถือได้ว่าค่าคะแนนความสนุกนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

การที่ค่าคะแนนความยากและความสนุกมีค่าใกล้เคียงกันนั้น อาจเป็นเพราะหลายสาเหตุ เช่น สนามแข่งในรุ่นแรกนั้นมีค่าที่ติดอยู่แล้ว จำนวนในการวิวัฒนาการน้อย จำนวนประชากรเริ่มต้นน้อยไป เป็นต้น

	First Gen	Last Gen
Tracks		
Hard	7.30955	7.463192
Fun	7.567585	7.603509



รูปที่ 45: แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ เลือจากค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับค่าคะแนนความยากที่ต้องการ

	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	9	8	9.5	8.5
	5	8	6	7
	6	6	6	7
	8	8	7	7
	9	7	8	8
	4	5	2	3
Avg.	6.833333	7	6.416667	6.75

รูปที่ 46: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 45

ความเห็นของผู้เล่นโดยรวม ไม่สนับสนุนผลการทดลองในหัวข้อ 5.4.1 เพราะผู้เล่นไม่เห็นว่าเป็นสนามแข่งที่วิวัฒนาการสามารถมีความยากเข้าใกล้ค่าความยากที่ต้องการ และเป็นสนามแข่งที่สนุกขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม ยังมีสิ่งที่ผู้เล่นเห็นตรงกับผลการทดลองในหัวข้อ 5.4.1 คือ สนามแข่งที่ผู้เล่นเห็นว่ายากกว่า ผู้เล่นจะเห็นว่าสนุกกว่า

เมื่อสังเกตจากสนามแข่งที่ค่อนข้างยากที่เลือกจากค่าคะแนนความยากที่เป็นค่ากลาง (รูปที่ 47 แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย รวมทั้งค่าคะแนนความสนุกและความยากจากสมการ ส่วนรูปที่ 48 แสดงค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่ง จากผู้เล่นทั้งสองสนามแข่งนั้น) พบว่า สนามแข่งในรุ่นสุดท้าย มีค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นให้เข้าใกล้ค่าที่กำหนดและค่าคะแนนความสนุกก็มีค่าสูงกว่าสนามแข่งในรูปที่ 45 เสียอีก แสดงว่ามีสนามแข่งที่ได้ค่าคะแนนความยากไม่ตรงกับค่าที่สมการกำหนด แต่มีความสนุกมาก แต่ทั้งนี้ข้อสังเกตนี้ก็ยังไม่สามารถช่วยในการหาสนามที่ต้องการได้ เพราะว่าสนามแข่งที่ต้องการไม่สามารถถูกระบุได้ด้วยค่าจากสมการ

	First Gen	Last Gen
Tracks		
Hard	5.494009	6.191876
Fun	6.541603	7.006939



รูปที่ 47: แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก สำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ เลือกลงจากค่ากลางคะแนนความยาก

	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	8	7	9	8
	8	9	10	10
	6	8	10	9
	9	8	7	6
	5	8	9	8
	4	5	5	5
Avg.	6.6666667	7.5	8.3333333	7.6666667

รูปที่ 48: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 47

สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

รูปที่ 49 แสดงภาพของสนามแข่งรถจากรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่เลือกจากค่าคะแนนความยากที่มีค่าใกล้เคียง 3 มากที่สุดสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ จะเห็นว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าเพิ่มขึ้น ในส่วนของคะแนนจากผู้เล่นในรูปที่ 50 พบว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกจากผู้เล่นมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ค่าที่เพิ่มขึ้นนั้นมากกว่าค่าจากสมการ อาจเป็นเพราะค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นรู้สึกได้นั้น มีความแปรปรวนจากสมการได้พอสมควร

	First Gen	Last Gen
Tracks		
Hard	4.183068	4.829115
Fun	5.125226	5.935828

รูปที่ 49: แสดงภาพของสนามแข่ง รุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่าย สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ เลือกว่าค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับค่าคะแนนความยากที่ต้องการ



	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	2	2	9	9
	2	2	9	9
	8	6	9	7
	4	5	6	6
	5	6	8	8
	4	6	7	8
	6	8	9	9
	6	6	9	9
	1	1	6	7
	2	5	9	9
	9	8	9	9
	3.5	5	5	6
	3	3	4	6
Avg.	4.269231	4.846154	7.615385	7.846154

รูปที่ 50: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 49

ผลการทดลองสำหรับสนามแข่งที่พยายามวิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ จะเห็นว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 5.4.2 นั่นคือ แม้จะวิวัฒนาการสนามแข่งให้สนุกขึ้นได้ แต่ไม่สามารถวิวัฒนาการสนามแข่งให้เข้าใกล้ค่าความยากที่ต้องการได้

รูปที่ 51 แสดงภาพของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้ายที่เลือกจากค่ากลางของความยากจากประชากรรุ่นนั้น ๆ รูปที่ 52 แสดงค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งจากผู้เล่นทั้งสองสนามแข่ง พบว่า ค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ซึ่งเป็นการชี้เพิ่มเติมให้เห็นว่า โดยรวมแล้ว สนามแข่งส่วนใหญ่โดนวิวัฒนาการให้ยากขึ้น และไม่
วิวัฒนาการเข้าสู่ค่าน้อยที่กำหนดไว้ โดยผู้เล่นก็มีความเห็นไปในทางเดียวกันกับสมการ

	First Gen	Last Gen
Tracks		
Hard	6.946092	8.401514
Fun	6.00568	6.415506

รูปที่ 51: แสดงภาพของสนามรูแข่งแรกและรุ่นสุดท้าย ที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่าย สำหรับผู้เล่นที่
ไม่มีทักษะ เลือจากค่ากลางคะแนนความยาก



	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	4	3	9	8
	4	3	8	8
	9	8	5	5
	5	6	6	6
	6	6	7	8
	4	7	8	8
	7	7	9	8
	5	4	8	6
	2	2	4	3
	5	5	9	8
	9	9	10	10
	4	5.5	5	6
	4	3	6	6
Avg.	5.230769	5.269231	7.230769	6.923077

รูปที่ 52: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 51

รูปที่ 53 แสดงภาพของสนามแข่งรถจากรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่เลือกจากค่าคะแนน
ความยากที่มีค่าใกล้เคียง 8 มากที่สุด สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ จะเห็นว่า จากสมการนั้น ค่าคะแนน
ความยากของสนามแข่งรุ่นแรกและรุ่นสุดท้ายมีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าคะแนนความสนุกนั้นมีค่า

เพิ่มขึ้นเล็กน้อย รูปที่ 54 แสดงค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งจากผู้เล่นทั้งสองสนามแข่ง พบว่า ค่าคะแนนความยากเฉลี่ยและค่าคะแนนความสนุกเฉลี่ยมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาค่าคะแนนของผู้เล่นแต่ละคน จะเห็นว่า ผู้เล่นที่ให้ค่าคะแนนความยากเท่ากันมี 6 คน นอกนั้นให้คะแนนลดลงเพียงเล็กน้อย ส่วนค่าคะแนนความสนุก ผู้เล่นที่ให้ค่าคะแนนความสนุกลดลงมี 6 คน ผู้เล่นที่ให้ค่าคะแนนความสนุกเพิ่มขึ้นมี 4 คน และผู้เล่นที่เหลือให้คะแนนเท่าเดิม 3 คน จากข้อสังเกตนี้ สนามแข่งมีความใกล้เคียงกันมากจน ไม่สามารถสรุปได้ว่าวิวัฒนาการให้สนุกขึ้นได้จริงหรือไม่

	First Gen	Last Gen
Tracks		
Hard	8.016094	8.018695
Fun	6.838972	7.233125



รูปที่ 53: แสดงภาพของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก รุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ เลือกลงจากค่าคะแนนความยากที่ใกล้เคียงกับค่าคะแนนความยากที่ต้องการ

	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	8	8	4	4
	7	7	5	5
	8	7	7	6
	7	5	7	7
	7	8	7	8
	8	8	5	7
	8	7	7	6
	8	8	7	7
	7	6	7	5
	8	9	8	9
	10	8	10	10
	5	7	4	7
	6	5	6	7
Avg.	7.461538	7.153846	6.461538	6.769231

รูปที่ 54: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 53

รูปที่ 55 แสดงภาพของสนามแข่งรถจากรุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย ที่เลือกจากค่ากลางความยาก รูปที่ 56 แสดงค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งจากผู้เล่น ทั้งสองสนามแข่ง พบว่า สนามแข่งในรุ่นสุดท้ายนั้น แม้มີค่าคะแนนความยากต่างจากคะแนนความยากที่ต้องการไปบ้าง (ค่าคะแนนความยาก มากกว่าความยากที่ระบุในสมการ) แต่มีความสนุกที่มากกว่า สนามแข่งที่มีความยากจากสมการใกล้เคียงค่าที่ต้องการในรูปที่ 53 ซึ่งความเห็นจากผู้เล่นก็เป็นเช่นเดียวกัน ความเห็นจากผู้เล่นยังช่วยยืนยันเพิ่มเติมด้วยว่า สนามแข่งที่ยากขึ้น ผู้เล่นจะเห็นว่าสนุกขึ้น

ดังนั้น สำหรับการวิวัฒนาการสนามแข่งให้ยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ ผลคือ ไม่สามารถสรุปได้ว่า วิวัฒนาการสนามแข่งให้มีความยากที่ต้องการให้สนุกขึ้นได้ แต่การวิวัฒนาการ สามารถทำให้เกิดสนามแข่งที่มีค่าความยากต่างออกไปบ้าง แต่มีความสนุกขึ้นได้ ดังนั้น ในการนำวิธีการของวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้งาน จึงควรที่ผู้นำไปใช้งานทำการวิวัฒนาการสนามแข่งแล้วจึงเลือกสนามแข่งที่มีค่าความยากจากสมการไม่ห่างเกินที่กำหนดไว้ค่าหนึ่ง (เช่น ถ้าค่าความยากที่ต้องการคือ 8 ก็อาจเลือกสนามจากกลุ่มที่วิวัฒนาการเสร็จแล้ว ที่มีความยาก 7-9) และมีค่าความสนุกสูงสุดไปใช้งาน หรืออาจให้มีการทดสอบสนามในกลุ่มที่เลือกมา ที่มีค่าคะแนนความสนุกสูงโดยผู้ทดสอบเสียก่อน

	First Gen	Last Gen
Tracks		
Hard	7.027913	8.796128
Fun	6.346781	7.352621

รูปที่ 55: แสดงภาพของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยาก รุ่นแรกและรุ่นสุดท้าย สำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ เลือกจากค่ากลางคะแนนความยาก

	First Gen		Last Gen	
	Hard	Fun	Hard	Fun
	7	7	5	4
	8	7	7	6
	9	9	8	7
	5	7	8	7
	5	7	7	7
	6	6	8	9
	7	6	8	9
	6	5	7	6
	10	4	8	5
	8	7	9	8
	9	8	10	9
	4.5	6	6	8.5
	6	5	7	7
Avg.	6.961538	6.461538	7.538462	7.115385

รูปที่ 56: แสดงคะแนนที่ผู้เล่นกรอกความยากและความสนุกของสนามรูปที่ 55 รูปที่ 53



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

งานวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการนำเสนอคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่งรถ ที่น่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสนุกและความยากของสนามแข่ง จากนั้นจึงนำเสนอสนามแข่งที่มีค่าคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านั้นไปทดลองกับผู้เล่นกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาสมการถดถอยเชิงเส้น มี 4 สมการคือ สมการถดถอยเชิงเส้น ความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ สมการความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่มีทักษะรู้สึกได้ สมการความสนุกของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ และสมการความยากของสนามแข่งที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะรู้สึกได้ สมการที่ได้เหล่านี้เป็นการนิยามความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของสนามแข่งกับความสนุกและความยากของสนามแข่ง

จากนั้นจึงนำสมการทั้งสี่มาเป็นฟังก์ชันความเหมาะสมในการวิวัฒนาการสนามแข่ง โดยได้ทดลองวิวัฒนาการสนามแข่งที่มีความยากสองระดับ คือระดับที่ค่อนข้างง่าย และระดับที่ค่อนข้างยาก สำหรับใช้กับผู้เล่นที่มีทักษะและผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ หลังจากวิวัฒนาการไปถึงจำนวนรุ่นที่กำหนด จึงนำสนามที่ได้ในรุ่นแรกและรุ่นสุดท้ายของแต่ละสมการมาทดสอบกับผู้เล่นเพื่อทำการยืนยันและตรวจสอบข้อจำกัดของการสร้างสนามแข่งโดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

จากผลการเปรียบเทียบค่าตัวเลขจากสมการและค่าตัวเลขที่ผู้เล่นให้คะแนนสนามแข่ง พบว่าค่าความยากและค่าความสนุกที่ได้จากสมการนั้น สอดคล้องกับค่าความยากและค่าความสนุกที่ได้จากผู้เล่นโดยส่วนใหญ่

สำหรับการวิวัฒนาการสนามแข่งนั้น ได้ทดลองวิวัฒนาการสนามแข่งทั้งสี่รูปแบบคือ วิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ วิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ วิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ และวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

สำหรับการวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างง่ายนั้น ผลการทดลองออกมาเหมือนกันสำหรับสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ผู้เล่นที่มีทักษะและไม่มีทักษะ คือ ไม่สามารถวิวัฒนาการสนามแข่งให้เข้าใกล้ค่าความยากที่ต้องการได้ สนามแข่งที่ค่อนข้างง่ายนั้นจะถูกตัดทิ้งไปในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากมีความสนุกน้อย อย่างไรก็ตาม ความเห็นของผู้เล่นมีความสอดคล้องกับสมการ คือ ถ้าสนามแข่งมีค่าความยากมากขึ้น ผู้เล่นจะเห็นว่าสนุกขึ้นเช่นกัน

ในการวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะนั้น โดยรวมแล้วสามารถวิวัฒนาการค่าความยากไปในทิศทางที่ต้องการได้ แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าคะแนนความยากจะเข้าใกล้ค่าคะแนนความยากที่ต้องการมากเพียงใด ในส่วนค่าคะแนนของผู้เล่นจะเห็นว่า ไม่สามารถยืนยันได้ว่าจะวิวัฒนาการสนามแข่งให้ได้ค่าความยากใกล้ค่าคะแนนความยากที่กำหนดและมีความสนุกเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้สนามที่ได้วิวัฒนาการยังไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงไปจากสนามแข่งในรุ่นแรก หากงานวิจัยในอนาคตจะทำต่อไป จำเป็นที่จะต้องวิวัฒนาการสนามแข่งให้หลากหลายมากกว่านี้ อย่างไรก็ตาม ผู้เล่นมีความเห็นสอดคล้องกับสมการคือ ยิ่งสนามแข่งมีค่าคะแนนความยากสูงขึ้น ค่าคะแนนความสนุกจะสูงขึ้นไปด้วย

สำหรับการวิวัฒนาการสนามแข่งให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ สามารถวิวัฒนาการให้เข้าถึงค่าคะแนนความยากที่กำหนดได้ ผู้เล่นมีความเห็นสอดคล้องกับสมการว่าเมื่อค่าคะแนนความยากเพิ่มขึ้นค่าคะแนนความสนุกจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อสังเกตคะแนนที่ได้จากผู้เล่น จะพบว่าไม่สามารถวิวัฒนาการสนามแข่งตามความยากที่ต้องการให้สนุกขึ้นได้ แต่ยังสามารถหาสนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากต่างออกไประดับหนึ่งที่มีค่าคะแนนความสนุกสูงกว่าสนามรุ่นแรกได้ ดังนั้นผู้ที่นำวิธีของวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้งานจึงควรเลือกสนามแข่งที่สนุกที่สุดจากสนามแข่งที่มีความยากอยู่ในขอบเขตของค่าที่ตนได้ตั้งไว้

ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อจำกัดในเรื่องความไม่หลากหลายของสนามแข่งที่สร้างขึ้นได้นั้น อาจแก้ไขได้ทั้งในขั้นตอนการวิวัฒนาการและขั้นตอนการลากเส้นสนามแข่ง สำหรับการวิวัฒนาการนั้น ควรเพิ่มจำนวนประชากรตั้งต้น และวิวัฒนาการเป็นจำนวนรุ่นที่มากขึ้นเพื่อให้สามารถวิวัฒนาการสนามแข่งให้มีความแตกต่างจากสนามแข่งรุ่นแรกได้ชัดเจน

สำหรับขั้นตอนการลากเส้นสร้างสนามแข่งนั้น ในปัจจุบันการสร้างเส้นทางในสนามแข่งระหว่างจุดควบคุมนั้น ทำโดยพยายามลากเส้นที่เรียบง่ายและสั้นที่สุด ซึ่งอาจทำให้เกิดเส้นทับกันได้ง่าย ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยให้สามารถกำหนดทิศทางในการเลี้ยวในขั้นตอนการสร้างเส้นทางได้ และถ้าการเลี้ยวในทิศทางหนึ่งไม่ได้ผล ก็ให้ไปเลี้ยวในอีกทิศทางหนึ่งแทน การไม่จำกัดความยาวมากที่สุดของสนามแข่งที่สร้างได้ก็อาจช่วยเช่นกัน การเพิ่มจุดและลดจุดควบคุมก็สามารถทำให้มีความหลากหลายเพิ่มขึ้นได้ โดย แทนที่จะสุ่มเพิ่มหรือลดจุดสุดท้าย ให้ไปเพิ่มหรือลดจุดในตำแหน่งสุ่มแทน หรืออาจอนุญาตให้สนามแข่งมีเส้นทับกันได้ แล้วพยายามหาทางยกระดับเส้นที่ทับกันเพื่อให้เป็นสนามแข่ง

ต่างระดับที่เส้นไม่ทับกันแทน การเพิ่มจำนวนรุ่นและจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นก็อาจส่งผลช่วย
เช่นกัน

ปัญญาประดิษฐ์ของรถก็มีส่วนสำคัญเช่นกัน การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ให้สามารถเล่นได้
เหมือนกับคนจริง ๆ มากขึ้น จะช่วยให้ รถสามารถวิ่งในสนามแข่งที่หลากหลายมากขึ้น ทำให้
สามารถสร้างและเก็บข้อมูลสนามที่มีหลายรูปแบบมากขึ้นเช่นกัน



รายการอ้างอิง

1. Ng, A. *Linear regression*. 2014-04-22]; Available from: cs229.stanford.edu/notes/cs229-notes1.pdf.
2. J. Togelius, R. De Nardi, and S. Lucas, *Towards automatic personalized content creation for racing games*, in *IEEE Symp.Comput. Intell. Games*. 2007, IEEE p. 252–259.
3. D. Loiacono, L. Cardamone, and P.L. Lanzi, *Automatic Track Generation for High-End Racing Games Using Evolutionary Computation*, in *IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND AI IN GAMES*. 2011, IEEE.
4. Togelius, J., R.D. Nardi, and S.M. Lucas. *Making racing fun through player modeling and track evolution*. in *Proceedings of the SAB'06 Workshop on Adaptive Approaches for Optimizing Player Satisfaction in Computer and Physical Games*. 2006.
5. J. Togelius, R. De Nardi, and S. Lucas, *Computational Intelligence in Racing Games*. 2007, Proc, (SCI) 71. p. 39–69.
6. L. Cardamone, *Evolutionary Learning and Search-Based Content Generation in Computer Games*, in *Politecnico di Milano Dipartimento di Elettronica e Informazione Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione*.
7. E. Adam and A. Rolling, *Game design and development*. 1 ed. 2003.
8. *Island Racer [Online]* 2014-04-26]; Available from: <https://www.apple.com/downloads/dashboard/games/islandracerpreview.html>.
9. *Ridge Racer Unbounded [Online]*. 2014-04-26]; Available from: <http://www.gamespot.com/ridge-racer-unbounded>.
10. *Modnation Racer [Online]* 2014 2014-04-26; Available from: <http://modnation.playstation.com/index>.
11. *Gran Turismo 5 [Online]*. 2014-04-26]; Available from: <http://www.gran-turismo.com/us/products/gt5>.

12. *Trackmania* [Online]. 2014-04-26]; Available from: <http://www.enlight.com/trackmania/>.
13. *Micro Machines V4* [Online]. 2014-04-26]; Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Micro_Machines_\(video_game_series\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Micro_Machines_(video_game_series)).
14. *V-Rally2* [Online]. 2014-04-26]; Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/V-Rally_2.
15. *Definition of Linear regression in Thai* [Online]. 2014-04-22]; Available from: <https://sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/regression-analysis>.
16. D. Lane and Rice University. *Online Statistics Education: An Interactive Multimedia Course of Study*. 2014-04-22]; Available from: <http://onlinestat-book.com/2>.
17. D. Goldberg, *Genetic algorithms in search optimization, and machine learning*. 1 ed. January 11, 1989: Addison-Wesley Professional.
18. B. Kijirikul. *Artificial intelligence*. 2014-04-22]; Available from: <http://cp.eng.chula.ac.th/~boonserm/teaching/artificial.html>

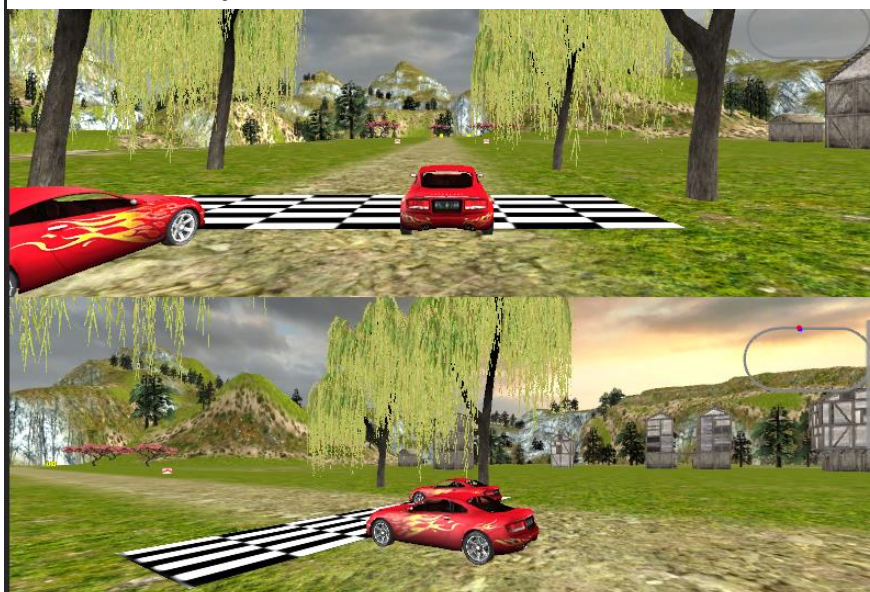
ภาคผนวก

ตัวเกมที่ใช้ทดลอง

ตัวเกมที่ใช้ทดลองสร้างจาก Unity 3D ส่วนตัวรถที่ใช้ก็นำมาจากแพ็คเกจของยูนิตี้ รูปที่ 57 และรูปที่ 58 แสดงภาพตัวอย่างจากเกมที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 57: ภาพตัวอย่างจากเกมที่ใช้ทดลอง



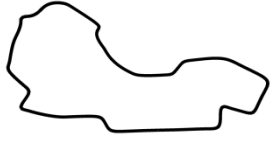







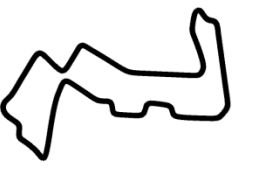



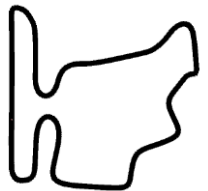



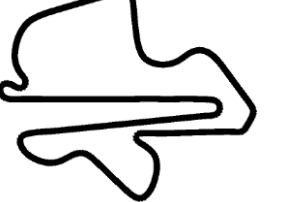

รูปที่ 58: ภาพตัวอย่างจากตัวเกมที่ใช้ทดลอง

สนามแข่งที่นำมาทดสอบ

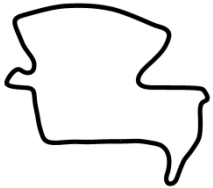
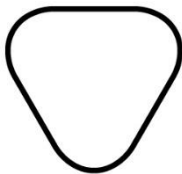
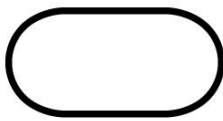
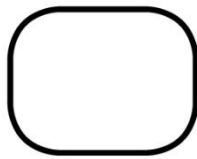
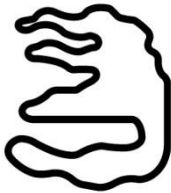



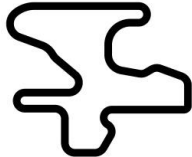
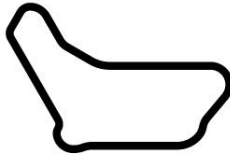

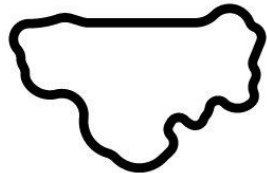

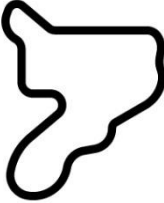
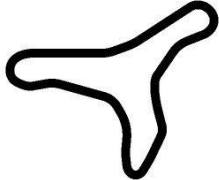
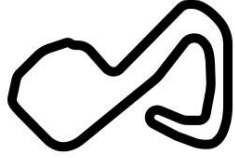

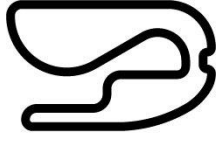
ในการสร้างสนามแข่งเพื่อนำมาทดสอบนั้น ได้สร้างรูปแบบของสนามแข่งครบทั้งหมด 51 สนาม ประกอบด้วยรูปแบบของสนามแข่งจากเกมส์ TORCS เป็นจำนวน 33 สนาม ดังตาราง 14 และตาราง 15 และจากเกมส์ฟอร์มูล่าวันเป็นจำนวน 18 สนาม ดังตาราง 13 แล้วทำการทดสอบโดยนำปัญญาประดิษฐ์รวิงในแต่ละสนามเป็นจำนวนสนามละ 11 รอบ พร้อมกับเก็บข้อมูลของสนามแข่ง โดยเริ่มเก็บตั้งแต่รอบที่ 2 จนถึงรอบที่ 11 เพื่อบันทึกค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่งซึ่งคุณสมบัติของสนามแข่งมีดังต่อไปนี้

- ค่าความยาวของเส้นสนาม
- ค่าเวลาที่ทำรอบได้ดีที่สุด
- ค่าความแตกต่างของความโค้งในสนามแข่ง
- ค่าความเปลี่ยนแปลงของความโค้งสนามแข่งในหนึ่งรอบสนาม
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งมาก
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความโค้งน้อย
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วต่ำ
- จำนวนจุดตรวจภายในสนามแข่งที่อยู่ในช่วงค่าความเร็วสูง
- ค่าความแตกต่างของความเร็วในสนาม
- ค่าความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งผ่านจุดตรวจ

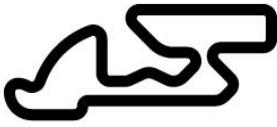

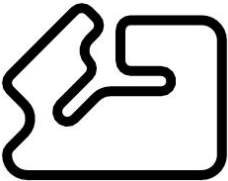
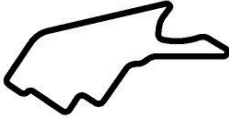

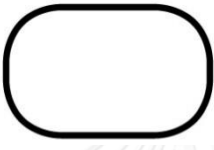
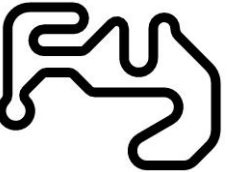
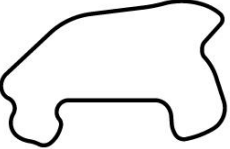
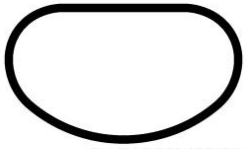
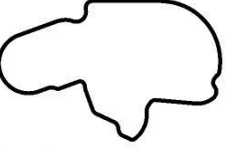
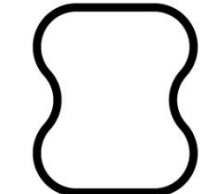

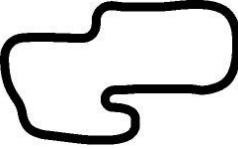


ตาราง 13 แสดงรูปแบบสนามแข่งของเกมส์ฟอร์มูล่าวันทั้งหมด 18 สนาม

Fomula1 (18)		
Albert park 	Gilles-Villeneuve 	Shanghai 
Austin 	Monza 	Silverstone 
Bahrain 	Newdelhi 	Singapore 
Barcelona-Catalunya 	Nurburgring 	Spa_Francorchamps 
Budapest 	Sao Paulo 	YasMrina 
Monaco 	Sepang 	Yeongam 

ตาราง 14 แสดงรูปแบบสนามแข่ง (โดยเรียงจากตัวอักษรของสนามแข่งที่ขึ้นต้นด้วย A ถึง E) ของ
เกมส์ TORCS ทั้งหมด 18 สนาม

TORCS (18)			
Aalborg 	B-Speedway 	C-Speedway 	E-Speedway 
Alpine1 	CGspeedway number1 	Dirt1 	D-Speedway 
Alpine2 	CG track2 	Dirt2 	E-road 
A-Speedway 	CG track3 	Dirt3 	
Brondehach 	Corkscrew 	E-track1 	

ตาราง 15 แสดงรูปแบบสนามแข่ง (โดยเรียงจากตัวอักษรของสนามแข่งที่ขึ้นต้นด้วย E ถึง Z) ของ
เกมส์ TORCS ทั้งหมด 15 สนาม

TORCS (17)			
E-track2 	Forza 	Mixed1 	Street1 
E-track3 	F-Speedway 	Mixed2 	
E-track4 	G-Speedway 	Olethros road1 	
E-track5 	Hill 	Ruudskogen 	
E-track6 	Michigan Speedway 		

ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่งที่นำมาทดลอง

คุณสมบัติของสนามแข่งที่นำมาทดลองมีทั้งหมด 10 ค่า ดังตาราง 16 และตาราง 17

ตาราง 16 แสดงค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่ง (สนามแข่ง Aalborg -สนามแข่ง E-track3)

Tracks	Length	Best Lap Time	H(c)	Total of tangent	Tangent change		Speed		H(s)	Avg. Speed
					low	high	Slow	Fast		
Aalborg	1650	90.76001	2.197806	737.4537	39.2	15.8	42	12	3.373199	104.1842
Albert park	2178	36.58002	1.475341	661.1237	61.3	11.3	30	42	4.050349	162.6871
Alpine1	2760	123.06	1.88282	1108.214	75.5	16.5	33	58	3.867289	152.3594
Alpine2	1917	92.32001	2.143436	831.8421	46.2	17.7	18	45	3.73111	156.8036
A-Speedway	1230	47.76001	0.917988	219.6184	38.5	2.5	0	40	2.450902	183.0565
Austin	1317	117.04	2.49526	802.8111	28.1	15.8	42	1	3.493372	94.39288
B-Speedway	1410	56.48001	0.333176	207.8554	46.9	0.1	0	46	1.51501	178.1473
Bahrain	2010	158.8201	1.733703	714.6251	52.8	14.2	66	0	2.185741	90.13043
Barcelona-Catalunya	1455	85.91998	2.249932	730.1812	36.2	12.3	26	21	3.955735	131.3282
Brondehach	1710	69.67999	2.228177	827.6005	40.6	16.4	4	52	3.514939	183.8895
Budapest	1290	52.60001	1.45574	363.2071	36.1	6.9	4	39	3.15189	173.7525
CG track2	1590	68.78	1.799533	572.4901	43	10	14	38	3.041557	149.8484
CG track3	1470	53.56	1.234833	381.4844	44.2	4.8	5	43	3.424467	192.4712
CG speedway number1	1890	158.14	1.556604	596.3586	52.2	10.8	61	1	1.991593	81.93825
Corkscrew	1200	43.29999	0.692257	234.9932	39	1	2	37	3.003497	195.8986
C-Speedway	1080	45.16	0.632854	227.7047	35.3	0.7	0	35	1.694217	194.223
D-Speedway	1110	46.45999	1.245906	303.9231	33.3	3.7	29	7	3.418735	122.778
Dirt1	2130	91.18001	1.953594	858.6421	54.7	16.3	14	56	4.145935	183.4963
Dirt2	1410	54.47998	1.862716	495.2722	37.8	9.2	1	45	2.802939	188.2143
Dirt3	1350	80.46002	2.311419	611.6508	33	12	38	6	3.278389	115.3735
E-raod	1440	88.26001	0.074224	211.6639	48	0	48	0	0.556115	114.9631
E-Speedway	2070	76.67999	1.511576	641.9025	59.1	9.9	18	50	3.764892	175.476
E-track1	1560	123.38	2.47391	793.8432	33.1	18.9	51	0	2.062606	85.59795
E-track2	1443	67.27997	2.405361	689.6503	35.9	12.2	14	33	3.833885	158.7173
E-track3	1500	68.40002	1.927971	559.9845	39.3	10.7	17	32	3.870229	149.0071

ตาราง 17 แสดงค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสนามแข่ง (สนามแข่ง E-track4 – สนามแข่ง Yeongam)

Tracks	Length	Best Lap Time	H(c)	Total of tangent	Tangent change		Speed		H(s)	Avg. Speed
					low	high	Slow	Fast		
E-track4	1530	54.22	0.535143	327.3485	50.5	0.5	0	50	2.842739	197.8412
E-track5	1410	75.06	1.736495	532.5544	37.8	9.2	41	5	3.327794	102.3468
E-track6	1290	40.95999	0.182725	197.2492	43	0	0	42	3.353498	224.7719
F-Speedway	1230	69.48001	1.028202	292.5133	37.5	3.5	30	10	3.498551	120.4808
Forza	1170	43.53999	0.145791	191.3334	39	0	1	37	1.660101	191.2321
G-Speedway	1020	96.68005	1.746045	381.5201	28.1	5.9	32	1	3.216551	69.62704
Gilles-Villeneuve	1635	98.39999	2.757365	1178.101	32.8	21.7	29	24	4.188882	139.2476
Hill	1080	33.98	0.919636	210.6322	35.1	0.9	4	31	3.966671	213.8175
Michigan Speedway	2040	102.6	1.943381	730.0443	52.7	15.3	32	35	3.821243	138.1951
Mixed1	2100	107.58	2.301676	967.3371	50.5	19.5	30	39	4.167806	142.6214
Mixed2	1260	106.14	2.425129	715.7917	28.6	13.4	37	4	3.755517	89.11214
Monaco	1077	53.20001	1.480271	304.8351	30.6	5.3	16	19	3.54034	138.3891
Monza	1440	77.64001	2.143414	656.2542	36.3	11.7	25	22	3.959482	140.8165
Newdelhi	1260	72.57999	2.528059	757.7208	28.4	13.6	21	20	3.994323	135.6223
Nurburgring	1350	72.72	2.124285	561.0511	34.4	10.6	25	19	4.136303	133.0238
Olethros road1	1380	79.74002	1.629333	440.1125	39.1	6.9	43	2	1.258474	97.54267
Ruudskogen	1620	75.87999	2.09786	739.7558	40.8	13.2	24	30	3.72637	143.2574
Sao Paulo	2070	73.84	1.453376	616.9591	59.3	9.7	20	48	3.94288	191.137
Sepang	1980	141	2.075132	828.4245	50.8	15.2	64	1	2.884876	98.54365
Shanghai	1752	81.35999	2.4311	868.2476	40.3	18.1	14	43	4.243789	182.9603
Silverstone	1410	84.56	2.323893	721.7634	34.7	12.3	31	15	3.568611	123.2409
Singapore	1500	83.51996	2.318874	792.0049	34.4	15.6	27	22	3.916328	135.5576
Spa_Francorchamps	1353	77.20001	2.366789	697.6713	30.3	14.8	21	23	4.095267	143.3149
Street1	1200	69.2	1.810417	494.2939	31.6	8.4	31	8	3.249823	107.9431
YasMrina	1410	96	2.232854	729.0302	34.1	12.9	28	18	3.771023	128.8554
Yeongam	1440	84.10004	2.465724	827.275	32.4	15.6	31	16	3.851513	124.5557

แบบสอบถามเพื่อทำการหาคุณสมบัติของสนามแข่งที่ทำให้เกิดความสุขและความ
ยาก

แบบสอบถามความสุขและความยากของสนามแข่งรถ

เพศ *

- ชาย
- หญิง

อายุ *

จำนวนชม.ในการเล่นเกมส์แอดคันต่อวัน *

- น้อยกว่า 1 ชม.
- 1-2 ชม.
- 2-3 ชม.
- 3-4 ชม.
- 4-5 ชม.
- มากกว่า 5 ชม.

จำนวนชม.ในการเล่นเกมส์รถแข่งต่อวัน *

- น้อยกว่า 1 ชม.
- 1-2 ชม.

- 2-3 ชม.
- 3-4 ชม.
- 4-5 ชม.
- มากกว่า 5 ชม.

จากการเล่นสนามคู่ A กับ B *พบว่า

- สนาม A สนุกกว่า
- สนาม B สนุกกว่า
- ไม่ต่างกัน

คะแนนความสนุก *

คะแนนเรียงจากความสนุกน้อยไปมาก

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

สนาม

A

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

สนาม

B

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

เหตุผลที่สนามนั้นสนุกกว่า *

.....

.....

เหตุผลที่สนามนั้นยากกว่า *

.....
.....

คำแนะนำว่าควรจะปรับสนาม A ยังไงให้ยากขึ้น *

.....
.....

คำแนะนำว่าควรจะปรับสนาม B ยังไงให้ยากขึ้น *

.....
.....

ค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของสนามแข่งจากสมาการและผู้เล่น

- ตาราง 18 ตาราง 19 และตาราง 20 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของสมาการถดถอยเชิงเส้นและผู้เล่นที่มีทักษะ

ตาราง 18 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่มีทักษะและสมาการถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Aalborg – สนามแข่ง D-Speedway)

Tracks	ค่าคะแนนความสนุก		ค่าคะแนนความยาก	
	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมาการ	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมาการ
Aalborg	6.25	6.567614216	5.5	4.95659
Albert park	7	6.421594001	6.6	4.6202811
Alpine1	5.5	5.85959443	5.25	3.7964886
Alpine2	8	6.762090736	5.75	4.967465
A-Speedway	5.5	6.105898003	4.5	4.1370439
Austin	7.2	7.10376974	7.4	6.46704652
Bahrain	8	6.828832943	6.75	4.77044597
Barcelona-Catalunya	8.25	6.240340882	5.75	5.236451
Brondehach	8.5	7.419681337	6.25	5.9620835
B-Speedway	3.75	5.205310311	2.5	2.9188231
Budapest	6.5	7.41206284	5.5	5.6666401
CG speedway number1	4.5	6.156770774	2.5	3.62950835
CG track2	6.4	6.325770913	3.4	4.0349962
CG track3	6.8	6.516079113	4	5.0397072
Corkscrew	6.4	6.119076837	5.2	5.3379766
C-Speedway	4.75	6.647710624	5.75	5.5593852
Dirt1	5.25	6.714808844	3.5	5.1631343
Dirt2	8.5	7.535417226	6.75	5.3412769
Dirt3	4.5	7.375114379	2.75	5.8759413
D-Speedway	4.25	5.597555956	1.25	4.6744406

ตาราง 19 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่มีทักษะและสมการถดถอย
 เชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง E-raod – สนามแข่ง Nurburging)

Tracks	ค่าคะแนนความสนุก		ค่าคะแนนความยาก	
	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ
E-raod	8.25	6.519449527	6	5.1498063
E-Speedway	4	6.166557056	1.5	4.091499
E-track1	6.8	7.58741435	5	5.56333825
E-track2	8	7.354661661	6.5	5.8532225
E-track3	7.5	6.366547331	6.25	4.6513259
E-track4	6.25	5.505372863	4	4.2257218
E-track5	6	5.984650305	4.6	4.6587876
E-track6	7.25	6.028271655	7	6.1780373
Forza	6.2	5.692334091	5	4.8396943
F-Speedway	4.5	5.020532492	2.75	4.002447
Gilles-Villeneuve	7	7.236983795	6.75	7.8452144
G-Speedway	3.75	4.685360885	4	2.74511596
Hill	5.75	6.982016991	7.5	7.0290257
Michigan Speedway	5.25	6.221492101	3.5	4.0197767
Mixed1	8	6.623342016	7	5.2106852
Mixed2	6.75	6.318059909	5	5.27636646
Monaco	7.5	5.917918021	7.25	4.5149675
Monza	6.5	6.893100694	3.75	5.8636987
Newdelhi	5.75	7.282612679	7.5	6.6080405
Nurburging	7.8	6.567632005	7.8	5.2617108

ตาราง 20 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่มีทักษะและสมการถดถอย
เชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Olethros road1 – สนามแข่ง Yeongam)

Tracks	ค่าคะแนนความสนุก		ค่าคะแนนความยาก	
	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ
Olethros road1	8.5	6.824913843	6.25	4.17169253
Ruudskogen	7.25	7.74341416	4.75	6.6337214
Sao Paulo	6.5	6.724134976	7.25	5.0738376
Sepang	7	7.290502172	6	5.88462235
Shanghai	7.4	7.49182571	6.8	6.5561433
Silverstone	7	7.077391733	6.5	5.9867935
Singapore	7.75	7.040437694	8.25	6.2899278
Spa_Francorchamps	7.25	7.062578469	7.25	6.1496069
Street1	6.5	6.032312737	4.5	4.7204063
YasMrina	8.2	6.871436224	8.6	6.0496498
Yeongam	6	7.183866694	7.5	6.5544363



- แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของสมการถดถอยเชิงเส้นและผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

ตาราง 21 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะและสมการถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Aalborg – สนามแข่ง D-Speedway)

Tracks	ค่าคะแนนความสนุก		ค่าคะแนนความยาก	
	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ
Aalborg	7.75	5.93150835	8.75	6.4381542
Albert park	7	6.24710403	5.2	5.8361408
Alpine1	4	5.72173162	8	5.7256136
Alpine2	7.5	5.96986068	5.5	6.794866
A-Speedway	4	5.52294335	3	4.9651108
Austin	6.6	6.16152066	8.4	8.0172496
Bahrain	7.25	6.14587922	7	7.6851774
Barcelona-Catalunya	5.5	5.77391481	5.25	6.33987
Brondehach	6	6.15009011	6	7.3028253
B-Speedway	4.25	4.92258946	3.25	3.0136112
Budapest	7.25	6.29615484	7.5	7.3893885
CG speedway number1	5.5	5.69440921	4.25	6.4225588
CG track2	5	5.593734	4.6	5.3730782
CG track3	5.2	5.9995663	3.6	6.3654857
Corkscrew	6.6	5.82458889	5.8	5.7066408
C-Speedway	5	5.74359148	1.75	5.6056677
Dirt1	7.25	6.12998155	3.25	7.1220928
Dirt2	7.25	6.12422266	7.5	7.0692073
Dirt3	5.5	6.31438613	5.25	7.7127149
D-Speedway	6.25	5.63178045	3	4.9389445

ตาราง 22 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะและสมการ
ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง E-raod – สนามแข่ง Nurburging)

Tracks	ค่าคะแนนความสนุก		ค่าคะแนนความยาก	
	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ
E-raod	6.75	5.92394394	6.25	5.6934522
E-Speedway	6.5	5.89624142	2.75	5.9462538
E-track1	5.2	6.11002956	5.2	7.6551613
E-track2	5.75	6.22650085	6.5	7.5642469
E-track3	7.25	5.85260836	7.25	6.2037511
E-track4	7.75	5.44629975	5	4.5308172
E-track5	4.6	5.74293855	2.8	5.5905198
E-track6	6.25	6.08728821	7.25	6.2713648
Forza	5.6	5.36096522	4	4.1769955
F-Speedway	4	5.40368738	1.5	4.556817
Gilles-Villeneuve	5	6.27779272	5	8.1009265
G-Speedway	5.5	4.8025886	3.25	3.6368845
Hill	5.25	6.58694244	8.75	7.9500262
Michigan Speedway	4.5	5.88541567	2.25	6.3605843
Mixed1	6.25	6.07182552	7.5	7.1316243
Mixed2	7.25	5.74505474	7.25	6.6398084
Monaco	5.75	5.64156766	8.5	5.4298606
Monza	6.75	6.18717017	4	7.3815202
Newdelhi	6	6.23264037	8.25	7.7338704
Nurburging	7	6.04704744	7.8	6.912803




ตาราง 23 แสดงค่าคะแนนความสนุกและค่าคะแนนความยากของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะและสมการ
ถดถอยเชิงเส้นของสนามแข่งต่าง ๆ (สนามแข่ง Olethros road1 – สนามแข่ง Yeongam)

Tracks	ค่าคะแนนความสนุก		ค่าคะแนนความยาก	
	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ	เฉลี่ยจากผู้เล่น	จากสมการ
Olethros road1	7.25	5.67350255	6	5.4317533
Ruudskogen	6.75	6.59127026	5.25	8.3694503
Sao Paulo	7.5	6.34537022	8.5	7.1986882
Sepang	6.25	6.48799426	8	8.5120195
Shanghai	6.6	6.4567876	7.4	8.3624215
Silverstone	6.5	6.15244326	7	7.3909198
Singapore	7.75	6.20739453	9	7.5396133
Spa_Francorchamps	6.75	6.2066448	8.5	7.6420227
Street1	5.25	5.62053395	5	5.4509409
YasMrina	6.4	6.10100171	8.8	7.5007709
Yeongam	5.25	6.24713538	8.75	7.6898887




อันดับของสนามแข่งที่เรียงโดยค่าคะแนนต่าง ๆ

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ

- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 24 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย ตาราง 24 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย




	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Fun	Fun_Equation
	Ruudskogen	1620	75.88	2.0979	739.76	40.8	13.2	24	30	3.7264	143.26	7	7.74341416
	E-track1	1560	123.38	2.4739	793.84	33.1	18.9	51	0	2.0626	85.598	8	7.58741435
	Dirt2	1410	54.48	1.8627	495.27	37.8	9.2	1	45	2.8029	188.21	8	7.535417226

- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 25 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย ตาราง 25 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย


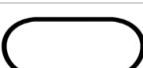

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Fun
	Brondehach	1710	69.68	2.2282	827.6	40.6	16.4	4	52	3.5149	183.89	8.5
	Dirt2	1410	54.48	1.8627	495.27	37.8	9.2	1	45	2.8029	188.21	8.5
	Olethros road1	1380	79.74	1.6293	440.11	39.1	6.9	43	2	1.2585	97.543	8.5

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ

- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 26 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก
ตาราง 26 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก




	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Fun_Equation
	G-Speedway	1020	96.68	1.746	381.52	28.1	5.9	32	1	3.2166	69.627	4.685360885
	F-Speedway	1230	69.48	1.0282	292.51	37.5	3.5	30	10	3.4986	120.48	5.020532492
	B-Speedway	1410	56.48	0.3332	207.86	46.9	0.1	0	46	1.515	178.15	5.205310311

- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 27 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก
ตาราง 27 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก

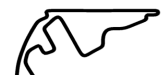


	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Fun
	B-Speedway	1410	56.48	0.3332	207.86	46.9	0.1	0	46	1.515	178.15	3.75
	G-Speedway	1020	96.68	1.746	381.52	28.1	5.9	32	1	3.2166	69.627	3.75
	E-Speedway	2070	76.68	1.5116	641.9	59.1	9.9	18	50	3.7649	175.48	4

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ

- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 28 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย ตาราง 28 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Hard_Equation
	Gilles-Villeneuve	1635	98.4	2.7574	1178.1	32.8	21.7	29	24	4.1889	139.25	7.8452144
	Hill	1080	33.98	0.9196	210.63	35.1	0.9	4	31	3.9667	213.82	7.0290257
	Ruudskogen	1620	75.88	2.0979	739.76	40.8	13.2	24	30	3.7264	143.26	6.6337214




- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 29 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย ตาราง 29 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Hard
	YasMrina	1410	96	2.2329	729.03	34.1	12.9	28	18	3.771	128.86	8.6
	Singapore	1500	83.52	2.3189	792	34.4	15.6	27	22	3.9163	135.56	8.25
	Nurburgring	1350	72.72	2.1243	561.05	34.4	10.6	25	19	4.1363	133.02	7.8

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่มีทักษะ




- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 30 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไป

ตาราง 30 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Hard_Equation
	G-Speedway	1020	96.68	1.746	381.52	28.1	5.9	32	1	3.2166	69.627	2.74511596
	B-Speedway	1410	56.48	0.3332	207.86	46.9	0.1	0	46	1.515	178.15	2.9188231
	CG speedway number1	1890	158.14	1.5566	596.36	52.2	10.8	61	1	1.9916	81.938	3.62950835

- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 31 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก




ตาราง 31 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Hard
	D-Speedway	1110	46.46	1.2459	303.92	33.3	3.7	29	7	3.4187	122.78	1.25
	E-Speedway	2070	76.68	1.5116	641.9	59.1	9.9	18	50	3.7649	175.48	1.5
	B-Speedway	1410	56.48	0.3332	207.86	46.9	0.1	0	46	1.515	178.15	2.5

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ




- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 32 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย

ตาราง 32 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Fun_Equation
	Ruudskogen	1620	75.88	2.0979	739.76	40.8	13.2	24	30	3.7264	143.26	6.59127026
	Hill	1080	33.98	0.9196	210.63	35.1	0.9	4	31	3.9667	213.82	6.586942435
	Sepang	1980	141	2.0751	828.42	50.8	15.2	64	1	2.8849	98.544	6.487994262

- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 33 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย




ตาราง 33 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากมากไปน้อย

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Fun
	Aalborg	1650	90.76	2.1978	737.45	39.2	15.8	42	12	3.3732	104.18	7.75
	E-track4	1530	54.22	0.5351	327.35	50.5	0.5	0	50	2.8427	197.84	7.75
	Singapore	1500	83.52	2.3189	792	34.4	15.6	27	22	3.9163	135.56	7.75

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความสนุกน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 34 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก


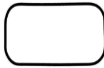

ตาราง 34 ค่าคะแนนความสนุกจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Fun_Equation
	G-Speedway	1020	96.68	1.746	381.52	28.1	5.9	32	1	3.2166	69.627	4.802588595
	B-Speedway	1410	56.48	0.3332	207.86	46.9	0.1	0	46	1.515	178.15	4.922589457
	Forza	1170	43.54	0.1458	191.33	39	0	1	37	1.6601	191.23	5.360965217

- ค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 35 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไปมาก




ตาราง 35 ค่าคะแนนความสนุกที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความสนุกจากน้อยไป

มาก




	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Fun
	F-Speedway	1230	69.48	1.0282	292.51	37.5	3.5	30	10	3.4986	120.48	4
	A-Speedway	1230	47.76	0.918	219.62	38.5	2.5	0	40	2.4509	183.06	4
	Alpine1	2760	123.06	1.8828	1108.2	75.5	16.5	33	58	3.8673	152.36	4

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากมากที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ

- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 36 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย ตาราง 36 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Hard_Equation
	Sepang	1980	141	2.0751	828.42	50.8	15.2	64	1	2.8849	98.544	8.512019468
	Ruudskogen	1620	75.88	2.0979	739.76	40.8	13.2	24	30	3.7264	143.26	8.36945033
	Shanghai	1752	81.36	2.4311	868.25	40.3	18.1	14	43	4.2438	182.96	8.36242149




- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 37 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย ตาราง 37 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากมากไปน้อย

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Hard
	Singapore	1500	83.52	2.3189	792	34.4	15.6	27	22	3.9163	135.56	9
	YasMrina	1410	96	2.2329	729.03	34.1	12.9	28	18	3.771	128.86	8.8
	Hill	1080	33.98	0.9196	210.63	35.1	0.9	4	31	3.9667	213.82	8.75

สนามแข่งที่มีค่าคะแนนความยากน้อยที่สุด 3 สนามของผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ




- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากสมการ ดังตาราง 38 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก

ตาราง 38 ค่าคะแนนความยากจากสมการสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Hard_Equation
	B-Speedway	1410	56.48	0.3332	207.86	46.9	0.1	0	46	1.515	178.15	3.013611224
	G-Speedway	1020	96.68	1.746	381.52	28.1	5.9	32	1	3.2166	69.627	3.636884545
	Forza	1170	43.54	0.1458	191.33	39	0	1	37	1.6601	191.23	4.176995539

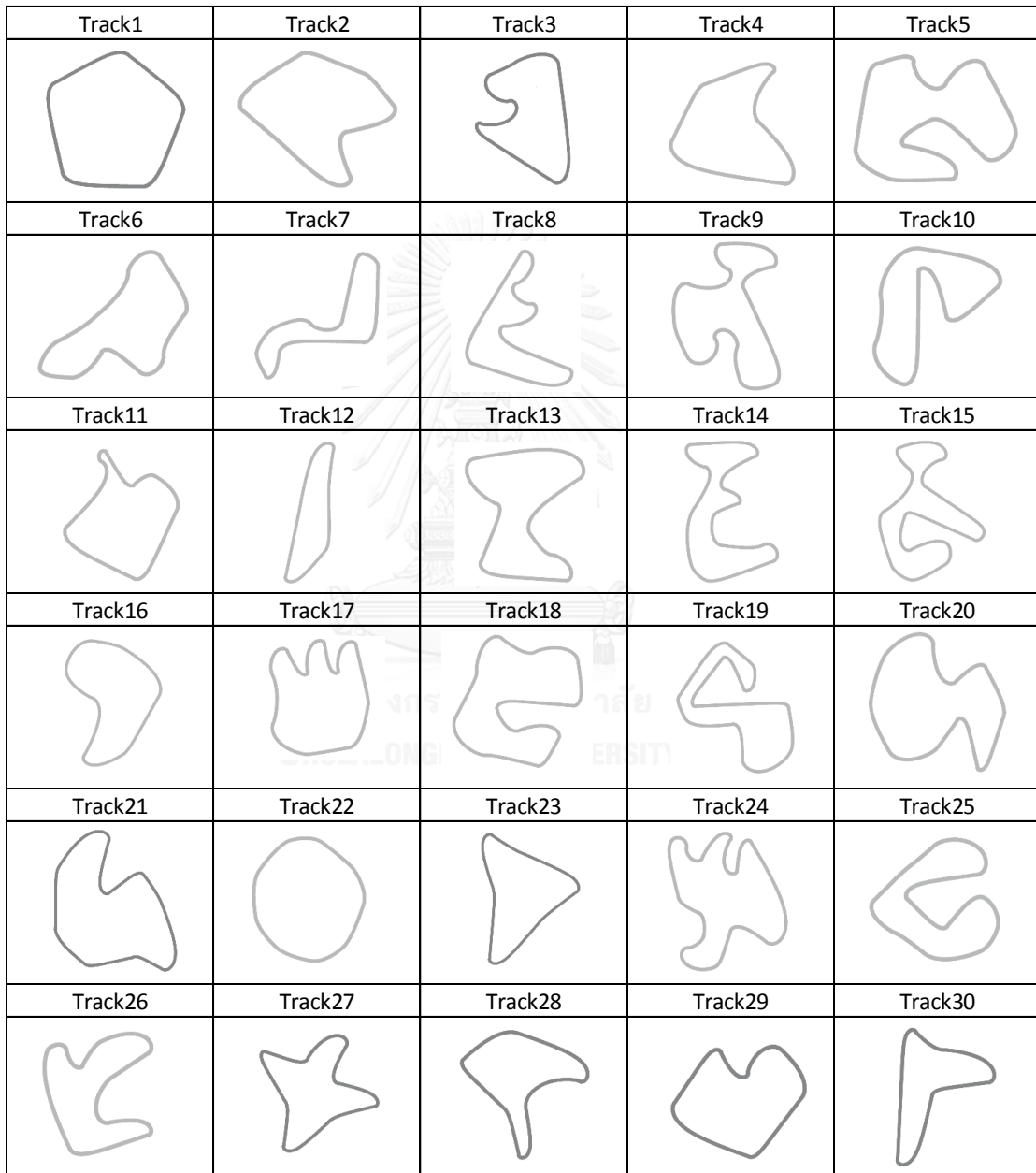
- ค่าคะแนนความยากของสนามแข่งโดยเรียงจากค่าคะแนนที่ผู้เล่นกรอก ดังตาราง 39 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก

ตาราง 39 ค่าคะแนนความยากที่ผู้เล่นที่ไม่มีทักษะกรอก โดยเรียงค่าคะแนนความยากจากน้อยไปมาก

	Tracks	L	BL	DC	CC	LC	HC	LS	HS	DS	AS	Avg Hard
	F-Speedway	1230	69.48	1.0282	292.51	37.5	3.5	30	10	3.4986	120.48	1.5
	C-Speedway	1080	45.16	0.6329	227.7	35.3	0.7	0	35	1.6942	194.22	1.75
	Michigan Speedway	2040	102.6	1.9434	730.04	52.7	15.3	32	35	3.8212	138.2	2.25

สนามแข่งตั้งต้น 30 ตัว

สนามแข่งที่ผู้ทดลองจำลองขึ้นมาเป็นสนามแข่งตั้งต้น 30 ตัว เพื่อนำไปใช้ในการวิวัฒนาการต่าง ๆ ดังรูปที่ 59 ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง
























รูปที่ 59: แสดงภาพสนามแข่งตั้งต้นทั้งหมด 30 สนาม

สนามแข่งที่ได้จากการทดลอง

- สนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 30 สนาม ตาราง 40 และ ตาราง 41 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่สนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของแต่ละสนาม

ตาราง 40 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 1- 21)

	Track: 1 Fun: 7.832828 Hard: 7.131823		Track: 2 Fun: 7.532833 Hard: 6.743502		Track: 3 Fun: 7.712392 Hard: 6.479084
	Track: 4 Fun: 8.058388 Hard: 7.215246		Track: 5 Fun: 7.715778 Hard: 6.811646		Track: 6 Fun: 7.827676 Hard: 7.04968
	Track: 7 Fun: 7.583738 Hard: 6.496551		Track: 8 Fun: 7.230506 Hard: 6.884827		Track: 9 Fun: 6.984235 Hard: 6.271789
	Track: 10 Fun: 8.00686 Hard: 7.277417		Track: 11 Fun: 7.29678 Hard: 6.317235		Track: 12 Fun: 7.181794 Hard: 6.345613
	Track: 13 Fun: 7.329216 Hard: 6.457111		Track: 14 Fun: 8.207263 Hard: 7.514851		Track: 15 Fun: 8.937119 Hard: 7.816561
	Track: 16 Fun: 7.460384 Hard: 6.243613		Track: 17 Fun: 7.288593 Hard: 6.278085		Track: 18 Fun: 6.970366 Hard: 6.073649
	Track: 19 Fun: 6.901459 Hard: 6.233082		Track: 20 Fun: 7.32619 Hard: 6.498381		Track: 21 Fun: 6.920946 Hard: 6.312489

ตาราง 41 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 22- 30)

	Track:	22		Track:	23		Track:	24
	Fun:	7.43586		Fun:	7.152785		Fun:	6.977454
	Hard:	6.763253		Hard:	6.00593		Hard:	6.192319
	Track:	25		Track:	26		Track:	27
	Fun:	7.225371		Fun:	7.685092		Fun:	6.962576
	Hard:	5.999326		Hard:	6.864101		Hard:	6.024438
	Track:	28		Track:	29		Track:	30
	Fun:	6.845153		Fun:	7.447656		Fun:	7.296467
	Hard:	5.853333		Hard:	6.66958		Hard:	6.363347

เมื่อนำค่าคะแนนความสนุกของสนามแข่งมาจัดเรียงอันดับแล้ว จะได้สนามแข่งที่มีอันดับค่าคะแนนความสนุกสูงสุด 3 อันดับแรกดังตาราง 42 และสนามแข่งที่มีค่าอันดับคะแนนความสนุกต่ำสุด 3 อันดับดังตาราง 43

ตาราง 42 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจากค่าคะแนนความสนุก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย


	Track:	15		Track:	14		Track:	4
	Fun:	8.937119		Fun:	8.207263		Fun:	8.058388
	Hard:	7.816561		Hard:	7.514851		Hard:	7.215246

ตาราง 43 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจากค่าคะแนนความสนุก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก




	Track:	28		Track:	19		Track:	21
	Fun:	6.845153		Fun:	6.901459		Fun:	6.920946
	Hard:	5.853333		Hard:	6.233082		Hard:	6.312489

เมื่อนำค่าคะแนนความยากของสนามแข่งมาจัดเรียงอันดับแล้ว จะได้สนามแข่งที่มีอันดับค่า
คะแนนความยากสูงสุด 3 อันดับแรกดังตาราง 44 และสนามแข่งที่มีค่าอันดับคะแนนความยากต่ำสุด
3 อันดับดังตาราง 45

ตาราง 44 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจากค่า
คะแนนความยาก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย






















	Track:	15		Track:	14		Track:	10
	Fun:	8.937119		Fun:	8.207263		Fun:	8.00686
	Hard:	7.816561		Hard:	7.514851		Hard:	7.277417

ตาราง 45 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจากค่า
คะแนนความยาก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก

	Track:	28		Track:	25		Track:	23
	Fun:	6.845153		Fun:	7.225371		Fun:	7.152785
	Hard:	5.853333		Hard:	5.999326		Hard:	6.00593




- สนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 30 สนาม ตาราง 46 และ ตาราง 47 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของแต่ละสนาม

ตาราง 46 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 1- 21)




	Track: 1 Fun: 7.736302 Hard: 6.907982		Track: 2 Fun: 6.835268 Hard: 5.881619		Track: 3 Fun: 7.123808 Hard: 6.794183
	Track: 4 Fun: 6.345033 Hard: 5.354878		Track: 5 Fun: 7.243532 Hard: 6.542641		Track: 6 Fun: 6.670966 Hard: 5.991165
	Track: 7 Fun: 6.784454 Hard: 5.713808		Track: 8 Fun: 6.638475 Hard: 5.583448		Track: 9 Fun: 6.98607 Hard: 6.411083
	Track: 10 Fun: 7.742279 Hard: 7.420186		Track: 11 Fun: 7.006939 Hard: 6.191876		Track: 12 Fun: 7.972683 Hard: 6.944489
	Track: 13 Fun: 6.719424 Hard: 6.015205		Track: 14 Fun: 7.603509 Hard: 7.463192		Track: 15 Fun: 7.059144 Hard: 6.534544
	Track: 16 Fun: 7.836498 Hard: 7.049307		Track: 17 Fun: 7.079677 Hard: 6.17005		Track: 18 Fun: 7.757443 Hard: 7.052573
	Track: 19 Fun: 7.414515 Hard: 6.676713		Track: 20 Fun: 6.894602 Hard: 5.90961		Track: 21 Fun: 6.897356 Hard: 5.816241

เมื่อนำค่าคะแนนความยากของสนามแข่งมาจัดเรียงอันดับแล้ว จะได้สนามแข่งที่มีอันดับค่า
คะแนนความยากสูงสุด 3 อันดับแรกดังตาราง 50 และสนามแข่งที่มีค่าอันดับคะแนนความยากต่ำสุด
3 อันดับดังตาราง 51

ตาราง 50 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจาก
ค่าคะแนนความยาก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย






















	Track:	14		Track:	10		Track:	26
	Fun:	7.603509		Fun:	7.742279		Fun:	8.073271
	Hard:	7.463192		Hard:	7.420186		Hard:	7.401373

ตาราง 51 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่มีทักษะ โดยเรียงจาก
ค่าคะแนนความยาก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก

	Track:	4		Track:	8		Track:	22
	Fun:	6.345033		Fun:	6.638475		Fun:	6.70559
	Hard:	5.354878		Hard:	5.583448		Hard:	5.699605




- สนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 30 สนาม ตาราง 52 และ ตาราง 53 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่สนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของแต่ละสนาม

ตาราง 52 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 1- 21)




	Track: 1 Fun: 5.935828 Hard: 4.829115		Track: 2 Fun: 6.679722 Hard: 9.053484		Track: 3 Fun: 6.50087 Hard: 8.28342
	Track: 4 Fun: 6.415506 Hard: 8.401514		Track: 5 Fun: 6.538393 Hard: 8.633863		Track: 6 Fun: 6.534878 Hard: 8.565684
	Track: 7 Fun: 5.964553 Hard: 7.200053		Track: 8 Fun: 6.375862 Hard: 8.159139		Track: 9 Fun: 7.051285 Hard: 10.37665
	Track: 10 Fun: 6.249235 Hard: 7.805158		Track: 11 Fun: 6.944984 Hard: 10.08812		Track: 12 Fun: 6.62216 Hard: 8.960211
	Track: 13 Fun: 6.457121 Hard: 8.407453		Track: 14 Fun: 6.818376 Hard: 9.746105		Track: 15 Fun: 6.894444 Hard: 9.793475
	Track: 16 Fun: 6.781722 Hard: 9.548356		Track: 17 Fun: 6.893554 Hard: 9.809824		Track: 18 Fun: 6.149788 Hard: 7.487199
	Track: 19 Fun: 6.030645 Hard: 7.461298		Track: 20 Fun: 6.309039 Hard: 8.321648		Track: 21 Fun: 6.439999 Hard: 8.235263

เมื่อนำค่าคะแนนความยากของสนามแข่งมาจัดเรียงอันดับแล้ว จะได้สนามแข่งที่มีอันดับค่า
คะแนนความยากสูงสุด 3 อันดับแรกดังตาราง 56 และสนามแข่งที่มีค่าอันดับคะแนนความยากต่ำสุด
3 อันดับดังตาราง 57

ตาราง 56 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงจาก
ค่าคะแนนความยาก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย




















	Track:	9		Track:	11		Track:	17
	Fun:	7.051285		Fun:	6.944984		Fun:	6.893554
	Hard:	10.37665		Hard:	10.08812		Hard:	9.809824

ตาราง 57 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างง่ายสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงจาก
ค่าคะแนนความยาก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก

	Track:	1		Track:	7		Track:	28
	Fun:	5.935828		Fun:	5.964553		Fun:	6.118137
	Hard:	4.829115		Hard:	7.200053		Hard:	7.343878




- สนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 30 สนาม ตาราง 58 และ ตาราง 59 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่สนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุกของแต่ละสนาม

ตาราง 58 แสดงรูปแบบของสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ 30 สนาม พร้อมค่าคะแนนความยากและค่าคะแนนความสนุก (Track 1- 21)




	Track: 1 Fun: 7.487997 Hard: 8.742541		Track: 2 Fun: 6.555739 Hard: 7.356971		Track: 3 Fun: 6.596007 Hard: 6.973729
	Track: 4 Fun: 7.102219 Hard: 8.143799		Track: 5 Fun: 7.233125 Hard: 8.018695		Track: 6 Fun: 7.120286 Hard: 8.235026
	Track: 7 Fun: 7.816009 Hard: 9.466496		Track: 8 Fun: 7.10534 Hard: 8.793612		Track: 9 Fun: 6.751315 Hard: 6.85106
	Track: 10 Fun: 7.362851 Hard: 8.019156		Track: 11 Fun: 7.052348 Hard: 8.197556		Track: 12 Fun: 8.162708 Hard: 10.35323
	Track: 13 Fun: 7.074384 Hard: 9.013173		Track: 14 Fun: 7.264483 Hard: 8.630678		Track: 15 Fun: 6.653559 Hard: 7.646245
	Track: 16 Fun: 6.875726 Hard: 7.966282		Track: 17 Fun: 6.990742 Hard: 8.210709		Track: 18 Fun: 7.52837 Hard: 9.063583
	Track: 19 Fun: 7.352621 Hard: 8.796128		Track: 20 Fun: 6.734026 Hard: 6.949297		Track: 21 Fun: 6.918502 Hard: 8.145177

เมื่อนำค่าคะแนนความยากของสนามแข่งมาจัดเรียงอันดับแล้ว จะได้สนามแข่งที่มีอันดับค่า
คะแนนความยากสูงสุด 3 อันดับแรกดังตาราง 62 และสนามแข่งที่มีค่าอันดับคะแนนความยากต่ำสุด
3 อันดับดังตาราง 63

ตาราง 62 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงจาก
ค่าคะแนนความยาก 3 อันดับแรก จากมากไปน้อย

	Track:	12		Track:	7		Track:	28
	Fun:	8.162708		Fun:	7.816009		Fun:	7.695477
	Hard:	10.35323		Hard:	9.466496		Hard:	9.427062

ตาราง 63 แสดงรูปแบบสนามแข่งที่วิวัฒนาการให้ค่อนข้างยากสำหรับผู้เล่นที่ไม่มีทักษะ โดยเรียงจาก
ค่าคะแนนความยาก 3 อันดับสุดท้าย จากน้อยไปมาก

	Track:	26		Track:	9		Track:	20
	Fun:	7.404799		Fun:	6.751315		Fun:	6.734026
	Hard:	6.440223		Hard:	6.85106		Hard:	6.949297

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวดวงตะวัน สุรฤกษ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ในปี การศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

