

การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

ภาสพล ประเทืองสิทธิ์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2561

DESIGNING ALGORITHM FOR HELP MAKING DECISION ON THE STRATEGY GAME
THE SETTLERS OF CATAN

Phassaphon Prathuangsit

TNI

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

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2018

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์

นักบุกเบิกแห่งคาทอน

โดย

ภาสพล ประเทืองสิทธิ์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. ธงชัย แก้วกิริยา

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพันธุ์ เจริญพงษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจักษ์ เติมโณ)

.....กรรมการ

(ดร. สรสมัยพร เจริญพิทย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร. ธงชัย แก้วกิริยา)

ภาพผล ประเทืองสิทธิ์ : การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิก
แห่งคาทาน. อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. ธงชัย แก้วกิริยา, 64 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบน
เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมดังกล่าว โดยมีขั้นตอน
ในการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนได้แก่ 1) การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา 2) การวิเคราะห์เกมกลยุทธ์
นักบุกเบิกแห่งคาทาน 3) การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจ 4) การทดสอบผลบนกระดาน
ในสถานการณ์รูปแบบต่างๆ และทดสอบผลกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers 5) การสรุปผลการวิจัย ซึ่ง
ผลสรุปของการวิจัยมีดังนี้

ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานมีอยู่ 3 ส่วน
ประกอบกันคือ 1) การเพิ่มความเร็วของผู้เล่นให้สูงสุดจากอัตราการผลิตทรัพยากรโดยหลักของวิธีการเพิ่ม
ประสิทธิภาพ 2) การแบ่งส่วนและลำดับของปัญหาที่ต้องพิจารณาด้วยระบบมัลติเอเจนต์ 3) เกณฑ์ใน
การตัดสินใจที่เขียนในรูปแบบของนโยบายเริ่มต้น 15 ข้อ โดยเมื่อนำหลักการดังกล่าวไปทดสอบผล
บนกระดานรูปแบบต่างๆ และทดสอบเทียบกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers นั้นได้ผลลัพธ์ออกมาคือ
ชนะ 80% บนกระดานระดับง่ายด้วยคะแนนเฉลี่ย 9.5 คะแนน ชนะ 60% สำหรับกระดานทั่วไปด้วย
คะแนนเฉลี่ย 8.8 คะแนน ชนะ 40% บนกระดานระดับยากและกระดานที่กำหนดเป็นมาตรฐาน ด้วย
คะแนนเฉลี่ย 7.9 และ 7.8 ตามลำดับ และชนะปัญญาประดิษฐ์ในอัตรา 85% ด้วยคะแนนเฉลี่ยที่ 9.7

คำสำคัญ : อัลกอริทึม, เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน, การเพิ่มประสิทธิภาพ, ระบบมัลติเอเจนต์,
วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

PHASSAPHON PRATHUANGSIT : DESIGNING ALGORITHM FOR HELP MAKING
DECISION ON THE STRATEGY GAME THE SETTLERS OF CATAN. ADVISOR :
DR. THONGCHAI KAEWKIRIYA, 64 PP.

The objectives of this research are as follows: 1) To design algorithm for help making decision on the strategy game the Settlers of Catan. 2) To evaluate the efficiency of that algorithm. Additionally, there are 5 steps for designing algorithm, which are shown in following parts; The first step is to collect the data in order to gather knowledge from previous study and analyze problem. The second step is to analyze the strategy game the Settlers of Catan. The third step is to design algorithm for help making decision. The fourth step is to test algorithm on different scenarios and against JSettlers AI. The last is to summarize the result of this research.

As the result of designing algorithm is consisted with 3 parts 1) Players need to minimize turn used by maximizing the rate of resource production from optimization method 2) Dividing and ordering the problem need to be solved with Multi-Agent System concept 3) Decision guidance written in term of 15 rules as a default policy. The result of testing on different scenarios and against JSettlers A.I. are as follow. Winning 80% on easy scenario with the average score of 9.5. Winning 60% on general scenario with the average score of 8.8. Winning 40% on hard scenario and static configuration with the average score of 7.9 and 7.8. And winning 85% against JSettlers A.I. with the average score of 9.7

Keywords : Algorithm, Strategy game the Settlers of Catan, Optimization, Multi-agent System, Monte Carlo Tree Search Method

Graduate School

Student's Signature.....

Field of Study Information Technology

Advisor's Signature.....

Academic Year 2018

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. ธงชัย แก้วกิริยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ตามหัวข้อที่เลือกไว้ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงได้ทันภายในกรอบระยะเวลา 2 ปี และได้แนะนำผู้วิจัยให้กับ รองศาสตราจารย์ ดร. พยุง มีสัง คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วิทยานิพนธ์คงไม่อาจสำเร็จลุล่วงได้ หากไม่ได้รับคำแนะนำจาก ดร. ภาสกร อภิรักษ์วรพินิจ อาจารย์คนแรกของผู้วิจัยที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ผู้นำพาผู้วิจัยเข้าสู่โลกแห่งเทคโนโลยีและการเขียนโปรแกรม อีกทั้งยังได้มอบข้อคิดอันเป็นประโยชน์ที่ช่วยให้ผู้วิจัยมองเห็นและค้นพบแนวทางสำหรับหาคำตอบในเรื่องที่ดำเนินการอยู่ รวมไปถึงคำแนะนำในการเลือกอาชีพหลังสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณพี่ต๋อง สุวรรณศิลป์ ผู้ที่ได้ผ่านเหตุการณ์และมีประสบการณ์มาก่อน อีกทั้งยังคอยชี้แนะแนวทางและหลักการสำคัญให้กับผู้วิจัยในยามที่ต้องเผชิญหน้ากับปัญหาและอุปสรรคต่างๆ

เช่นเดียวกับรพีภีร์ โรจนวโร สห จูติธรรมวัฒน์ และมิตรสหายท่านอื่นที่ได้คอยช่วยเหลือจนผู้วิจัยสามารถแก้โจทย์ปัญหาและดำเนินการทดสอบผลตามหัวข้อวิจัยได้สำเร็จ

สุดท้ายขอขอบคุณว่าที่ดร.ภูวดล วิรุฬห์ลือชา เพื่อนร่วมชั้นปีผู้สำเร็จการศึกษาล่วงหน้าไปก่อนในระยะเวลา 1 ปีครึ่ง รวมทั้งบุคคลากรท่านอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ผู้ได้ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยเพื่อประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และเป็นแนวทางต่อยอดสำหรับการทำวิจัยในเรื่องดังกล่าวต่อไปในอนาคต

ภาสพล ประเทืองสิทธิ์

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
2 หลักการพื้นฐาน แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 หลักการพื้นฐาน แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3 วิธีการดำเนินงาน.....	29
3.1 ขั้นที่ 1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา.....	29
3.2 ขั้นที่ 2 วิเคราะห์เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทอน.....	31
3.3 ขั้นที่ 3 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจ.....	40
3.4 ขั้นที่ 4 ทดสอบผลบนกระดานในสถานการณ์รูปแบบต่างๆ.....	48
3.5 ขั้นที่ 5 การสรุปผลการวิจัย.....	50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	51
4.1 ผลการออกแบบอัลกอริทึมบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน.....	51
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ออกแบบ.....	55
5 วิเคราะห์และสรุปผล.....	58
5.1 สรุปผล.....	58
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	59
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	60
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	60
บรรณานุกรม.....	61
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	64

TNI

TAHT - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สรุปรวิธการทำคะแนนและต้นทุนขั้นต่ำ	15
3.1 รูปแบบของการแข่งขันในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน.....	31
3.2 สรุพชุดข้อมูลความน่าจะเป็นของไพล์ตัวเลขบนกระดาน	36
3.3 ช่วงแนวโน้มของทรัพยากรแต่ละชนิด	37
3.4 ความน่าจะเป็นของไฟพิเศษในสำหรับ.....	38
3.5 ต้นทุนในการสร้างและปริมาณที่มีจำกัด.....	39
3.6 ต้นทุนทรัพยากรในการทำคะแนนให้ถึง 10 คะแนน.....	44
4.1 ทรัพยากรขั้นต่ำที่ต้องใช้สำหรับจบเกม	52
4.2 สรุพผลการทดสอบ.....	57

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน.....	4
2.2 ลำดับขั้นตอนของการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม.....	5
2.3 แผ่นทรัพยากร 5 ชนิด.....	6
2.4 ไทล์ตัวเลขที่วางบนแผ่นทรัพยากร.....	6
2.5 การจัดเรียงไทล์ตัวเลขบนกระดาน.....	7
2.6 ตัวอย่างกระดานที่จัดเรียงเสร็จสมบูรณ์.....	7
2.7 ข้อกำหนดในการวางสิ่งก่อสร้าง.....	8
2.8 การแจกจ่ายทรัพยากรตามบ้านหลังที่ 2.....	9
2.9 ตัวอย่างกระดานที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์พร้อมเริ่มเกม.....	9
2.10 ลำดับของการเล่นเกมใน 1 รอบ.....	10
2.11 ทรัพยากร 5 ชนิดของเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน.....	11
2.12 สิ่งก่อสร้าง 3 ชนิดของผู้เล่นแต่ละคน.....	12
2.13 ไฟพิเศษ 5 ชนิดที่มีความสามารถแตกต่างกัน.....	12
2.14 ต้นทุนของสิ่งก่อสร้างและไฟพิเศษ.....	13
2.15 แนวทางในการทำคะแนนของเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน.....	14
2.16 การหาจุดสมดุลด้วยกราฟ.....	16
2.17 กราฟแสดงการแจกแจงแบบปกติ ตามทฤษฎีความน่าจะเป็น.....	18
2.18 การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์.....	21
2.19 หลักการพื้นฐานของวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล.....	22
2.20 ขั้นตอนหลักของวิธีการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล.....	24
3.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา.....	29
3.2 แนวทางและทฤษฎีที่ใช้ดำเนินงานวิจัย.....	30
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน.....	31
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์วัตถุประสงค์.....	31
3.5 ความสัมพันธ์ที่มีผลต่อความเร็วของผู้เล่นในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน.....	32
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์กติกาการเล่น.....	32
3.7 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตทรัพยากร.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.8	เงื่อนไขและผลตอบแทนจากการกระทำของผู้เล่น 34
3.9	ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 34
3.10	ความน่าจะเป็นของการทอดลูกเต๋า 2 ลูก 35
3.11	ผลตอบแทนที่ได้รับจากการกระทำ 39
3.12	ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ 3 ส่วน 40
3.13	หลักการออกแบบอัลกอริทึม 41
3.14	ขั้นตอนการหาคำตอบด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ 42
3.15	รูปแบบการแบ่งปัจจัยที่ต้องพิจารณาด้วยหลักการของระบบมัลติเอเจนต์ 46
3.16	กระดานมาตรฐานที่ทำทดสอบ 49
3.17	ตัวอย่างซอฟต์แวร์ JSettlers 50
4.1	แบบจำลองสถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์ 53
4.2	กระดานมาตรฐานที่ทำทดสอบ 55
4.3	ตัวอย่างการทดสอบกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers 56

TNI

TAHTI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เกมกลยุทธ์ถูกนำมาใช้เป็นหนึ่งในเครื่องมือวัดความสามารถการประมวลผลข้อมูลหรืออัลกอริทึมที่สำคัญของทั้งมนุษย์และคอมพิวเตอร์มาอย่างยาวนาน จนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้ ได้มีเหตุการณ์สำคัญสองเหตุการณ์เกิดขึ้น ครั้งแรกคือชัยชนะของ Deep Blue [1] ต่อ Garry Kasparov ในเกมหมากรุกสากลเมื่อปี 1997 และต่อมาคือชัยชนะของ AlphaGo ต่อ Ke Jie ในเกมหมากล้อมเมื่อเดือนพฤษภาคมปี 2017 ซึ่งทั้งสองเกมนั้นถือเป็นแกนหลักสำคัญที่สุดของเกมกลยุทธ์ที่ไม่มีปัจจัยผันผวนและมีผู้เล่นเพียงสองคน

อย่างไรก็ตาม ทั้งหมากรุกสากลและหมากล้อมนั้น รูปแบบของเกมเป็นการแข่งขันโดยสมบูรณ์ มีการเปิดเผยข้อมูลอย่างครบถ้วน และเริ่มต้นด้วยเงื่อนไขเดียวกันเสมอ ซึ่งแตกต่างอย่างมากจากเกมกลยุทธ์รูปแบบอื่นและสถานการณ์จริง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเงื่อนไขของเกมกลยุทธ์ที่มีผู้เล่นหลายคน และมีปัจจัยผันผวนเข้ามาเกี่ยวข้อง นั่นคือเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน (The Settlers of Catan) หนึ่งในเกมกระดานเยอรมันที่เป็นที่นิยมและโด่งดังที่สุด ออกแบบโดย Klaus Teuber นักออกแบบเกมกระดานชาวเยอรมัน

โดยเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานนี้มีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นคือโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพ (Optimization) โดยการบริหารจัดการทรัพยากรหลากหลายชนิดภายใต้บริบทความไม่แน่นอนของลูกเต๋าและไฟ ซึ่งผู้เล่นแต่ละคนจะต้องแข่งขันกันสร้างสิ่งก่อสร้างบนเกาะที่มีอาณาเขตจำกัด และทำคะแนนให้ได้ถึงเกณฑ์ที่วางไว้เป็นคนแรก

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์กฎกติกาและเงื่อนไขของเกม เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการแข่งขันรวมทั้งปัจจัยที่มีผลกระทบเพื่อสังเคราะห์สมการคณิตศาสตร์ในการประเมินค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องตามหลักของการเพิ่มประสิทธิภาพ พร้อมออกแบบวิธีการวิเคราะห์และช่วยตัดสินใจให้มีประสิทธิภาพ ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการของระบบ มัลติเอเจนต์ในการแบ่งส่วนของปัญหาที่ต้องตัดสินใจ ประกอบกับวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลที่ใช้พิจารณาตัวเลือกที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมดังกล่าว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน ภายใต้บริบทของโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และขั้นตอนวิธี ในแง่มุมมองของการเพิ่มประสิทธิภาพ บนรูปแบบของเกมกลยุทธ์บนกระดานระหว่างผู้เล่น และรูปแบบของปัญญาประดิษฐ์ที่เป็นซอฟต์แวร์บนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1.3.2 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มผู้เล่นเกมกลยุทธ์ที่มีประสบการณ์การฝึกวางแผนบนเกมกระดานอย่างต่อเนื่อง โดยในแต่ละรอบของการทดสอบ ต้องมีจำนวนผู้เล่นกระดานละ 4 คน

1.3.3 ขอบเขตด้านเทคนิคและวิธีการ

1. วิเคราะห์เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานโดยใช้กรอบแนวคิดทางคณิตศาสตร์ ภายใต้แง่มุมมองของการเพิ่มประสิทธิภาพ ทฤษฎีสถิติและความน่าจะเป็น ในการค้นหาวิธีการดำเนินกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุด
2. ประยุกต์ใช้หลักการของระบบมัลติเอเจนต์ในการแบ่งส่วนปัญหาที่ต้องพิจารณา
3. ประยุกต์ใช้วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลในการเลือกประเมินค่าเพื่อตัดสินใจ โดยเลือกรูปแบบ Upper Confidence Bound ที่เน้นประโยชน์สูงสุดและลดทอนความเสี่ยงให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งจะแสดงเป็นข้อกำหนดเริ่มต้นแต่ละลำดับในการพิจารณา

1.3.4 ขอบเขตด้านการทดสอบและประเมินผล

1. ทดสอบผลบนกระดานรูปแบบเดียวเป็นจำนวนหลายครั้ง เพื่อตัดปัจจัยผันผวน
2. ทดสอบผลโดยการกำหนดกลุ่มของสถานการณ์ที่ต้องการทดสอบ โดยกำหนดรูปแบบไว้ 3 ระดับคือ ง่าย ปานกลาง และยาก จากปัจจัยผันผวนที่จะเกิดขึ้นในเกม
3. ทดสอบกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers ตัวหลักที่ได้รับความนิยมสูงสุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้รูปแบบและสมการคณิตศาสตร์เบื้องต้นในการประเมินแนวโน้มของเกม
- 1.4.2 ได้แผนภาพและลำดับความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเกม
- 1.4.3 ได้อัลกอริทึมที่เป็นข้อกำหนดสำหรับช่วยให้ตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.4.4 สามารถนำสิ่งที่ได้มาข้างต้นไปต่อยอดในการทำวิจัยเรื่องดังกล่าวต่อไป

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 **เกมกลยุทธ์ (Strategy Game)** หมายถึง สถานการณ์จำลองที่ผู้เล่นต้องทำการประเมินความน่าจะเป็น วิเคราะห์ และตัดสินใจเลือกการกระทำที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้กติกาที่กำหนดไว้

1.5.2 **นักบุกเบิกแห่งคาทาน (Settlers of Catan)** หมายถึง เกมกลยุทธ์รูปแบบหนึ่งที่มีผู้เล่นหลายคน มีวัตถุประสงค์คือให้ผู้เล่นแต่ละคนแข่งขันกันทำคะแนนจากการรวบรวมทรัพยากร และสร้างสิ่งก่อสร้าง ออกแบบโดยนักออกแบบเกมชาวเยอรมัน

1.5.3 **การเพิ่มประสิทธิภาพ (Optimization)** หมายถึง การหาจุดสมดุล หรือค่าที่เหมาะสมที่สุดตามความต้องการ ภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด

1.5.4 **ระบบมัลติเอเจนต์ (Multi Agent System)** หมายถึง ระบบที่ให้เครื่องเอเจนต์หลายๆ เครื่องทำงานร่วมกัน ซึ่งเอเจนต์เหล่านี้แต่ละตัวทำงานเป็นอิสระต่อกัน สามารถตัดสินใจได้ด้วยตนเอง แต่จะมีการสื่อสารระหว่างกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล

1.5.5 **วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล (Monte-Carlo Tree Search Method)** หมายถึง รูปแบบหนึ่งของการค้นหาต้นไม้ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงสำหรับประยุกต์ใช้กับปัญหาประติษฐ์ของเกมในรูปแบบต่างๆ

1.5.6 **JSettlers** หมายถึง ปัญหาประติษฐ์ที่เชื่อกันว่ามีประสิทธิภาพสูงและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายสำหรับเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

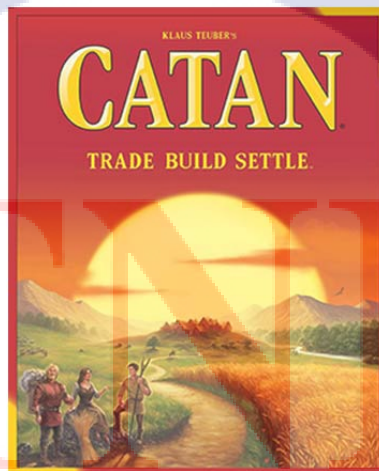
2.1 หลักการพื้นฐาน แนวคิดและทฤษฎี

ในการวิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานมีหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 2.1.1 เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน
- 2.1.2 ทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพ
- 2.1.3 ทฤษฎีสถิติและความน่าจะเป็น
- 2.1.4 ระบบมัลติเอเจนต์
- 2.1.5 กระบวนการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

2.1.1 เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

ในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน [2] ผู้เล่นแต่ละคนจะตั้งถิ่นฐานบนเกาะคาทาน ยึดครองพื้นที่ รวบรวมและแลกเปลี่ยนทรัพยากร สำหรับใช้ในการสร้างสิ่งก่อสร้าง เพื่อขยายดินแดน บนเกาะดังกล่าว แข่งขันกันค้นหาผู้ชนะที่สามารถทำคะแนนได้ถึง 10 คะแนนก่อนเป็นลำดับแรก



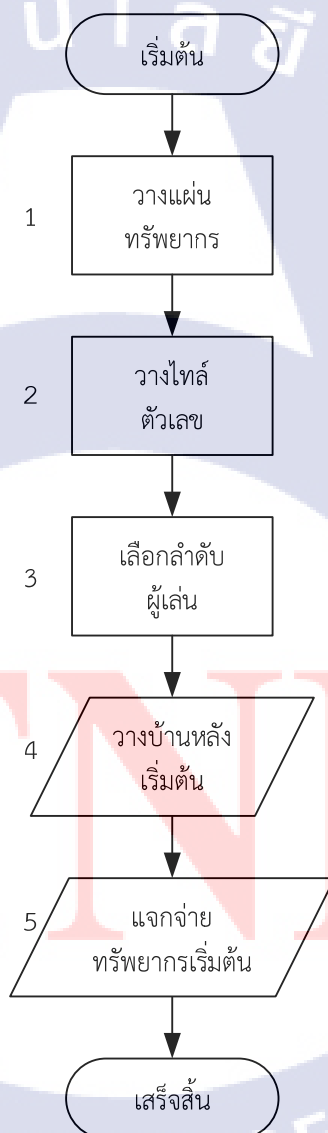
รูปที่ 2.1 เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน [3]

สำหรับการเล่นเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทอนจะมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. ขั้นตอนการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม
2. ขั้นตอนการเล่นเกม

1. ขั้นตอนการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม

เป็นขั้นตอนที่ผู้เล่นทำการติดตั้งกระดานตามองค์ประกอบของเกมตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนของการเล่นเกมตามรายละเอียดรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นตอนของการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม

1. วางแผ่นทรัพยากร

ก่อนเริ่มเล่นจะต้องติดตั้งกระดานโดยเริ่มต้นด้วยการวางแผ่นทะเลทรายและแผ่นทรัพยากร 5 ชนิดจำนวนทั้งหมด 19 แผ่นให้ครบ ซึ่งแผ่นทรัพยากรเหล่านี้แสดงถึงภูมิภาคที่จะมีการผลิตทรัพยากรดังกล่าว สำหรับทรัพยากรหินและอิฐจะมีจำนวนอย่างละ 3 แผ่น ขณะที่ทรัพยากรชนิดอื่นที่เหลือมีจำนวนอย่างละ 4 แผ่น ซึ่งการจัดเรียงแผ่นทรัพยากรเหล่านี้อาจกระทำโดยการสุ่มหรือกำหนดตำแหน่งของทรัพยากรแต่ละชนิดไว้ก่อนก็ได้



รูปที่ 2.3 แผ่นทรัพยากร 5 ชนิด

2. วางไทม์ตัวเลข

และเมื่อจัดวางแผ่นภูมิภาคประเทศทั้ง 19 แผ่นเรียบร้อยแล้ว ให้วางไทม์ตัวเลข 2-12 บนแผ่นภูมิภาคประเทศ เรียงลำดับทวนเข็มนาฬิกาตามตัวอักษร A-R ที่กำกับอยู่คู่กับไทม์ตัวเลข โดยเว้นพื้นที่ว่างบนแผ่นทะเลทราย และให้นำโจรไปวางแทน



รูปที่ 2.4 ไทม์ตัวเลขที่วางบนแผ่นทรัพยากร [4]



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงไทม์ตัวเลขบนกระดาน

เมื่อจัดเรียงแผ่นทรัพยากรและไทม์ตัวเลขเสร็จสิ้นจะได้กระดานตามตัวอย่าง
ของรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกระดานที่จัดเรียงเสร็จสมบูรณ์

3. เลือกลำดับผู้เล่น

หลังจากนั้นจึงทำการเลือกลำดับผู้เล่น โดยอาจสุ่มลำดับจากการทอดลูกเต๋า หรือตามแต่ที่ผู้เล่นจะตกลงกัน ซึ่งลำดับนี้จะมีผลต่อการวางบ้านหลังเริ่มต้น และกำหนดรอบของการเล่น สำหรับผู้เล่นแต่ละคน ทั้งนี้สำหรับกระดานมาตรฐาน จำนวนผู้เล่นที่มีความสมดุมากที่สุดคือ 4 คน

4. วางบ้านหลังเริ่มต้น

เมื่อทำการเลือกลำดับของผู้เล่นแล้ว เกมจะดำเนินต่อไปโดยให้ผู้เล่นแต่ละคน เลือกวางบ้านหลังเริ่มต้นพร้อมถนน 1 เส้น จำนวนคนละ 2 หลังบนกระดาน ตามลำดับเริ่มต้นจากผู้เล่น คนแรกวนไปสู่ผู้เล่นคนสุดท้าย แล้วให้ผู้เล่นคนสุดท้ายวางบ้านอีกหลังย้อนกลับไปสู่ผู้เล่นคนแรก ซึ่ง ในเกมมีข้อกำหนดให้วางสิ่งก่อสร้างตรงจุดตัดของแผ่นทรัพยากรบนกระดานเท่านั้น และตามกติกา ของเกมกำหนดให้สิ่งก่อสร้างแต่ละหลังจะต้องมีระยะห่างระหว่างกันอย่างน้อย 2 ช่วงถนน ตามตัวอย่าง ของหมู่บ้าน A และ B ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ข้อกำหนดในการวางสิ่งก่อสร้าง

5. แจกจ่ายทรัพยากรเริ่มต้น

เมื่อผู้เล่นทุกคนทำการวางบ้านหลังเริ่มต้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการแจกจ่าย ทรัพยากรเริ่มต้นตามบ้านหลังที่ 2 ของผู้เล่นแต่ละคน



รูปที่ 2.8 การแจกจ่ายทรัพยากรตามบ้านหลังที่ 2

จากรูปที่ 2.8 บ้านหลังที่ 2 ของผู้เล่นแต่ละคนคือหลังที่มีสัญลักษณ์ดาวสีขาวกำกับอยู่ ซึ่งผู้เล่นแต่ละคนจะได้รับทรัพยากรเริ่มต้นตามแผ่นทรัพยากรที่อยู่ติดกับบ้านหลังดังกล่าว ดังนี้ ผู้เล่นสีน้ำเงินได้รับ อิฐ แกะ หิน ผู้เล่นสีแดงได้รับ ข้าว ไม้ แกะ ผู้เล่นสีส้มได้รับ ไม้ แกะ ข้าว และผู้เล่นสีขาวได้รับ แกะ หิน ไม้

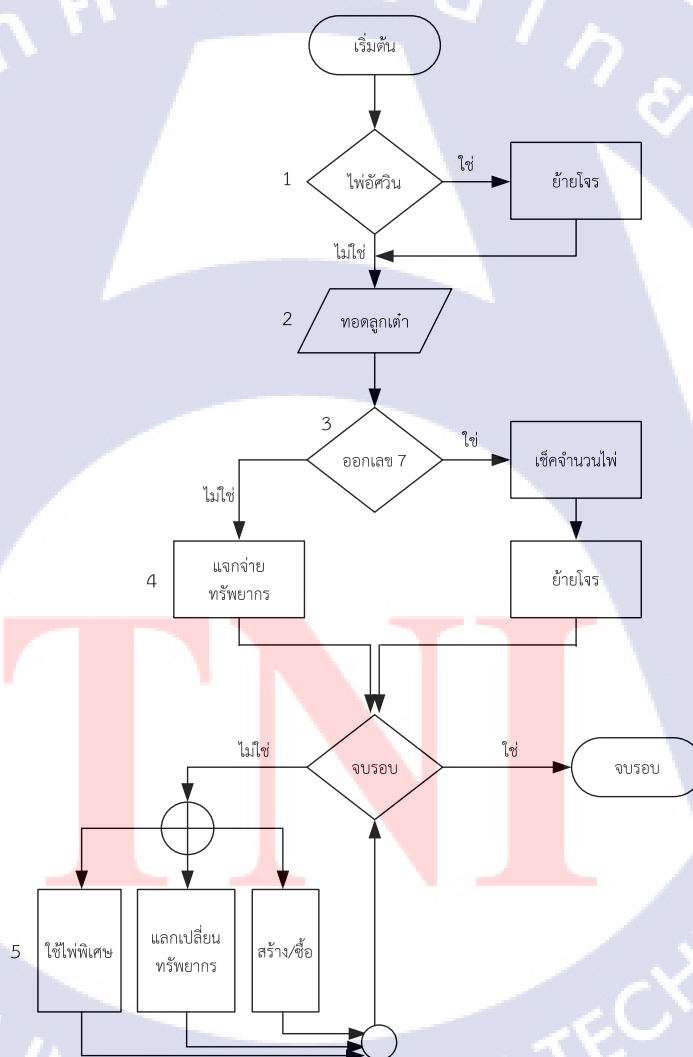


รูปที่ 2.9 ตัวอย่างกระดานที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์พร้อมเริ่มเกม [5]

และเมื่อดำเนินการทุกขั้นตอนของการติดตั้งกระดานเสร็จสมบูรณ์ตามตัวอย่างรูปที่ 2.9 ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนของการเล่นเกมในหัวข้อถัดไป

2. ขั้นตอนการเล่นเกม

เกมเริ่มต้นขึ้นเมื่อผู้เล่นทุกคนได้รับแจกจ่ายทรัพยากรของบ้านหลังที่ 2 จนครบ จากนั้นจึงให้ผู้เล่นคนแรกดำเนินการทอดลูกเต๋าเพื่อสุ่มการผลิตทรัพยากรบนกระดานก่อนไปสู่การกระทำอื่นๆ ตามกติกาของเกม และเมื่อผู้เล่นคนดังกล่าวได้สิ้นสุดรอบการเล่นของตน ก็จะเข้าสู่รอบของผู้เล่นคนถัดไปตามรายละเอียดรูปที่ 2.10 ซึ่งเกมจะดำเนินไปเช่นนี้กระทั่งมีผู้เล่นคนหนึ่งได้รับคะแนนถึง 10 คะแนน จะถือว่าผู้เล่นคนนั้นเป็นผู้ชนะ และเกมได้สิ้นสุดลง



รูปที่ 2.10 ลำดับของการเล่นเกมใน 1 รอบ

1. ไฟ้อศวิน

ไฟ้อศวินเป็นไพ่พิเศษชนิดเดียวที่ผู้เล่นสามารถเลือกใช้ได้ก่อนทำการทอดลูกเต๋า ซึ่งการใช้ไฟ้อศวินเพื่อเลือกย้ายโจรไปยังตำแหน่งอื่นบนกระดาน ทั้งนี้หากมีการใช้ไฟ้อศวินตั้งแต่ 3 ใบขึ้นไป จะได้รับคะแนนพิเศษของการใช้ไฟ้อศวิน

2. ทอดลูกเต๋า

ในแต่ละรอบของการเล่น ผู้เล่นจะต้องทำการทอดลูกเต๋าเพื่อสุ่มการผลิตทรัพยากร โดยทรัพยากรจะถูกผลิตขึ้นตามเลขผลรวมของลูกเต๋า 2 ลูกที่ตรงกับไถล์ภูมิภาคบนกระดาน ผู้เล่นที่มีหมู่บ้านหรือเมืองอยู่ติดกับภูมิภาคที่มีหมายเลขดังกล่าวจะได้รับทรัพยากรชนิดนั้นเพิ่มไว้ในมือ โดย 1 หมู่บ้าน จะทำการผลิต 1 ทรัพยากร และ 1 เมือง ทำการผลิต 2 ทรัพยากร



รูปที่ 2.11 ทรัพยากร 5 ชนิดของเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน [6]

3. ออกเลข 7

เนื่องจากบนกระดานไม่มีไถล์หมายเลข 7 ดังนั้นหากผลลัพธ์ของลูกเต๋าเป็น 7 ผู้เล่นทุกคนที่มีทรัพยากรมากกว่า 7 ใบบนมือ จะต้องทิ้งทรัพยากรเหล่านั้นไปครึ่งหนึ่ง และผู้เล่นที่เป็นคนทอดลูกเต๋าทำการเลือกย้ายโจร ซึ่งโจรเป็นปัจจัยพิเศษที่ปิดกั้นไม่ให้เกิดการผลิต โดยในตอนเริ่มต้นเกม โจรจะอยู่ที่ภูมิภาคทะเลทราย และเมื่อย้ายโจรไปยังภูมิภาคอื่นแล้ว ผู้เล่นสามารถขโมยทรัพยากรแบบสุ่มหนึ่งใบบนมือของผู้เล่นที่มีสิ่งก่อสร้างอยู่ติดกับแผ่นภูมิภาคที่โจรได้ย้ายไป

4. แจกจ่ายทรัพยากร

ผู้เล่นแต่ละคนได้รับทรัพยากรที่ผลิตตามการทอดลูกเต๋าท่อธิบายไว้ในหัวข้อย่อย

5. เลือกรกระทำ

หลังจากทอดลูกเต๋าและแจกจ่ายทรัพยากรในรอบนั้นแล้ว ผู้เล่นที่เป็นเจ้าของรอบสามารถเลือกการกระทำเหล่านี้ได้คือ ทำการสร้างสิ่งก่อสร้าง ซื้อไฟพิเศษ เลือกใช้ไฟพิเศษ หรือทำการแลกเปลี่ยนทรัพยากร และเมื่อดำเนินการทุกอย่างครบตามที่ต้องการก็จะเข้าสู่ลำดับของผู้เล่นคนถัดไป

5.1 สิ่งก่อสร้าง

ในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน ผู้เล่นแต่ละคนมีสิ่งก่อสร้างของตัวเองอยู่ 3 ประเภทคือ หมู่บ้าน เมือง และถนน โดยผู้เล่นสามารถเลือกสร้างหมู่บ้านบนแยกระหว่างรูปหกเหลี่ยมภูมิภาคประเทศ เพื่อทำการผลิตทรัพยากร โดยทรัพยากรเหล่านี้สามารถใช้สร้างสิ่งก่อสร้างอื่นเพิ่มเติมได้ ทั้งนี้ผู้เล่นสามารถขยายดินแดนจากสิ่งก่อสร้างเริ่มต้นที่ได้ตั้งถิ่นฐานไว้แล้วเท่านั้น



รูปที่ 2.12 สิ่งก่อสร้าง 3 ชนิดของผู้เล่นแต่ละคน

5.2 ไฟพิเศษ

นอกจากเหนือการสร้างสิ่งก่อสร้างแล้ว ผู้เล่นยังสามารถซื้อไฟพิเศษได้จากสำรับที่มีไฟทั้งหมด 25 ใบ ในสำรับจะมีไฟ 5 ประเภทที่มีความสามารถแตกต่างกันดังต่อไปนี้ ไฟอัศวินใช้ย้ายตำแหน่งโจรบนกระดาน ไฟการสร้างถนนใช้สร้างถนน 2 เส้น บัตรผูกขาดทรัพยากรใช้เรียกทรัพยากรหนึ่งชนิดทั้งหมดจากผู้เล่นคนอื่นๆ ไฟปีแห่งความอุดมสมบูรณ์ใช้รับทรัพยากรใดๆ 2 ชนิด และไฟคะแนนมีมูลค่า 1 คะแนนในเกม

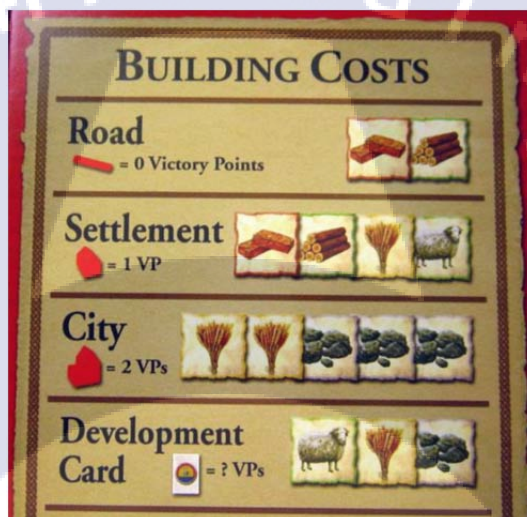


รูปที่ 2.13 ไฟพิเศษ 5 ชนิดที่มีความสามารถแตกต่างกัน [6]

5.3 การใช้ไฟพิเศษ

ไฟพิเศษมีเงื่อนไขในการใช้คือ ผู้เล่นสามารถใช้ได้เพียงรอบละ 1 ใบ โดยต้องรอให้ผ่านไป 1 รอบการเล่นหลังจากที่ซื้อจึงจะสามารถใช้งานไฟพิเศษได้ ไม่สามารถใช้ได้ทันทีในรอบเดียวกันที่ซื้อ และจะต้องใช้ไฟหลังจากการทอดลูกเต๋าและแจกจ่ายทรัพยากรแล้ว ยกเว้นไฟอัศวินที่สามารถเลือกใช้ก่อนเพื่อย้ายตำแหน่งของโจรก่อนการทอดลูกเต๋าได้ และมีไฟอัศวินมีจำนวนมากที่สุดในเกมคือ 14 ใบ รองลงมาคือไฟคะแนนพิเศษมีจำนวน 5 ใบ ขณะที่ไฟที่เหลืออีก 3 ประเภท มีอย่างละ 2 ใบ

5.4 ต้นทุนของสิ่งก่อสร้างและไฟพิเศษ



รูปที่ 2.14 ต้นทุนของสิ่งก่อสร้างและไฟพิเศษ

การสร้างสิ่งก่อสร้างหรือซื้อไฟพิเศษในรอบของผู้เล่นนั้น มีต้นทุนเป็นทรัพยากรที่ผู้เล่นต้องจ่ายให้กับธนาคารส่วนกลางตามชนิดและจำนวนที่กำหนดต่อ 1 หน่วยของการสร้าง โดยการสร้างถนนต้องจ่ายทรัพยากร 1 อิฐ 1 ไม้ การสร้างหมู่บ้านจ่าย 1 อิฐ 1 ไม้ 1 ข้าว 1 แกะ และต้องมีถนนที่เชื่อมต่อหมู่บ้านไปจากสิ่งก่อสร้างเดิมเป็นระยะทางอย่างน้อย 2 เส้น การสร้างเมืองต้องจ่าย 2 ข้าว 3 หิน สำหรับการซื้อไฟพิเศษต้องจ่ายทรัพยากร 1 แกะ 1 ข้าว 1 หิน

5.5 การแลกเปลี่ยนทรัพยากร

ผู้เล่นสามารถแลกเปลี่ยนทรัพยากรกับธนาคารในอัตราทรัพยากรชนิดเดียวกัน 4 ใบ ต่อทรัพยากรใดๆ 1 ใบ หรือระหว่างผู้เล่นคนอื่นตามแต่การเจรจาต่อรอง ทั้งนี้การแลกเปลี่ยนทรัพยากรเลือกกระทำโดยผู้เล่นที่เป็นเจ้าของรอบเท่านั้น แต่ผู้เล่นคนดังกล่าวอาจเลือกแลกเปลี่ยนระหว่างผู้เล่นคนอื่นด้วยกันได้ ถ้าหากผู้เล่นได้ทำการสร้างหมู่บ้านหรือเมืองติดกับท่าเรือ จะช่วยให้สามารถแลกเปลี่ยนกับธนาคารได้ในอัตราที่ถูกลง ท่าเรือทั่วไปมีอัตรา 3 ต่อ 1 สำหรับทรัพยากรใดๆ และท่าเรือพิเศษมีอัตราทรัพยากรเฉพาะ 2 ต่อ 1 ซึ่งบนกระดานจะมีท่าเรือพิเศษสำหรับทรัพยากรแต่ละประเภท และท่าเรือทั่วไป 4 ท่า รวมทั้งหมด 9 ท่า

เงื่อนไขการสิ้นสุดเกม

เกมจะดำเนินไปแต่ละรอบตามที่กล่าวไว้ข้างต้น จนกระทั่งมีผู้เล่นคนใดทำคะแนนได้ถึง 10 คะแนน ถือว่าผู้เล่นคนนั้นเป็นผู้ชนะและเกมได้สิ้นสุดลง โดยจะกล่าวถึงวิธีทำคะแนนในหัวข้อถัดไป

วิธีการทำคะแนนในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

จากกติกาของเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน ผู้เล่นแต่ละคนมีวิธีในการทำคะแนนอยู่ทั้งหมด 5 แนวทางด้วยกันคือสร้างหมู่บ้าน พัฒนาหมู่บ้านเป็นเมือง คะแนนจากไฟพิเศษ คะแนนพิเศษจากถนนยาว-สร้างถนนเรียงกันเป็นเส้นตรงขั้นต่ำ 5 เส้น และกองทัพอัศวิน-ใช้ไฟอัศวินขั้นต่ำ 3 ใบ ซึ่งรายละเอียดของคะแนนที่ได้รับและต้นทุนในการสร้างต่อ 1 หน่วยนั้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 และตารางที่ 2.1 ด้านล่างตามลำดับ



รูปที่ 2.15 แนวทางในการทำคะแนนของเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

หมู่บ้านและไฟฟ้พิเศษมีคะแนนต่อหน่วยอย่างละ 1 คะแนน เมืองมีคะแนนต่อหน่วยละ 2 ขณะที่คะแนนพิเศษทั้ง 2 รูปแบบมีอย่างละ 2 คะแนน แต่อาจถูกเปลี่ยนมือจากผู้เล่นในระหว่างเกม ซึ่งเมื่อพิจารณาคะแนนที่ได้ร่วมกับรูปที่ 2.14 สามารถสรุปรายละเอียดของคะแนนที่ได้รับและต้นทุนขั้นต่ำ ตามตารางที่ 2.1 ด้านล่าง

ตารางที่ 2.1 สรุปวิธีการทำคะแนนและต้นทุนขั้นต่ำ

วิธีการทำคะแนน	คะแนนที่ได้รับ	ต้นทุนขั้นต่ำ
สร้างหมู่บ้าน	1	1 อิฐ 1 ไม้ 1 ข้าว 1 แกะ
พัฒนาหมู่บ้านเป็นเมือง	2	2 ข้าว 3 หิน
ทำคะแนนจากไฟฟ้พิเศษ	1	1 แกะ 1 ข้าว 1 หิน
กองทัพอัศวิน (ขั้นต่ำ 3 ใบ)	2	3 แกะ 3 ข้าว 3 หิน
สร้างถนนยาว (ขั้นต่ำ 5 เส้น)	2	5 อิฐ 5 ไม้

2.1.2 ทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพ

การเพิ่มประสิทธิภาพ [7] คือ คณิตศาสตร์ประยุกต์แขนงหนึ่งที่ศึกษากันในวิชาของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Operation Research) โดยการเพิ่มประสิทธิภาพในทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Optimization) คือการหาค่าที่ดีที่สุด (Best Value) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งค่าที่ดีที่สุดมักอยู่ในรูปของค่าสูงสุด (Maximum) หรือค่าต่ำสุด (Minimum)

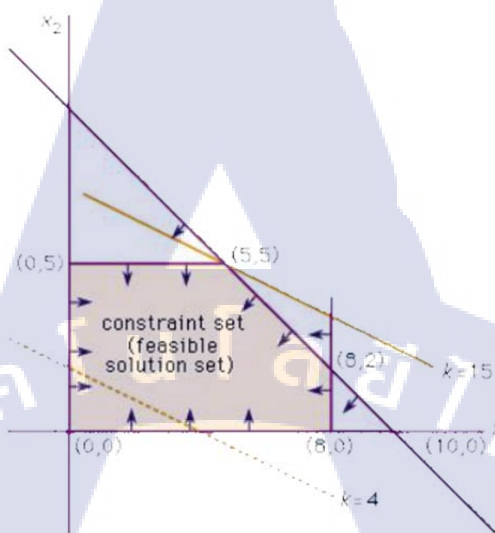
กล่าวได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพมีความเกี่ยวข้องกับทุกกิจกรรมที่ต้องตัดสินใจภายใต้ข้อจำกัด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถเลือกตัดสินใจโดยไม่ต้องคำนึงถึงจุดสมดุลได้ ทว่าการเลือกตั้งกล่าวอาจไม่ใช่สิ่งที่คุ้มค่าเหมาะสมที่สุด และการเพิ่มประสิทธิภาพมีความเกี่ยวเนื่องอย่างมากกับคณิตศาสตร์แขนงอื่นๆ อย่างพีชคณิตและแคลคูลัส จึงได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับสาขาวิชาอื่นเป็นอันมาก เช่น การผลิต การขนส่ง การจัดตารางงาน การควบคุมสต็อก เศรษฐศาสตร์ และการเงิน เป็นต้น

หลักการดำเนินงานด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพจะมีขั้นตอนสำคัญ คือ

1. ระบุวัตถุประสงค์ที่ต้องการ (Objective Function)
2. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้อง (Related Variables)
3. กำหนดข้อจำกัดต่างๆ (Constaint)

ซึ่งอาจเขียนอยู่ในรูปแบบของสมการตัวแปร $f(x, y)$ หรือ $f(x, x_2, \dots, x_n)$ แล้วนำมาดำเนินการหาผลลัพธ์ที่ต้องการด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์คือลดค่าต่ำสุด (Minimizing) หรือ

เพิ่มค่าสูงสุด (Maximizing) ตามข้อจำกัดที่มีอยู่ และหากมีตัวแปรเพียง 2 ตัว ก็อาจหาคำตอบที่ต้องการได้โดยการแสดงผลเป็นกราฟตามรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การหาจุดสมดุลด้วยกราฟ [7]

อย่างไรก็ตามหากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีมากกว่า 2 ตัว จะไม่สามารถแสดงผลด้วยกราฟได้โดยง่าย จึงอาจหาคำตอบที่ต้องการด้วยวิธีอื่นในวิธีการซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ซึ่งอาจกระทำได้โดยใช้หลักการของกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) แต่จะมีความซับซ้อนของกราฟและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง การเลือกประยุกต์ใช้หลักการของแมทริกซ์ในการแปลงสมการและตัวแปรออกมาเป็นตารางก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถกระทำได้ โดยมีขั้นตอนตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นคือ

ระบุวัตถุประสงค์ที่ต้องการซึ่งเมื่อเขียนออกมาเป็นสมการมักจะอยู่ในรูปของสมการที่มีสัมประสิทธิ์และตัวแปรหลายตัว อาทิเช่น $C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_iX_i$ ซึ่งเพื่อหาผลลัพธ์ที่ต้องการจะต้องรวมค่าเหล่านี้ได้ออกมาเป็นสูตร

$$\sum C_i X_i$$

โดย C_i คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร

X_i คือ ตัวแปรที่ทำการพิจารณา

i คือ ลำดับของตัวแปรแต่ละตัว

หลังจากนั้นระบุสิ่งที่ต้องการว่าเป็นค่าสูงสุดหรือต่ำสุด

$$\text{Max} \sum C_i X_i \text{ or } \text{Min} \sum C_i X_i$$

พร้อมกำหนดเงื่อนไขที่จำเป็นต่างๆ

เช่น $\min C_1 = 5$

$$C_2 > 3$$

$$C_i = n$$

แล้วจึงดำเนินการแก้สมการเพื่อหาค่าที่ต้องการ ทั้งนี้การแก้สมการหลายตัวแปรนั้นมีเรื่องที่ต้องดำเนินการหลายชั้น ซึ่งมีวิธีการที่สามารถทำได้ง่ายกว่าในการหาคำตอบสำหรับสมการที่ไม่ซับซ้อนโดยการแสดงผลเป็นตาราง หรืออาจใช้ประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับคำนวณโดยเฉพาะเพื่อค้นหาคำตอบ

2.1.3 ทฤษฎีสถิติและความน่าจะเป็น

สถิติ [8] คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งของคณิตศาสตร์ประยุกต์เช่นเดียวกับการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยเกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวม วิเคราะห์ ประเมินผล สำหรับหลักการของสถิติเชิงปริมาณพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวเลขนั้นมีตัวแปรเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องจากข้อมูลที่ทำให้การเก็บรวบรวมไว้ อาทิเช่น

ค่าสูงสุด (Maximum) คือ ค่าที่สูงสุดของชุดข้อมูล

ค่าต่ำสุด (Minimum) คือ ค่าที่ต่ำสุดของชุดข้อมูล

ค่าเฉลี่ย (Mean) คือ ผลรวมของข้อมูลต่อจำนวนของข้อมูลทั้งหมด

ค่ากึ่งกลางพิสัย (Mid-range) คือ ค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุด

ทฤษฎีความน่าจะเป็น [9] ในมุมมองของนักคณิตศาสตร์ คือ การศึกษาความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 0 (เหตุการณ์นั้นไม่มีทางเกิดขึ้น) กับ 1 (เหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้นอย่างแน่นอน) หรืออาจเปรียบเทียบค่าเป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เริ่มจาก 0 ถึง 100% ก็ได้เช่นกัน

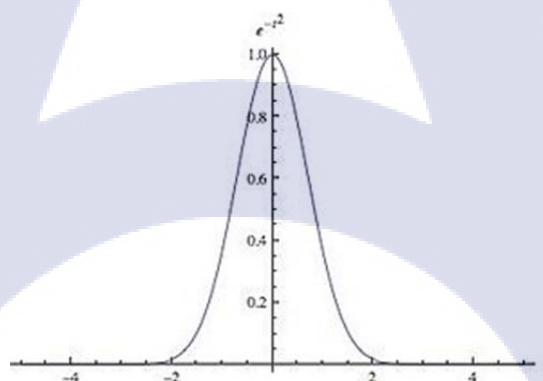
อย่างไรก็ตาม การประเมินความเป็นไปได้ได้นั้น เป็นเพียงการวิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดขึ้นของเหตุการณ์นั้น โดยประเมินค่าออกมาเป็นตัวเลขความน่าจะเป็น ไม่ใช่สิ่งที่ยืนยันว่าเหตุการณ์ที่สนใจจะเกิดขึ้นจริงๆ แม้ว่าค่าตัวเลขที่ประเมินไว้จะสูงก็ตาม

ถึงแม้นิยามของความน่าจะเป็นอาจจะตีความได้หลากหลายรูปแบบ แต่เงื่อนไขที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ตัวอย่างของการทอดลูกเต๋า สุ่มไพ่จากสำรับ หรือโยนเหรียญ และนำไปใช้พิจารณาโอกาสของความเป็นไปได้เพื่อประกอบการตัดสินใจ โดยอาจนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับต้นไม้การตัดสินใจในการวางแผนกลยุทธ์ต่างๆ

โดยสูตรพื้นฐานที่สุดในการอธิบายความน่าจะเป็นคือความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจมีค่าเท่ากับจำนวนการเกิดขึ้นของเหตุการณ์นั้นเปรียบเทียบกับผลรวมของเหตุการณ์ทั้งหมด

$$P(E) = \text{Probability} = \frac{\text{Interested Event}}{\text{Total Outcome}}$$

ประกอบกับการหลักการของความน่าจะเป็นมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมากกับวิชาสถิติ จึงมักมีการแจกแจงความถี่ออกมาในรูปแบบของกราฟ



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงการแจกแจงแบบปกติ ตามทฤษฎีความน่าจะเป็น

2.1.4 ระบบมัลติเอเจนต์

ระบบมัลติเอเจนต์ [10] (Multi-Agent System) เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน โดยการแบ่งปัญหาออกเป็นส่วนย่อยๆ แล้วจัดสรรปัญหาที่ถูกแบ่งย่อยดังกล่าวให้กับเอเจนต์อิสระหรือที่เรียกกันว่าตัวแทน แต่ละตัวแทนจะทำการตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาโดยรับข้อมูลเข้ามาประมวลผล และโต้ตอบกับตัวแทนอื่นๆ ซึ่งเป็นหลักการที่ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบหรือเครือข่ายที่ซับซ้อน ถึงแม้ระบบมัลติเอเจนต์จะมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน แต่ก็มีอุปสรรคในเรื่องของการประสานงานระหว่างตัวแทน ความปลอดภัย และการแบ่งภาระงานที่แต่ละตัวแทนต้องรับผิดชอบ

โครงสร้างของระบบมัลติเอเจนต์จะประกอบไปด้วยหน่วยงานอิสระหลายส่วน ที่รู้จักกันในนามของตัวแทน ซึ่งแม้จะทำงานร่วมกัน แต่ก็มีคามยืดหยุ่นเนื่องจากตัวแทนแต่ละตัวสามารถเรียนรู้และตัดสินใจด้วยตนเอง ตัวแทนแต่ละตัวจะอาศัยการโต้ตอบกับตัวแทนใกล้เคียงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน และเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมตามบริบทที่ได้รับมอบหมาย เพื่อใช้ความรู้ในการตัดสินใจและดำเนินการ จากคุณสมบัติทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นส่งผลให้ระบบมัลติเอเจนต์เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาในหลากหลายสาขาของวิทยาการคอมพิวเตอร์ ตลอดจนวิศวกรรมแขนงต่างๆ และเพื่อพัฒนาระบบมัลติเอเจนต์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะต้องออกแบบระบบให้สามารถรับมือกับปัญหาที่ซับซ้อน โดยเฉพาะเรื่องของการประสานงานระหว่างตัวแทน วิธีการเรียนรู้ และความปลอดภัย

องค์ประกอบของระบบมัลติเอเจนต์

1) ตัวแทน (Agent) หมายถึงเอนทิตีที่วางอยู่ในสภาพแวดล้อมและสัมผัสถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจตามเป้าหมายที่วางไว้ ซึ่งตัวแทนอาจอยู่ในรูปแบบของฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์หรือผสมผสานกันทั้งสองรูปแบบก็ได้ ตัวอย่างเช่น หุ่นยนต์ที่ใช้ในการแข่งขันฟุตบอลก็ถือว่าเป็นตัวแทนประเภทหนึ่ง สำหรับการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ในสภาพแวดล้อมหนึ่งจะต้องมีตัวแทนอย่างน้อย 2 ตัวขึ้นไป โดยคุณสมบัติต่อไปนี้ช่วยให้ตัวแทนสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพ

มีความร่วมมือระหว่างกัน (Sociability) : คือการที่ตัวแทนสามารถแบ่งปันความรู้และข้อมูลให้แกกันได้ตามที่ตัวแทนอื่นๆ ร้องขอ เพื่อใช้สำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพในการบรรลุเป้าหมาย

มีเอกราชหรืออิสระในการตัดสินใจ (Autonomy) : ตัวแทนแต่ละตัวสามารถดำเนินการได้อย่างอิสระโดยมีกระบวนการตัดสินใจและดำเนินการที่เหมาะสม

ทำงานเชิงรุก (Proactivity) : แต่ละตัวแทนใช้ข้อมูลที่รับรู้ผ่านพารามิเตอร์และข้อมูลของตัวแทนอื่นๆ ในการทำนายการกระทำในอนาคตที่เป็นไปได้ การคาดการณ์เหล่านี้อนุญาตให้ตัวแทนดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย นั่นหมายความว่าตัวแทนตัวเดียวกันอาจกระทำการแตกต่างออกไปเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมอื่น แม้จะเป็นงานในลักษณะเดียวกัน

2) สภาพแวดล้อม (Environment) : สิ่งนี้หมายถึงสถานที่ที่ตัวแทนตั้งอยู่เพื่อคอยรับรู้ถึงข้อมูลและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น สภาพแวดล้อมอาจเป็นเครือข่ายการส่งข้อมูลหรือสถานที่ สำหรับสภาพแวดล้อมของตัวแทนในการแข่งขันฟุตบอลก็คือสนามแข่งขัน โดยคุณสมบัติหลายอย่างในสภาพแวดล้อมที่ตัวแทนอาศัยอยู่จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของตัวแทน ได้แก่

การเข้าถึงข้อมูล (Accessibility) : การรับรู้และเข้าถึงข้อมูลที่ถูกต้องทันสมัยจากสภาพแวดล้อม เช่น ตัวแทนไฟร์วอลล์เครือข่ายอาจจับภาพการรับส่งข้อมูลทั้งหมดของเครือข่าย

การคาดการณ์ผลลัพธ์ (Determinism) : การคาดการณ์ผลของการกระทำในสภาพแวดล้อมที่กำหนดกระทำเพื่อให้ตัวแทนสามารถประเมินสถานะที่จะเกิดขึ้นถัดไปได้อย่างแม่นยำและตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามผลของการกระทำนั้นไม่อาจคาดเดาได้ทั้งหมดเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ เช่น ในการเล่นเกม ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับกระทำของทุกคนมีส่วนเกี่ยวข้อง

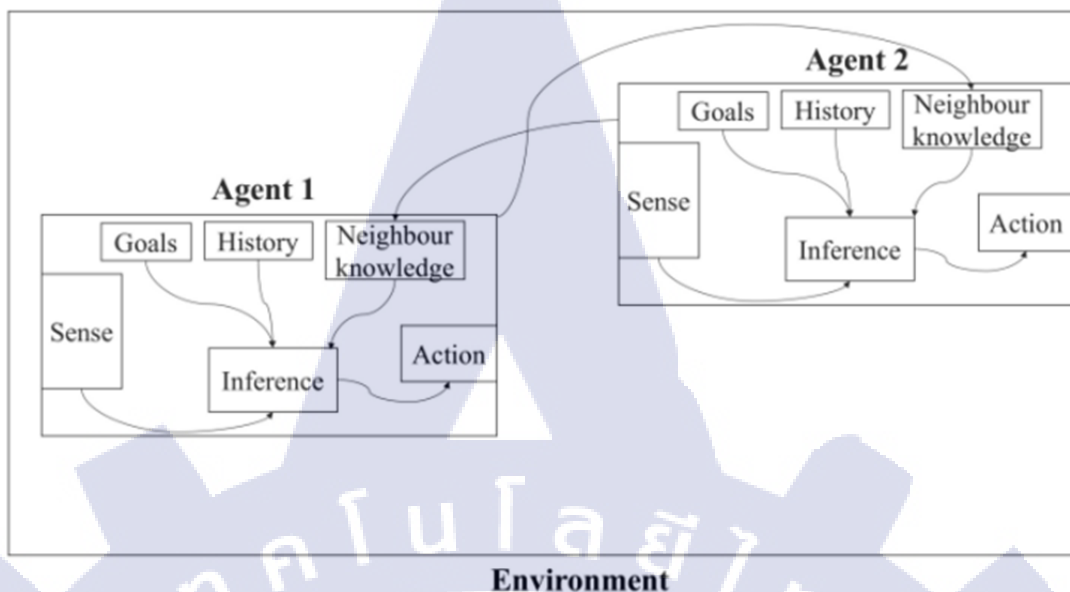
ความเคลื่อนไหว (Dynamism) : หมายถึง ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมอันเป็นอิสระจากการกระทำของตัวแทน เมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง ข้อมูลที่ตัวแทนรับรู้มาก่อนหน้าอาจไม่ถูกต้องอีกต่อไป ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่มีความเคลื่อนไหวสูง ตัวแทนจะต้องคอยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและอัปเดตข้อมูลที่ตรวจจับได้ ซึ่งจะเกิดค่าใช้จ่ายสูงกว่าเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมแบบคงที่ที่ข้อมูลการรับรู้เริ่มต้นสามารถนำไปใช้ตัดสินใจได้ตลอดช่วงชีวิตของตัวแทน

ความต่อเนื่อง (Continuity) : หมายถึง ความต่อเนื่องหรือความไม่ต่อเนื่องของสภาพแวดล้อมที่ตัวแทนอาศัยอยู่ คุณลักษณะดังกล่าวนี้ได้จัดระบบมัลติเอเจนต์ออกเป็นสองประเภท คือ ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสภาพแวดล้อมที่ต่อเนื่องโดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงความเคลื่อนไหวของตัวแทนในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ขณะที่ความไม่ต่อเนื่องคือการปรับเปลี่ยนหรือย้ายเข้าออกจากสภาพแวดล้อมเดิมของตัวแทนนั้นๆ ซึ่งมักจะวัดค่าดังกล่าวเป็นจุดของเวลาที่เหตุการณ์นั้นได้เกิดขึ้น

3) พารามิเตอร์ (Parameter) : ข้อมูลประเภทต่างๆ ที่ตัวแทนรับรู้จากสภาพแวดล้อมจะเรียกว่าพารามิเตอร์ ตัวอย่างเช่น พารามิเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ฟุตบอล คือตำแหน่งและความเร็วของทั้งสมาชิกฝ่ายในทีม และสมาชิกของฝ่ายตรงข้าม ตลอดจนตำแหน่งของลูกบอลในสนาม โดยตัวแทนจะรับรู้พารามิเตอร์ต่างๆ จากเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้ และพารามิเตอร์ต้องเป็นข้อมูลที่สามารถทำการวัดผลออกมาในเชิงคุณภาพได้

4) การกระทำ (Action) : ตัวแทนแต่ละตัวสามารถดำเนินการกระทำที่เป็นผลในการเปลี่ยนแปลงบางอย่างในสภาพแวดล้อม ตัวอย่างเช่น เมื่อหุ่นยนต์ฟุตบอลเตะลูกบอล ตำแหน่งของลูกบอลจะมีการเปลี่ยนแปลงไป ตัวแทนสามารถดำเนินการกระทำแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ หุ่นยนต์ฟุตบอลคือตัวอย่างของการกระทำอย่างต่อเนื่อง ส่วนการกระทำที่ไม่ต่อเนื่องมีตัวอย่างคือเทอร์โมสตัทที่ควบคุมอุณหภูมิในห้อง

เป้าหมายของแต่ละตัวแทนในระบบมัลติเอเจนต์คือการแก้ปัญหางานที่ได้รับมอบหมายภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยตัวแทนจะรับรู้พารามิเตอร์จากสภาพแวดล้อมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้วยข้อมูลที่ได้รับเหล่านี้ ตัวแทนสามารถสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ตัวแทนอาจใช้ความรู้ของเพื่อนบ้านร่วมด้วย โดยความรู้เหล่านี้จะถูกประมวลผลร่วมกับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ซึ่งตัวแทนจะตัดสินใจเลือกการกระทำที่เหมาะสมเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย



รูปที่ 2.18 การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ [10]

จากตัวอย่างรูปที่ 2.18 ตัวแทน (Agent) 1 และ ตัวแทน 2 ถูกวางตัวอยู่ในสภาพแวดล้อม (Environment) เดียวกัน โดยได้รับป้อนข้อมูลเป็นจุดมุ่งหมาย (Goals) รวมทั้งเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นก่อนหน้านี้ (History) รับรู้ถึงสิ่งที่เกิดขึ้นโดยใช้สัมผัส (Sense) และแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างกันกับตัวแทนอีกตัว (Neighbour Knowledge - Exchanged) แล้วจึงอนุมานหรือตีความ (Inference) ข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับเพื่อเลือกการกระทำ (Action) ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้

หากเปรียบเทียบเป็นหุ่นยนต์แข่งขันฟุตบอล ตัวแทนทั้ง 2 ตัว คือหุ่นยนต์ที่อยู่ในทีมเดียวกัน มีวัตถุประสงค์คือเล่นฟุตบอลร่วมกันเพื่อให้ชนะฝ่ายตรงข้าม โดยได้รับการป้อนข้อมูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกติกาของการแข่งขัน การกระทำที่ตัวแทนสามารถกระทำได้ ข้อมูลเกี่ยวกับสนามและลูกบอล ตลอดจนศักยภาพของหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้าม เมื่อเริ่มการแข่งขัน ตัวแทนแต่ละตัวจะเคลื่อนไหวโดยอิสระรับรู้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดด้วยพารามิเตอร์ รวมทั้งติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกับตัวแทนอื่นๆ ในทีม เพื่อตัดสินใจให้สามารถบรรลุเป้าหมายที่วางไว้

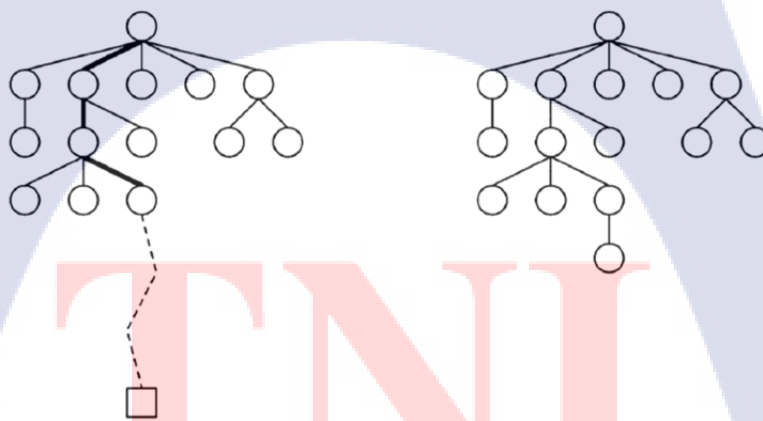
2.1.5 วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล (MCTS) [11] เป็นวิธีการสำหรับค้นหาการตัดสินใจที่ดีที่สุดของโดเมนที่กำหนด โดยการสุ่มตัวอย่างในต้นไม้การตัดสินใจตามผลลัพธ์ที่มีอยู่ วิธีดังกล่าวมีอิทธิพลอย่างมากต่อการวิจัยปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในโดเมนที่สามารถประมวลผลออกมาเป็นรูปแบบของการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ โดยเฉพาะเกมและการวางแผนแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น นับตั้งแต่ MCTS ได้ถูก

นำเสนอครั้งแรก ปัจจุบันได้กลายเป็นจุดสนใจของการวิจัยปัญญาประดิษฐ์อย่างกว้างขวางมากมาย จากความสำเร็จครั้งสำคัญของปัญญาประดิษฐ์สำหรับเกมหมากล้อม ส่งผลให้นักวิจัยพยายามทำความเข้าใจถึงสถานการณ์และสาเหตุที่ส่งผลให้ MCTS ประสบความสำเร็จหรือล้มเหลว รวมไปถึงพยายามขยายขอบเขตและปรับปรุงอัลกอริทึมพื้นฐานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิม ซึ่ง MCTS นั้นเป็นขั้นตอนวิธีเชิงสถิติที่สามารถใช้ได้ทุกเวลา โดยไม่จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานในเรื่องดังกล่าวมาก่อน

1) หลักการพื้นฐาน

กระบวนการพื้นฐานของ MCTS นั้นไม่มีอะไรที่ซับซ้อน ในเบื้องต้นจะทำการสร้างต้นไม้ตัดสินใจไปให้มากที่สุดเท่าที่มีข้อมูลอยู่ แต่จะไม่ไปถึงจุดหมายตั้งแต่ตอนเริ่มต้น อาศัยการขยายกิ่งเพิ่มออกไปในลักษณะที่ไม่สมมาตรทีละลำดับจากกิ่งล่าสุดที่มีอยู่ ในการประมวลผลเพื่อตัดสินใจแต่ละรอบอัลกอริทึมจะทำการประเมินโหนดที่เป็นปัจจุบันและแตกกิ่งเพิ่มออกไปจากสถานะล่าสุดโดยถ่วงดุลระหว่างการทดลองผล (Exploration) ในบริเวณที่ยังไม่เคยสำรวจกับการแสวงประโยชน์ (Exploitation) จากโหนดการตัดสินใจที่ทราบถึงผลตอบแทน จากนั้นจึงทำการเลือกตัดสินใจโดยขยายกิ่งเพิ่มออกไปเป็นโหนดใหม่ และทำการประมวลผลย้อนกลับไปยังจุดเริ่มต้น ทั้งนี้กระบวนการเลือกตัดสินใจดังกล่าวจะถูกกำหนดให้สอดคล้องกับนโยบายเริ่มต้นตามรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 หลักการพื้นฐานของวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล [11]

อย่างไรก็ตามในหลายครั้งหลักการทำงานนี้ส่งผลให้เกิดการเดินแบบสุ่ม (Random Move) ขึ้น และด้วยหลักการนี้เอง การประเมินค่าในช่วงกลาง (Intermediate State) ของการตัดสินใจจึงไม่มีความจำเป็น ซึ่งเป็นผลประโยชน์ที่สำคัญของอัลกอริทึม MCTS และลดความจำเป็นของการต้องมีความรู้เฉพาะทางในเรื่องที่ทำการตัดสินใจ ทำให้อัลกอริทึม MCTS สามารถนำไปใช้ได้อย่าง

หลากหลาย อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ความรู้เฉพาะทางร่วมด้วยจะทำให้อัลกอริทึมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2) ที่มาและความสำคัญ

วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลมีประวัติอันยาวนานในอัลกอริทึมเชิงตัวเลขโดยมีรากฐานมาจากทางสถิติฟิสิกส์ที่ใช้ในการประเมินผลที่มีความแปรปรวน และถูกนำมาใช้ในหลากหลายโดเมนรวมถึงการวิจัยเกม และยังมีความสำเร็จที่สำคัญบนปัญญาประดิษฐ์สำหรับเกมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกมที่มีความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล (Imperfect Information Game) เช่น สแครบเบิล (Scrabble) และบริดจ์ (Bridge) และก่อนความสำเร็จของอัลฟาโกะ MCTS เองได้ถูกนำมาใช้กับปัญญาประดิษฐ์ของหมากล้อมอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุดที่สามารถลดช่องว่างระหว่างผู้เล่นกับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเกมหมากล้อมมีกิ่งของต้นไม้ที่ต้องทำการค้นหาเป็นจำนวนมากและไม่มีการกั้นในการประเมินค่าฮิวริสติกที่เชื่อถือได้

อัลกอริทึม MCTS ประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูงกับเกมเฉพาะทางทั่วไปและการวางแผนการเพิ่มประสิทธิภาพและการควบคุมปัญหาในโลกแห่งความจริงที่ซับซ้อน ทำให้กลายเป็นชุดเครื่องมือที่สำคัญของนักวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ อย่างไรก็ตามอัลกอริทึม MCTS เพียงอย่างเดียว นั้น จะสร้างผลลัพธ์สำหรับโดเมนที่ต้องใช้ความรู้เฉพาะทางได้น้อยมาก จึงจำเป็นต้องผสมผสานกับความรู้เฉพาะทางหรืออัลกอริทึมตัวอื่นและปรับปรุงให้ดีขึ้น ซึ่งอาจคาดการณ์ได้ว่า อัลกอริทึม MCTS จะถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการแก้ปัญหามากมายในหลากหลายโดเมน

3) ขั้นตอนการทำงาน

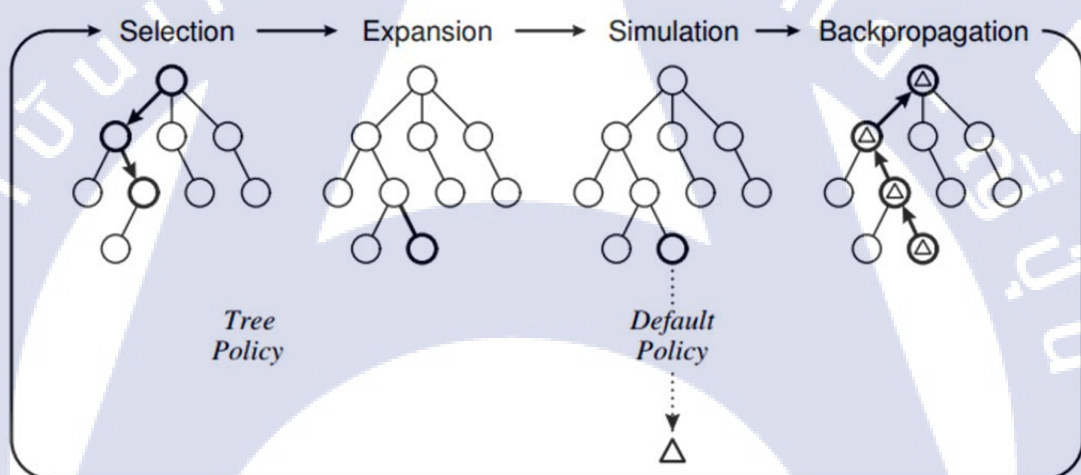
อัลกอริทึมพื้นฐานของ MCTS เกี่ยวข้องกับการสร้างการค้นหาลำดับของต้นไม้ตัดสินใจจนกระทั่งมีข้อมูลเพียงพอสำหรับการคำนวณที่กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยทั่วไปเมื่อดำเนินการตัดสินใจไปจนถึงจุดล่าสุดที่มีข้อมูลอยู่ จะหยุดเพื่อประมวลผลและส่งคืนค่าที่ดีที่สุดกลับไปยังจุดเริ่มต้น ซึ่งแต่ละโหนดในการค้นหาต้นไม้หมายถึงสถานะของโดเมนและลิงก์ที่กำกับดูแลอยู่ ก่อนจะแตกกิ่งย่อยออกไปเป็นการกระทำที่เลือกแล้วว่าเหมาะสมที่สุดในช่วงสถานะนั้น ซึ่งอัลกอริทึมของ MCTS จะมีขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนด้วยกันตามรูปที่ 2.20 คือ

1) การเลือก (Selection) : หลังจากประเมินผลภาพรวมทั้งหมดและทำการสร้างต้นไม้ตัดสินใจเริ่มต้นแล้ว อัลกอริทึมจะทำการเลือกเส้นทางที่คุ้มค่าที่สุดตามข้อมูลที่มีอยู่โดยเริ่มต้นที่โหนดราก และเลือกเดินตามเส้นทางที่ได้ประมวลผลไว้ว่าคุ้มค่าที่สุดไปเรื่อยๆ จนมาถึงจุดล่าสุดที่ยังไม่มีโหนดกิ่งก้านสำหรับขยายสาขาไปที่ ก็จะหยุดเพื่อเข้าสู่การขยาย อันเป็นขั้นตอนถัดไป

2) การขยาย: (Expansion) เมื่อขั้นตอนการเลือกที่เริ่มต้นจากโหนดรากมาถึงจุดสิ้นสุดที่ไม่โหนดกิ่งก้านให้ไปต่อ อัลกอริทึมจะต้องขยายกิ่งก้านย่อยออกไป 1 ชั้นนับจากกิ่งสุดท้ายในขั้นสุดท้ายที่มีอยู่ โดยเลือกเส้นทางใหม่ที่ประเมินผลไว้ว่าเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด

3) การจำลอง (Simulation) : การจำลองกระทำขึ้นหลังจากได้ขยายก้าวเดินล่าสุดออกมาจากกิ่งก้านของต้นไม้ที่มีอยู่เดิม โดยเป็นประเมินผลจากตัวเลือกล่าสุดเทียบกับเป้าหมายหรือนโยบายเริ่มต้นที่ได้กำหนดไว้ตอนแรกสุด

4) การประมวลผลย้อนกลับ (Backpropagation) : หลังจากการดำเนินการในทั้ง 3 ขั้นตอนที่ได้ทำการขยายกิ่งเพิ่มออกไปจากตำแหน่งล่าสุด ประเมินผลเทียบกับนโยบายเริ่มต้นในขั้นตอนสุดท้าย อัลกอริทึมจะทำงานโดยประมวลผลย้อนกลับไปสู่เส้นทางที่เลือกมาทั้งหมดจนถึงโหนดรากที่เป็นจุดเริ่มต้นของการตัดสินใจ



รูปที่ 2.20 ขั้นตอนหลักของวิธีการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล [11]

สำหรับสูตรโดยทั่วไปของการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลคือ

$$\frac{W_i}{n_i} + c \sqrt{\ln \frac{N_i}{n_i}} \quad (1)$$

W_i แสดงถึงจำนวนความสำเร็จที่เกิดขึ้นจนถึงตัวเลือกที่ i

n_i แสดงถึงจำนวนครั้งของการจำลองสถานการณ์การเดินครั้งที่ i

N_i แสดงถึงจำนวนครั้งที่ทั้งหมดของการจำลองสถานการณ์หลังการเดินครั้งที่ i
 c คือค่าของการสำรวจ ซึ่งสามารถเลือกกำหนดค่าได้เอง

ทั้งนี้ วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลนี้เป็นหลักการพื้นฐานที่สามารถไปประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบ จึงทำให้เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่นิยมนำไปใช้กับปัญหาประติศาสตร์ของเกมประเภทต่างๆ อย่างไรก็ตาม ด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 วิธี ตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นนั้น ยังมีวิธีการรูปแบบอื่นแยกย่อยออกไปอีก ซึ่งในที่นี้จะขอกกล่าวถึงวิธีการพิจารณาเลือกความมั่นใจของขอบเขตบน (Upper Confidence Bound) หนึ่งในวิธีการที่มุ่งเน้นประโยชน์สูงสุด และลดทอนความเสี่ยงให้เหลือน้อยที่สุด โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$UCB1 = \bar{X}_j + \sqrt{\frac{2 \ln n}{n_j}} \quad (2)$$

$\bar{X}_j$ คือ เฉลี่ยผลตอบแทนที่ได้จากทางเลือก j

n_j คือ จำนวนครั้งที่ทางเลือก j ถูกเลือก

n คือ จำนวนครั้งที่เลือกไปแล้วทั้งหมด

หลักการสำคัญของวิธีการ UCB นั้นกล่าวได้ว่า เทียบเคียงกับการโยกเครื่องสล็อตในคาสิโน เนื่องจากเครื่องสล็อตนั้นมีหลายแขนให้เลือก และการที่จะได้รับผลตอบแทนสูงสุด ต้องผสมผสานระหว่างการเลือกเครื่องที่ให้ผลตอบแทนแน่นอนจากข้อมูลที่มีอยู่ ควบคู่ไปกับการสุ่มเลือกตัวเลือกใหม่ที่ยังไม่เคยทดลอง เพื่อค้นหาแนวทางที่อาจให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าเดิม ทั้งนี้จำเป็นที่จะต้องมีการจดจำข้อมูลของผลตอบแทนที่เคยได้รับอดีต และผลตอบแทนที่ได้รับเพิ่มจากการทดลองสุ่ม จึงกล่าวได้ว่าอัลกอริทึมนี้ก็คืออัลกอริทึมของการเรียนรู้ประเภทหนึ่ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ทำการศึกษเกี่ยวกับวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดคืองานของ Cameron et al. [11] ที่ทำการศึกษาในประเด็นเกี่ยวกับหลักการทางคณิตศาสตร์ของอัลกอริทึมดังกล่าว และความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ตลอดจนความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาต่อยอดให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

Cameron et al. ได้ทำข้อสรุปออกมาว่าวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลนั้นเป็นหลักการที่ยึดหลักของการสุ่มตัวเลือกเป็นสำคัญ โดยยังไม่จำเป็นต้องหาคำตอบทุกอย่างจนไปถึงปลายทางตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้น แต่จะต้องมีจุดหมายที่กำหนดไว้ ทั้งนี้การสุ่มตัวเลือกจะเป็นการถ่วงน้ำหนักระหว่างการสำรวจ เพื่อหาแนวทางใหม่ๆ จากการแสวงประโยชน์กับคำตอบเดิมที่ทราบผลลัพธ์อยู่แล้ว ซึ่งจะต้องกระทำทั้งสองแนวทางเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่คุ้มค่ามากที่สุด

สำหรับการประยุกต์ใช้วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลนั้นสามารถนำไปใช้ได้กับศาสตร์หลายแขนงอาทิเช่น เกมสำหรับผู้เล่นคนเดียว, เกมสำหรับผู้เล่นสองคน, เกมสำหรับผู้เล่นหลายคน, วิดีโอเกม (Real-Time), การเพิ่มประสิทธิภาพ, การจัดตารางงาน (Scheduling) ฯลฯ โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานในแขนงนั้นๆ มาก่อน แต่อย่างไรก็ตามความรู้พื้นฐานเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้การตัดสินใจภายใต้อัลกอริทึมดังกล่าวมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เทคนิค Deep Learning จึงเป็นอีกเทคนิคที่มักนิยมใช้ร่วมกัน

อย่างไรก็ตามแม้ว่าวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลจะสามารถนำไปใช้ได้กับปัญหาหลายอย่าง แต่ก็ยังมีปัญหาบางรูปแบบที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น หมากรุกสากล เนื่องจากหมากรุกสากลนั้นการก้าวเดินอย่างเป็นลำดับขั้นตอนถือว่ามีความสำคัญสูงสุด จึงไม่อาจตัดสินใจก้าวเดินหมากรุกแบบสุ่มได้ หากต้องการเล่นเกมอย่างมีประสิทธิภาพ และถึงแม้จะมีตัวเลือกก้าวเดินที่มาก แต่ก็มีขอบเขตที่ไม่สูงนักหากเทียบกับศักยภาพการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ ต่างจากเกมกระดานอย่างหมากล้อมที่มีตัวเลือกในการเดินหมากและจำนวนตาที่ใช้เล่นมากกว่า วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลจึงเป็นอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพสำหรับเกมหมากล้อม

2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับนักบุกเบิกแห่งคาทาน

ในช่วงแรกของการทำวิจัยเกมกระดานนักบุกเบิกแห่งคาทาน หลังจากทีวางจำหน่ายในปี 1995 นั้น M. Pfeiffer [12] ได้ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) เพื่อให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยการเล่นเกมจำนวนมากเพื่อสร้างกลยุทธ์ในการเล่น ซึ่งผลการทดลองได้ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการเล่นทำให้คอมพิวเตอร์มีพัฒนาการที่ดีขึ้น แต่ด้วยเทคโนโลยีที่จำกัดในช่วงเวลาก่อนหน้า ทำให้ประสิทธิภาพของการประมวลผลช้า จำนวนเกมที่สามารถเรียนรู้ได้จึงมีจำกัด ยิ่งไปกว่านั้น ศักยภาพในการเล่นของคอมพิวเตอร์ก็ไม่สามารถเทียบเคียงการเล่นของผู้เล่นที่เป็นมนุษย์ได้

ต่อมาระบบมัลติเอเจนต์เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ผู้วิจัยประยุกต์ใช้เพื่อทำการทดสอบ H. Saleem and R. R. Natiq [13] ได้ใช้หลักการดังกล่าวในการพัฒนาระบบมัลติเอเจนต์ขึ้นมาเพื่อทดสอบเทียบกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers โดยแบ่งเอเจนต์ย่อยออกเป็น 7 ตัวที่ทำงานประสานกัน โดยเน้นความสำคัญของการเจรจาต่อรองให้ตัวระบบสามารถเป็นผู้เจรจาต่อรองที่ดี จากผลการ

ทดสอบเทียบกับมนุษย์และปัญญาประดิษฐ์อีก 2 ตัว พบประเด็นปัญหาเรื่องการเจาะจงป้อนคำสั่งที่มากเกินไป และความแปรปรวนของปัจจัยในเกมทำให้ผลลัพธ์ด้านอื่นไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้เบื้องต้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ L. Branca [14] ที่ได้มุ่งความสำคัญไปที่การประมาณการผลิตทรัพยากร ทดสอบเทียบกับโมเดลต่างๆ ของปัญญาประดิษฐ์ก็ได้ผลลัพธ์ไม่เป็นที่น่าพอใจเช่นเดียวกัน ซึ่งประสิทธิภาพของตัวที่สร้างใหม่ยังห่างไกลกับตัวที่ทดสอบผลด้วย

งานวิจัยในช่วงหลังจากนั้นนิยมเลือกใช้วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลกันเป็นอย่างมาก I. Szita et al. [15] ได้ใช้ขั้นตอนวิธีดังกล่าวเพื่อค้นหากลยุทธ์การเล่นที่ดีที่สุด โดยปรับกติกาดั้งเดิมของเกมลงด้วยการเปิดเผยข้อมูลที่เป็นความลับทั้งหมด ประกอบกับตัดปัจจัยด้านการแลกเปลี่ยนทรัพยากรออกไป และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ชื่อ SmartSettler ขึ้นมาเพื่อแข่งขันกับปัญญาประดิษฐ์ตัวอื่นๆ และผู้เล่นที่เป็นมนุษย์ โดยผู้เขียนประเมินผลว่าตัวซอฟต์แวร์มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ เพราะสามารถเอาชนะปัญญาประดิษฐ์ JSettlers ตัวที่เก่งที่สุดของเกมคาทานได้อย่างสม่ำเสมอ และคู่ควรในการแข่งขันกับผู้เล่นที่เป็นมนุษย์

ภายใต้หลักการเดียวกัน M. Guhe and A. Lascarides [16] ก็ได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล และทดสอบกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers พร้อมกับปรับแนวทางในการเล่นของเอเจนต์ให้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากขึ้น ผู้เขียนทำการวัดผลโดยนับจากอัตราชนะ โดยใช้หลักสถิติ Z-test เปรียบเทียบคู่กันกับ T-test ของทรัพยากรที่ได้รับในเกม

อีกหนึ่งงานวิจัยที่ใช้หลักการการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล K. Tuma [17] ได้ใช้วิธีการดังกล่าวในการค้นหาขั้นตอนวิธี โดยใช้หลักการสุ่มตัวอย่างธอมป์สัน (Thompson Sampling) เพื่อทดสอบ ทั้งนี้ผู้เขียนได้ทำการปรับกติกาบางอย่างของเกมให้มีความซับซ้อนน้อยลง โดยลดคะแนนของการชนะลงเหลือ 7 คะแนน และตัดปัจจัยด้านการแลกเปลี่ยนทรัพยากรออกไป เช่นเดียวกับในงานวิจัยนี้ได้มีการกล่าวถึงประเด็นสำคัญเพิ่มเติมคือ กระบวนการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลนั้นใช้ในการศึกษาทางเลือกที่เกิดขึ้นระหว่างเล่นเกมเพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาทางเลือกที่ดีที่สุด และมีปัจจัยที่ส่งผลอย่างมากคือ ส่วนของขั้นตอนการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม

นอกจากนี้ วิธีการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้โดยที่ไม่ต้องมีความรู้เฉพาะทาง (Domain Knowledge) ในเรื่องนั้นมาก่อน E. Karamalegos [18] ได้ทำการทดลองด้วยหลักการดังกล่าว ผลที่ออกมาคือเอเจนต์สามารถเล่นเกมได้บนพื้นฐานการตัดสินใจแบบสุ่ม ซึ่งเป็นการเลือกทางเลือกเฉพาะหน้า โดยไม่มีการวางแผนกลยุทธ์เตรียมไว้ มูลค่าของข้อมูล (Value of Information) จึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมากที่จะช่วยให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้วิธีการค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลจะมีศักยภาพสูง แต่ไม่ได้ความหมายว่าจะสามารถนำมาใช้ได้ผลสำหรับทุกรูปแบบของปัญหา K. P. Panousis [19] ได้ทำการวิจัยในประเด็นดังกล่าว โดยทดลองผลร่วมกับระบบมัลติเอเจนต์ ซึ่งทำการแบ่งแยกปัญหาของเกม

กลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานออกเป็นส่วนย่อย และใช้เอเจนต์เฉพาะแต่ละตัวในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจ ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมานั้น สามารถเอาชนะปัญญาประดิษฐ์ JSettlers ได้ในบางกรณี แต่โดยภาพรวมยังไม่สามารถเทียบเคียงศักยภาพได้ และประสิทธิภาพยิ่งลดต่ำลงเมื่อถูกจำกัดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเกมแต่ละรอบ

งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานทั้งหมดนั้น ล้วนอยู่ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกันคือทำการปรับปรุงตัวต้นแบบที่มีอยู่แล้ว ร่วมกับกฎพื้นฐานทั่วไปที่สังเคราะห์จากผู้เล่น ไม่ได้ลงลึกที่ไจท์คณิตศาสตร์ของเกม ในแง่มุมของการวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อออกแบบอัลกอริทึมที่สามารถเลือกตัดสินใจได้อย่างเหมาะสมที่สุด

งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการในแง่มุมที่ต่างออกไป ในการวิเคราะห์เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์ สถิติ ขั้นตอนวิธีของการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อสังเคราะห์สมการประเมินค่า แล้วนำมาประยุกต์ใช้หลักการของระบบมัลติเอเจนต์ร่วมกับวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล ในการกำหนดนโยบายเริ่มต้นที่เป็นแนวทางหลักสำหรับอัลกอริทึม และทดสอบผลในกลุ่มสถานการณ์รูปแบบต่างๆ ที่กำหนด

The logo of the Thai-Nichi Institute of Technology (TNI) is centered at the bottom of the page. It features the letters 'TNI' in a large, bold, red serif font. The letters are superimposed on a light blue circular background that resembles a gear or a stylized sun. The gear has multiple teeth, and the words 'THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY' are written in a smaller, blue, sans-serif font along the inner circumference of the gear. The entire logo is set against a white background.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยเรื่อง การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

ขั้นที่ 1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

ขั้นที่ 3 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจ

ขั้นที่ 4 ทดสอบผลงานกระดานในสถานการณ์รูปแบบต่างๆ และทดสอบกับปัญญาประดิษฐ์

JSettlers

ขั้นที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้ง 5 ขั้นตอน แบ่งเป็นรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 ขั้นที่ 1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา

ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อและวิเคราะห์ปัญหา ผู้วิจัยมีกระบวนการดำเนินงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา

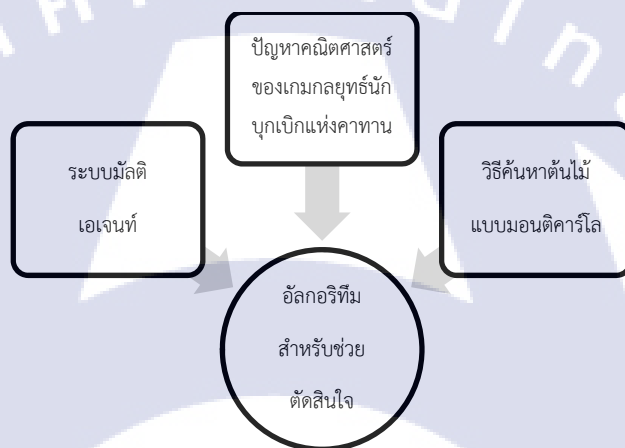
3.1.1 กำหนดวัตถุประสงค์ เลือกปัญหาที่สนใจ

ผู้วิจัยมีความสนใจเป็นพิเศษในเรื่องของการเลือกตัดสินใจภายใต้สถานการณ์รูปแบบต่างๆ จึงได้เลือกประเด็นของการเล่นเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน โดยในเกมดังกล่าว ผู้เล่นต้องวางแผนตัดสินใจในการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ ภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง แต่มีขอบเขตที่จำกัดกว่า ทำให้สามารถทดสอบผลได้ในรอบเวลาที่สั้นลง

3.1.2 ศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา และทฤษฎีต่างๆ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมและเอเจนต์ในรูปแบบต่างๆ บนการเล่นเกมเทียบเคียงกับปัญญาประดิษฐ์ ทั้งนี้ด้วยอุปสรรคและข้อจำกัดของการทำงาน รูปแบบการตัดสินใจของเอเจนต์แต่ละตัวจึงมีที่มาจากการปรับปรุงกฎพื้นฐาน หรือดัดแปลงเอเจนต์เดิมที่มีอยู่แล้ว ไม่ได้เน้นกระบวนการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพ ส่งผลให้อัลกอริทึมของเอเจนต์ตัวที่ปรับปรุงใหม่ยังไม่สามารถเทียบเคียงกับผู้เล่นที่เป็นมนุษย์ได้

3.1.3 วิเคราะห์แนวทางในการทำวิจัย



รูปที่ 3.2 แนวทางและทฤษฎีที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

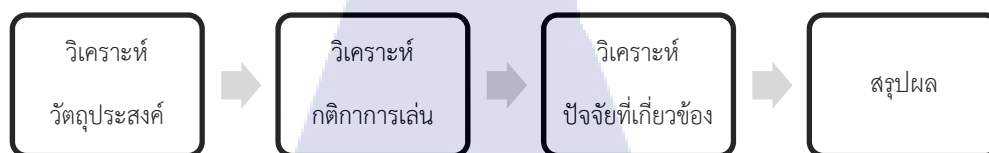
สำหรับแนวทางในการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยวิเคราะห์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของเกมกลยุทธนักบุกเบิกแห่งคาทานในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพ และประยุกต์ใช้หลักการของระบบผลิตเอเจนต์ในการแบ่งส่วนปัญหาที่ต้องพิจารณา ควบคู่ไปกับวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลในการกำหนดแนวทางเริ่มต้นเพื่อประกอบการตัดสินใจ

3.1.4 เสนอหัวข้อกับอาจารย์ที่ปรึกษา

เมื่อมีวัตถุประสงค์และแนวทางในการดำเนินงานวิจัยแล้ว จึงนำเสนอหัวข้อดังกล่าวต่ออาจารย์ที่ปรึกษา

3.2 ขั้นที่ 2 วิเคราะห์เกมกลยุทธนักบุกเบิกแห่งคาทาน

ในการวิเคราะห์เกมกลยุทธนักบุกเบิกแห่งคาทาน ผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เกมกลยุทธนักบุกเบิกแห่งคาทาน

3.2.1 วิเคราะห์วัตถุประสงค์



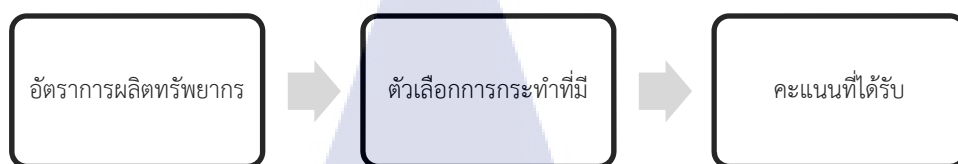
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์วัตถุประสงค์

ขั้นตอนของการวิเคราะห์วัตถุประสงค์นั้นดำเนินการโดยทำการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของเกมร่วมกับวิธีการทำคะแนน เพื่อพิจารณารูปแบบของการแข่งขันระหว่างผู้เล่น

เนื่องจากเกมกลยุทธนักบุกเบิกนั้นมีรูปแบบการเล่นที่ให้ผู้เล่น 4 คนแข่งขันกันทำคะแนนให้ได้ถึง 10 คะแนนเป็นคนแรก ดังนั้นจึงเป็นการแข่งขันที่วัดความเร็วเชิงเปรียบเทียบ (Relative Speed) ของผู้เล่นแต่ละคน ซึ่งความเร็วนั้นวัดค่าประเมินออกมาเป็นจำนวนรอบที่ใช้ โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนรอบดังกล่าวอยู่ 3 ส่วนหลักด้วยกันคือ อัตราการผลิตทรัพยากร ตัวเลือกการกระทำของผู้เล่น และคะแนนที่ได้รับตามตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.1 รูปแบบของการแข่งขันในเกมกลยุทธนักบุกเบิกแห่งคาทาน

รูปแบบการแข่งขัน	ความเร็วเชิงเปรียบเทียบในการทำคะแนน
การวัดอัตราความเร็ว	จำนวนรอบที่ใช้
ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเร็ว	1. อัตราการผลิตทรัพยากร 2. ตัวเลือกการกระทำของผู้เล่น 3. คะแนนที่ได้รับ



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ที่มีผลต่อความเร็วของผู้เล่นในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

3.2.2 วิเคราะห์กติกาการเล่น

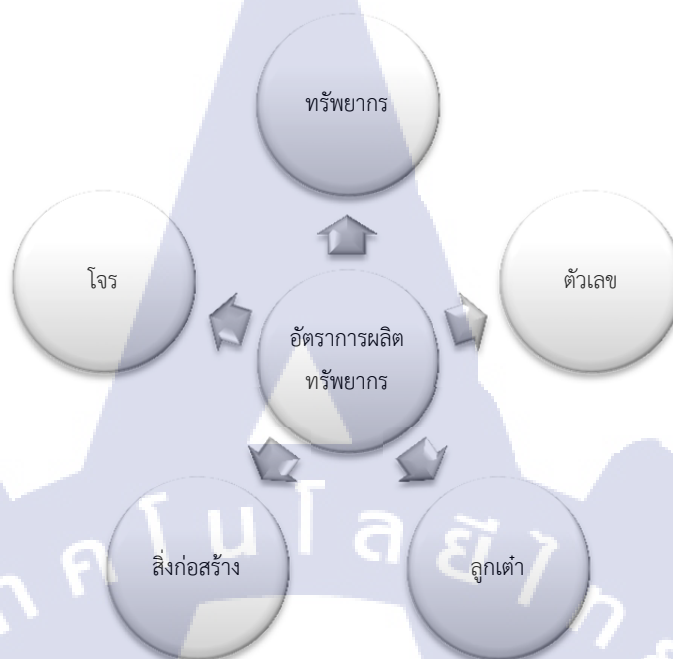


รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์กติกาการเล่น

หลังจากวิเคราะห์วัตถุประสงค์และวิธีการทำคะแนนเพื่อประเมินรูปแบบการแข่งขันแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ 3 ส่วนที่กล่าวถึงในช่วงก่อนหน้านี้จากกติกาของเกม ดังนี้

1. อัตราการผลิตทรัพยากร

จากกติกาของเกม อัตราการผลิตทรัพยากรนั้นเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ร่วมของปัจจัยต่างๆ จากการสร้างสิ่งก่อสร้างของผู้เล่นบนแผ่นทรัพยากรบนกระดาน ซึ่งจะมีความเชื่อมโยงกันกับตัวเลขของลูกเต๋า 2 ลูก ตามไถล์ตัวเลขบนแผ่นทรัพยากรชนิดต่างๆ และโจร ตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตทรัพยากร

ทั้งนี้อัตราการผลิตทรัพยากรถือเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ต้องพิจารณาเนื่องจากเป็นความได้เปรียบเชิงสัมบูรณ์ของผู้เล่นที่มีอัตราการผลิตทรัพยากรสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ทรัพยากรในเกมนั้นมีความผันผวนอยู่บ้างจาก การแลกเปลี่ยนของผู้เล่น และไฟฟิเศษ แต่มีนัยสำคัญน้อยกว่าการผลิต ซึ่งการวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรจะอยู่ในหัวข้อถัดไปที่ 3.2.3

2. ตัวเลือกการกระทำที่มี

ในแต่ละรอบของการเล่น ผู้เล่นสามารถเลือกการกระทำต่างๆ ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้งในรูปแบบของทรัพยากรที่เป็นต้นทุนการสร้าง หรือปริมาณที่มีอยู่จำกัด ตลอดจนเงื่อนไขเริ่มต้นของการกระทำที่ถูกกำหนดไว้ตามกติกาของเกม โดยการกระทำแต่ละชนิดจะให้ผลตอบแทนแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ผลตอบแทนอาจอยู่ในรูปแบบของคะแนนที่ได้รับ อัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น หรือตัวเลือกการกระทำพิเศษที่เพิ่มเข้ามาตามกติกาของเกมตามรูปที่ 3.8



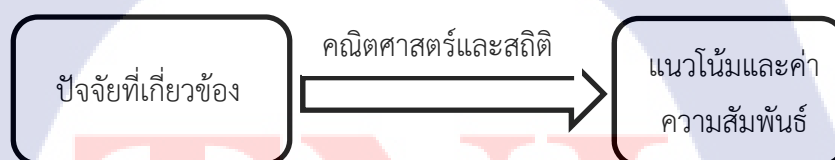
รูปที่ 3.8 เงื่อนไขและผลตอบแทนจากการกระทำของผู้เล่น

3. คะแนนที่ได้รับ

จากกติกาที่กำหนดไว้ของเกม ช่องทางในการทำคะแนนมีอยู่ทั้งหมด 5 ช่องทางด้วยกัน คือ

- 1) การสร้างหมู่บ้าน
- 2) การพัฒนาหมู่บ้านขึ้นเป็นเมือง
- 3) คะแนนจากไฟพิเศษ
- 4) คะแนนพิเศษจากกองทัพอัศวิน
- 5) คะแนนพิเศษจากการสร้างถนนยาว

3.2.3 วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง



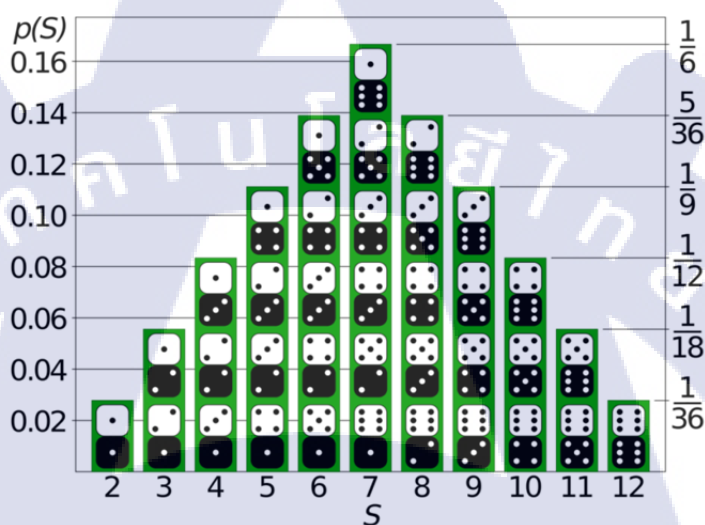
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อทำการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ และวิธีการเล่นเกมแล้วนั้น ขั้นตอนจะดำเนินการวิเคราะห์ปัจจัยในเกมที่ส่งผลต่อการเล่น โดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์และสถิติ ไล่ตามลำดับความสัมพันธ์ 3 ส่วนในรูปที่ 3.5 เพื่อค้นหาแนวโน้มและค่าความสัมพันธ์ในเกม

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตทรัพยากร

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตทรัพยากรนั้นมีอยู่ 5 ส่วนด้วยกันตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 ทั้งนี้ปัจจัยบางตัวที่มีความสัมพันธ์กันโดยตรง ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์และแจกแจงรายละเอียดที่ละส่วนดังนี้

1.1 ลูกเต๋าและตัวเลขในเกม



รูปที่ 3.10 ความน่าจะเป็นของการทอดลูกเต๋า 2 ลูก [20]

ทรัพยากรในเกมถูกผลิตขึ้นในแต่ละรอบตามการทอยลูกเต๋า 2 ลูก ร่วมกับตัวเลขบนกระดาน ดังนั้นแนวโน้มการผลิตจึงขึ้นกับความน่าจะเป็นของลูกเต๋า 2 ลูก ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 3.10 อย่างไรก็ตาม ความน่าจะเป็นของตัวเลขในเกมขึ้นกับผลรวมของตัวเลขทั้งหมดบนกระดานซึ่งสามารถคำนวณตามสูตร

$$\sum_{s=n} P_s$$

(3)

โดยที่ P = ความน่าจะเป็นของลูกเต๋า/36

S = ไทล์ของตัวเลข

n = จำนวนไทล์ทั้งหมด

เมื่อคำนวณออกตัวเลขออกมาแล้วจะได้ค่าความน่าจะเป็นรวม คือ

$$(1+2+2+3+3+4+4+5+5+6+6+6+6+5+5+4+4+3+3+2+2+1) = 58$$

ซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปชุดข้อมูลความน่าจะเป็นของไทล์ตัวเลขบนกระดาน

ตัวเลข	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ความน่าจะเป็น (/36)	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1
ความถี่	1	2	2	2	2	0	2	2	2	2	1

ข้อมูลความน่าจะเป็นของตัวเลขทั้ง 2 ชุดนี้จะต้องนำมาพิจารณาพร้อมกับแผ่นทรัพยากรบนกระดานที่อยู่คู่กับไทล์ตัวเลข เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มทรัพยากรของเกมที่กำลังเล่นอยู่ โดยในแต่ละเกมของนักบุกเบิกแห่งคาทาน จะมีความไม่แน่นอนแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม ความไม่แน่นอนดังกล่าวนี้มีช่วงที่สามารถประเมินค่าออกมาได้อยู่จากการคิดคำนวณโดยใช้หลักการพื้นฐานทางสถิติ

1.2 ทรัพยากร

ทรัพยากร 5 ชนิด ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับทรัพยากร 5 ชนิด จะเห็นได้ว่ามีทรัพยากร 2 ชนิด ที่มีปริมาณน้อยกว่าชนิดอื่นที่เหลือคือ หินและอิฐ เนื่องจากทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณแผ่นทรัพยากรอย่างละ 3 แผ่น ขณะที่ทรัพยากรชนิดอื่นมีอยู่อย่างละ 4 แผ่น

ซึ่งเมื่อพิจารณาขอบเขตความน่าจะเป็นของทรัพยากรจากความน่าจะเป็นของตัวเลขในเกมสามารถหาค่าออกมาได้จากการเลือกตัวเลขความน่าจะเป็นที่ดีค่าออกมาแล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นช่วงต่ำสุดจนถึงสูงสุดคือ

หินและอิฐ ประเมินโดยผลรวมของตัวเลขความน่าจะเป็น 3 ตัว

ช่วงต่ำสุดอยู่ที่ 4 จากตัวเลข 2, 3, 11, 12

ช่วงสูงสุดอยู่ที่ 15 จากตัวเลข 6, 8

และมีค่ากึ่งกลางพิสัยอยู่ที่ 9.5

ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาได้ว่า ถ้าผลรวมความน่าจะเป็นของทรัพยากร ทั้ง 2 ชนิดมีค่าตั้งแต่ 9 ลงมา ถือว่าทรัพยากรนั้นมีแนวโน้มในการผลิตน้อย

ข้าว แกะและไม้ ประเมินโดยผลรวมของตัวเลขความน่าจะเป็น 4 ตัว

ช่วงต่ำสุดอยู่ที่ 6 จากตัวเลข 2, 3, 11, 12

ช่วงสูงสุดอยู่ที่ 20 จากตัวเลข 6, 8

และมีค่ากึ่งกลางพิสัยอยู่ที่ 13

ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาได้ว่า ถ้าผลรวมความน่าจะเป็นของทรัพยากร ทั้ง 2 ชนิดมีค่าต่ำกว่า 13 ถือว่าทรัพยากรนั้นมีแนวโน้มในการผลิตน้อย

ตารางที่ 3.3 ช่วงแนวโน้มของทรัพยากรแต่ละชนิด

ทรัพยากร/ค่าประเมิน	แนวโน้มการผลิตน้อย	ค่ากึ่งกลางพิสัย	แนวโน้มการผลิตสูง
หิน	4-9	9.5	10-15
ข้าว	6-12	13	14-20
แกะ	6-12	13	14-20
ไม้	6-12	13	14-20
อิฐ	4-9	9.5	10-15

จากตารางที่ 3.3 ด้านบนแสดงถึงช่วงแนวโน้มของทรัพยากรทั้ง 5 ชนิด ซึ่งผู้เล่นสามารถคาดการณ์สถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นจากค่าประเมินดังกล่าว เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินกลยุทธ์ที่เหมาะสม

1.3 สิ่งก่อสร้างและโจร

สิ่งก่อสร้างของผู้เล่นบนกระดานที่อยู่บนกระดานเชื่อมโยงกับกำลังการผลิตทรัพยากรของผู้เล่นดังกล่าว ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อยอดมาจาก 2 ส่วนในข้างต้น ทำให้โดยทั่วไปแล้ว ผู้เล่นแต่ละคนจะเลือกสร้างทรัพยากรบนพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่สุดคือบนทรัพยากรที่หายาก และมีตัวเลขความน่าจะเป็นอยู่ในเกณฑ์สูง

อย่างไรก็ตาม ในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทอน มีปัจจัยลบที่ปิดกั้นไม่ให้เกิดการผลิตทรัพยากรอยู่คือโจร ซึ่งมีกลไกการทำงานร่วมกับตัวเลขความน่าจะเป็นสูงสุดของการ

ทอดลูกเต๋า 2 ลูก คือเลข 7 ดังนั้นในการวางแผนกลยุทธ์บนกระดาน ผู้เล่นจำเป็นที่จะต้องไม่ให้เกิดการผลิตที่สูญเปล่า รวมทั้งต้องพยายามควบคุมกำลังการผลิตทรัพยากรให้อยู่ในเกณฑ์คงที่ โดยการหลีกเลี่ยงที่จะเป็นเป้าหมาย หรือสร้างความได้เปรียบของการควบคุมโจรที่เป็นปัจจัยลบดังกล่าว

2. การกระทำของผู้เล่น

จากกติกาของเกมที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 นั้นมีการกระทำที่ผู้เล่นสามารถเลือกกระทำได้อยู่ 3 ส่วนหลักด้วยกันคือ การสร้างสิ่งก่อสร้าง การกระทำเกี่ยวกับไฟพิเศษ และการแลกเปลี่ยนทรัพยากร ซึ่งจะดำเนินการวิเคราะห์รายละเอียดข้อจำกัดและเงื่อนไขของการกระทำที่ละส่วนตามลำดับ ดังนี้

2.1 การสร้างสิ่งก่อสร้าง

ผู้เล่นสามารถเลือกสร้างสิ่งก่อสร้างได้ 3 รูปแบบ คือ ถนน หมู่บ้าน และเมือง เมื่อมีองค์ประกอบครบทุกเงื่อนไข ได้แก่ ต้นทุนทรัพยากร ปริมาณขั้นต่ำ พื้นที่บนกระดานที่เชื่อมต่อกับสิ่งก่อสร้างเดิม

2.2 การกระทำของผู้เล่นต่อไฟพิเศษ

นอกเหนือจากการสร้างสิ่งก่อสร้าง ผู้เล่นสามารถเลือกซื้อไฟพิเศษได้จากสำรับเพื่อนำมาใช้ได้มาใช้ในการเล่นรอบถัดไป ซึ่งปริมาณของไฟแต่ละชนิดจะมีอยู่ในสำรับตามจำนวนที่กำหนด โดยสามารถประเมินความน่าจะเป็นของไฟพิเศษได้ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความน่าจะเป็นของไฟพิเศษในสำรับ

ชนิดของไฟ	จำนวน	ความน่าจะเป็น
อัศวิน	14	56%
คะแนน	5	20%
ปีแห่งความอุดมสมบูรณ์	2	8%
การสร้างถนน	2	8%
บัตรผูกขาดทรัพยากร	2	8%

เนื่องจากการสร้างสิ่งก่อสร้างและไฟพิเศษนั้นถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขของต้นทุนทรัพยากรและมีปริมาณที่มีอยู่จำกัด จึงสามารถสรุปเงื่อนไขดังกล่าว ได้ออกมาตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ต้นทุนในการสร้างและปริมาณที่มีจำกัด

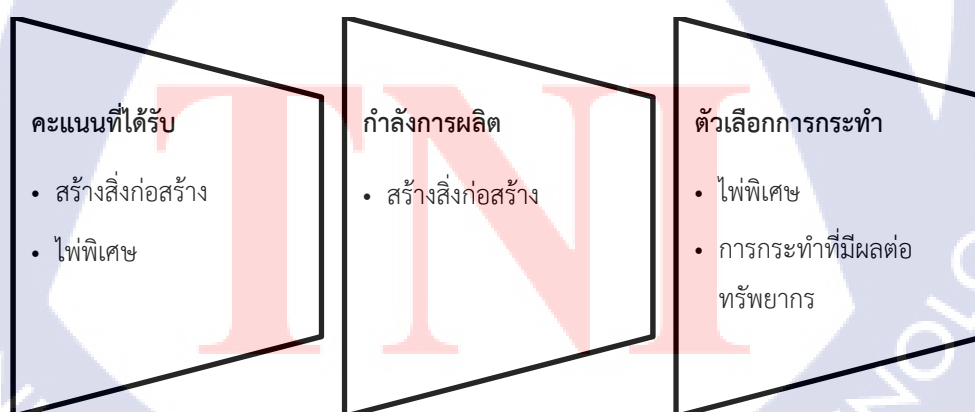
ประเภท	อิฐ	ไม้	แคะ	ข้าว	หิน	ปริมาณที่มีจำกัด
หมู่บ้าน	1	1	1	1	-	5
ถนน	1	1	-	-	-	15
เมือง	-	-	-	2	3	4
ไฟฟ้าพิเศษ	-	-	1	1	1	25

2.3 การแลกเปลี่ยนทรัพยากร

การแลกเปลี่ยนทรัพยากรเป็นตัวเลือกการกระทำสุดท้ายที่ผู้เล่นสามารถเลือกดำเนินการได้ โดยมีเงื่อนไขสำหรับการแลกเปลี่ยนคือผู้เล่นจะต้องมีทรัพยากรในมือเพียงพอ และหากทำการแลกเปลี่ยนกับผู้เล่นจะถือได้ว่าเป็นความตกลงร่วมกันของผู้เล่นทั้งสองฝ่าย ซึ่งเป็นปัจจัยเสริมที่มีผลกระทบในเชิงบวกต่อผู้เล่น แต่ไม่ได้เกิดผลต่อปริมาณทรัพยากรที่ถูกผลิตขึ้นจริงในเกม จึงเป็นประเด็นที่งานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์การกระทำดังกล่าวในเชิงลึก

3. ผลตอบแทนที่ได้รับ

ผลตอบแทนคือสิ่งผู้เล่นได้จากการกระทำที่เลือก ซึ่งแต่ละตัวเลือกการกระทำของผู้เล่นนั้นจะให้ผลตอบแทนอยู่ใน 3 รูปแบบด้วยกัน ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากรูปที่ 3.5 คือ คะแนนที่ได้รับ การขยายกำลังการผลิต และตัวเลือกการกระทำที่เพิ่มขึ้นตามที่แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ผลตอบแทนที่ได้รับจากการกระทำ

คะแนนที่ผู้เล่นได้รับตามกติกาของที่มีอยู่ทั้งหมด 5 ช่องทางนั้น จะมาจาก 2 ส่วนหลักด้วยกันคือ สิ่งก่อสร้างและไฟพิเศษ โดยการสร้างสิ่งก่อสร้างก็มีผลทำให้กำลังการผลิตของผู้เล่นเพิ่มขึ้น และโดยทั่วไปผู้เล่นมีการกระทำที่สามารถเลือกได้จำกัดตามกติกาของเกม หากต้องการเพิ่มตัวเลือกของการกระทำที่มี ผู้เล่นมีตัวเลือกที่สามารถทำได้คือ การดำเนินการกับไฟพิเศษและการกระทำอื่นที่มีผลต่อทรัพยากร นอกเหนือไปจากกระบวนการผลิต

3.2.4 สรุปผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานนั้น ได้ผลลัพธ์ออกมาว่า เกมกลยุทธ์เป็นการแข่งขันกันของผู้เล่นหลายคน ในประเด็นของความเร็วในการทำคะแนน ซึ่งความเร็วดังกล่าววัดค่าออกมาเป็นจำนวนรอบที่ต้องใช้ โดยมีความสัมพันธ์ที่เป็นผลกระทบต่องานอยู่ 3 ส่วนคือ อัตราการผลิตทรัพยากร ตัวเลือกการกระทำของผู้เล่น และคะแนนที่ได้รับ ซึ่งแต่ละส่วนเองก็มีปัจจัยที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์อีกทอดหนึ่ง ตามรูปที่ 3.12

การผลิตทรัพยากร	ตัวเลือกการกระทำ	คะแนนที่ได้รับ
- ลูกเต๋าและตัวเลข - ทรัพยากร - สิ่งก่อสร้างและโจร	- สร้างสิ่งก่อสร้าง - ไฟพิเศษ - แลกเปลี่ยนทรัพยากร	- หมู่บ้านและเมือง - คะแนนจากไฟพิเศษ - การใช้กองทัพอัศวิน - การสร้างถนนยาว

รูปที่ 3.12 ปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ 3 ส่วน

โดยผู้เล่นสร้างสิ่งก่อสร้างบนแผ่นทรัพยากรที่ผูกติดอยู่กับตัวเลข เพื่อสร้างกำลังการผลิต ซึ่งถูกสุมขึ้นจากการทอดลูกเต๋ามาในแต่ละรอบ ทั้งนี้การผลิตอาจถูกปิดกั้นได้จากโจรที่อยู่บนกระดาน และเมื่อได้รับทรัพยากรแต่ละรอบมาเพียงพอสำหรับเงื่อนไข ผู้เล่นก็จะนำทรัพยากรที่ได้เหล่านั้นมาใช้สร้างสิ่งก่อสร้างเพิ่มเติมบนกระดานหรือซื้อไฟพิเศษ เพื่อดำเนินกลยุทธ์ในการทำคะแนนให้ได้ถึง 10 คะแนนก่อนเป็นคนแรก

3.3 ขั้นที่ 3 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจ

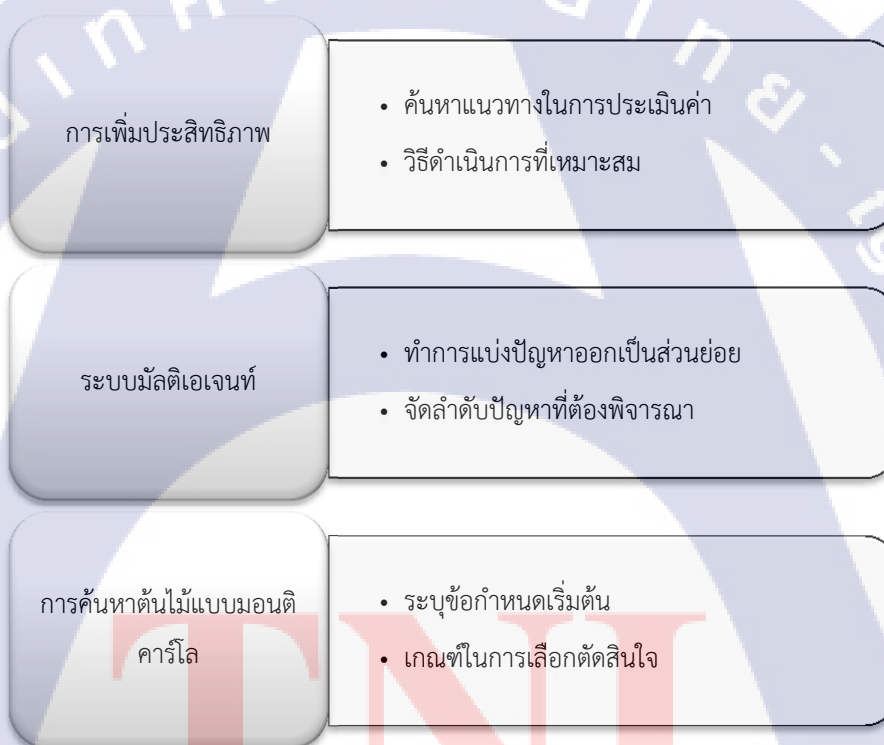
จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพร้อมกับแนวคิดทฤษฎี และทำการวิเคราะห์เกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานแล้วนั้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจโดยผสมผสานแนวคิดและหลักการของ 3 ทฤษฎีร่วมกันคือ

3.3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพ

3.3.2 หลักการของระบบมัลติเอเจนต์

3.3.3 วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

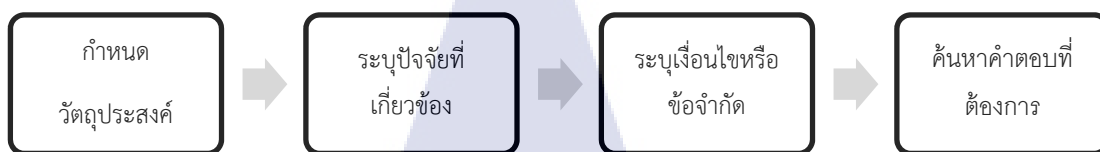
โดยแนวคิดแต่ละส่วนจะให้ผลลัพธ์ตามหลักการของทฤษฎีดังกล่าว เริ่มต้นโดยใช้การเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อค้นหาแนวทางในการประเมินค่าความเร็วของผู้เล่นและวิธีการที่เหมาะสม ตามด้วยประยุกต์ใช้หลักการของระบบมัลติเอเจนต์ในการแบ่งส่วนของปัญหาที่ต้องตัดสินใจจากความสัมพันธ์ในเกมและจัดลำดับของปัญหาที่ต้องพิจารณา จากนั้นจึงระบุข้อกำหนดเริ่มต้นด้วยวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล รวมทั้งเกณฑ์ในการเลือกตัดสินใจ สำหรับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้จะต้องนำผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละส่วนมาประยุกต์ใช้ร่วมกันตามลำดับเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจตามรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หลักการออกแบบอัลกอริทึม

3.3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพ

สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพนั้นได้นำมาใช้เพื่อหาแนวทางในการดำเนินกลยุทธ์ที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการทำงานตามลำดับคือ



รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการหาคำตอบด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ

1. กำหนดวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานคือการทำคะแนนให้ได้ถึง 10 คะแนน ซึ่งการทำคะแนนมีอยู่ทั้งหมด 5 ช่องทางด้วยกัน ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2 โดยสามารถเขียนฟังก์ชันการทำคะแนนออกมาในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ได้คือ

$$f_1 \text{ (Score)} = n_1X + n_2Y + n_3Z + U + V \quad (4)$$

กำหนดให้ :

n_1 = จำนวนหมู่บ้านที่สร้างบนกระดาน

X = หมู่บ้าน

n_2 = จำนวนเมืองที่สร้างบนกระดาน

Y = เมือง

n_3 = จำนวนคะแนนจากไพ่พิเศษ

Z = ไพ่พิเศษที่เป็นคะแนน

U = กองทัพอัศวิน

V = ถนนยาว

2. ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ทั้งนี้การทำคะแนนจะสามารถดำเนินไปได้จากปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือทรัพยากร โดยในที่นี้จะแทนทรัพยากร 5 ชนิดในเกม เป็นตัวแปร 5 ตัว

A = ทรัพยากรอิฐ

B = ทรัพยากรไม้

C = ทรัพยากรแกะ

D = ทรัพยากรข้าว

E = ทรัพยากรหิน

3. ระบุเงื่อนไขหรือข้อจำกัด

เมื่อแทนค่า X, Y, Z, U, V ใน f_1 ด้วยต้นทุนการสร้างและปริมาณที่มีจำกัดในตารางที่ 3.4 โดยพิจารณาจากคะแนนรวม 10 คะแนน บนพื้นฐานของทรัพยากรที่หายากที่สุด 2 ชนิดคือ หินและอิฐ เปรียบเทียบการเลือกดำเนินกลยุทธ์เป็นกรณีที่เลือกตัดทรัพยากรชนิดหนึ่งออกไปหรือลดความจำเป็นให้เหลือน้อยที่สุดดังนี้คือ

กรณีที่ 1 : ดำเนินกลยุทธ์โดยไม่ใช้อิฐ

พัฒนาเมือง 2 เมือง ทำคะแนนจากไฟฟ้าพิเศษ 4 ใบ และกองทัพอัศวิน

$$f_1 = 2Y + 4Z + U$$

แจกแจงออกมาเป็นต้นทุน

$$f_1 = 13E + 11D + 7C$$

กรณีที่ 2 : ดำเนินกลยุทธ์โดยใช้หินให้น้อยที่สุด

สร้างหมู่บ้านเพิ่ม 3 หมู่บ้าน ทำคะแนนจากไฟฟ้าพิเศษ 3 ใบ และถนนยาว

$$f_1 = 5X + 3Z + V$$

แจกแจงออกมาเป็นต้นทุน

$$f_1 = 3E + 8D + 8C + 10B + 10A$$

ทั้งนี้กรณี 1 และ 2 นั้นเป็นการเปรียบเทียบต้นทุนขั้นต่ำสุดของการเลือกดำเนินกลยุทธ์โดยเน้นทรัพยากรที่หายากเพียงชนิดเดียว ซึ่งในการดำเนินกลยุทธ์โดยทั่วไป ปริมาณทรัพยากรที่ต้องใช้จะอยู่ตรงกลางระหว่าง 2 กรณีดังกล่าว จึงกำหนดค่าตัวแปรเป็น p_i

ตามเงื่อนไขของการใช้ทรัพยากรสามารถอนุมาณปริมาณทรัพยากรแต่ละส่วนออกมาเบื้องต้นได้ดังนี้คือ ปริมาณหินที่ต้องใช้จะมีมากกว่า 3 ก้อนขึ้นไป ขณะที่ปริมาณของอิฐและไม้ต้องมีปริมาณที่เท่ากันเนื่องจากเป็นทรัพยากรที่ต้องใช้ร่วมกันในทุกเงื่อนไข โดยแสดงผลออกมาได้ตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ต้นทุนทรัพยากรในการทำคะแนนให้ถึง 10 คะแนน

กรณี/ปัจจัย	A (อิฐ)	B (ไม้)	C (แกละ)	D (ข้าว)	E (หิน)
กรณี 1	-	-	7	11	13
กรณีอื่น	$p_1 = p_2$	$p_2 = p_1$	p_3	p_4	$p_5 (>3)$
กรณี 2	10	10	8	8	3

4. ค้นหาคำตอบ

กรณีอื่นๆ ที่เหมาะสมสำหรับใช้ดำเนินกลยุทธ์ที่อยู่ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 จะทำให้ต้นทุนทรัพยากรแตกต่างกันออกไป ทว่ามีสิ่งที่ต้องคำนึงคือ ตัวเลขต้นทุนที่แจกแจงออกมาของทุกกรณีนั้นคือจำนวนทรัพยากรขั้นต่ำที่ต้องใช้ ซึ่งในการเล่นเกมนั้นผู้เล่นจะได้รับทรัพยากรจากการสุ่มการผลิตโดยการทอดลูกเต๋า 2 ลูก ดังนั้นการพิจารณาเลือกกลยุทธ์หลักของการเล่น ต้องปรับตามแนวโน้มการผลิตของทรัพยากรแต่ละชนิดบนกระดาน นอกจากนี้ โดยทั่วไปของการทอดลูกเต๋า ถึงแม้จะมีหลักการของการกระจายตัวแบบปกติตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าในรอบการเล่น 1 รอบหรือหลายรอบ หน้าของลูกเต๋าคือออกมาตามทฤษฎีสถิติ

อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์เกม หากประเมินด้วยทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพ คู่กับหลักการทางสถิติและความน่าจะเป็น สามารถประเมินความเร็วของผู้เล่นได้โดยเปรียบเทียบจาก

1. สัดส่วนของอัตราการผลิตทรัพยากรที่สำคัญ
2. การเลือกการกระทำที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์สูงสุดในระยะยาวต่ออัตราการผลิต

และคะแนน

โดยปริมาณของทรัพยากรหินที่ต้องใช้ แปรผกผันกับทรัพยากรอิฐ หากเลือกกลยุทธ์ที่เน้นหนักไปทางหิน จะส่งผลให้ปริมาณอิฐที่ต้องใช้มีปริมาณลดลง ทั้งนี้ข้อจำกัดที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ผู้เล่นก็จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรหินเพื่อทำคะแนนให้ได้ถึง 10 คะแนน ซึ่งสามารถกำหนดเป็นสมการของทรัพยากรที่ต้องใช้ได้ คือ

$$f_2 = \sum P_i Q_i \quad (5)$$

โดย P_i คือ ปริมาณของทรัพยากรแต่ละชนิด

Q_i คือ ทรัพยากร

i คือ ลำดับของทรัพยากร โดยที่ $i = 1-5$

$$\text{เงื่อนไข } P_1 \leq \frac{1}{P_5}$$

จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการทำคะแนนให้ถึง 10 คะแนนโดยเร็วที่สุด ตามฟังก์ชัน f_1 ซึ่งฟังก์ชัน f_2 นั้นแปรผกผันกับ f_1 เนื่องจาก การมีอัตราการผลิตทรัพยากรที่สูงนั้นลดระยะเวลาของจำนวนรอบที่ต้องใช้ลงจึงสรุปได้ว่าหลักการสำคัญคือต้องเน้นการเพิ่มอัตราการผลิตทรัพยากรให้สูงที่สุด

$$\text{Max} \sum P_i Q_i$$

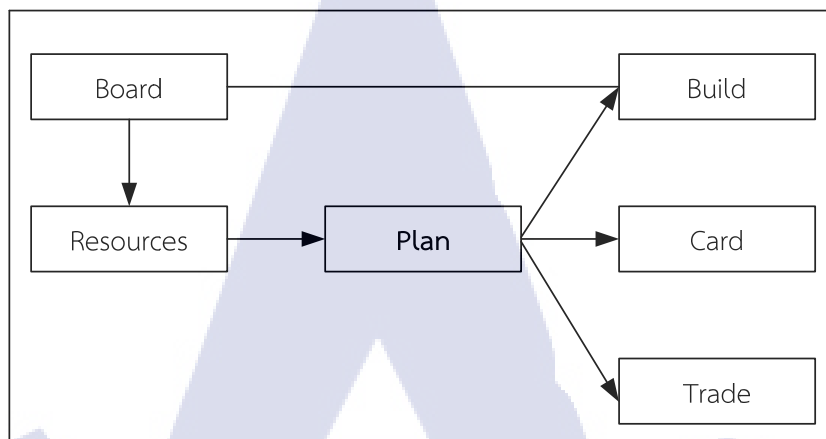
อย่างไรก็ตาม การกระทำดังกล่าวมีหลักเกณฑ์ที่ต้องพิจารณา โดยจะกล่าวถึงในข้อกำหนดของวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

3.3.2 ระบบมัลติเอเจนต์

อัลกอริทึมที่ทำการออกแบบนั้นนำหลักการของระบบมัลติเอเจนต์มาประยุกต์ใช้ในการแบ่งส่วนของปัญหาบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ 3 ส่วนคือ การผลิตทรัพยากร ตัวเลือกการกระทำของผู้เล่น และคะแนนที่ได้รับ รวมทั้งจัดลำดับของปัญหาที่ต้องพิจารณา โดยมีรายละเอียดคือ

1. หลักการออกแบบ

ตัวแทนทั้งหมดจะต้องทำงานร่วมกันโดยแบ่งหน้าที่การประมวลผลปัจจัยที่สำคัญแยกส่วนกันไปแต่ละตัวตามภารกิจที่ได้มอบหมาย ซึ่งจะมีตัวแทนส่วนกลางทำหน้าที่ตัดสินใจเลือกการกระทำที่เหมาะสมแต่ละรอบโดยพิจารณาถึงความจำเป็นที่เร่งด่วนที่สุด จากข้อมูลที่ตัวแทนตัวอื่นได้ส่งมาให้ โดยตัวแทนกลางที่ทำหน้าที่วางแผน (Plan Agent) นั้นจะเน้นการพิจารณาคะแนนของผู้เล่นเป็นสำคัญเปรียบเทียบกับผู้เล่นคนอื่นที่เหลือ และมีตัวแทนตัวอื่นวิเคราะห์ปัจจัยอื่นที่มีผลเกี่ยวข้องต่อคะแนน ได้แก่ การสร้างสิ่งก่อสร้าง ไฟฟ้าพิเศษ ทรัพยากร กระดาน และการแลกเปลี่ยน ตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 รูปแบบการแบ่งปัจจัยที่ต้องพิจารณาด้วยหลักการของระบบมัลติเอเจนต์

2. การทำงานของตัวแทนแต่ละตัว

Plan Agent ตัวแทนที่ทำหน้าที่ตัดสินใจเลือกการกระทำในแต่ละรอบ โดยพิจารณาตามลำดับคือสังเกตความเปลี่ยนแปลงคะแนนของผู้เล่นแต่ละคนในทุกรอบ แล้วเลือกการกระทำที่จำเป็นเร่งด่วนที่สุดระหว่างการเลือกสร้างสิ่งก่อสร้างหรือการดำเนินการต่อไฟพิเศษ ซึ่งต้องเลือกจากทรัพยากรที่มีในมือเปรียบเทียบกับสถานการณ์บนกระดาน

Board & Resources Agent ให้ทั้งสองตัวแทนทำงานร่วมกันเพื่อพิจารณาแนวโน้มการไหลของทรัพยากรที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งประมวลตัวเลขของลูกเต๋าบนกระดานที่มีการทอดออกไปแล้ว สำหรับคาดการณ์การผลิตทรัพยากรในรอบต่อไปล่วงหน้า ซึ่งตัวแทนทั้ง 2 ตัวนี้จะมีบทบาทสำคัญอย่างมากในช่วงของการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม

Build Agent ตัวแทนสำหรับเลือกตัดสินใจเลือกลำดับและตำแหน่งในการสร้างสิ่งก่อสร้าง ซึ่งหน้าที่หลักของตัวแทนนี้คือติดตามความเปลี่ยนแปลงของการสร้างสิ่งก่อสร้างของผู้เล่นทุกคนทั้งที่อยู่บนกระดานและในมือของผู้เล่น เนื่องจากพื้นที่บนกระดานนั้นมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงต้องคอยสังเกตการณ์เพื่อประเมินถึงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น

Card Agent ทำหน้าที่ตัดสินใจเกี่ยวกับการซื้อไฟพิเศษและเลือกใช้ไฟตามจังหวะเวลาที่เหมาะสมอันจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยประเมินความน่าจะเป็นจากไฟในสำหรับและไฟที่อยู่กับผู้เล่นแต่ละคน

Trade Agent ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนทรัพยากรกับธนาคารและผู้เล่นอื่นในเกม อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยชิ้นนี้ การแลกเปลี่ยนทรัพยากรถือเป็นส่วนเสริม เพิ่มเติมจากการเลือกตัดสินใจบนพื้นฐานของทรัพยากรที่ผลิตได้เองก่อนเป็นสำคัญ ดังนั้นจึงไม่ใช่การกระทำหลักของการวางแผนกลยุทธ์

3.3.3 วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

หลักการสำคัญของวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลคือ จะไม่วางแผนไปจนถึงจุดสิ้นสุดตั้งแต่เริ่มต้น แต่วางแผนออกไปจนถึงก้าวเดินล่าสุด (ตำแหน่งกิ่งของต้นไม้ตัดสินใจ) ที่มีข้อมูลอยู่ ควบคู่กับการกำหนดจุดหมายที่ต้องการไปถึงด้วยนโยบายเริ่มต้น (Default Policy) และเมื่อดำเนินการต่อเนื่องไปแล้วจึงทำการขยายรากของต้นไม้ออกไป โดยอาศัยการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำมาทำการประมวลผลย้อนกลับ ซึ่งสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้อาศัยหลักการของมอนติคาร์โลในการกำหนดนโยบายเริ่มต้นสำหรับเป็นเกณฑ์หลักที่ใช้พิจารณาเพื่อเลือกตัดสินใจ โดยกำหนดนโยบายเริ่มต้นที่ต้องนำมาพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของขั้นตอนการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม และส่วนของการเล่นเกม ตามรายละเอียดดังนี้

1. นโยบายเริ่มต้นในขั้นตอนของการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม

หลักการสำคัญของขั้นตอนการติดตั้งกระดานคือ : เริ่มต้นด้วยแนวโน้มการผลิตทรัพยากรสำคัญให้มากที่สุด และมีสมดุลของทรัพยากรตามกลยุทธ์ในการเล่นที่วางไว้ ตามรายละเอียดแต่ละข้อด้านล่าง

- 1.1 พิจารณากระดานว่าทรัพยากรที่สำคัญคือหินหรืออิฐชนิดใดหายากตามตารางที่ 3.3
- 1.2 ถ้าทรัพยากรใดอยู่ในช่วงต่ำสุดหรือใกล้เคียงค่าต่ำสุดให้เลือกตัดทรัพยากรชนิดนั้นออกไป
- 1.3 กรณีที่มีค่าใกล้เคียงกันให้เลือกการผลิตหิน โดยพยายามให้มีอัตราการผลิตมากกว่าผู้เล่นคนอื่น
- 1.4 โดยต้องมีทรัพยากรที่ต้องใช้ร่วมกันอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน
- 1.5 และควรมีการผลิตทรัพยากรทุกชนิด
- 1.6 เน้นกระจายความเสี่ยงให้อยู่บนตัวเลขหลากหลายที่มีค่าความน่าจะเป็นสูง
- 1.7 เว้นพื้นที่ให้สามารถขยายสิ่งก่อสร้างออกไปได้ ซึ่งมักจะอยู่บนกระดานแถวที่ 2
- 1.8 จำเป็นต้องพิจารณาผลของการวางที่มีต่อทรัพยากรและพื้นที่ของผู้เล่นคนอื่นร่วมด้วย

ตามรูปที่ 3.10

อันร่วมด้วย

2. นโยบายเริ่มต้นในขั้นตอนของการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกม

หลักการสำคัญของขั้นตอนการเล่นเกมนี้อาจสรุปได้เป็น 3 ประการ คือ : รักษาความเร็วเชิงเปรียบเทียบให้เพียงพอที่จะชนะตอนจบเกม ด้วยการขยายกำลังการผลิตอย่างเหมาะสม และเลือกการกระทำที่ให้ผลลัพธ์คุ้มค่าที่สุด

2.1 การสร้างหมู่บ้าน พัฒนาเมือง และซื้อไฟพิเศษ สิ่งที่เหมาะสมที่สุดคือเลือกกระทำตามลำดับที่เขียน

2.2 อย่างไรก็ตาม การเลือกการกระทำต้องปรับตามแนวโน้มทรัพยากรที่ได้รับ

2.3 เลือกการกระทำเร่งด่วนเฉพาะหน้าที่จะส่งผลในระยะยาว

2.4 หลีกเลี่ยงการแข่งขัน ยกเว้นแต่ผู้เล่นแน่ใจว่าสามารถชนะการแข่งขันนั้นได้ด้วยต้นทุนที่ไม่สูงเกินไป

2.5 การกระทำที่ผู้เล่นสามารถเลือกได้เป็นตัวกำหนดความเร็วของผู้เล่นคนนั้น

2.6 โดยมีเงื่อนไขของการกระทำคือต้นทุนทรัพยากรที่ต้องจ่าย กับปริมาณที่มีจำกัด

2.7 ดังนั้นจึงสามารถลดทางเลือกของผู้เล่นลงได้ โดยกระทำให้เกิดผลลบต่อเงื่อนไข

3.4 ขั้นที่ 4 ทดสอบผลบนกระดานในสถานการณ์รูปแบบต่างๆ

การทดสอบผลกระทำที่ผู้เล่นจำนวน 4 คน และเนื่องจากเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานมีขั้นตอนสำคัญคือการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกมซึ่งส่งผลให้เกิดความผันผวนของตัวแปรเมื่อเริ่มเล่นเกม ผู้วิจัยจึงได้เลือกกำหนดสถานการณ์สำคัญในรูปแบบต่างๆ ที่จะต้องทำการทดสอบผลไว้ดังนี้คือ

3.4.1 ทดสอบผลบนสถานการณ์คงที่ซ้ำหลายครั้งเพื่อตัดปัจจัยผันผวน

เนื่องจากเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทานนั้นมีขั้นตอนของการติดตั้งกระดานก่อนเริ่มเกมรวมอยู่ด้วย ดังนั้นเพื่อตัดปัจจัยผันผวนของกระดานเริ่มต้นออกไป ผู้วิจัยจึงได้กำหนดวิธีทดสอบรูปแบบหนึ่งคือ กำหนดกระดานเริ่มต้นรูปแบบเดียวและทำการทดสอบกระดานดังกล่าวซ้ำหลายๆ ครั้ง



รูปที่ 3.16 กระดานมาตรฐานที่ทำทดสอบ

3.4.2 ทดสอบผลบนกลุ่มสถานการณ์ที่ได้กำหนดไว้

การทดสอบอีกรูปแบบหนึ่งคือทดสอบกับกลุ่มสถานการณ์ที่ได้กำหนดไว้ โดยแบ่งตามระดับความยากออกเป็น 3 ระดับ คือ ง่าย ปานกลาง และยาก ซึ่งระดับของความยากจะพิจารณาจากตำแหน่งการเรียงตัวของแผ่นทรัพยากรบนกระดาน ร่วมกับแนวโน้มการผลิตทรัพยากรแต่ละชนิดเป็นเกณฑ์สำคัญ ตามรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มสถานการณ์แบบง่ายคือ กระดานที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ มีแนวโน้มการผลิตสูง ส่งผลให้ปัจจัยเรื่องการขาดแคลนทรัพยากรไม่มีผลต่อผู้เล่นแบบมีนัยสำคัญ

2. กลุ่มสถานการณ์ระดับความยากปานกลางคือ กระดานที่มีแนวโน้มการผลิตทรัพยากรตามเกณฑ์เฉลี่ย ไม่มีทรัพยากรชนิดใดชนิดหนึ่งมากเป็นพิเศษ ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นกระดานที่จะพบเจอได้บ่อยเมื่อมีการสุ่มกระดานเริ่มต้นการเล่น

3. กลุ่มสถานการณ์แบบยากคือ กระดานที่มีแนวของการผลิตทรัพยากรที่สำคัญ 3 ชนิดคือ หิน อิฐ และข้าว อยู่ในเกณฑ์น้อย การกระจายตัวของทรัพยากรที่ต้องใช้ร่วมกันคือ หิน-ข้าว และอิฐ-ไม้ อยู่ในตำแหน่งที่ไม่สมดุลกัน และตำแหน่งของทะเลทรายตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางกระดาน หากมีเงื่อนไขตามที่กล่าวข้างต้นอย่างน้อย 2 ใน 3 ข้อ จะถือได้ว่าเป็นกระดานนั้นเป็นสถานการณ์แบบยาก

ซึ่งการทดสอบผลแต่ละรอบจะวัดผลโดยนับจำนวนกระดานที่เล่นชนะ เปรียบเทียบอัตราการชนะ และจำนวนคะแนนเฉลี่ยรวมที่เล่นได้ตามกลุ่มสถานการณ์ที่กำหนด

3.4.3 ทดสอบผลกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers

นอกเหนือจากการทดสอบผลกับสถานการณ์ที่มีการกำหนดค่าไว้แล้วนั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมเทียบกับปัญญาประดิษฐ์ที่เป็นซอฟต์แวร์ควบคู่กันไปด้วย เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอัลกอริทึมที่ดำเนินการวิจัย ในรูปแบบที่มีความหลากหลายมากขึ้น โดยเลือกทดสอบผลกับ JSettlers ปัญญาประดิษฐ์ของเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทอนตัวที่ได้รับความนิยมสูงสุด



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ JSettlers

3.5 ขั้นที่ 5 การสรุปผลการวิจัย

เป็นขั้นตอนการสรุปผลการวิจัย โดยกล่าวถึงผลการดำเนินงาน การอภิปรายวิธีการในแต่ละขั้นตอน ปัญหา อุปสรรคที่เกิดขึ้น และข้อเสนอแนะของงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยเรื่อง การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบูกเบิกแห่งคาทาน มีดังนี้

4.1 ผลการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบูกเบิกแห่งคาทาน

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมดังกล่าว

4.1 ผลการออกแบบอัลกอริทึมบนเกมกลยุทธ์นักบูกเบิกแห่งคาทาน

อัลกอริทึมที่ทำการออกแบบนั้นเป็นผลลัพธ์ที่มาจากประยุกต์หลักการ 3 อย่างร่วมกันคือ

4.1.1 การประเมินทางเลือกต้นทุนทรัพยากรด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ

4.1.2 แบบจำลองสถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์

4.1.3 ข้อกำหนดจากวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

4.1.1 การประเมินทางเลือกต้นทุนทรัพยากรด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวมีอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. ฟังก์ชันการทำคะแนน

ฟังก์ชันนี้สร้างขึ้นจากการทำคะแนน 5 วิธี ซึ่งได้ผลลัพธ์ผลลัพธ์เป็นสมการออกมาคือ

$$f_1 (\text{Score}) = n_1X + n_2Y + n_3Z + U + V$$

กำหนดให้ :

n_1 = จำนวนหมู่บ้านที่สร้างบนกระดาน

X = หมู่บ้าน

n_2 = จำนวนเมืองที่สร้างบนกระดาน

Y = เมือง

n_3 = จำนวนคะแนนจากไพ่พิเศษ

Z = ไพ่พิเศษที่เป็นคะแนน

U = กองทัพอัศวิน

V = ถนนยาว

2. ฟังก์ชันทรัพยากรที่ต้องใช้

ฟังก์ชันการทำคะแนนนั้นเชื่อมโยงกับทรัพยากรที่ต้องใช้ จึงคำนวณค่าของฟังก์ชันจากปริมาณทรัพยากรแต่ละชนิดได้จากสมการ

$$f_2 = \sum P_i Q_i$$

โดย P_i คือ ปริมาณของทรัพยากรแต่ละชนิด

Q_i คือ ทรัพยากร

i คือ ลำดับของทรัพยากร โดยที่ $i = 1-5$

กำหนดให้ P_1 คือ อีฐ

และ P_5 คือ หิน

เงื่อนไข $P_1 \geq \frac{1}{P_5}$

3. คำตอบของสมการ 1 และ 2

ในการบรรลุเงื่อนไขนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี ซึ่งแจกแจงปริมาณของทรัพยากรที่ต้องใช้โดยแทนค่าสมการที่ 2 ไปยังสมการที่ 1 จะได้ผลลัพธ์เป็นปริมาณทรัพยากรขั้นต่ำที่ต้องใช้ออกมาได้ตามตารางที่ 4.1

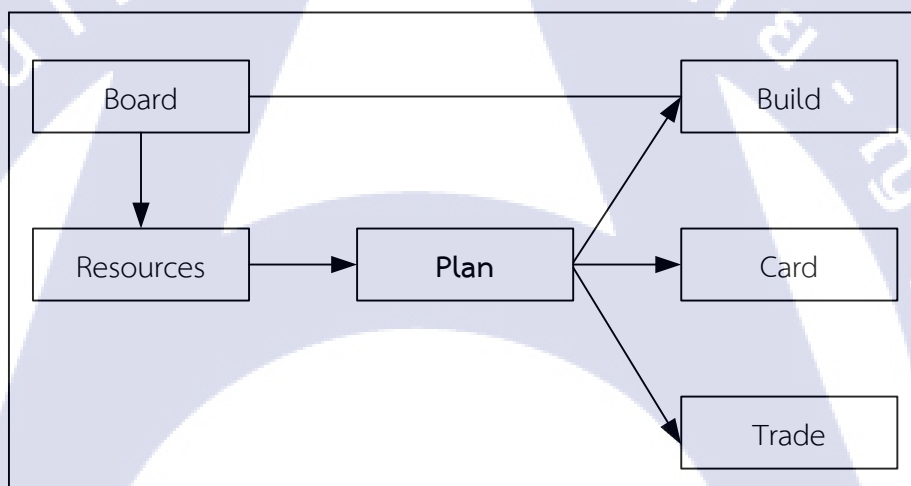
ตารางที่ 4.1 ทรัพยากรขั้นต่ำที่ต้องใช้สำหรับจบเกม

	A (อีฐ)	B (ไม้)	C (แกะ)	D (ข้าว)	E (หิน)
เน้นหิน	-	-	7	11	13
กรณีอื่น	$p_1 = p_2$	$p_2 = p_1$	p_3	p_4	$p_5 (>3)$
เน้นอีฐ	10	10	8	8	3

โดยปริมาณทรัพยากรที่ต้องใช้นั้นแปรผกผันกับจำนวนรอบของผู้เล่น ดังนั้นจึงทำจำนวนรอบของผู้เล่นให้เร็วที่สุดได้จากการเพิ่มการผลิตทรัพยากรด้วยหลักการ $\text{Max} \sum P_i Q_i$ ซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับข้อกำหนดในหัวข้อที่ 4.1.3

4.1.2 แบบจำลองสถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์

การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ นั้นแบ่งตัวแทนออกเป็น 6 ตัวด้วยกันโดยมีตัวแทนสำหรับวางแผน (Plan Agent) เป็นตัวกลางที่รับข้อมูลการวิเคราะห์จากตัวแทนอื่นอีก 5 ตัวเพื่อวางแผนในการเลือกตัดสินใจ ได้แก่ Board Agent, Resource Agent, Build Agent, Card Agent และ Trade Agent โดยตัวแทนแต่ละตัวจะทำการประเมินผลจากปัจจัยทั้งหมดในขอบข่ายงานที่รับผิดชอบอยู่ และแจ้งสถานการณ์ที่เกิดขึ้นไปยังตัวแทนหลัก



รูปที่ 4.1 แบบจำลองสถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์

4.1.3 ข้อกำหนดจากวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

ข้อกำหนดถูกตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสำหรับเลือกตัดสินใจ โดยแบ่งเกณฑ์ดังกล่าวออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ตามลำดับขั้นตอนของเกม คือ ส่วนของการติดตั้งกระดาน และส่วนของการเล่นเกม โดยเน้นหลักการของแต่ละส่วนตามผลลัพธ์ที่ควรเกิดขึ้นจากการกระทำของผู้เล่น

ส่วนขั้นตอนการติดตั้งกระดาน

เน้นการเพิ่มแนวโน้มของการผลิตทรัพยากรให้ได้สูงสุด โดยมีหลักการคือ

1. พิจารณากระดานว่าทรัพยากรที่สำคัญคือหินหรืออิฐชนิดใดหายาก
2. ถ้าทรัพยากรใดอยู่ในช่วงต่ำสุดหรือใกล้เคียงค่าต่ำสุดให้เลือกตัดทรัพยากรชนิดนั้น

ออกไป

3. กรณีที่มีค่าใกล้เคียงกันให้เลือกการผลิตหิน โดยพยายามให้มีอัตราการผลิตมากกว่า

ผู้เล่นคนอื่น

4. โดยต้องมีทรัพยากรที่ต้องใช้ร่วมกันอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน
5. และควรมีการผลิตทรัพยากรทุกชนิด
6. เน้นกระจายความเสี่ยงให้อยู่บนตัวเลขหลากหลายที่มีค่าความน่าจะเป็นสูง
7. เว้นพื้นที่ให้สามารถขยายสิ่งก่อสร้างออกไปได้ ซึ่งมักจะอยู่บนกระดานแถวที่ 2
8. จำเป็นต้องพิจารณาผลของการวางที่มีต่อทรัพยากรและพื้นที่ของผู้เล่นคนอื่น

ร่วมด้วย

ส่วนขั้นตอนการเล่นเกม

เน้นการกระทำที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์คุ้มค่าที่สุดในระยะยาว โดยมีหลักการคือ

1. การสร้างหมู่บ้าน พัฒนาเมือง และซื้อไฟฟ้าพิเศษ สิ่งที่เหมาะสมที่สุดคือเลือกกระทำ

ตามลำดับที่เขียน

2. อย่างไรก็ตาม การเลือกการกระทำต้องปรับตามแนวโน้มทรัพยากรที่ได้รับ
3. เลือกการกระทำเร่งด่วนเฉพาะหน้าที่จะส่งผลในระยะยาว
4. หลีกเลี่ยงการแข่งขัน ยกเว้นผู้เล่นแน่ใจว่าสามารถชนะการแข่งขันนั้นได้ด้วยต้นทุน

ที่ไม่สูงเกินไป

5. การกระทำที่ผู้เล่นสามารถเลือกได้เป็นตัวกำหนดความเร็วของผู้เล่นคนนั้น
6. โดยมีเงื่อนไขของการกระทำคือต้นทุนทรัพยากรที่ต้องจ่ายกับปริมาณที่มีจำกัด
7. ดังนั้นจึงสามารถลดทางเลือกของผู้เล่นลงได้ โดยกระทำให้เกิดผลลบต่อเงื่อนไข

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ออกแบบ

ทุกรอบของการทดสอบกำหนดจำนวนผู้เล่นไว้ที่ 4 คน

4.2.1 ทดสอบบนสถานการณ์คงที่ซ้ำหลายครั้งเพื่อตัดปัจจัยผันผวน



รูปที่ 4.2 กระดานมาตรฐานที่ใช้ทำการทดสอบ

ผลการทดสอบ 5 กระดาน

ชนะ 2 กระดาน

สัดส่วนการชนะ 40%

คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 7.8

4.2.2 ทดสอบบนบนกลุ่มสถานการณ์ที่ได้กำหนดไว้ แบ่งตามระดับความยากของเกม

1. ทดสอบกับสถานการณ์ระดับง่าย ที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์

จำนวนผลการทดสอบ 10 กระดาน

ชนะ 8 กระดาน

สัดส่วนการชนะ 80%

คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 9.5

2. ทดสอบกับสถานการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั่วไป ความยากอยู่ในระดับปานกลาง
จำนวนผลการทดสอบ 10 กระดาน

ชนะ 6 กระดาน

สัดส่วนการชนะ 60%

คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 8.8

3. ทดสอบกับสถานการณ์ที่ยากลำบาก ความยากอยู่ในระดับสูง

เงื่อนไขคือกระดานที่มีแนวของการผลิตทรัพยากรที่สำคัญ 3 ชนิดคือ หิน อิฐ และข้าว อยู่ในเกณฑ์น้อย การกระจายตัวของทรัพยากรที่ต้องใช้ร่วมกันคือ หิน-ข้าว และอิฐ-ไม้ อยู่ในตำแหน่งที่ไม่สมดุลกันส่งผลให้ไม่สามารถผลิตของที่ต้องใช้ร่วมกันได้ ในสัดส่วนที่เพียงพอคือ หิน:ข้าว (4:3) อิฐ:ไม้ (1:1) และตำแหน่งของทะเลทรายตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางกระดาน หากมีเงื่อนไขตามที่กล่าวข้างต้นอย่างน้อย 2 ใน 3 ข้อ จะถือได้ว่าเป็นกระดานนั้นเป็นสถานการณ์แบบยาก

จำนวนผลการทดสอบ 10 กระดาน

ชนะ 4 กระดาน

สัดส่วนการชนะ = 40%

คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 7.9

4.2.3 ทดสอบผลกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการทดสอบกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers

จำนวนผลการทดสอบ 20 กระดาน

ชนะ 17 กระดาน

สัดส่วนการชนะ 85%

คะแนนเฉลี่ย 9.7

สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบอัลกอริทึมเป็นไปตามข้อมูลในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดสอบ

รูปแบบการทดสอบ	สัดส่วนการชนะ	คะแนนเฉลี่ย
ทดสอบผลบนกระดานแบบเดียว	40%	7.8
ทดสอบผลบนกระดานแบบง่าย	80%	9.5
ทดสอบผลบนกระดานทั่วไป	60%	8.8
ทดสอบผลบนกระดานแบบยาก	40%	7.9
ทดสอบผลกับปัญญาประดิษฐ์ JSettlers	85%	9.7

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผล

จากการวิจัยเรื่อง การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน ได้มีผลสรุปแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. สรุปผล
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ปัญหาและอุปสรรค
4. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

สรุปผลเรื่องการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับช่วยตัดสินใจบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลการออกแบบอัลกอริทึมบนเกมกลยุทธ์นักบุกเบิกแห่งคาทาน

1. การหาแนวทางที่เหมาะสมโดยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพได้นำมาใช้เพื่อค้นหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดตามกติกาของเกม คือหาคำตอบสำหรับวิธีการทำคะแนนให้ถึง 10 คะแนน โดยใช้จำนวนรอบให้น้อยที่สุด ซึ่งจำนวนรอบของผู้เล่นนั้นแปรผกผันกับปริมาณทรัพยากรที่ได้รับ ดังนั้นการเพิ่มอัตราการผลิตทรัพยากรให้สูงที่สุดจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสม โดยต้องพิจารณาร่วมกับข้อกำหนดที่ระบุ

2. ผลการจำลองรูปแบบสถาปัตยกรรมจำลองของระบบมัลติเอเจนต์

ระบบมัลติเอเจนต์ที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อแบ่งส่วนสำคัญของปัญหาในเกมเพื่อให้สามารถพิจารณาปัญหาได้ง่ายขึ้น คือวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงคะแนนของผู้เล่นเป็นอันดับแรก โดยพิจารณาจากปัจจัยสำคัญที่เป็นต้นทุนคือทรัพยากร ซึ่งผู้เล่นจะนำทรัพยากรที่ได้ มาใช้สร้างสิ่งก่อสร้างบนกระดาน และซื้อไพ่พิเศษ โดยทั้งสองอย่างนี้มีผลทั้งโดยตรงต่อคะแนนที่เพิ่มขึ้นกับโดยอ้อมคือส่งผลต่อทรัพยากรในมือของผู้เล่น ทั้งนี้ไพ่พิเศษเป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่ส่งผลต่อการแพ้ชนะของผู้เล่น

3. ผลการระบุข้อกำหนดโดยวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล

สำหรับวิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โล ผู้วิจัยได้ผลลัพธ์คือข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับดำเนินกลยุทธ์ของเกมในส่วนของกาติดตั้งกระดานและการเล่นเกมจำนวนทั้งหมด 15 ข้อด้วยกัน

5.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมตามกลุ่มสถานการณ์ที่กำหนด

การทดสอบตามกลุ่มสถานการณ์ได้ผลลัพธ์ออกมาคือ กระดานที่ทดสอบซ้ำหลายรอบชนะ 40% ด้วยคะแนนเฉลี่ย 7.8 สถานการณ์แบบง่าย ชนะ 80% ด้วยคะแนนเฉลี่ย 9.5 สถานการณ์ทั่วไป ชนะ 60% ด้วยคะแนนเฉลี่ย 8.8 สถานการณ์แบบยากชนะ 40% ด้วยคะแนนเฉลี่ย 7.9 และการทดสอบกับปัญญาประดิษฐ์ ชนะ 85% ด้วยคะแนนเฉลี่ย 9.7

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 อัลกอริทึมที่ออกแบบ

อัลกอริทึมที่ออกแบบนั้นเลือกจากรูปแบบของเกมที่มีปัจจัยเกี่ยวข้องหลายตัวโดยมีปัจจัยหลักที่สำคัญที่สุดของเกม คือ ทรรศการ จึงต้องใช้การจำลองระบบมัลติเอเจนต์ในการแบ่งส่วนของปัญหาไล่เรียงตามลำดับความสำคัญ และใช้วิธีค้นหาต้นไม้แบบมอนติคาร์โลเพื่อกำหนดนโยบายเบื้องต้นในการตัดสินใจ โดยที่ไม่ประเมินผลไปยังจุดสิ้นสุดตั้งแต่ตอนเริ่มต้นเพราะไม่อาจคาดการณ์ความแปรปรวนได้ อาศัยการพิจารณาการกระทำลำดับถัดไปเมื่อถึงช่วงเวลาที่เหมาะสม

5.2.2 ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบทำให้ประเมินเบื้องต้นได้ว่าอัลกอริทึมที่ออกแบบมีประสิทธิภาพมากพอสำหรับการเล่นชนะในสถานการณ์ทั่วไป และมีแนวโน้มที่จะชนะสูงมากในสถานการณ์แบบง่าย ทั้งนี้ในสถานการณ์แบบยาก อัลกอริทึมดังกล่าวยังคงมีศักยภาพดีกว่าเกณฑ์เฉลี่ย เนื่องจากการวัดผลบนเกมที่มีผู้เล่น 4 คนนั้น อัตราเฉลี่ยการชนะของผู้เล่นแต่ละคนจะอยู่ที่ 25% อย่างไรก็ตาม หากสามารถวิเคราะห์ปัจจัยนอกกระดานที่ไม่สามารถคำนวณด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาประกอบการวางแผนได้ จะช่วยให้อัลกอริทึมมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพิ่มสัดส่วนการชนะของความยากในทุกระดับให้สูงขึ้น ไปจนถึงสามารถเอาชนะในสถานการณ์ของเกมที่มีความยากระดับสูงสุดได้

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

งานวิจัยชิ้นนี้ประสบปัญหาอย่างยิ่งยวดในแง่มุมมองที่เป็นเรื่องใหม่จึงมีผู้ที่ทำการศึกษาวิจัยเป็นจำนวนไม่มากนัก และงานวิจัยทั้งหมดล้วนดำเนินการขึ้นในต่างประเทศ ในประเทศไทยไม่เคยมีผู้ศึกษาวิจัยประเด็นนี้ในแง่มุมมองของงานวิจัยเชิงวิชาการมาก่อน ซึ่งทำให้มีอุปสรรคในการหาข้อมูลอ้างอิงและมาตรฐานการทดสอบเพื่อประเมินผล

อีกประการหนึ่งคือผู้ทำการวิจัยที่ผ่านมา เน้นหาคำตอบจากการปรับรูปแบบของงานหรือตัวต้นแบบที่มีอยู่แล้ว ด้วยการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์หรือดัดแปลงข้อกำหนดของอัลกอริทึมเดิมที่เขียนไว้ ซึ่งแม้จะได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ยังไม่ใช้การลงลึกไปที่โจทย์คณิตศาสตร์ในแง่มุมมองการเพิ่มประสิทธิภาพที่เน้นการหาคำตอบของค่าที่เหมาะสมที่สุดจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง อันเป็นรากฐานและหัวใจสำคัญของเกมกลยุทธ์

ประการสุดท้ายคือรูปแบบของเกมกลยุธรรู้จักบุกเบิกแห่งคาทอนั้น แม้ว่าจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าหมากรุกสากลหรือหมากล้อมในแง่ของการคิดคำนวณความเป็นไปได้ที่อาจเกิดขึ้น แต่ก็มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมากว่า ยิ่งไปกว่านั้นปัจจัยทางจิตวิทยาของผู้เล่นแต่ละคน ก็ไม่อาจหาคำตอบได้โดยง่ายด้วยเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ ทำให้ความสามารถของปัญญาประดิษฐ์สำหรับเกมกลยุธรรู้จักบุกเบิกแห่งคาทอนยังไม่อาจเทียบเคียงผู้เล่นที่เป็นมนุษย์ได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

ผลการดำเนินงานวิจัยทำให้ได้ผลลัพธ์ของอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และกรอบแนวทางในการดำเนินงานต่อ อย่างไรก็ตามการออกแบบอัลกอริทึมระดับสูงสุทธนั้นจำเป็นต้องประยุกต์ใช้หลักการของเมทริกซ์ 4 มิติสำหรับประเมินค่า ร่วมกับทฤษฎีเกมด้านการเจรจาต่อรอง

ทั้งนี้ยังมีประเด็นที่น่าสนใจประการหนึ่งที่ไม่สามารถทำการทดสอบได้คือ การทดสอบผลระหว่างอัลกอริทึมนี้ด้วยตัวเอง และการปรับอัลกอริทึมที่ออกแบบและใช้ประยุกต์ใช้บนเกมกลยุธรรู้จักบุกเบิกแห่งคาทอน ให้เป็นอัลกอริทึมสำหรับใช้งานทั่วไป (General Purpose Algorithm) ที่สามารถใช้ได้ทั่วไปโดยไม่ยึดติดกับกติกาของเกม และมีประสิทธิภาพในการประมวลผลคงที่

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] R. E. Korf, “*Does Deep-Blue use AI?*,” University of California, Los Angeles, 1997.
- [2] K. Teuber, “*Die Siedler Von Catan : Regelheft*,” Stuttgart, Germany: Kosmos Verlag, 1995.
- [3] Wikipedia, “*The Settlers of Catan*,” [Online]. Available from : <https://www.britannica.com/science/optimization>. [Accessed : May 15, 2019].
- [4] Quora, “*The Settlers of Catan (Board Game) : What are Some tips for Beginners?*,” [Online]. Available from : <https://www.quora.com/The-Settlers-of-Catan-board-game-What-are-some-tips-for-beginners>. [Accessed : April 7, 2019].
- [5] Ultraboardgames, “*Tips to win Catan*,” [Online]. Available from : <https://www.ultraboardgames.com/catan/tips.php>. [Accessed : April 8, 2019].
- [6] Target, “*Settlers of Catan Board Game*,” [Online]. Available from : <https://www.target.com/p/settlers-of-catan-board-game/-/A-10979101>. [Accessed : May 20, 2019].
- [7] S. J. Wright, “*Optimization*,” [Online]. Available from : <https://www.britannica.com/science/optimization>. [Accessed : April 30, 2019].
- [8] A. Tharinee, “*สถิติ*,” [Online]. Available from : <https://satiticpr.wordpress.com/สถิติ/>. [Accessed : April 7, 2019].
- [9] D. O. Sigmeund, “*Probability Theory*,” [Online]. Available from : <https://www.britannica.com/science/probability-theory>. [Accessed : April 5, 2019].
- [10] A. Dorri, S. S. Kanhere and R. Jurdak “*Multi-agent systems : a survey*,” *IEEE Access*, vol. 6, no. 3, pp. 28,573-28,593, April 30, 2018.
- [11] Cameron et al., “*A survey of monte carlo tree search methods*,” *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 4, no. 1, pp. 1-43, March 2012.
- [12] M. Pfeiffer, “*Reinforcement learning of strategies for Settlers of catan*,” In *Proceedings of the International Conference on Computer Games : Artificial Intelligence, Design and Education*, Reading, UK, March 9, 2004. pp. 124-126.
- [13] H. Saleem and R. R. Natiq, “*A Multi-Agent Player for Settlers of Catan*,” M.S. Thesis (Computer Science), Blekinge Institute of Technology, Ronneby, Sweden, 2008.

- [14] L. Branca, “A Multi-agent System Playing Settlers of Catan,” M.Eng. Thesis (Computer Engineering), Blekinge Institute of Technology, Blekinge, Sweden, 2007.
- [15] I. Szita et al., “Monte-carlo tree search in settlers of catan,” *Advances in Computer Games, 12th International Conference, ACG 2009*, Pamplona, Spain, May 11-13, 2009, pp. 21-32.
- [16] M. Guhe and A. Lascarides, “Game strategies for the settlers of catan,” *Computational Intelligence and Games, CIG 2014*, Dortmund, Germany, 26-29 August 2014, pp. 1-8.
- [17] K. Tuma, “Monte Carlo Tree Search with Thompson Sampling in the Settlers of Catan,” M.S. Thesis (Computer Science), University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia, 2016.
- [18] E. Karamalegkos, “Monte Carlo Tree Search in the “Settlers of Catan,” M.Eng. Thesis (Computer Engineering), Technical University of Crete, Crete, Greece, 2016.
- [19] K. P. Panousis, “Real-Time Planning and Learning in the Settlers of Catan,” M.Eng. Thesis (Computer Engineering), Technical University of Crete, Crete, Greece, 2013.
- [20] Wikipedia, “Probability Distribution,” [Online]. Available from : https://en.wikipedia.org/wiki/Probability_distribution. [Accessed : April 10, 2019].