



การวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS โดยวิธีสร้างแกนกลางเพื่อ
ปรับปรุงการตรวจหาทางแคบ

โดย

นายวิทยา บิดาแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS โดยวิธีสร้างแกนกลางเพื่อ
ปรับปรุงการตรวจหาทางแคบ

โดย

นายวิทยา บิดาแก้ว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



Terrain Analysis in RTS Game: An Axial-based Approach for
Improving Chokepoint Detection Method

BY

MR. WITTAYA BIDAKAEW



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (COMPUTER SCIENCE)

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นายวิทยา บิดาแก้ว

เรื่อง

การวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS โดยวิธีสร้างแกนกลางเพื่อปรับปรุงการตรวจหาทาง
แคบ

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
เมื่อ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

()
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวลักษณ์ วรรณภา)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

()
(รองศาสตราจารย์ ภาวดี สมภักดี)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

()
(ดร. ปกรณ์ ลิ้มสุทธิพรชัย)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

()
(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า)

คณบดี

()
(รองศาสตราจารย์ ปกรณ์ เสริมสุข)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS โดย วิธีสร้างแกนกลางเพื่อปรับปรุงการตรวจหาทางแคบ
ชื่อผู้เขียน	นายวิทยา บิดาแก้ว
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ภาวดี สมภักดี
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อผู้เล่นจำลองในเกมประเภทวางแผนการรบ เนื่องจากก่อให้เกิดความเข้าใจต่อลักษณะสำคัญของสมรภูมิ หรือภูมิประเทศซึ่งได้แก่ พื้นที่เปิด และ ช่องแคบ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการสร้างแกนกลาง เพื่อปรับปรุงการตรวจหาช่องแคบสามประเภท ได้แก่ ช่องแคบทางเดิน ช่องแคบของพื้นที่ปิด และ ช่องแคบแบบมีระยะทาง ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการเป็นภาพของกลุ่มพื้นที่เปิด ซึ่งถูกแบ่งออกจากกันด้วยช่องแคบ มีการแสดงตำแหน่งและทิศทางที่สำคัญของการแบ่งพื้นที่ โดยข้อมูลแผนที่ของงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นแผนที่แบบตาราง ความยากในการตรวจหาช่องแคบของพื้นที่ปิด และ ช่องแคบแบบมีระยะทาง สามารถจัดการได้ด้วยวิธีการสร้างแกนกลางของพื้นที่ เกิดเป็นโครงสร้างเส้นทางภายในพื้นที่ ทำให้งานวิจัยนี้สามารถตรวจหาช่องแคบทั้งสามประเภท ได้ดีกว่างานวิจัยที่เคยมีมาก่อน

คำสำคัญ: ช่องแคบแบบมีระยะทาง, การตรวจหาช่องแคบ, การแบ่งพื้นที่

Thesis Title	Terrain Analysis in RTS Game: An Axial-based Approach for Improving Chokepoint Detection Method
Author	Mr. Wittaya Bidakaew
Degree	Master of Science
Department/Faculty/University	Computer Science Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Pavadee Sompagdee
Academic Years	2015

ABSTRACT

Spatial information for autonomous agents in real-time strategy (RTS) games is essential for understanding important characteristics of the terrain environment such as open space regions and chokepoints. We propose an axial-based algorithm that automatically detects three types of chokepoints; corridors, enclosed space and area chokepoints. Results obtained are the colored-regions separated by chokepoints including the position and direction of significant information for region decomposition. Our terrain data is a map of any tile-based RTS games represented as a passability map. The difficulty on finding the enclosed space and area choke points is overcome by applying the medial axis computation to capture the intrinsic geometric structure of the regions. Our method has advantages over others since it can indicate corridor, enclosed space and area chokepoints.

Keywords: area chokepoint, chokepoint detection, region decomposition

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ภาวดี สมภักดี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมวิทยานิพนธ์ เป็นผู้จุดประกายหัวข้อวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาแนะนำ และแนวคิด ช่วยแก้ไขภาษาอังกฤษ ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา รวมถึงคอยช่วยสนับสนุนแนะนำผู้วิจัยในเรื่องของการลงทะเบียนเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการนานาชาติ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวลักษณ์ วรรณภา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ปรกรณ์ ลีสุทธิพรชัย รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชนน หงส์วริทธิ์ธร ผู้อำนวยการโครงการปริญญาโทภาคพิเศษ ที่ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ Mr. Iwamura Masanari ซึ่งเป็น CEO บริษัท Q Studios Co.,Ltd. ผู้เป็นเจ้าของนาย ได้อนุญาตให้ผู้วิจัยได้รับการกลางงานแบบไม่รับเงินเดือน เพื่อให้ผู้วิจัยใช้เวลาในการทำวิจัยได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้งานวิจัยมีความคืบหน้าและเห็นหนทางในการทำวิจัยได้อย่างชัดเจน รวมทั้งขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่บริษัท Q Studios Co.,Ltd. ที่ช่วยดูแลงานในความรับผิดชอบของผู้วิจัย เมื่อยามที่ผู้วิจัยลางาน และขอขอบคุณ Mr. Andrey Martinov ผู้เป็นเพื่อนร่วมงานที่ช่วยผู้วิจัยในเรื่องของการเตรียมตัวนำเสนอผลงานวิจัยภาษาอังกฤษ

ขอขอบคุณครอบครัวที่รัก คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาวที่คอยดูแลผู้วิจัยเป็นอย่างดี รวมถึงคนรักที่คอยเอาใจใส่ห่วงใยเสมอมา อีกทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

นายวิทยา บิดาแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 คำจำกัดความ	5
2.2 วิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้	6
2.2.1 Flood-fill	6
2.2.2 รูปแบบการวัดระยะทาง (Distance Metrics)	7
2.2.3 Distance Transform	8
2.2.4 การสร้างแกนกลางภาพวัตถุ ที่มีความกว้างขนาดหนึ่งจุดภาพ	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16

2.3.1 How Qualitative Spatial Reasoning Can Improve Strategy Game AIs. (Forbus et al, 2002)	16
2.3.2 RTS Terrain Analysis: An Image-Processing Approach. (Obelleiro et al, 2008)	18
2.3.3 Terrain Analysis in Real-Time Strategy Games: An Integrated Approach to Choke Point Detection and Region Decomposition. (Perkins, 2010)	21
2.3.4 Spatial Reasoning for Strategic Decision Making. (Dill, 2015)	26
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	29
3.1 การออกแบบระบบโดยรวม	29
3.2 รายละเอียดของขั้นตอนที่ได้ออกแบบ	30
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเข้าสู่ระบบ (Preparing Data)	30
A. Convert Input image to binary image	30
B. Load Input Map (Bmp file)	31
3.2.2 ขั้นตอนการสร้างเส้นทาง	31
A. Compute Distance Transform	32
B. การสร้างแกนกลางของพื้นที่ (Create Medial Axis)	33
C. การระบุจุดเชื่อมต่อและจุดปลายทาง (Mark Endpoint and Junction point)	34
D. Extract Path Information	37
E. การกำจัดเส้นทางที่ไม่จำเป็น (Clear Unnecessary path)	38
3.2.3 ขั้นตอนการสร้างข้อมูลพื้นที่	39
A. ขั้นตอนการตรวจหาช่องแคบ (Chokepoint Detection)	40
B. ขั้นตอนการแบ่งพื้นที่ (Separate Region)	44
C. การระบุหาช่องแคบแบบ Area Chokepoint	45
D. การระบายสี เพื่อระบุพื้นที่ Flood Region	47
E. การระบุจุดสำคัญ (hotspot)	48
3.3 การทดสอบการทำงานของขั้นตอนที่ได้ออกแบบ	49

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	52
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่า Threshold M ที่เหมาะสม	52
4.1.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Destination 1.1 จากค่า M ที่แตกต่างกัน	55
4.1.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Enarey 1.3 จากค่า M ที่แตกต่างกัน	56
4.1.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ God's Garden จากค่า M ที่แตกต่างกัน	57
4.1.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Longinus จากค่า M ที่แตกต่างกัน	58
4.1.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Rush Hour 3.1 จากค่า M ที่แตกต่างกัน	59
4.1.6 สรุปผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่า M ที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลอง	60
4.2 การวิเคราะห์ผลลัพธ์การตรวจหาช่องแคบ 3 ประเภท	61
4.2.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ L. Perkins	61
4.2.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ J. Obelleiro	63
4.2.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ K. D. Forbus	64
4.2.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ K. Dill	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปการศึกษาวิจัย	67
5.1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	67
5.1.2 วิธีศึกษาวิจัย	67
5.2 สรุปผลการทดลอง	70
5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต	71
รายการอ้างอิง	72
ประวัติผู้เขียน	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองของ L.Perkins	49
4.1 ผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ที่ได้จาก ค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$	54
4.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Destination 1.1 ที่ได้จาก ค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)	55
4.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Enarey 1.3 ที่ได้จาก ค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับ ผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)	56
4.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ God's Garden ที่ได้จาก ค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)	57
4.5 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Longinus ที่ได้จาก ค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับ ผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)	58
4.6 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Rush Hour 3.1 ที่ได้จาก ค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)	59
4.7 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากตารางที่ 4.2 ถึง 4.6	60
4.8 ตารางสรุปการเปรียบเทียบในแต่ละวิธีการ	66

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ภาพประกอบ ช่องแคบ3 ประเภท	2
2.1 ตัวอย่างอธิบายลักษณะช่องแคบของงานวิจัย	6
2.2 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างการเชื่อมต่อด้วยวิธี Flood-fill	7
2.3 (ด้านซ้าย) ข้อมูลภาพขาวดำเริ่มต้น (ด้านขวา) ข้อมูลผลลัพธ์จากการ ทำ Distance Transform โดยใช้การวัดระยะทางแบบหมากรุก (Chessboard Distance)	8
2.4 (ด้านซ้าย) ภาพวัตถุเริ่มต้น (ด้านขวา) ภาพผลลัพธ์จากการ ทำDistance Transform โดยใช้การวัดระยะทางจริง (Euclidian Distance)	8
2.5 ข้อมูลตัวอย่างในการอธิบายวิธีการทำ Distance Transform	10
2.6 ภาพแสดงการคำนวณตารางระยะทางผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ทำการพิจารณา	10
2.7 การคำนวณตารางระยะทางผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ทำการพิจารณา	11
2.8 ภาพอธิบายการอ้างอิงตำแหน่งของจุดภาพ	12
2.9 ตารางคำนวณระยะทางแบบยูคลิดประมาณการ สำหรับใช้อธิบายการทำงาน	12
2.10 ข้อมูลDistance Transform โดยใช้ตารางระยะทาง จากภาพที่ 2.9 จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)	13
2.11 ผลลัพธ์การหาแกนกลาง ด้วยวิธีการข้างต้น จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)	13
2.12 ตารางตรวจสอบลักษณะจุดที่ไม่สามารถลบได้ จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)	14
2.13 ผลลัพธ์หลังทำการตรวจไล่ความกว้างของแกนกลางในแนวแกนตั้งแต่ละคอลัมน์ จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)	15
2.14 ผลลัพธ์หลังทำการปรับแกนกลางให้มีขนาดกว้างหนึ่งจุดภาพ จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)	16
2.15 a). ภาพข้อมูลแผนที่เริ่มต้น b). รูปแสดงการสร้างแผนภูมิไวโรนอย c). ภาพผลลัพธ์การหาพื้นที่เปิด และ ทางเดินแคบ จาก (Forbus, K. D Mahoney, J. V and Dill K, 2002)	17
2.16 ภาพตัวอย่างการกำจัดสัญญาณรบกวน ของ passability map จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008)	18
2.17 ภาพแสดงขั้นตอนการตรวจหาพื้นที่เปิด และ พื้นที่ช่องแคบ จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008)	19

2.18 ภาพผลลัพธ์ตัวอย่างที่ใช้คาร์ตมิในการตรวจจับช่องแคบต่างๆ	20
A) 20 จุดภาพ, B) 23 จุดภาพ, C) 26 จุดภาพ, D) 29 จุดภาพ จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008)	
2.19 ภาพผลลัพธ์ตัวอย่างการทดสอบที่ใช้คาร์ตมิในการตรวจจับช่องแคบต่างๆ	21
A) 20 จุดภาพ, B) 26 จุดภาพ, C) 27 จุดภาพ	
2.20 ภาพแสดงแผนภูมิไวโรนอย หลังกำจัดส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป จาก (Perkins L, 2010)	23
2.21 ภาพแสดงการระบุโนดของกลุ่มพื้นที่ ด้วยเครื่องหมายจุดวงกลม	23
จาก (Perkins L, 2010)	
2.22 ภาพแสดงการระบุโนดช่องแคบ ด้วยเครื่องหมายจุดสามเหลี่ยม	24
จาก (Perkins L, 2010)	
2.23 ภาพแสดงการระบุโนดช่องแคบ และ กลุ่มพื้นที่หลังจากทำการรวมพื้นที่	25
จาก (Perkins L, 2010)	
2.24 ภาพแสดงผลลัพธ์ เมื่อทำการกั้นพื้นที่ ณ ตำแหน่งโนดช่องแคบ	25
และสร้างเป็นโพลีกอนของกลุ่มพื้นที่ จาก (Perkins L, 2010)	
2.25 ภาพตัวอย่างการสร้าง Region ของ Kohan II จาก (Dill K, 2015)	26
2.26 ภาพตัวอย่างอธิบายการตรวจหา Chokepoint จาก (Dill K, 2015)	27
3.1 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมของการทดลอง	29
3.2 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมในการเตรียมข้อมูลเข้าสู่ระบบ	30
3.3 ภาพตัวอย่างแผนที่ที่ใช้ทดลอง	31
3.4 ภาพแสดงข้อมูลในแต่ละจุดภาพขาว-ดำ	31
3.5 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมในการสร้างเส้นทาง	32
3.6 ภาพผลลัพธ์การทำ Distance Transform	33
3.7 ภาพแผนที่ และ แกนกลางขนาดกว้าง 1 จุดภาพ	34
3.8 ภาพตัวอย่างจุดเชื่อมต่อ	35
3.9 ภาพตัวอย่างจุดปลายทาง	36
3.10 ภาพตัวอย่างแสดงการระบุจุดปลายทาง และจุดเชื่อมต่อ	37
3.11 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะของเส้นทางปลาย และเส้นทางหลัก	37
3.12 ภาพแกนกลางแผนที่ ก่อน และ หลังทำการกำจัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกไป	39
3.13 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมในการสร้างข้อมูลพื้นที่	40
3.14 ภาพตัวอย่าง ข้อมูลเส้นทาง เมื่อสร้างเป็นกราฟเส้น	41

3.15 ภาพตัวอย่าง ข้อมูลความกว้างของเส้นทาง เมื่อทำการ กำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองเฉลี่ยค่าขนาด 19 หน่วย	41
3.16 Pseudo Code แสดงกระบวนการหาช่องแคบในแต่ละเส้นทาง	43
3.17 ภาพจำลองแสดงกระบวนการหาช่องแคบของแต่ละเส้นทาง ในรูปแบบกราฟเส้นที่ได้จากภาพที่ 3.15	44
3.18 ภาพตัวอย่างการลากเส้นแบ่งพื้นที่ ณ ตำแหน่งช่องแคบ	45
3.19 ภาพจำลองกระบวนการระบุหาช่องแคบแบบพื้นที่ของแต่ละเส้นทาง จากตำแหน่งช่องแคบที่ได้จากภาพที่ 3.17 ในรูปแบบกราฟเส้น	46
3.20 ภาพแสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อให้ได้ช่องแคบแบบพื้นที่ที่มีลักษณะเหมาะสม	47
3.21 ภาพตัวอย่างผลลัพธ์การขยายระยะทางของช่องแคบ เพื่อสร้างช่องแคบแบบพื้นที่	47
3.22 ภาพตัวอย่าง ภาพผลลัพธ์ตัวอย่างของงานวิจัย	49
3.23 ภาพแสดงผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ จากการทดลองของ Perkins (2010). จาก (Perkins L, 2010)	50
3.24 ภาพแสดงผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ของ Forbus et al. (2002), Obelleiro et al. (2008) 51 และ Dill (2015) ตามลำดับ จาก (Forbus, K. D Mahoney, J. V and Dill K, 2002) จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008) และ จาก (Dill K, 2015)	
4.1 ภาพประกอบ ข้อมูลภาพแผนที่ขาว-ดำที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่า M	53
4.2 ผลลัพธ์ของแผนที่ Destination 1.1 ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย	61
4.3 ผลลัพธ์ของแผนที่ Enarey 1.3 ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย	62
4.4 ผลลัพธ์ของแผนที่ God's Garden ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย	62
4.5 ผลลัพธ์ของแผนที่ Longinus ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย	62
4.6 ผลลัพธ์ของแผนที่ Rush Hour 3.1 ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย	63
4.7 ผลลัพธ์ของแผนที่ที่ได้จากวิธีการของ Obelleiro et al. (2008) และ วิธีการของงานวิจัย	63
4.8 ผลลัพธ์ของการทดลองวิธีการ Obelleiro et al. (2008) ที่เกิดปัญหา และ วิธีการของงานวิจัย	64

4.9	ผลลัพธ์ของแผนที่ที่ได้จากวิธีการของ Forbus et al. (2002) และวิธีการของงานวิจัย	64
4.10	ภาพตัวอย่างพื้นที่ที่มีลักษณะช่องแคบแบบทางแยก (ซ้าย) และภาพตัวอย่างการแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบแบบทางแยก (ขวา)	65
4.11	ผลลัพธ์ของแผนที่ที่ได้จากวิธีการของ Dill (2015) และ วิธีการของงานวิจัย	65
5.1	แสดงลักษณะการหาช่องแคบแบบมีพื้นที่ที่เหมาะสม	70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เกม คือ สิ่งจำลองที่มีกฎในการเล่นและมีองค์ประกอบที่หลากหลาย แตกต่างกันไปในแต่ละเกม จุดประสงค์หลักของการเล่นเกม คือการเล่นเพื่อความสนุกสนานและความบันเทิง ซึ่งในบางครั้งเกมก็ถูกสร้างขึ้นเพื่อการฝึกฝนทักษะและการเรียนรู้ด้วยเช่นกัน

วิดีโอเกม คือเกมอิเล็กทรอนิกส์ที่มนุษย์ส่งคำสั่งการควบคุมผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า อุปกรณ์ควบคุมเกม (Game controller) และแสดงผลฟีดแบ็กที่อุปกรณ์วิดีโอ หรืออุปกรณ์แสดงผลภาพใดๆก็ได้ ตัวอย่างเช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นวิดีโอเกม หรือแม้กระทั่งอุปกรณ์มือถือขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน เป็นต้น ในปัจจุบันวิดีโอเกมได้พัฒนาไปจนกลายเป็นอุตสาหกรรม งานศิลปะ และงานวิจัย

รูปแบบเกมที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภท เช่น เกมแอคชั่น (Action Game) เกมเล่นตามบทบาท (Role-Playing Game: RPG) เกมการจำลอง (Simulation Game) เกมวางแผนการรบ (Strategy Game) ฯลฯ สำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสนใจใน เกมวางแผนการรบประเภทตอบสนองแบบทันทีกาล(Real-time Strategy Games: RTS) ซึ่งเป็นเกมวางแผนการรบประเภทหนึ่งที่มีความนิยมมาเป็นเวลานาน ตัวอย่างเกมประเภทนี้ได้แก่ Command & Conquer series (ค.ศ.1995-2013), StarCraft series (ค.ศ.1998-2010), Warcraft series(ค.ศ. 1994-2016) เป็นต้น ในรูปแบบเกม RTS ผู้เล่นจะรับบทบาทเป็นผู้บัญชาการรบ ควบคุมกองทัพ เก็บเกี่ยวทรัพยากรเพื่อสร้างกองทัพ และวางกลยุทธ์เพื่อใช้เข้ายึดแหล่งทรัพยากร โจมตีฐานที่มั่นของฝ่ายตรงข้าม ป้องกันฐานที่มั่นของตนเอง สร้างและควบคุมสิ่งก่อสร้าง เช่น โรงผลิตทหาร ป้อมปืน ฯลฯ รวมถึงยูนิตต่างๆเพื่อใช้ในการรบ เช่น ทหาร รถถัง ยานอวกาศ ฯลฯ ยูนิตและสิ่งก่อสร้างเหล่านี้จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามลักษณะของแต่ละเกม

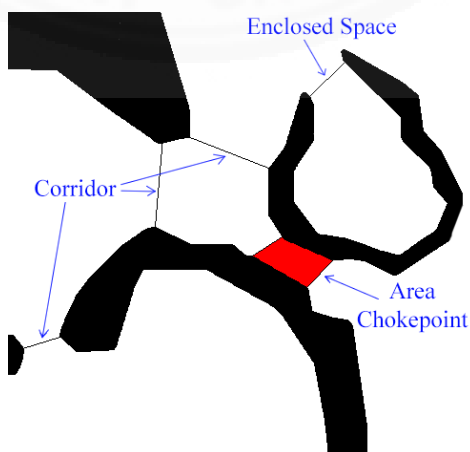
การวางกลยุทธ์ในการรบ เป็นส่วนสำคัญหนึ่งของการเล่นเกมวางแผนการรบ ซึ่งความเข้าใจต่อลักษณะพื้นที่จะเป็นปัจจัยที่คอยสนับสนุนต่อการวางกลยุทธ์เพื่อบุกโจมตีเข้ายึดพื้นที่และการวางแผนเพื่อป้องกันฐานที่มั่น บริเวณที่มีการบีบบังคับเส้นทางในการเคลื่อนที่ ทำให้การเคลื่อนที่ของกลุ่มยูนิตกองกำลังเคลื่อนที่ผ่านได้ยากหรือทำให้เคลื่อนที่ได้ช้าลง เรียกบริเวณนี้ว่า ช่องแคบ

(Chokepoint) เป็นลักษณะพื้นที่ที่สำคัญในเกมวางแผนการรบทุกๆเกม เนื่องจาก การจัดวางกองกำลัง ป้องกันบริเวณช่องแคบในการป้องกันฐานที่มั่นจากการโจมตีของศัตรู จะช่วยให้การป้องกันทำได้ อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะลักษณะช่องแคบจะช่วยในการจำกัดพื้นที่และทิศทางการบุกโจมตีของ ศัตรู ในส่วนของการโจมตี การทราบถึงเส้นทางและลักษณะพื้นที่จะช่วยให้การตัดสินใจจัดกองกำลัง เพื่อทำการโจมตีได้อย่างเหมาะสมกับเส้นทางที่เลือกในการทำการโจมตี

จากความสำคัญของลักษณะพื้นที่ดังกล่าว การตัดสินใจของAI สำหรับเกมวางแผนการรบ จำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นที่ที่ถูกต้อง เพื่อช่วยให้AI สามารถทำการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ได้อย่างเหมาะสม ต่อลักษณะของพื้นที่ เช่น ตำแหน่งในการวางยูนิตป้องกัน การเลือกเส้นทางให้ยูนิตเคลื่อนที่ หรือ โจมตี ฯลฯ ดังนั้น การวิเคราะห์หาบริเวณช่องแคบ (Chokepoint) เป็นสิ่งจำเป็นต่อการสร้าง โครงสร้างข้อมูลพื้นที่

งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอวิธีการในการตรวจหาช่องแคบ โดยใช้หลักการ “ลักษณะการ เปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางเมื่อเคลื่อนที่ผ่าน” ซึ่งงานวิจัยนี้นำเสนอลักษณะของช่องแคบ สามประเภท ได้แก่ ช่องแคบทางเดิน(Corridor) ช่องแคบของพื้นที่ปิด(Enclosed Space) ตาม ลักษณะเดียวกับงานวิจัยที่มีผู้ดำเนินการอยู่แล้ว และ เสนอวิธีการการตรวจสอบช่องแคบอีกประเภท เพิ่มขึ้น ได้แก่ ช่องแคบแบบมีพื้นที่(หรือมีระยะทาง)(Area Chokepoint)

คำจำกัดความของลักษณะช่องแคบทางเดิน และช่องแคบของพื้นที่ปิดนั้นได้ถูกกล่าวถึงใน งานวิจัยของ Perkins (2010) แล้ว ส่วนคำจำกัดความของช่องแคบแบบมีพื้นที่สำหรับงานวิจัยนี้คือ ช่องแคบทางเดิน หรือช่องแคบของพื้นที่ปิดใดๆ ที่มีระยะทางก่อให้เกิดลักษณะเป็นพื้นที่ ดังแสดงใน บริเวณพื้นที่สีแดง จากภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ภาพประกอบ ช่องแคบ3 ประเภท

ในการตรวจหาช่องแคบดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการใช้อัตราเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางต่อระยะทางในการเคลื่อนที่ต่ำสุด (Minimum Ratio) ที่ใช้ในการตรวจหาช่องแคบ เพื่อให้ได้ลักษณะช่องแคบที่เหมาะสม และทำการแบ่งพื้นที่ออกจากกันด้วยช่องแคบที่ตรวจหาได้ ต่อจากนั้นจึงสร้างผลลัพธ์เป็นภาพข้อมูลพื้นที่

ข้อมูลพื้นที่ในการทดลอง(Input Map) นำมาจาก <https://code.google.com/p/bwta/> Perkins (2010) และสกัดจากภาพตัวอย่างในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ “How Qualitative Spatial Reasoning Can Improve Strategy Game AIs.” (Forbus, Mahoney & Dill, 2002), “RTS Terrain Analysis: An Image-Processing Approach” (Obelleiro, Sampedro & Cerpa, 2008) และ “Spatial Reasoning for Strategic Decision Making” (Dill, 2015) แปลงเป็นภาพแผนที่ขาวดำ เมื่อผ่านกระบวนการทดลองของงานวิจัย จะได้ภาพผลลัพธ์เป็นภาพแผนที่สี ที่มีการแบ่งพื้นที่ออกจากกันด้วยเส้นกัน ณ ตำแหน่งที่เป็นช่องแคบ หรือ แบ่งด้วยพื้นที่ของช่องแคบ

การวัดผลจะทำได้โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ กับผลลัพธ์จากวิธีการแบ่งพื้นที่ออกจากกันด้วยช่องแคบของ Perkins (2010) ผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Forbus et al. (2002) ผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Obelleiro et al. (2008) และผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Dill (2015)

ดังนั้นสรุปเบื้องต้นได้ว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการนำเสนอวิธีการในการตรวจหาช่องแคบสามประเภท เพื่อใช้ในการแบ่งพื้นที่ ซึ่งระบบรับข้อมูลเริ่มต้นเป็นภาพขาวดำ เมื่อผ่านกระบวนการของงานวิจัยแล้ว จะได้ภาพผลลัพธ์ของการแบ่งพื้นที่ด้วยตำแหน่งของช่องแคบประเภทต่างๆ และทำการวัดความถูกต้องของการตรวจหาช่องแคบ และวิเคราะห์ผล จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทดลองนี้กับผลลัพธ์จากวิธีการของ Perkins (2010), Forbus et al. (2002), Obelleiro et al. (2008) และ Dill (2015)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ตรวจสอบช่องแคบ3 ประเภทจากข้อมูลภาพแผนที่ชาวดำ
- 1.2.2 สร้างภาพข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยการแยกลักษณะพื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ออกจากกันด้วยช่องแคบแต่ละประเภท
- 1.2.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ เพื่อวิเคราะห์ข้อเด่นข้อด้อยของวิธีการในงานวิจัย กับวิธีของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การทดลองใช้ข้อมูลแผนที่ภาพชาวดำ ของเกม Starcraft จากงานวิจัยของ Perkins (2010) รวมถึงใช้ข้อมูลภาพแผนที่ตัวอย่างจากวิธีการของ Forbus et al (2002), Obelleiro et al. (2008) และ Dill (2015) เป็นข้อมูลพื้นที่เริ่มต้นในการทดลองของงานวิจัยเท่านั้น
- 1.3.2 วิธีการของงานวิจัยรองรับเพียงลักษณะพื้นที่ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- 1.3.3 ผลลัพธ์ของงานวิจัย เป็นเพียงภาพผลลัพธ์ที่ทำการแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ไม่มีการสร้างระบบAI ที่นำผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยไปใช้งาน

1.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 วิธีการตรวจหาบริเวณช่องแคบ3 ประเภท จากภาพแผนที่ชาวดำ
- 1.4.2 ได้แนวทางวิธีการในการตรวจหาช่องแคบในระบบจุดภาพ จากข้อมูลตารางใดๆ ที่สามารถแปลงค่าข้อมูลเป็น 0 และ 1 ได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการวิจัยวิธีการแบ่งแยกพื้นที่ (Terrain decomposition) ของข้อมูลภาพแผนที่ขาวดำ ด้วยบริเวณช่องแคบ ซึ่งองค์ประกอบสำคัญของกระบวนการ คือวิธีการค้นหาเส้นทางในการเคลื่อนที่ และวิธีการตรวจหาช่องแคบจากข้อมูลเส้นทางในแผนที่

เนื้อหาที่นำเสนอในส่วนนี้ประกอบด้วย คำจำกัดความ วิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีการตรวจหาช่องแคบ

2.1 คำจำกัดความ

การให้ความหมายของคำ (Word and Definition) เพื่อความเข้าใจในส่วนถัดไปของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

- Terrain หรือ Map

คือ สภาพภูมิประเทศ หรือ ฉากในเกม RTS โดยทั่วไปแล้ว ลักษณะข้อมูลแผนที่สำหรับเกม RTS จะมีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ แผนที่ที่กำหนดรูปแบบเป็นตาราง (Tile-based map) และ แผนที่ที่ไม่ได้มีการกำหนดรูปแบบใดๆ (Arbitrary poly map) ซึ่งข้อมูลแผนที่สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ จะเป็นแผนที่ที่กำหนดรูปแบบเป็นตาราง

- Cell หรือ Tile

คือ ช่องในตารางหรือในแผนที่แบบตาราง

- Region

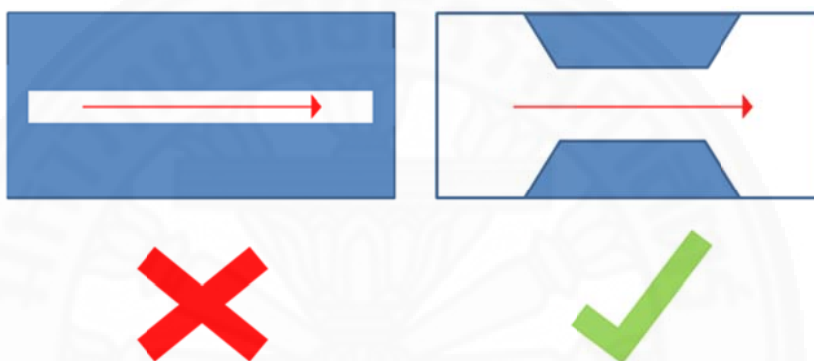
คือ บริเวณพื้นที่เปิด สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง หรือช่องแคบ

- Game zone, หรือ Free space

คือ คำเรียกกลุ่มของพื้นที่ที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งยูนิตสามารถเคลื่อนที่อยู่ภายในได้อย่างสะดวกโดยไม่มีสิ่งใดกีดขวางใดๆ

- Chokepoint

คือ ช่องแคบหรือบริเวณเส้นทางที่ถูกบีบบังคับด้วยลักษณะของพื้นที่ที่ทำให้การเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนั้นเป็นไปได้อย่างช้า หรือลำบาก สำหรับงานวิจัยนี้ ช่องแคบคือเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงของความกว้างแบบแคบลงและกว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าแม้ภาพตัวอย่างด้านซ้ายนั้นมิได้มีเส้นทางที่แคบกว่าภาพด้านขวา แต่ไม่ระบุเป็นช่องแคบเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทาง ในขณะที่ภาพตัวอย่างด้านขวานั้นมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทาง



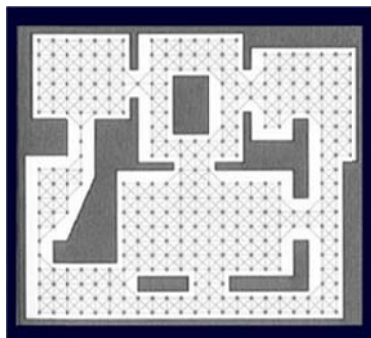
ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างอธิบายลักษณะช่องแคบของงานวิจัย

2.2 วิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้

วิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

2.2.1 Flood-fill

อัลกอริทึมที่กำหนดการเชื่อมต่อของพื้นที่ ในอาร์เรย์หลายมิติ มักถูกใช้เป็นวิธีการในการระบายสี หรือเติมสีลงไปในบริเวณที่เป็นพื้นที่เดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือการสร้าง Connection ระหว่างช่องตาราง เรียกว่า Connection graph ด้วยวิธีนี้ จะสามารถสร้างโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละพิกัดในตารางได้ ดังในภาพที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อกันของพื้นที่สีขาวหรือ พื้นที่ที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างการเชื่อมต่อด้วยวิธี Flood-fill

2.2.2 รูปแบบการวัดระยะทาง (Distance Metrics)

ก่อนจะกล่าวถึงวิธีการหาแกนกลางภาพของวัตถุด้วยวิธีการกรองข้อมูล Distance Transform จำเป็นต้องกล่าวถึงวิธีการคำนวณระยะทางในระบบจุดภาพที่สำคัญ มีดังนี้

Euclidean Distance

การคำนวณระยะทางแบบยูคลิด หรือระยะทางจริง มีสมการในการคำนวณระยะทาง ระหว่างจุดภาพ สองจุด ที่ตำแหน่ง (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เป็นดังนี้

$$\text{Distanced}_{Euclid} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Manhattan Distance

การคำนวณระยะทางจากการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงระหว่างจุดภาพ โดยไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวทแยงได้ มีสมการในการคำนวณระยะทาง ระหว่างจุดภาพสองจุด ที่ตำแหน่ง (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เป็นดังนี้

$$\text{Distanced}_{City} = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|$$

Chessboard Distance

เป็นการคำนวณระยะทางเสมือนการเคลื่อนที่ของตัวพระราชาในหมากรุก นั่นคือการวัดระยะโดยการเคลื่อนที่ระหว่างจุดภาพ โดยเคลื่อนที่ได้ทั้งแนวเส้นตรงและแนวทแยง มีสมการในการคำนวณระยะทาง ระหว่างจุดภาพสองจุด ที่ตำแหน่ง (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เป็นดังนี้

$$\text{Distanced}_{Chess} = \max(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|)$$

2.2.3 Distance Transform

เป็นการประมวลผลภาพขาวดำ (Binary images) เรียกพื้นที่สีขาวว่าฉากหน้า (Foreground) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีวัตถุ และ พื้นที่สีดำว่าฉากหลัง (Background) ผลลัพธ์ที่ได้คือ ภาพไล่ระดับเทา ที่ความสว่างในแต่ละจุดภาพ แสดงถึงระยะทางจากขอบวัตถุที่ใกล้ที่สุด จุดที่สว่างที่สุดคือจุดที่อยู่ห่างจากขอบวัตถุมากที่สุด ซึ่งภาพที่ 2.3 แสดงถึงตัวอย่างการคำนวณระยะทางจากขอบวัตถุ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลระยะทางที่น้อยที่สุดในแต่ละจุดภาพไปยังขอบวัตถุ ในขณะที่ภาพที่ 2.4 แสดงผลลัพธ์ของการทำ distance transform ในรูปของค่าความสว่าง

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

→

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	2	2	2	2	1	1	0
0	1	2	3	3	2	1	1	0
0	1	2	2	2	2	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 2.3 (ด้านซ้าย) ข้อมูลภาพขาวดำเริ่มต้น (ด้านขวา) ข้อมูลผลลัพธ์จากการทำ Distance Transform โดยใช้การวัดระยะทางแบบหมากรุก (Chessboard Distance)



ภาพที่ 2.4 (ด้านซ้าย) ภาพวัตถุเริ่มต้น (ด้านขวา) ภาพผลลัพธ์จากการทำ Distance Transform โดยใช้การวัดระยะทางจริง (Euclidian Distance)

- วิธีการทำDistance Transform

การทำ Distance Transform สามารถทำได้หลายวิธี โดยปกติจะทำการหาระยะทางจากตำแหน่งที่พิจารณาไปยังขอบวัตถุทุกตำแหน่ง และนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาระยะทางไปยังขอบวัตถุที่ใกล้ที่สุด ซึ่งจะใช้การคำนวณอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้อ้างอิงวิธีการทำ Distance Transform จาก Distance transformations in digital images (Borgefors , 1986)

วิธีการดังกล่าว ใช้การวัดระยะแบบประมาณการ โดยไม่จำเป็นต้องทำการคำนวณเพื่อหาระยะทางจากทุกๆตำแหน่งของขอบวัตถุต่อหนึ่งตำแหน่งที่กำลังพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบหาระยะทางที่ใกล้ขอบวัตถุที่สุด มีวิธีการดังนี้

กำหนดตารางระยะทาง (Distance Matrix) ตามรูปแบบการคำนวณระยะทางที่ต้องการใช้ ซึ่งได้แก่ แบบEuclidean Distance แบบManhattan Distance และ แบบChessboard Distance ตามที่ได้กล่าวไว้ในเนื้อหาก่อนหน้านี้ ในแต่ละวิธีการคำนวณระยะทาง สามารถกำหนดเป็นตารางการคำนวณระยะทางได้ดังต่อไปนี้

- Approximate Euclidean Distance Matrix

2.8	2.1969	2	2.1969	2.8
2.1969	1.4	1	1.4	2.1969
2	1	0	1	2
2.1969	1.4	1	1.4	2.1969
2.8	2.1969	2	2.1969	2.8

- City Block Distance Matrix หรือ Manhattan Distance Matrix

2	1	2
1	0	1
2	1	2

- Chessboard Distance Matrix

1	1	1
1	0	1
1	1	1

กำหนดค่าเริ่มต้นในทุกๆจุดภาพวัตถุ ให้มีค่าระยะทางเป็น Infinity และ ทุกๆจุดภาพพื้นหลัง ให้มีค่าระยะทางเริ่มต้นเป็นศูนย์

การคำนวณจะทำได้โดยการนำตารางระยะทางไปทำการพิจารณาในทุกๆตำแหน่งจุดภาพ จากด้านซ้ายบนไปทางขวาล่าง และทำย้อนกลับจากด้านขวาล่างไปยังซ้ายบน ดังนี้

0	1	2	0	0	0
0	3	1	15	999	999
0	10	7	12	999	999
0	0	8	33	999	999
0	0	0	999	999	999
0	999	999	999	999	999

ภาพที่ 2.5 ข้อมูลตัวอย่างในการอธิบายวิธีการทำ Distance Transform

2+7	1+7	2+7	→	9	8	9
1+7	0+7	1+7		8	7	8
2+7	1+7	2+7		9	8	9

ภาพที่ 2.6 ภาพแสดงการคำนวณตารางระยะทางผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ทำการพิจารณา

จากภาพที่ 2.5 เป็นข้อมูลตัวอย่าง และภาพที่ 2.6 แสดงการคำนวณระยะทางด้วย City Block Distance Matrix เมื่อกำลังทำการพิจารณา ณ ตำแหน่งที่มีค่าระยะทาง เท่ากับเจ็ด (ตำแหน่งที่ระบุในวงกลม) โดยนำค่าดังกล่าว บวกกับทุกๆค่าในตารางระยะทาง เพื่อหาตารางระยะทางผลลัพธ์ จากตำแหน่งที่พิจารณา

เมื่อได้ตารางระยะทางผลลัพธ์จากตำแหน่งที่กำลังทำการพิจารณาแล้ว จะทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางกับตำแหน่งนั้น หากค่าระยะทางปัจจุบัน ณ ตำแหน่งที่ทับกัน มีค่ามากกว่า ระยะทางจากตารางผลลัพธ์ จะทำการปรับค่า ณ ตำแหน่งนั้น ให้เท่ากับค่าระยะทางจากตารางผลลัพธ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.7

0	1	2	0	0	0
0	3	1	15 > 9	999	999
0	10 > 8	7	12 > 8	999	999
0	0	8	33 > 9	999	999
0	0	0	999	999	999
0	999	999	999	999	999

→

0	1	2	0	0	0
0	3	1	9	999	999
0	8	7	8	999	999
0	0	8	9	999	999
0	0	0	999	999	999
0	999	999	999	999	999

ภาพที่ 2.7 การคำนวณตารางระยะทางผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ทำการพิจารณา

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าว จะได้ผลลัพธ์เป็นตารางที่เก็บค่าระยะทางที่ใกล้กับขอบวัตถุที่สุด ตามรูปแบบการคำนวณระยะทางที่กำหนด

2.2.4 การสร้างแกนกลางภาพวัตถุ ที่มีความกว้างขนาดหนึ่งจุดภาพ

วิธีการสร้างแกนกลางของภาพวัตถุจากข้อมูล Distance Transform และทำการปรับขนาดแกนกลางให้มีความกว้างเท่ากับหนึ่งจุดภาพ Medial Axis Transformation with SinglePixel and Connectivity Preservation Using Euclidean Distance Computation (Shih & Pu, 1990) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การทำแกนกลางจากข้อมูล Distance Transform

เมื่อได้ข้อมูลผลลัพธ์จากการทำ Distance Transform แล้ว จะทำการไล่ตรวจทุกๆจุดภาพ ซึ่งกำหนดให้ P คือตำแหน่งตรงกลาง ที่ล้อมรอบด้วย จุดภาพแปดตำแหน่งได้แก่ P1, P2, ... , P8 เริ่มจากตำแหน่งทางขวา ไล่ไปทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในภาพที่ 2.8

P ₄	P ₃	P ₂
P ₅	P	P ₁
P ₆	P ₇	P ₈

ภาพที่ 2.8 ภาพอธิบายการอ้างอิงตำแหน่งของจุดภาพ

จะทำการตรวจสอบตำแหน่งที่ติดกับ P ทั้ง 8 ตำแหน่ง หากเป็นไปตามเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่ง P จะถูกกำหนดให้เป็นจุดแกนกลาง หากไม่ตรงตามเงื่อนไขใดๆ P จะไม่ใช่จุดแกนกลาง และถูกปรับค่าระยะทางเป็นศูนย์ ซึ่งเงื่อนไขในการตรวจสอบ ณ ตำแหน่ง P เป็นดังนี้

กำหนด E(P) คือ ค่าระยะทาง ณ ตำแหน่ง P

$$[E(P) \geq \max\{E(P_1), E(P_5)\}] \ \& \ [E(P) \neq \min\{E(P_1), E(P_5)\}] \tag{1}$$

$$[E(P) \geq \max\{E(P_3), E(P_7)\}] \ \& \ [E(P) \neq \min\{E(P_3), E(P_7)\}] \tag{2}$$

$$[E(P) \geq \max\{E(P_2), E(P_6)\}] \ \& \ [E(P) \neq \min\{E(P_2), E(P_6)\}] \tag{3}$$

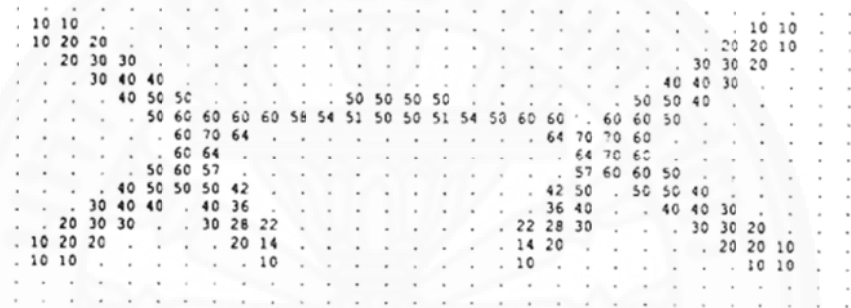
$$[E(P) \geq \max\{E(P_4), E(P_8)\}] \ \& \ [E(P) \neq \min\{E(P_4), E(P_8)\}] \tag{4}$$

28	22	20	22	28
22	14	10	14	22
20	10	0	10	20
22	14	10	14	22
28	22	20	22	28

ภาพที่ 2.9 ตารางคำนวณระยะทางแบบยุคลิดประมาณการ สำหรับใช้อธิบายการทำงาน



ภาพที่ 2.10 ข้อมูลDistance Transform โดยใช้ตารางระยะทาง จากภาพที่ 2.9 จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)



ภาพที่ 2.11 ผลลัพธ์การหาแกนกลาง ด้วยวิธีการข้างต้น จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)

จากภาพที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลระยะทางที่ใกล้กับขอบวัตถุที่สุดในแต่ละจุดภาพ ที่ได้จากการบวนการทำ Distance transform ในหัวข้อ 3.3 ด้วยตารางคำนวณระยะทางแบบยูคลิด ประมาณการ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 และได้ผลลัพธ์ของการหาแกนกลางดังแสดงในภาพที่ 2.11

- การปรับแกนกลางให้มีความกว้างขนาด 1 จุดภาพ

จากภาพที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าแกนกลางของวัตถุที่หาได้ มีความกว้างมากกว่าหนึ่งจุดภาพ ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับให้แกนกลางมีขนาดกว้างเพียงหนึ่งจุดภาพ โดยที่ยังคงลักษณะของการเชื่อมต่อของแกนกลางไว้ ดังนี้

หลักการทำงาน คือ การเคลื่อนที่ตรวจสอบความกว้างของแกนกลางในแต่ละแนว โดยกำหนดให้

w คือ จำนวนจุดภาพที่ติดกันตามแนวที่เคลื่อนที่ เปรียบเหมือนเป็นความกว้างของแกนกลาง

จุดปลาย (The end point) คือ จุดแกนกลางที่มีค่าระยะทางเท่ากับหนึ่ง และ จุดภาพที่มีตำแหน่งติดกับจุดนั้นรอบด้านแปดทิศ มีค่าระยะทางเท่ากับศูนย์อย่างน้อยหกตำแหน่ง

จุดปลอดภัยในการลบ (The safe point) คือจุดแกนกลางที่สามารถลบทิ้งได้โดยไม่กระทบกับลักษณะการเชื่อมต่อของแกนกลาง ซึ่งการพิจารณาว่าจุดแกนกลาง P ไตงั้นั้น เป็นจุดที่ไม่สามารถลบได้ (none-safe point) ตรวจสอบจากชุดตารางในภาพที่ 2.12 เมื่อ y มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ และ x มีค่าเป็นค่าใดๆ ดังนี้

x 0 y	y 0 x	x x x	x x x	x 0 x	x y x
x P 0	0 P x	0 P x	x P 0	y P y	0 P 0
x x x	x x x	y 0 x	x 0 y	x 0 x	x y x

ภาพที่ 2.12 ตารางตรวจสอบลักษณะจุดที่ไม่สามารถลบได้ จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)

- การลบจุดแกนกลางที่ไม่จำเป็นและไม่มีผลต่อการเชื่อมต่อ

กำหนดให้ $P = (i, j)$ เมื่อ i อ้างอิงถึงคอลัมน์และ j อ้างอิงถึงแถว ในขั้นตอนแรก จะทำการไล่ตรวจสอบในแนวตั้ง จากบน ลง ล่าง แต่ละคอลัมน์ และตรวจสอบเงื่อนไขตามความกว้าง w ดังนี้

- a. เมื่อ $w = 1$ จะลบจุดนั้นเมื่อ ไม่ใช่จุดปลาย และปลอดภัยในการลบ
- b. เมื่อ $w = 2$ ลบจุดที่ค่าระยะทางน้อยกว่าเมื่อ ไม่ใช่จุดปลาย และปลอดภัยในการลบ หากทั้งสองจุดมีค่าระยะทางเท่ากัน ให้ลบจุดที่มีจำนวนการเชื่อมต่อกับจุดรอบข้างที่มากกว่า ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องไม่ลบจุดที่มีโอกาสเป็นจุดเชื่อมต่อกับจุดแกนกลางอื่นได้ ซึ่งจุด P ที่มีโอกาสเชื่อมต่อกับจุดแกนกลางอื่นสามารถอธิบายได้เป็นสองกรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อ $P_3 > P$ จะเป็นจุดเชื่อมต่อเมื่อ $P > P_5$ และ $P_6 \neq 0$ หรือ
เมื่อ $P_3 > P$ จะเป็นจุดเชื่อมต่อเมื่อ $P > P_1$ และ $P_8 \neq 0$

กรณีที่ 2 เมื่อ $P_7 > P$ จะเป็นจุดเชื่อมต่อเมื่อ $P > P_5$ และ $P_4 \neq 0$ หรือ
เมื่อ $P_7 > P$ จะเป็นจุดเชื่อมต่อเมื่อ $P > P_1$ และ $P_2 \neq 0$

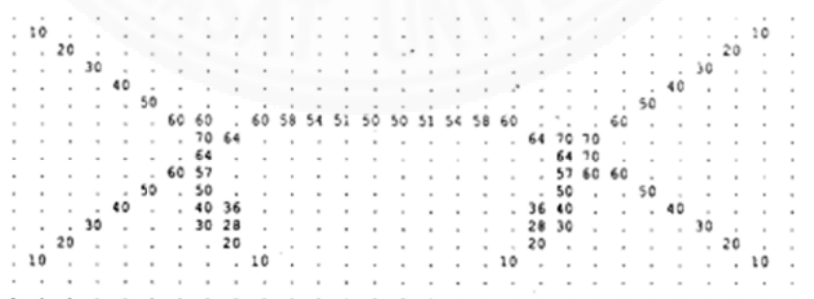
- c. เมื่อ $w = 3$ จะทำการเก็บตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางไว้ และลบจุดที่เหลือเมื่อจุดนั้น ไม่ใช่จุดปลาย และปลอดภัยในการลบ

- d. เมื่อ $w = 4$ หากค่าระยะทางระหว่างตำแหน่ง (i,j) กับ $(i+3,j)$ เท่ากัน และ $(i+1,j)$ กับ $(i+2,j)$ ก็มีค่าระยะทางเท่ากัน จะแบ่งออกเป็น (i,j) กับ $(i+1,j)$ และ $(i+2,j)$ กับ $(i+3,j)$ เหมือนกับมีขนาด $w=2$ ทั้งหมด สองชุด และทำการประมวลผลตามเงื่อนไข b)
- e. เมื่อ $w = 5$ แบ่งออกเป็นสองกรณี

กรณีที่ 1 เมื่อตำแหน่งตรงกลางมีค่าระยะทางมากที่สุด จะเก็บตำแหน่งดังกล่าวไว้ และลบอีกสี่จุดที่เหลือเมื่อจุดนั้น ไม่ใช่จุดปลาย และปลอดภัยในการลบ

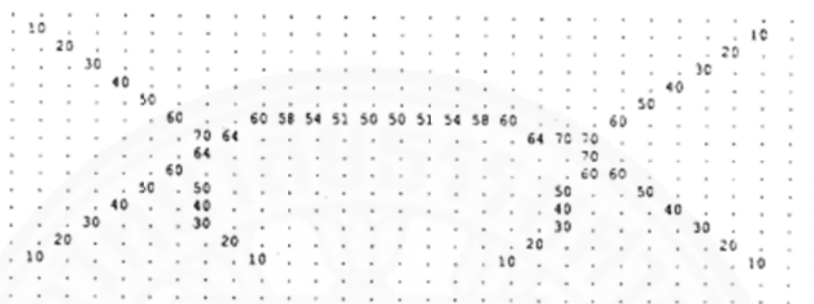
กรณีที่ 2 ถ้าค่าระยะทางที่ตำแหน่ง (i,j) กับ $(i+4,j)$ เท่ากัน และค่าระยะทางที่ตำแหน่ง $(i+2,j)$ กับ $(i+3,j)$ ก็เท่ากัน จะแบ่งออกเป็นข้อมูลจุดแกนกลางที่มีขนาด $w = 3$ ทั้งหมด 2 ชุดที่เหลื่อมล้ำกัน ได้แก่ (i,j) $(i+1,j)$ $(i+2,j)$ กับ $(i+2,j)$ $(i+3,j)$ $(i+4,j)$ และทำการประมวลผลตามเงื่อนไข c)

- f. เมื่อ $w = 6$ หากค่าระยะทางที่ตำแหน่ง (i,j) กับ $(i+5,j)$ เท่ากัน ค่าระยะทางที่ตำแหน่ง $(i+1,j)$ กับ $(i+4,j)$ เท่ากัน และ ค่าระยะทางที่ตำแหน่ง $(i+2,j)$ กับ $(i+3,j)$ เท่ากัน จะแบ่งออกเป็นข้อมูลจุดแกนกลางที่มีขนาด $w = 3$ ทั้งหมด 2 ชุดได้แก่ (i,j) $(i+1,j)$ $(i+2,j)$ กับ $(i+3,j)$ $(i+4,j)$ $(i+5,j)$ และทำการประมวลผลตามเงื่อนไข c)
- g. สำหรับ $w > 6$ จะใช้หลักการแบบเดียวกับข้างต้น



ภาพที่ 2.13 ผลลัพธ์หลังทำการตรวจไล่ความกว้างของแกนกลางในแนวแกนตั้งแต่ละคอลัมน์ จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)

เมื่อเสร็จสิ้นการไล่ตรวจในแนวตั้งแล้ว ผลลัพธ์ตัวอย่างที่ได้แสดงในภาพที่ 2.13 จากนั้นจะทำการไล่ตรวจสอบในแนวนอนแต่ละแถว จากซ้ายไปขวา เนื่องจากในขั้นตอนก่อนหน้านี้ จะทำให้ขนาดแกนกลาง w มีขนาดเล็กอยู่เพียงเล็กน้อย การไล่ตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะเก็บจุดที่มีค่ามากที่สุด และลบจุดอื่น ๆ ที่มีค่าน้อยกว่าเมื่อจุดนั้นไม่ใช่จุดปลาย และปลอดภัยในการลบ หากมีจุดที่มีค่าระยะทางมากที่สุดมากกว่าหนึ่งจุด จะทำการลบจุดใดจุดหนึ่งที่ไม่ใช่จุดปลาย และปลอดภัยในการลบ



ภาพที่ 2.14 ผลลัพธ์หลังทำการปรับแกนกลางให้มีขนาดกว้างหนึ่งจุดภาพ จาก (Shih, F. Y and Pu C. C, 1990)

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการข้างต้น จะได้ผลลัพธ์เป็นแกนกลางที่มีความกว้างหนึ่งจุดภาพ ดังผลลัพธ์ตัวอย่างในภาพที่ 2.14

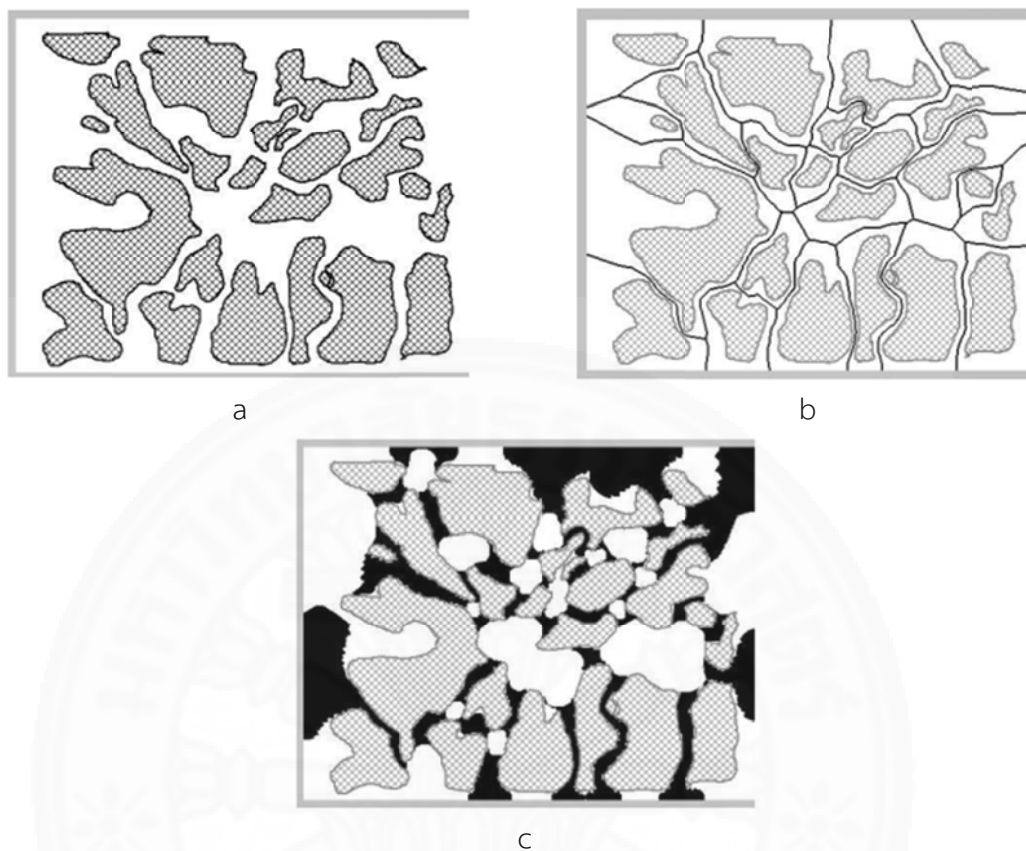
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่มีการแบ่งพื้นที่ และมีการตรวจหาช่องแคบมีดังนี้

2.3.1 How Qualitative Spatial Reasoning Can Improve Strategy Game AIs.

(Forbus et al, 2002)

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจหา พื้นที่เปิด (Free space) และทางเดินแคบ (Corridor) จากข้อมูลภาพแผนที่ โดยใช้วิธีการสร้างแผนภูมิไวโรนอยจากชุดข้อมูลจุดภาพของสิ่งกีดขวางในข้อมูลรูปภาพ (Discrete Context) ได้เป็นชุดข้อมูลจุดภาพที่เรียงต่อกันเกิดเป็นเส้นที่อยู่กึ่งกลางระหว่างสิ่งกีดขวาง 2 ชั้น เมื่อมีการบรรจบกันของเส้นเกิดเป็นชุดเชื่อมต่อกันมากกว่า 2 เส้น ผู้นำเสนอใช้ตำแหน่งที่เส้นของแผนภูมิมารบรจบกันนี้ เป็นตำแหน่งของพื้นที่เปิดและทำการขยายพื้นที่จากจุดเชื่อมต่อของเส้นแผนภูมิดังกล่าวออกไปจนกระทั่งถึงสิ่งกีดขวางเกิดเป็นบริเวณของพื้นที่เปิด ส่วนพื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ที่เหลือ คือ พื้นที่ที่เป็นทางเดินแคบนั่นเอง ซึ่งภาพตัวอย่างกระบวนการทำงานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ แสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 a). ภาพข้อมูลแผนที่เริ่มต้น b). รูปแสดงการสร้างแผนภูมิโวโรนอย c). ภาพผลลัพธ์
การหาพื้นที่เปิด และ ทางเดินแคบ จาก (Forbus, K. D Mahoney, J. V and Dill K,
2002)

- สรุป วิเคราะห์วิธีการของ Forbus et al. (2002)

การสร้างเส้นกึ่งกลางระหว่างสิ่งกีดขวาง ด้วยวิธีการสร้างแผนภูมิโวโรนอยจากข้อมูลรูปภาพ
นั้น ไม่สามารถสร้างเส้นแกนกลางในพื้นที่ ที่เกิดจากสิ่งกีดขวางที่มีรูปทรงเว้าได้ ดังนั้น ด้วยวิธีการนี้
จะไม่สามารถหาช่องแคบของพื้นที่ปิดได้ (Enclosed Space) ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการตรวจหาช่อง
แคบยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก

2.3.2 RTS Terrain Analysis: An Image-Processing Approach. (Obelleiro et al, 2008)

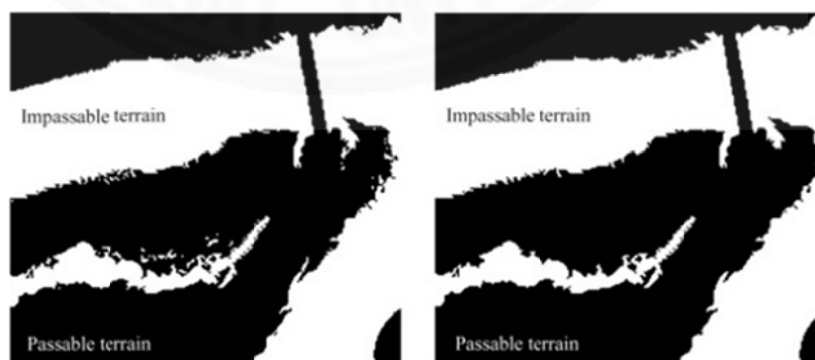
เป็นการนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของพื้นที่ ที่ใช้ในการสร้างเกม “War Leaders : Clash of Nations” โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ (image-processing) ร่วมกับ วิธีการจำลองเส้นทาง (path finding simulation) เพื่อหาเส้นทางที่สำคัญในแผนที่ ซึ่งผู้วิจัยจะนำเสนอเพียงการวิเคราะห์ข้อมูลของพื้นที่ด้วยกระบวนการประมวลผลภาพเท่านั้น

ลักษณะของกลุ่มพื้นที่ (Region) ในงานวิจัยนี้ คือบริเวณที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และถูกกำหนดขอบเขตด้วยพื้นที่ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ซึ่งแบ่งลักษณะของกลุ่มพื้นที่ออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ Gamezones และ Chokepoint

- Gamezones คือ พื้นที่เปิดที่ หรือบริเวณที่สามารถเคลื่อนที่ได้
- Chokepoints คือ ทางเดินแคบๆ ระหว่าง Game zones ซึ่งประเด็นหลักของการวิเคราะห์พื้นที่คือการตรวจหา บริเวณที่เป็น chokepoint ได้อย่างถูกต้องที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ข้อมูลแผนที่เริ่มต้นคือ ภาพขาวดำเรียกว่า Passability map โดย 1 จุดภาพ หมายถึงพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร ค่าสีดำหมายถึง บริเวณที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ค่าสีขาวคือ บริเวณที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ สิ่งที่ระบบต้องการวิเคราะห์หาออกมาได้แก่ Game zones และ Chokepoint กระบวนการในการตรวจหาช่องแคบ อธิบายได้ดังนี้

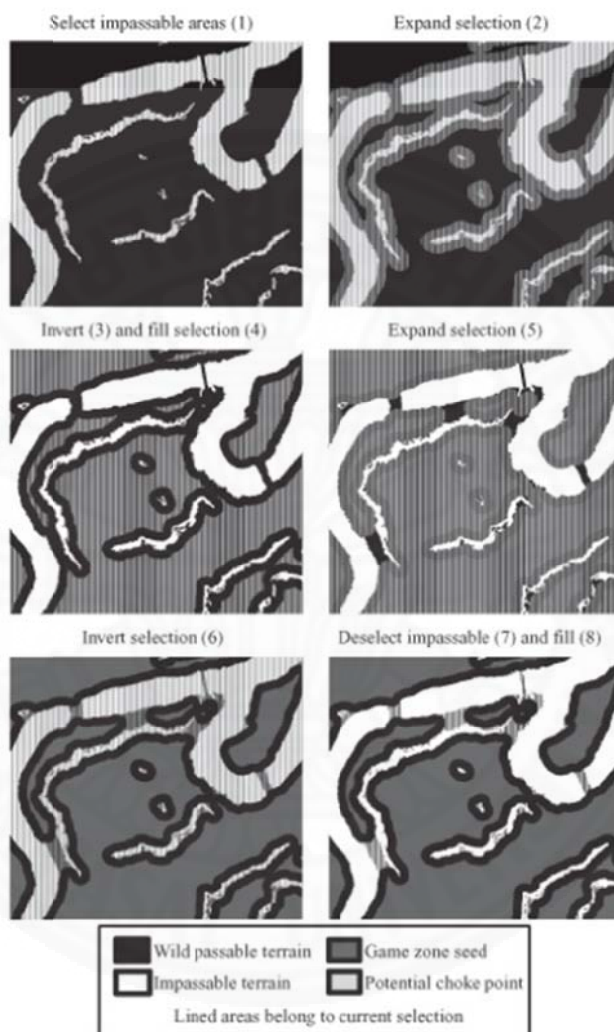
FIGURE 4.1.2 Noise reduction is a very common step in image processing. (Left) Original passability map. (Right) Clean passability map after noise reduction.



ภาพที่ 2.16 ภาพตัวอย่างการกำจัดสัญญาณรบกวน ของ passability map จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008)

- เริ่มจาก การนำ passability map มาทำการกำจัดสัญญาณรบกวน ดังแสดงตัวอย่างใน ภาพที่ 2.16

FIGURE 4.1.3 The image-processing step involves several operations. In the title above every image, the number in brackets represents the step the image refers to.



ภาพที่ 2.17 ภาพแสดงขั้นตอนการตรวจหาพื้นที่เปิด และ พื้นที่ช่องแคบ จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008)

- จากนั้น นำภาพที่กำจัดสัญญาณรบกวนแล้วมาประมวลผล ในขั้นตอนต่อไป ดังแสดงใน ภาพที่ 2.17 ดังนี้

1. ทำการเลือกบริเวณที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้

2. ขยายพื้นที่ที่ทำการเลือก
3. สลับการเลือก (invert selection)
4. ระบายสีพื้นที่ที่ถูกเลือก (พื้นที่ส่วนที่ถูกระบายสีนี้ คือ พื้นที่เปิด)
5. ขยายพื้นที่ที่ทำการเลือก
6. สลับการเลือก (invert selection)
7. ยกเลิกการเลือก ในส่วนที่เป็นบริเวณที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้
8. ระบายสี (พื้นที่ส่วนที่ถูกระบายสีนี้ คือ ทางเดินแคบ)

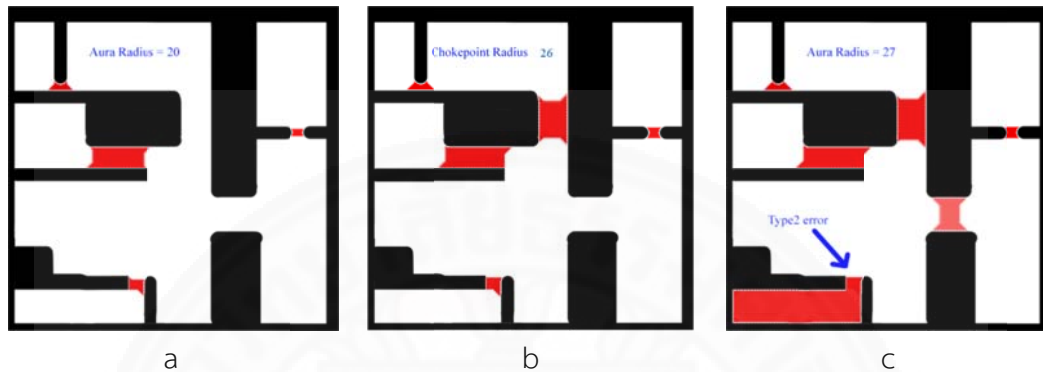


ภาพที่ 2.18 ภาพผลลัพธ์ตัวอย่างที่ใช้ค่ารัศมีในการตรวจจับช่องแคบต่างๆ A) 20 จุดภาพ, B) 23 จุดภาพ, C) 26 จุดภาพ, D) 29 จุดภาพ จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008)

การขยายขนาดในการเลือกพื้นที่นั้นขึ้นอยู่กับ ค่ารัศมีในการตรวจจับช่องแคบ (Chokepoint detection radius) ผลลัพธ์ที่ได้จะแตกต่างกันตามค่าดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 2.18 และเนื่องจากระบบไม่สามารถทราบได้ว่า ความกว้างของช่องแคบในแต่ละแผ่นที่ควรเป็นเท่าใด-จึงทำการประมวลผลหลายชุด โดยใช้ค่ารัศมีในการตรวจจับช่องแคบที่ต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยระบุช่วงของค่ารัศมีในการตรวจจับช่องแคบ ที่ค่าระหว่าง 5 – 50 จุดภาพ เมื่อได้ผลลัพธ์ในแต่ละชุดมาแล้ว จะทำการเลือกผลลัพธ์ที่มีจำนวนพื้นที่เปิดที่มากที่สุด หากมีผลลัพธ์ที่มีจำนวนพื้นที่เปิดมากที่สุดมากกว่าหนึ่งผลลัพธ์ จะเลือกผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ค่ารัศมีในการตรวจจับช่องแคบที่น้อยกว่า

- สรุป วิเคราะห์ วิธีการของ Obelleiro et al. (2008)

ด้วยวิธีการประมวลผลภาพนี้ สามารถตรวจหาช่องแคบได้เป็นอย่างดี แต่มีบางกรณีที่ทำให้การตรวจหาช่องแคบแบบพื้นที่ปิดไม่สามารถหาได้ ดังแสดงดังภาพตัวอย่างด้านล่างนี้



ภาพที่ 2.19 ภาพผลลัพธ์ตัวอย่างการทดสอบที่ใช้คาร์คิมในการตรวจจับช่องแคบต่างๆ A) 20 จุดภาพ, B) 26 จุดภาพ, C) 27 จุดภาพ

จากภาพที่ 2.19 พื้นที่แต่ละสี สามารถอธิบายได้ดังนี้

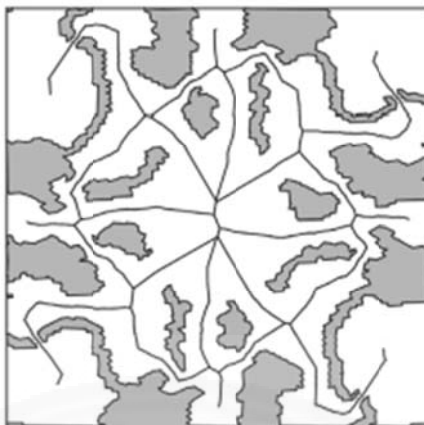
- จุดภาพสีขาว คือ พื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้
- จุดภาพสีดำ คือ พื้นที่ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้
- จุดภาพสีแดง คือ พื้นที่ช่องแคบ

จากภาพ b. เมื่อคาร์คิมตรวจจับช่องแคบอยู่ที่ขนาด 26 จุดภาพ จะไม่สามารถตรวจจับ ช่องแคบทางด้านขวาได้ แต่ในภาพ c. เมื่อคาร์คิมตรวจจับช่องแคบอยู่ที่ขนาด 27 จุดภาพ สามารถตรวจจับช่องแคบทางด้านขวาได้ แต่พื้นที่ด้านซ้ายล่างทั้งหมดถูกระบุว่าเป็นพื้นที่ช่องแคบ ทั้งที่ควรจะเป็นพื้นที่เปิด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าวิธีการในการตรวจหาช่องแคบยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก

2.3.3 Terrain Analysis in Real-Time Strategy Games: An Integrated Approach to Choke Point Detection and Region Decomposition (Perkins, 2010)

เป็นการนำเสนอวิธีการตรวจหา ช่องแคบและกลุ่มพื้นที่ โดยโครงสร้างข้อมูลของผลลัพธ์เป็นข้อมูล 2D polygon ซึ่งโพลีกอน 1 ชั้น คือ 1กลุ่มพื้นที่ และ เส้นขอบของโพลีกอน คือ ช่องแคบ (chokepoint) ที่เชื่อมต่อระหว่างโพลีกอนกลุ่มพื้นที่ ซึ่งมีกระบวนการดังต่อไปนี้

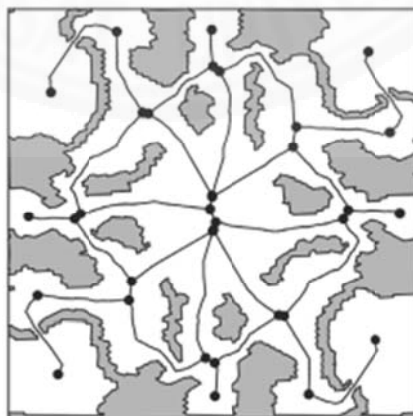
1. เริ่มต้นจากการแปลงข้อมูลแผนที่ตาราง (2D binary map) ซึ่งประกอบด้วยลักษณะพื้นที่ ที่เคลื่อนที่ผ่านได้ และเคลื่อนที่ผ่านไม่ได้ ให้เป็นข้อมูลในระบบเวกเตอร์ เรียกว่าการทำ Vectorization โดยเริ่มจากการ Flood-fill เพื่อสร้างการเชื่อมต่อของแต่ละจุดภาพที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน และ แปลงให้เป็นข้อมูลโพลีกอน2มิติ โดยการระบุบริเวณขอบของแต่ละกลุ่มพื้นที่ ให้เป็นโครงสร้างของโพลีกอน ซึ่งจะสามารถจำแนกได้เป็น โพลีกอนของพื้นที่ และ โพลีกอนของสิ่งกีดขวาง จากนั้นจะทำการกำจัดโพลีกอนของสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวนออกไป และสุดท้ายจะเป็นการลดจำนวนเวอเท็กซ์ (vertex) ในแต่ละโพลีกอนสิ่งกีดขวาง โดยที่ยังคงลักษณะโดยรวมของสิ่งกีดขวางนั้นอยู่
2. สร้างแผนภูมิโวโรนอย (Voronoi Diagram) จากข้อมูลโพลีกอนสิ่งกีดขวาง คำศัพท์ที่เกี่ยวกับโครงสร้างของแผนภูมิโวโรนอย เพื่อใช้ในการอธิบายเนื้อหาในส่วนถัดไปมีดังนี้
 - เวอร์เทกซ์ (Vertex) คือ จุด 1จุดที่มีตำแหน่ง ในแผนภูมิ
 - เส้น (Edge) คือ เส้นที่เชื่อมต่อระหว่าง เวอร์เทกซ์
 - ดีกรี (Degree) คือ จำนวนเส้นที่เชื่อมต่อ กับ จุดเวอร์เทกซ์
 - จุดปลาย (Leaf) คือ จุดที่มีดีกรีเท่ากับ 1 หรือ มีการเชื่อมต่อเพียง 1 การเชื่อมต่อเท่านั้น
3. กำจัดส่วนที่ไม่จำเป็นจากแผนภูมิโวโรนอย
 - คำนวณค่ารัศมีของแต่ละเวอเทกซ์ ซึ่งรัศมีคือระยะทาง จากจุดเวอเทกซ์ไปยังสิ่งกีดขวาง หรือขอบของแผนที่ ที่ใกล้ที่สุด
 - ในจุดปลายใดๆ ที่ค่ารัศมีน้อยกว่า อีกจุดที่เชื่อมต่อกัน จุดปลายนั้นและเส้นที่เชื่อมต่อจะถูกลบ ออกจากแผนภูมิ และจะตรวจสอบเงื่อนไขดังกล่าวจนกระทั่งไม่สามารถลบจุดหรือเส้นใดๆได้อีก
 - ภาพตัวอย่างผลลัพธ์เมื่อกำจัดส่วนที่ไม่จำเป็นจากแผนภูมิแสดงในภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 ภาพแสดงแผนภูมิโวโรนอย หลังกำจัดส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป จาก (Perkins L, 2010)

4. ระบุเวอร์เท็กซ์ ให้เป็นโนดของกลุ่มพื้นที่ (Region Node)

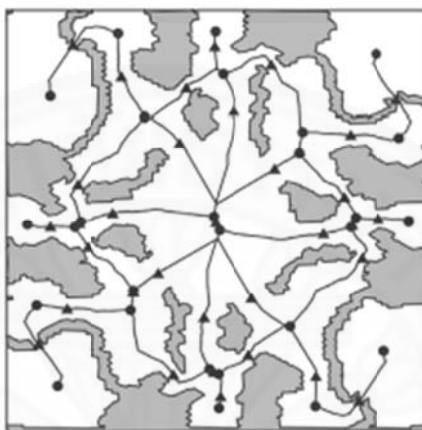
- เวอร์เท็กซ์ใดๆที่มีดีกรีไม่เท่ากับ 2 จะถูกกำหนดให้เป็น โหนดของกลุ่มพื้นที่ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของแผนภูมิดังกล่าวแสดงถึงลักษณะของพื้นที่ที่สำคัญ
- สำหรับเวอร์เท็กซ์ที่มีดีกรีเท่ากับ 2 จะถูกกำหนดให้เป็น โหนดของกลุ่มพื้นที่ ก็ต่อเมื่อทุกๆเวอร์เท็กซ์ที่อยู่ในระยะรัศมีของ เวอร์เท็กซ์ดีกรี2ดังกล่าว มีค่ารัศมีน้อยกว่า เวอร์เท็กซ์ดีกรี2นั้นๆ
- ผลลัพธ์ของการระบุโนดกลุ่มพื้นที่แสดงในภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 ภาพแสดงการระบุโนดของกลุ่มพื้นที่ ด้วยเครื่องหมายจุดวงกลม จาก (Perkins L, 2010)

5. ระบุเวอร์เท็กซ์ที่เป็น ช่องแคบ (Choke point node)

ในขั้นตอนนี้ จะเหลือเพียงเวอร์เท็กซ์ดีกรี 2 ที่อยู่บนเส้นเชื่อมต่อระหว่างโนดกลุ่มพื้นที่ จะทำการหาเวอร์เท็กซ์ที่ค่ารัศมีน้อยที่สุดในเส้นเชื่อมต่อ และระบุเป็นโนดช่องแคบ ดังแสดงในภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 ภาพแสดงการระบุโนดช่องแคบ ด้วยเครื่องหมายจุดสามเหลี่ยม จาก (Perkins L, 2010)

6. รวบโนดกลุ่มพื้นที่

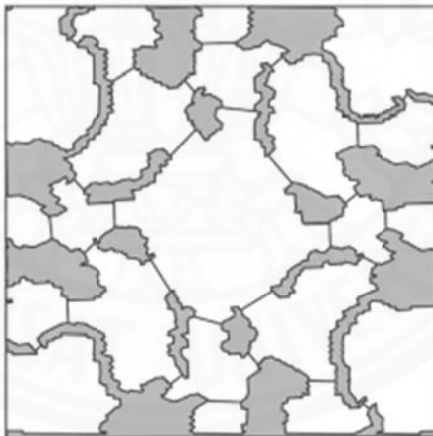
เนื่องจาก โหนดกลุ่มพื้นที่ และ โหนดช่องแคบ มีมากเกินไปจำเป็นต้องการนำเสนอแผนที่ จึงทำการรวมโนดกลุ่มพื้นที่ที่ติดกัน และมีการยกเลิกโนดช่องแคบที่ไม่สำคัญออกไป ซึ่งผู้นำเสนอวิธีการ กำหนดเงื่อนไขในการ รวมโนดกลุ่มพื้นที่ที่ติดกันดังนี้

- โหนดกลุ่มพื้นที่ที่ติดกัน จะรวมกันก็ต่อเมื่อ ค่ารัศมีของโนดช่องแคบที่เชื่อมต่อระหว่าง 2 โหนดกลุ่มพื้นที่นั้น มีขนาดกว้างกว่า 90% ของ ค่ารัศมีของโนดกลุ่มพื้นที่ที่เล็กกว่า หรือ มีขนาดกว้างกว่า 85% ของ ค่ารัศมีของโนดกลุ่มพื้นที่ที่ใหญ่กว่า
- สำหรับโนดกลุ่มพื้นที่ ที่มีการเชื่อมต่อกับ โหนดช่องแคบเท่ากับ 2 โหนด จะถูกรวมกับ โหนดกลุ่มพื้นที่ที่ติดกันในฝั่งที่เชื่อมต่อกับโนดช่องแคบตัวที่กว้างกว่า เมื่อค่ารัศมีของโนดช่องแคบตัวที่กว้างกว่า มากกว่า 70% ของโนดกลุ่มพื้นที่ที่กำลังพิจารณา
- ตัวอย่างการรวมโนดกลุ่มพื้นที่ของภาพที่ 2.22 แสดงในภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ภาพแสดงการระบุโนดช่องแคบ และ กลุ่มพื้นที่หลังจากทำการรวมพื้นที่ จาก (Perkins L, 2010)

7. กั้นพื้นที่ ณ ตำแหน่งโนดช่องแคบ เพื่อทำการแบ่งพื้นที่
8. สร้างโพลีกอนของกลุ่มพื้นที่ ดังแสดงผลลัพธ์ในภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 ภาพแสดงผลลัพธ์ เมื่อทำการกั้นพื้นที่ ณ ตำแหน่งโนดช่องแคบ และสร้างเป็น โพลีกอนของกลุ่มพื้นที่ จาก (Perkins L, 2010)

- สรุป วิเคราะห์ วิธีการของ Perkins (2010)

เนื่องจากทำการระบุช่องแคบเป็นเพียงตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น จึงไม่สามารถระบุช่องแคบแบบพื้นที่ หรือแบบมีระยะทางได้ ทำให้ได้ข้อมูลลักษณะของช่องแคบได้ไม่ถูกต้อง เมื่อ

พื้นที่ช่องแคบมีลักษณะเป็น ทางเดินแคบยาว ผู้วิจัยจึงเห็นว่า วิธีการในการตรวจหาช่องแคบยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก

2.3.4 Spatial Reasoning for Strategic Decision Making. (Dill, 2015)

เป็นการนำเสนอวิธีการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้ AI Enemy มีความสามารถในการวางแผนการรบต่อสู้กับผู้เล่น ซึ่งอ้างอิงวิธีการจากการพัฒนาเกม Kohan II: Kings of War เป็นเกม Tile-based Real-time Strategy (RTS) ซึ่งผู้เขียน (Dill) กล่าวว่า เป็นเกมที่ประสบความสำเร็จในการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกมหนึ่ง โดยมีหลักการ ดังต่อไปนี้

คุณลักษณะที่ดีของ Region ที่อ้างอิงจากการพัฒนาเกม Kohan II (2004) มีดังนี้

- Homogeneity กลุ่มพื้นที่ควรมีลักษณะของพื้นที่แบบเดียวกัน ซึ่งลักษณะของพื้นที่ในเกมหนึ่งๆ สามารถมีได้หลายรูปแบบ ได้แก่ พื้นดิน ทุ่งหญ้า แม่น้ำ ภูเขา ฯลฯ ดังนั้น ในหนึ่งกลุ่มพื้นที่ไม่ควรมีลักษณะพื้นที่ผสมกัน เช่น การมีพื้นดินและทุ่งหญ้า อยู่ในกลุ่มพื้นที่เดียวกัน
- Not too big ขนาดของกลุ่มพื้นที่ไม่ใหญ่เกินไป
- Not too small ขนาดของกลุ่มพื้นที่ไม่เล็กเกินไป
- Roughly equilateral/square/hexagonal/round ลักษณะกลุ่มพื้นที่ที่ดี ควรมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดความกว้าง และความยาว ของกลุ่มพื้นที่ใกล้เคียงกัน ไม่ควรมีลักษณะเป็นแนวยาวไปในทางใดทางหนึ่ง
- More-or-less Convex ไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเป็น Convex เสมอไป

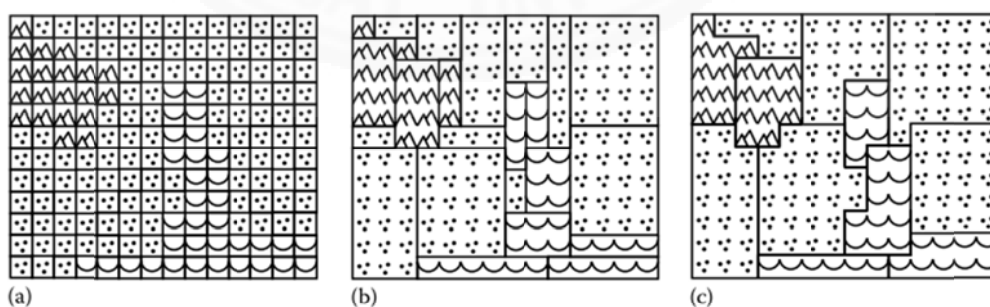


Figure 31.1

A hypothetical tile-based map with land, water, and mountain terrain (a) and the same map divided into rectangles (b) and regions (c).

ภาพที่ 2.25 ภาพตัวอย่างการสร้าง Region ของ Kohan II จาก (Dill K, 2015)

การสร้างกลุ่มพื้นที่ (Create Region)

ข้อมูลแผนที่เริ่มต้นคือ ข้อมูลแผนที่แบบตาราง ที่มีค่าคุณลักษณะของพื้นที่ (terrain type) ในแต่ละช่องตารางพื้นที่ การสร้าง Region เริ่มจากการสร้างการเชื่อมต่อ ด้วยวิธี Greedy Flood-fill-based เริ่มต้นจากตำแหน่งมุมซ้ายล่าง ไต่ไปยังช่องตารางที่ติดกันทางด้านบนและทางขวา ตามลักษณะพื้นที่แบบเดียวกัน เพื่อให้ได้คุณลักษณะของ Homogeneity และ ระบบจะมีการกำหนดขนาดของ Region เพื่อไม่ให้เกิดการ Flood เพื่อสร้างกลุ่มพื้นที่นั้นมีขนาดใหญ่เกินไป เมื่อทุกๆช่องตารางพื้นที่ ถูกแปลงเป็น กลุ่มพื้นที่แล้ว จะทำการปรับแต่ง รวมกลุ่มพื้นที่ขนาดเล็กเข้ากับกลุ่มพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าที่ติดกันและมีลักษณะพื้นที่แบบเดียวกัน เพื่อกำจัด Region ที่มีขนาดเล็กเกินไป ดังจะเห็นตัวอย่างการทำงานได้จากภาพที่ 2.25

การหาช่องแคบ (Chokepoint Detection)

จากการ Representation Region ของ Tile-based Map ด้วยกระบวนการข้างต้น ทำให้การหาช่องแคบ ทำโดยการไล่ตรวจสอบในแต่ละกลุ่มพื้นที่ว่า เป็นช่องแคบหรือไม่ โดยตรวจสอบจากการเคลื่อนที่ระหว่าง กลุ่มพื้นที่ 2 กลุ่ม กำหนดให้เป็น กลุ่มพื้นที่ A และ B ซึ่งอยู่ติดกับ กลุ่มพื้นที่ C ที่กำลังถูกตรวจสอบ หากการเคลื่อนที่ระหว่าง A กับ B ต้องผ่าน C อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จะสรุปได้ว่า กลุ่มพื้นที่ C นั้นเป็นช่องแคบ

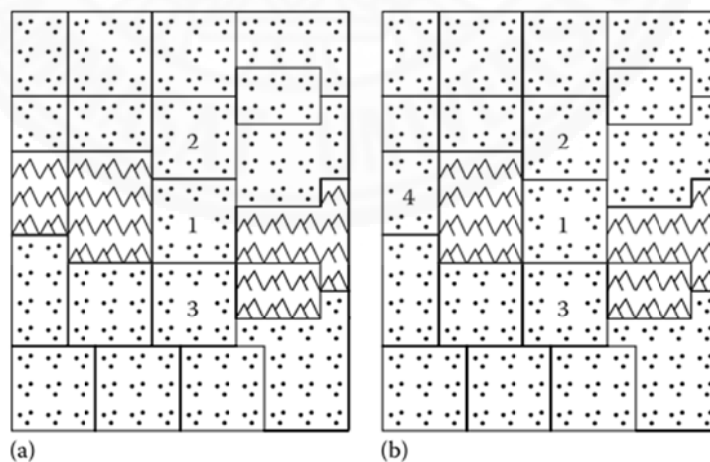


Figure 31.2

(a) Region 1 is a chokepoint because you can't get from region 2 to region 3 without going through it. (b) There are no chokepoints because there is an alternate route around the mountains to the west (through region 4).

ภาพที่ 2.26 ภาพตัวอย่างอธิบายการตรวจหา Chokepoint จาก (Dill K, 2015)

จากภาพที่ 2.26 จะเห็นได้ว่าภาพ (a) กลุ่มพื้นที่หมายเลขหนึ่ง เป็นช่องแคบเนื่องจากการเคลื่อนที่ระหว่างกลุ่มพื้นที่สอง กับสาม ต้องผ่านกลุ่มพื้นที่หนึ่งเสมอ ในขณะที่ภาพ (b) นั้นกลุ่มพื้นที่หนึ่ง ไม่เป็นช่องแคบ เพราะสามารถเคลื่อนที่ผ่านเส้นทางอื่นได้ โดยไม่จำเป็นต้องผ่านพื้นที่หมายเลขหนึ่ง

- สรุป วิเคราะห์ วิธีการของ Dill (2015)

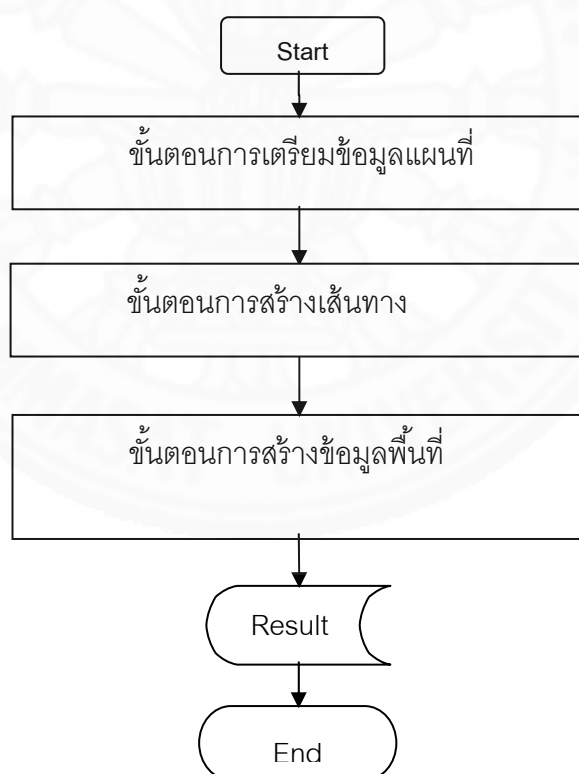
การหาช่องแคบ ต้องใช้การไล่ค้นหาเส้นทางทุกๆเส้นทางที่เป็นไปได้ในแผนที่ ซึ่งจะทำให้เกิดการคำนวณอย่างมาก อีกทั้งการระบุช่องแคบนั้น จะทำได้ไม่ถูกต้องดังจะเห็นได้จากกลุ่มพื้นที่ หนึ่ง และ สี่ ควรจะเป็นช่องแคบ จากภาพตัวอย่าง (b). โดยที่ผู้นำเสนอ (Dill) ได้กล่าวถึงวิธีแก้ปัญหาลักษณะสองโดยการจำกัดความลึกของการค้นหาเส้นทาง (อยู่ที่ประมาณ 5 - 10) จะช่วยลดการทำงานและสามารถระบุช่องแคบได้ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่า การกำหนดความลึกในการค้นหาเส้นทางนั้น สามารถช่วยลดการคำนวณได้ แต่สำหรับความถูกต้องในการตรวจหาช่องแคบนั้นยังไม่ครอบคลุมพอ เนื่องจากไม่สามารถระบุความลึกในการค้นหาเส้นทางได้อย่างแน่ชัดว่าควรเป็นเท่าไรเพื่อให้ได้ช่องแคบที่เหมาะสม เช่น จากภาพตัวอย่าง (b). หากระบุความลึกในการค้นหาเส้นทางต่ำกว่าหกครั้ง จะทำให้กลุ่มพื้นที่หมายเลขสี่ และ หมายเลขหนึ่ง เป็นช่องแคบ เนื่องจากพื้นที่ด้านบน และด้านล่างของแต่ละกลุ่มพื้นที่หมายเลขสี่ และหมายเลขหนึ่ง นั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ถึงกันได้โดยไม่ผ่านพื้นที่ช่องแคบดังกล่าวเมื่อการเคลื่อนที่ระหว่างกลุ่มพื้นที่นั้น ถูกจำกัดอยู่ที่น้อยกว่า หกครั้ง ซึ่งทั้งนี้ทั้งนั้น ผลลัพธ์การหาช่องแคบจะขึ้นกับโครงสร้างการเชื่อมต่อของกลุ่มพื้นที่ ที่ได้จากขั้นตอนการสร้างกลุ่มพื้นที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การจำกัดความลึกของการค้นหาเส้นทางดังกล่าวไม่สามารถใช้ได้กับทุกข้อมูลแผนที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าวิธีการในการตรวจหาช่องแคบ ยังสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นต่อไปได้อีก

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการ ในการตรวจหาบริเวณช่องแคบสามประเภท ได้แก่ แบบ Corridor แบบ Enclosed Space และ แบบ Area Chokepoint จากข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ด้วยวิธีการ ตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางเมื่อเคลื่อนที่ผ่าน และสร้างภาพผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ โดยในบทนี้ จะได้นำเสนอภาพรวมของกระบวนการทดลอง หลักการและขั้นตอนการทำงานของวิธีการ รูปแบบผลลัพธ์การทดลองที่ได้จากวิธีการของงานวิจัย และการออกแบบการวัดผลทดลอง

3.1 การออกแบบระบบโดยรวม

ระบบโดยรวม จำแนกเป็นสามขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมของการทดลอง

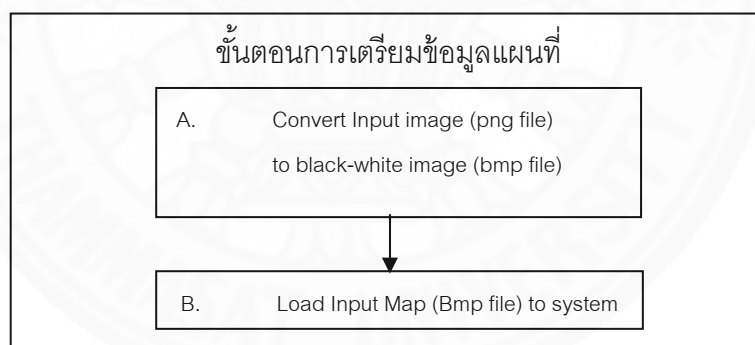
3.2 รายละเอียดของขั้นตอนที่ได้ออกแบบ

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเข้าสู่ระบบ (Preparing Data)

เนื่องจากข้อมูลแผนที่ของเกมแบบ RTS ที่ใช้ในงานวิจัย มีโครงสร้างข้อมูลแบบตารางสองมิติที่มีการเก็บข้อมูลคุณลักษณะของพื้นที่ในตารางแต่ละช่อง โดยลักษณะของพื้นที่ดังกล่าว แบ่งออกเป็นสองลักษณะ ได้แก่

- พื้นที่ที่เคลื่อนที่ผ่านได้ซึ่งจะแทนค่าด้วย 1 แสดงด้วยจุดภาพสีขาว (passible pixel)
- พื้นที่ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ซึ่งจะแทนค่าด้วย 0 แสดงด้วยจุดภาพสีดำ (impassible pixel)

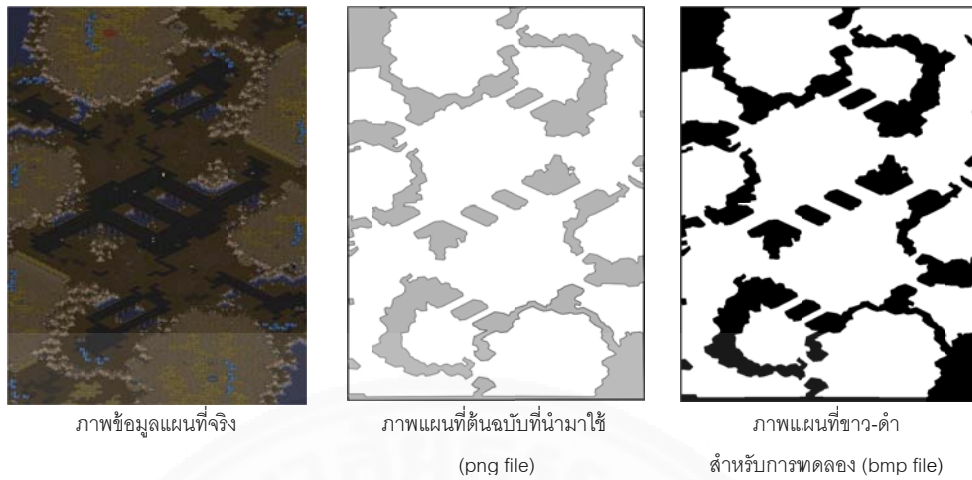
เพื่อความเข้าใจของผู้อ่านและง่ายต่อการอธิบาย จากนี้จะเรียกแทนพื้นที่ดังกล่าวว่า พื้นที่และสิ่งกีดขวาง ตามลำดับ ดังนั้น โดยสรุปแล้วข้อมูลทดลองเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ จะเป็นภาพแผนที่ขาวดำสองมิติ หรือข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบตารางประกอบด้วยค่า 0 และ 1 (Binary map) กระบวนการทำงานในขั้นตอนนี้แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมในการเตรียมข้อมูลเข้าสู่ระบบ

A. Convert Input image to binary image

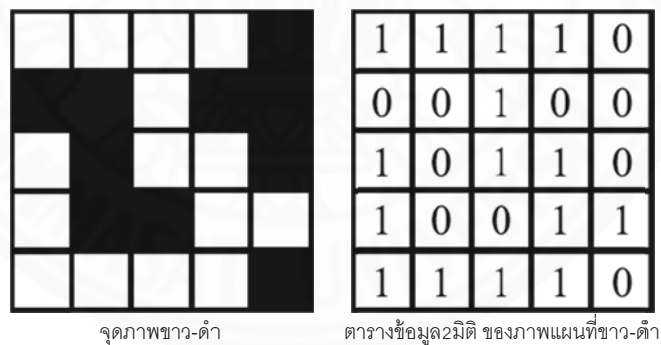
ข้อมูลภาพแผนที่ที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลจากไฟล์ภาพแผนที่ (*.png file) ที่ได้จาก <https://code.google.com/p/bwta/> และ สกัดภาพตัวอย่างจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้การแปลงข้อมูลภาพเป็นภาพขาวดำ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ก่อนนำข้อมูลภาพขาวดำดังกล่าวเข้าสู่ระบบเพื่อทำการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3.3 ภาพตัวอย่างแผนที่ที่ใช้ทดลอง

B. Load Input Map (Bmp file)

เมื่อนำข้อมูลภาพแผนที่ขาวดำเข้าสู่ระบบ พื้นที่จุดภาพสีขาวคือ พื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ และจุดภาพสีดำพื้นที่ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ เมื่อทำการแปลงค่าเข้าสู่ระบบ จากตัวอย่างจะได้ผลลัพธ์เป็นตาราง 2 มิติ ที่ประกอบด้วยค่า 0 และ 1 ดังแสดงในภาพที่ 3.4



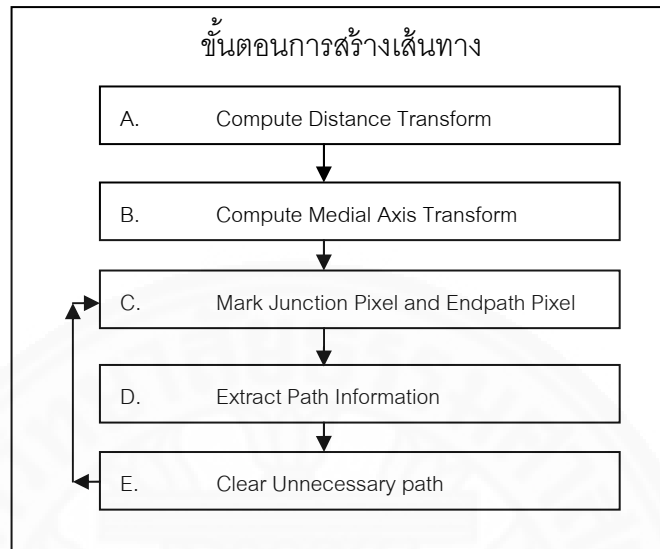
ภาพที่ 3.4 ภาพแสดงข้อมูลในแต่ละจุดภาพขาว-ดำ

การนำภาพแผนที่ขาว-ดำ เข้าสู่ระบบ ทำโดยคำสั่ง “imread” ของ Open CV Library

3.2.2 ขั้นตอนการสร้างเส้นทาง

ในการสร้างเส้นทาง ทำโดยการสร้างชุดข้อมูลของแกนกลาง (Medial Axis) ของพื้นที่ เกิดเป็นเส้นทางแบบจุดภาพ (Single-Width Pixel Path) ซึ่งในแต่ละจุดภาพมีค่าของระยะห่างจากจุดภาพที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ที่ใกล้ที่สุด (Nearest Impassible Pixel) ค่าดังกล่าวใช้แสดงถึง

ความกว้างของเส้นทาง ณ ตำแหน่งบนเส้นทางนั้นๆ กระบวนการทำงานในขั้นตอนนี้แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมในการสร้างเส้นทาง

A. Compute Distance Transform

ในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ของการทำ Distance Transform ที่ได้กล่าวถึงวิธีการในบทที่ 2 คือชุดข้อมูลตารางขนาดเท่าแผนที่ ซึ่งข้อมูลในแต่ละช่องเก็บค่าระยะทางจากสิ่งกีดขวางที่ใกล้ที่สุดซึ่งกระบวนการของงานวิจัย ต้องการทราบถึงตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ใกล้ที่สุด ในแต่ละพื้นที่

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเก็บตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ใกล้ที่สุดของแต่ละตำแหน่งพื้นที่ในขั้นตอนนี้ ซึ่งการวัดระยะทางจะทำในระบบยูคลิดแบบประมาณการ ด้วยตารางตัวกรองระยะทาง ขนาด 3*3 ที่มีค่าดังนี้

$$\begin{bmatrix} 0 & 1.0 & 2.0 \\ 1.0 & 1.4 & 2.2 \\ 2.0 & 2.2 & 2.8 \end{bmatrix} \text{ เมื่อทำการคำนวณจากตำแหน่งพื้นที่ "บนซ้าย" ไปยังด้าน "ล่างขวา" }$$

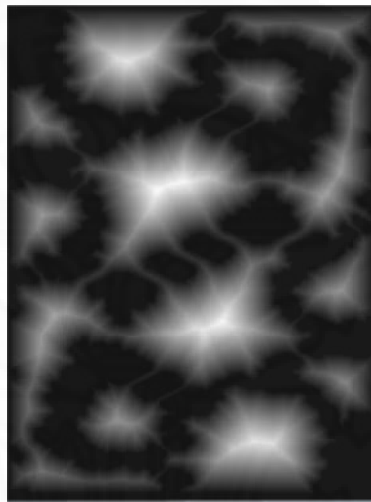
$$\begin{bmatrix} 2.8 & 2.2 & 2.0 \\ 2.2 & 1.4 & 1.0 \\ 2.0 & 1.0 & 0 \end{bmatrix} \text{ เมื่อทำการคำนวณจากตำแหน่งพื้นที่ "ล่างขวา" ไปยังด้าน "บนซ้าย" }$$

$$\begin{bmatrix} 2.0 & 2.2 & 2.8 \\ 1.0 & 1.4 & 2.2 \\ 0 & 1.0 & 2.0 \end{bmatrix} \text{ เมื่อทำการคำนวณจากตำแหน่งพื้นที่ "ล่างซ้าย" ไปยังด้าน "บนขวา" }$$

$$\begin{bmatrix} 2.0 & 1.0 & 0 \\ 2.2 & 1.4 & 1.0 \\ 2.8 & 2.2 & 2.0 \end{bmatrix}$$
 เมื่อทำการคำนวณจากตำแหน่งพื้นที่”บนขวา”ไล่ไปยังด้าน”ล่างซ้าย”

ในการอัปเดตผลลัพธ์ค่าระยะทางที่น้อยที่สุดของแต่ละตำแหน่งพื้นที่ จะทำการอัปเดตตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ใกล้ที่สุดเช่นกัน เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการในขั้นตอนนี้ จะได้ผลลัพธ์เป็นชุดข้อมูลที่บอกถึง ตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ใกล้ที่สุดและระยะทางไปยังตำแหน่งนั้น ของทุกๆ พื้นที่ ซึ่งตัวอย่างผลลัพธ์แสดงค่าความสว่างของการทำ Distance Transform แสดงดังภาพที่

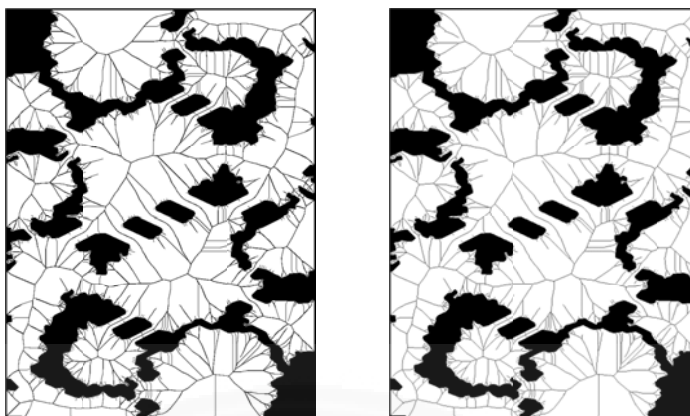
3.6



ภาพที่ 3.6 ภาพผลลัพธ์การทำ Distance Transform

B. การสร้างแกนกลางของพื้นที่ (Create Medial Axis)

ขั้นตอนนี้จะทำการสร้างแกนกลางของพื้นที่ โดยใช้วิธีการของ Shih et al. (1990) ที่กล่าวถึงในบทที่ 2 แต่เนื่องจากข้อมูลแผนที่มีความซับซ้อนมากกว่าข้อมูลในการทดลองของงานวิจัยดังกล่าว จึงมีการปรับวิธีการประมวลผล โดยเพิ่มเงื่อนไขการเคลื่อนที่ตรวจสอบในแนวนอน ให้ใช้เงื่อนไขเดียวกับการเคลื่อนที่ตรวจสอบในแนวตั้ง และทำการประมวลผล จนกระทั่งเหลือเพียงแกนกลางขนาดกว้าง 1 จุดภาพ ซึ่งผู้วิจัยเรียกแกนกลางนี้ว่า เส้นทางแบบจุดภาพ (pixel path) ซึ่งการเปรียบเทียบผลลัพธ์แกนกลางก่อนและหลังผ่านกระบวนการของ Shih et al. (1990) แสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ภาพแกนกลางแผนที่ ก่อน และ หลังทำการหาแกนกลางขนาดกว้าง 1 จุดภาพ

C. การระบุจุดเชื่อมต่อและจุดปลายทาง (Mark Endpoint and Junction point)

จุดภาพพื้นที่ใดๆ ที่มีตำแหน่งอยู่บนแกนกลางหรือเส้นทางของแผนที่ เรียกว่า จุดภาพเส้นทาง (path pixel) ในขั้นตอนนี้จะทำการระบุจุดปลายทาง (End Point) และจุดเชื่อมต่อ (Junction Point) บนเส้นทาง เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของการเคลื่อนที่ในแต่ละช่วงของเส้นทาง

- Junction point

จุดเชื่อมต่อคือ จุดที่เส้นทางมาบรรจบกันตั้งแต่ 3 เส้นขึ้นไป วิธีการในการหาจุดเชื่อมต่อของงานวิจัยนี้ มีกระบวนการดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & n & n \\ n & x & n \\ n & n & n \end{bmatrix}$$

ลักษณะของตารางตัวกรองขนาด 3×3 ที่ใช้ในการพิจารณา แต่ละจุดภาพ

x คือ ตำแหน่งจุดภาพเส้นทาง ที่กำลังทำการพิจารณา

n คือ จุดภาพข้างเคียง มีค่าเป็น 1 เมื่อ n เป็น จุดภาพเส้นทาง และมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่ใช่

x จะถูกพิจารณาให้เป็นจุดเชื่อมต่อ ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- เมื่อผลรวมของ $n \geq 5$

- เมื่อผลรวมของ $n = 4$ จำนวนการเชื่อมต่อแบบ 4 ทิศทาง ระหว่าง n ใดๆ ต้องไม่เกิน 1 การเชื่อมต่อ เช่น

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & x & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & x & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & x & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เงื่อนไขข้างต้นจะช่วยป้องกันความผิดพลาดในการกำหนดจุดเชื่อมต่อ เมื่อใช้เพียงผลรวมของ $n = 4$ เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบ เช่น

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & x & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & x & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

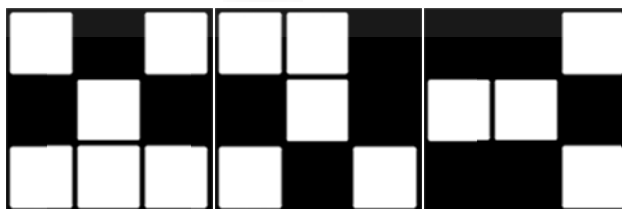
- และเมื่อ ผลรวมของ $n = 3$ ต้องไม่มีการเชื่อมต่อแบบ 4 ทิศทาง ระหว่าง n ใดๆ เช่น

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & x & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

เงื่อนไขข้างต้นจะช่วยป้องกันความผิดพลาดในการกำหนดจุดเชื่อมต่อ เมื่อใช้เพียงผลรวมของ $n = 3$ เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบ เช่น

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & x & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

ซึ่งลักษณะตัวอย่างของจุดเชื่อมต่อ แสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ภาพตัวอย่างจุดเชื่อมต่อ

- Endpoint

จุดปลายทาง คือ จุดสิ้นสุดของเส้นทาง วิธีการในการหาจุดปลายทาง จะใช้ลักษณะของ ตารางตัวกรองขนาด 3×3 เช่นเดียวกับ การหาจุดเชื่อมต่อข้างต้น ซึ่งในกรณีของจุดปลายทาง นั้น จุด x จะถูกพิจารณาให้เป็นจุดปลายทาง ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- เมื่อผลรวมของ $n = 1$

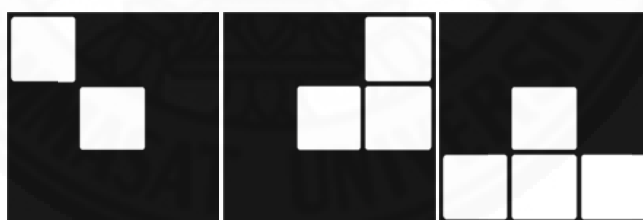
- เมื่อผลรวมของ $n = 2$ ต้องมีการเชื่อมต่อแบบ 4 ทิศทาง ระหว่าง n ใดๆ เช่น

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & x & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & x & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- เมื่อผลรวมของ $n = 3$ ต้องมีการเชื่อมต่อแบบ 4 ทิศทาง 2 การเชื่อมต่อ ระหว่าง n ใดๆ เช่น

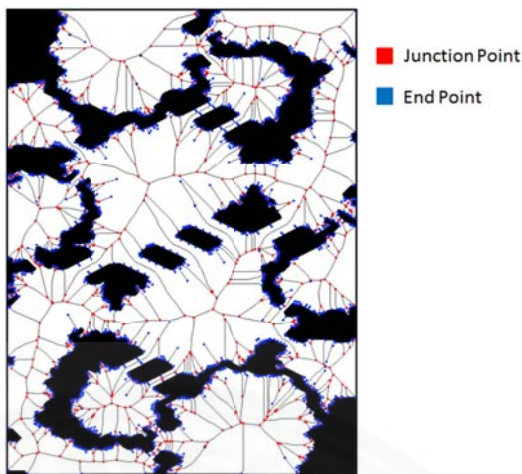
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & x & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & x & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ซึ่งลักษณะตัวอย่างของจุดปลายทาง แสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ภาพตัวอย่างจุดปลายทาง

เมื่อทำการระบุ จุดปลายทาง และจุดเชื่อมต่อดังแสดงในภาพที่ 3.10 แล้ว จะได้ตำแหน่ง เริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละเส้นทาง ซึ่งเส้นทางจุดภาพใดๆที่มีจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุด เป็นจุดปลายทาง (Endpoint) จะเรียกว่า เส้นทางปลาย (leaf path) และ เรียกเส้นทางที่มีจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด เป็นจุดเชื่อมต่อ ว่าเส้นทางหลัก (main path) ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.10 ภาพตัวอย่างแสดงการระบุจุดปลายทาง และจุดเชื่อมต่อ



ภาพที่ 3.11 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะของเส้นทางปลาย และเส้นทางหลัก

D. Extract Path Information

การสกัดข้อมูลเส้นทาง ทำโดยการเคลื่อนที่ในจุดภาพเส้นทางแบบจุดต่อจุด โดยเริ่มต้นที่จุดปลายทาง (Endpoint) หรือ จุดเชื่อมต่อ (Junction point) ใดๆ และเคลื่อนที่ไปยังจุดภาพเส้นทางถัดไปที่เชื่อมต่อกัน การเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุดจะมีลักษณะการเคลื่อนที่อยู่ 2 แบบคือ

1. การเคลื่อนที่ไปยังจุดภาพเส้นทางที่เชื่อมต่อกันในแนวตั้งหรือแนวนอน และ
2. การเคลื่อนที่ไปยังจุดภาพเส้นทางที่เชื่อมต่อกันในแนวทแยง

ซึ่งในทุกๆการเคลื่อนที่ของแต่ละเส้นทางระบบจะคำนวณและเก็บค่าระยะทางจากจุดเริ่มต้นในแต่ละจุดภาพเส้นทาง ดังนี้

- ระยะทางที่จุดเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 0
- เมื่อมีการเคลื่อนที่แบบที่1. ระบบจะเพิ่มค่าระยะทางเท่ากับ 1 และ
- เมื่อมีการเคลื่อนที่แบบที่2. ระบบจะเพิ่มค่าระยะทางเท่ากับ 1.4

นอกจากระยะทางจากจุดเริ่มต้นในแต่ละเส้นทางที่ได้กล่าวไปแล้ว ระบบจะทราบถึงความกว้างในแต่ละจุดภาพเส้นทาง (ระยะห่างจากสิ่งกีดขวางที่ใกล้ที่สุด)ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ ดังนั้น เมื่อมีการเคลื่อนที่สำรวจในเส้นทางสิ้นสุดลง ระบบจะทราบระยะทาง รวมถึงลักษณะความกว้างที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในเส้นทางที่เคลื่อนที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดทาง

E. การกำจัดเส้นทางที่ไม่จำเป็น (Clear Unnecessary path)

การกำจัดเส้นทาง แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำจัดเส้นทางปลาย

เส้นทางปลายใดๆ ที่ไม่มีโอกาสตรวจพบบริเวณช่องแคบ หรือ มีจุดปลายทางอยู่ใกล้กับสิ่งกีดขวางเกินไป ซึ่งการตรวจสอบคุณลักษณะดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ในการสำรวจเส้นทางปลายใดๆ จะเริ่มต้นที่จุดปลายทาง (Endpoint) ซึ่งเส้นทางปลายใดๆ ที่ไม่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความกว้าง หรือมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียว เช่น กว้างขึ้น ระบบจะสรุปได้ว่า ไม่สามารถพบช่องแคบเมื่อทำการเคลื่อนที่ในเส้นทางปลายดังกล่าว และทำการกำจัดเส้นทางนี้ออกไป
- ในเส้นทางปลายใดๆ ที่มีระยะทางเท่ากับ 1 หน่วย หรือ จุดปลายทางมีระยะห่างจากสิ่งกีดขวางน้อยกว่า 15 หน่วย จะระบุว่าเป็นสัญญาณรบกวน และถูกกำจัดออกไปเช่นกัน

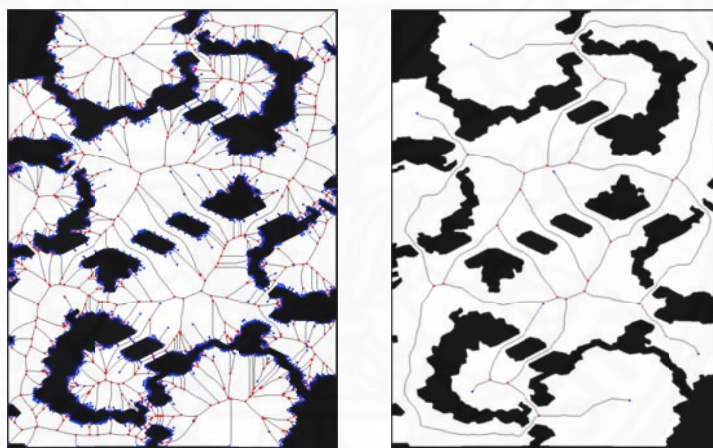
เส้นทางหลัก (main path) ที่มีการเชื่อมต่อกับเส้นทางปลายที่ถูกกำจัด จะถูกตรวจสอบว่ามี การเปลี่ยนสภาพเป็นเส้นทางปลายหรือไม่ หากมีการเปลี่ยนสภาพเป็นเส้นทางปลายเส้นทางใหม่ ระบบจะตรวจสอบเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นเช่นกัน

2. การกำจัดเส้นทางหลัก

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดเส้นทางหลักที่ไม่จำเป็น ได้แก่

- เส้นทางที่มีลักษณะวนเป็นลูป โดยที่ไม่มีสิ่งกีดขวางอยู่ในวงลูปนั้น ซึ่งงานวิจัยนี้ ใช้การกำหนดระยะทางของเส้นทางแบบลูปใดๆ ที่น้อยกว่า 100 หน่วย จะถูกกำจัด
- เส้นทางหลักที่มีจุดต้นและจุดปลายเดียว ระบบจะเก็บเส้นทางที่มีระยะทางน้อยที่สุด

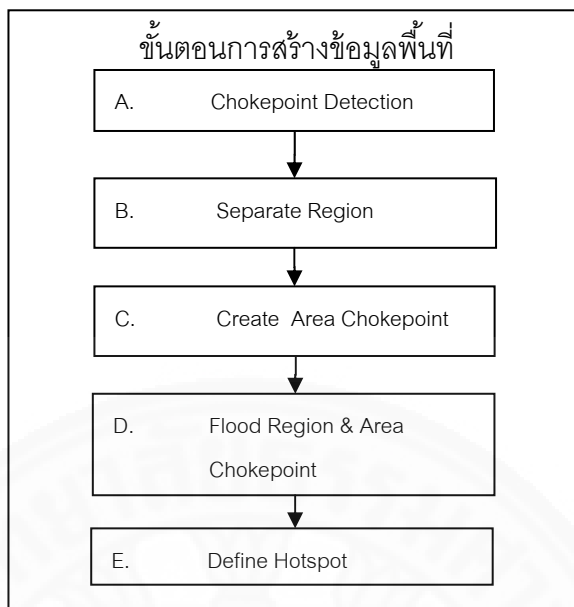
เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนในการกำจัดเส้นทาง ระบบจะเริ่มทำกระบวนการเดิม ตั้งแต่ขั้นตอนของ การระบุจุดเชื่อมต่อและจุดปลายทาง ถึงขั้นตอน การกำจัดเส้นทางที่ไม่จำเป็น จนกระทั่ง ไม่มีเส้นทางใดๆที่สามารถกำจัดได้แล้ว จะถือเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการสร้างเส้นทาง ในหัวข้อ 3.2.2 นี้ ซึ่งตัวอย่างแสดงผลลัพธ์ ก่อน และหลังทำการกำจัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ภาพแกนกลางแผนที่ ก่อน และ หลังทำการกำจัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกไป

3.2.3 ขั้นตอนการสร้างข้อมูลพื้นที่

เป็นการนำข้อมูลของแต่ละเส้นทางมาทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทาง โดยใช้การวิเคราะห์ในระบอบกราฟเส้นตรงหาบริเวณช่องแคบในแต่ละเส้นทาง เพื่อใช้เป็นตำแหน่งในการแบ่งพื้นที่ หลังจากทำการตรวจหาตำแหน่งช่องแคบในทุกๆเส้นทางแล้ว จะทำการทดสอบการขยายบริเวณของช่องแคบในแต่ละเส้นทางเพื่อทำการหาช่องแคบแบบ Area Chokepoints



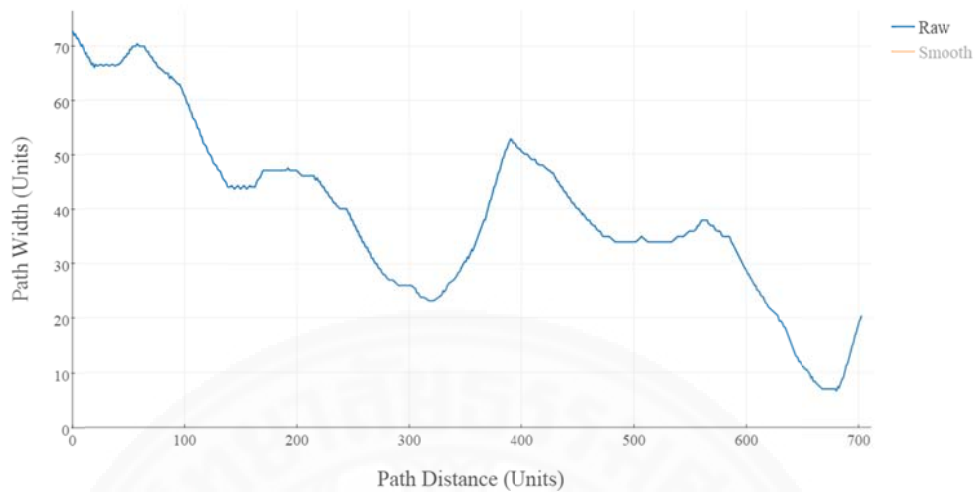
ภาพที่ 3.13 รูปแบบขั้นตอนการทำงานรวมในการสร้างข้อมูลพื้นที่

และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการแยกพื้นที่ โดยการลงสีในแต่ละพื้นที่ที่ถูกแบ่งด้วยช่องแคบ รวมถึงลงสีในพื้นที่ช่องแคบประเภท Area Chokepoint ได้ผลลัพธ์เป็นภาพสีขนาดเท่าข้อมูลภาพ แผนที่ทดลอง กระบวนการทำงานในขั้นตอนนี้แสดงดังภาพที่ 3.13

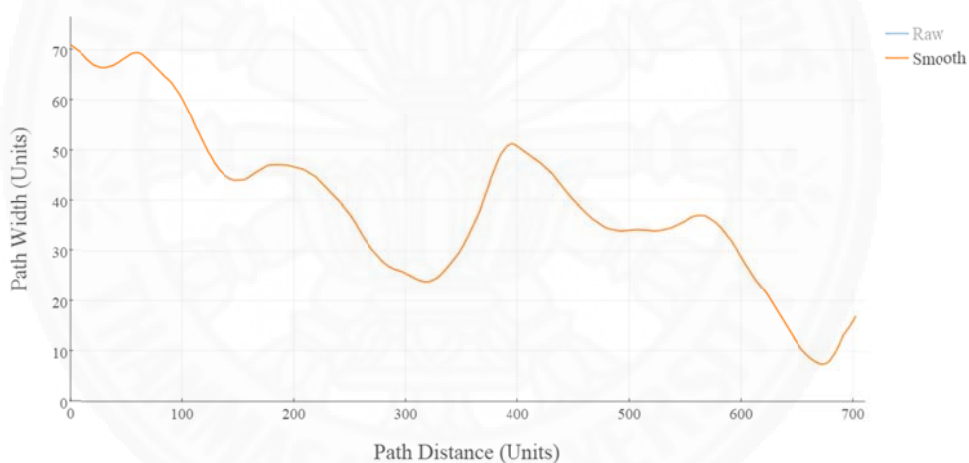
A. ขั้นตอนการตรวจหาช่องแคบ (Chokepoint Detection)

เนื้อหาในขั้นตอนนี้ จะกล่าวถึงการตรวจจับช่องแคบ จากข้อมูลเส้นทางที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งจะใช้วิธีการตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางเมื่อทำการเคลื่อนที่ โดยการสังเกตค่าความชันในระบบกราฟเส้น ดังนั้น ข้อมูลเส้นทางที่ประกอบด้วย ความกว้าง และ ระยะทางจากจุดเริ่มต้น จะถูกนำมาสร้างข้อมูลกราฟเส้น โดยให้แกน x คือระยะทางจากจุดเริ่มต้น และ แกน y คือ ความกว้างของเส้นทาง ตัวอย่างกราฟเส้นที่ได้จากข้อมูลเส้นทางแสดงในภาพที่ 3.14

เมื่อได้ข้อมูลกราฟเส้นตามภาพตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 3.14 แล้ว จะนำมากำจัดสัญญาณรบกวนในกราฟ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจหาช่องแคบด้วยวิธีการของงานวิจัยนี้ ซึ่งการกำจัดสัญญาณรบกวนในงานวิจัยนี้ ทำโดยใช้ตัวกรองตาราง 1 มิติ แบบเฉลี่ยค่าขนาด 19 ช่อง หลังจากกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว จะทำการกำจัดจุดภาพเส้นทางในกราฟที่ไม่มีผลกระทบต่อรูปทรงของกราฟออกไป ภาพตัวอย่างกราฟเส้นที่กำจัดสัญญาณรบกวนแสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.14 ภาพตัวอย่าง ข้อมูลเส้นทาง เมื่อสร้างเป็นกราฟเส้น



ภาพที่ 3.15 ภาพตัวอย่าง ข้อมูลความกว้างของเส้นทาง เมื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองเฉลี่ยค่าขนาด 19 หน่วย

จากนั้น จะนำข้อมูลเส้นทางมาระบุหาช่องแคบในแต่ละเส้นทาง ตามหลักการของงานวิจัยดังต่อไปนี้

กำหนดให้ M เป็นค่าความชันที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางอย่างมีนัยสำคัญในการเคลื่อนที่ เช่น เมื่อ $M = 0.2$ หมายถึง การเคลื่อนที่จากจุดภาพเส้นทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ความกว้างของเส้นทางจะเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ก็ต่อเมื่อค่าความชันระหว่างจุด 2 จุดบนกราฟเส้น มีค่า มากกว่า 0.2 หรือ น้อยกว่า -0.2 นั่นเอง ซึ่งในการทดลองนี้ เลือกใช้ค่า $M = 0.3$ เนื่องจากการทดลองพบว่า ค่าดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม

ตำแหน่งของช่องแคบคือ จุดต่ำสุดในช่วงกราฟที่ เมื่อการเคลื่อนที่จากทางด้านซ้ายมายังจุดต่ำสุดนั้นมีความชัน น้อยกว่า $-M$ และ การเคลื่อนที่จากจุดต่ำสุดนั้นไปทางด้านขวา มีความชันมากกว่า M ซึ่งอธิบายขั้นตอนการทำงานหลักได้ดังนี้

1. เริ่มเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น
2. คำนวณค่าความชัน (NextSlope) ในการเคลื่อนที่ไปยังจุดถัดไป
3. ตรวจสอบค่าความชัน เพื่อระบุตำแหน่งช่องแคบ

เมื่อค่า NextSlope น้อยกว่า $-M$ แปลว่า การเคลื่อนที่ครั้งนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางในลักษณะ แคบลงอย่างมีนัยสำคัญ ระบบจะตั้งค่า แพลก Match_Left ให้เป็น true เพื่อให้การเคลื่อนที่ต่อจากนี้ไป สามารถตรวจสอบถึงเงื่อนไขดังกล่าวได้

เมื่อค่า NextSlope มากกว่า 0 แปลว่า ณ ตำแหน่งปัจจุบัน คือจุดต่ำสุดของกราฟ ถ้าหาก Match_Left เป็น true ตำแหน่งนี้จะถูกพิจารณาว่ามีโอกาสที่จะเป็นช่องแคบ (Candidate Chokepoint) และเก็บไว้พิจารณา หากระบบมีการเก็บ Candidate Chokepoint ไว้ก่อนแล้ว จะทำการเปรียบเทียบความกว้างกับตำแหน่งปัจจุบันและเก็บตำแหน่งที่มีความกว้างน้อยกว่า

เมื่อค่า NextSlope มากกว่า M แปลว่า การเคลื่อนที่ครั้งนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางในลักษณะ กว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หาก Match_Left เป็น true และมีตำแหน่งที่ถูกพิจารณาว่าเป็นช่องแคบ ตำแหน่งนั้น จะถูกตรวจสอบเงื่อนไขว่าเป็นช่องแคบที่มีผลต่อการเคลื่อนที่หรือไม่ ก่อนจะระบุให้ เป็นช่องแคบที่งานวิจัยต้องการ

4. เงื่อนไขในการตรวจสอบช่องแคบ ที่ไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ ได้แก่
 - ความกว้างจริง (ค่าความกว้างจากแกน $Y * 2$) ของช่องแคบเทียบกับระยะทางรวมของเส้นทางนั้น หากความกว้างจริงของช่องแคบ มากกว่า ระยะทางทั้งหมดของเส้นทาง จะสรุปได้ว่าเป็นช่องแคบที่ไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ เนื่องจากระยะทางในการเคลื่อนที่น้อยกว่า ความกว้าง

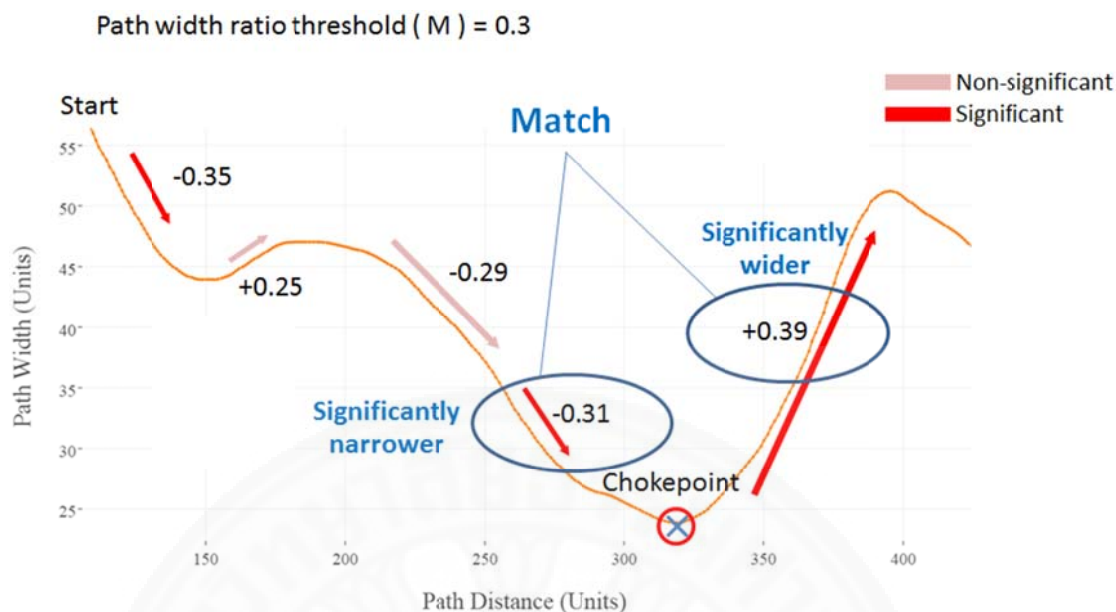
- สำหรับช่องแคบบนเส้นทางปลาย (leaf path) หากระยะทางจากตำแหน่งช่องแคบไปยังตำแหน่งจุดปลายทาง น้อยกว่าค่าความกว้างของช่องแคบ จะสรุปได้ว่าปลายทางมีโอกาสเป็นพื้นที่ทางตันเล็กๆ ดังนั้นช่องแคบนี้จึงไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่
5. เคลื่อนที่ตรวจสอบจนสิ้นสุดเส้นทางนั้นๆ
- ขั้นตอนในการตรวจหาตำแหน่งช่องแคบของแต่ละเส้นทาง แสดงให้เห็นได้จาก Pseudo Code แสดงการทำงานดังภาพที่ 3.16 และ เห็นได้จากการจำลองกระบวนการทำงานในรูปแบบกราฟเส้นดังภาพที่ 3.17

```

Start at first data point in the
graph
Loop
  Move to next data point q
  p = coordinate(q)
  Calculate slope
  If slope < -M
    Set flag = 1
    candidate = p
  Else
    If slope > 0 and flag == 1
      If width(candidate) > width(p)
        candidate = p
    If slope > M
      chokepoint = candidate
      Set flag = 0
Until end of path.

```

ภาพที่ 3.16 Pseudo Code แสดงกระบวนการหาช่องแคบในแต่ละเส้นทาง



ภาพที่ 3.17 ภาพจำลองแสดงกระบวนการหาช่องแคบของแต่ละเส้นทาง ในรูปแบบกราฟเส้นที่ได้จากภาพที่ 3.15

B. ขั้นตอนการแบ่งพื้นที่ (Separate Region)

การแบ่งกันพื้นที่ ทำโดยการสร้างเส้นขนาดความกว้าง 1 จุดภาพ ณ ตำแหน่งช่องแคบ ที่ระบบหาได้จากขั้นตอนก่อนหน้า การสร้างเส้นกันพื้นที่ (Draw separate line) จะใช้คำสั่ง DrawLine ของ OpenCV Library โดยการระบุจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของเส้นแบ่งกัน ดังนั้นเนื้อหาส่วนนี้จะอธิบายวิธีการหาตำแหน่งจุดเริ่มต้น และ จุดปลายทางของเส้นกัน ดังต่อไปนี้

กำหนดให้
 ChokePx คือ ตำแหน่งพื้นที่ ที่ถูกระบุเป็นช่องแคบ
 SourceObsPx คือ ตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ใกล้กับ ChokePx ที่สุด
 DestObsPx คือ ตำแหน่งสิ่งกีดขวางฝั่งตรงข้ามของ SourceObsPx

ในขั้นตอน Distance Transform จะมีการเก็บตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ใกล้ที่สุดของแต่ละตำแหน่งพื้นที่ ซึ่งตำแหน่งนั้นของ ChokePx คือ SourceObsPx ดังนั้น ในการหาตำแหน่ง DestObsPx จะทำโดยใช้วิธีการคำนวณในระบบ vector หาขนาด และทิศทาง จาก SourceObsPx ไปยัง ChokePx และ จาก ChokePx ไปยัง DestObsPx ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{DestObsPx} = \text{ChokePx} + \overline{(\text{ChokePx} - \text{SourceObsPx})}$$

เมื่อได้ `DestObsPx` แล้ว จะทำการตรวจว่า `DestObsPx` ที่ได้นั้น เป็นตำแหน่งของสิ่งกีดขวางหรือไม่ หากตำแหน่งดังกล่าวไม่ใช่สิ่งกีดขวาง จะทำการหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ใกล้กับตำแหน่งนั้นที่สุดมาเป็นค่าผลลัพธ์ของ `DestObsPx`

เมื่อสามารถระบุค่าตำแหน่ง `SourceObsPx` และ `DestObsPx` ของตำแหน่งช่องแคบได้แล้ว ระบบ จะทำการลากเส้นเพื่อแบ่งพื้นที่ ด้วยคำสั่ง “line” ของ OpenCV Library ภาพตัวอย่างการแบ่งพื้นที่แสดงในภาพที่ 3.18



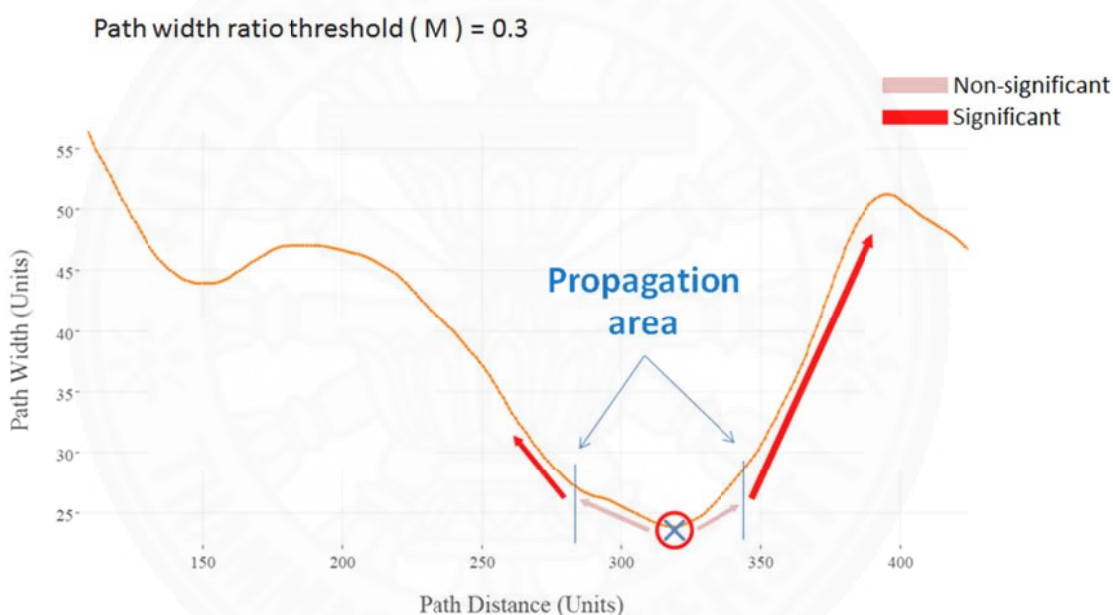
ภาพที่ 3.18 ภาพตัวอย่างการลากเส้นแบ่งพื้นที่ ณ ตำแหน่งช่องแคบ

C. การระบุหาช่องแคบแบบ Area Chokepoint

จากขั้นตอนข้างต้น ช่องแคบที่ระบบสามารถตรวจหาได้ มีเพียง Corridor และ Enclosed Space ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องแคบที่ไม่มีระยะทาง ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจหาช่องแคบแบบ Area Chokepoint ซึ่งเป็นช่องแคบที่มีระยะทาง โดยใช้วิธีการทดสอบการยี่ระยะช่องแคบทุกๆ ตำแหน่ง ในแต่ละเส้นทาง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นจากตำแหน่งช่องแคบบนเส้นทาง ในระบบกราฟ
2. ตรวจสอบด้วยการเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้นของเส้นทาง (ทิศทางด้านซ้ายของตำแหน่งช่องแคบที่กำลังพิจารณา) และเคลื่อนที่ไปยังจุดสิ้นสุดของเส้นทาง (ทิศทางด้านขวาของกราฟเส้นทางจากตำแหน่งช่องแคบ)

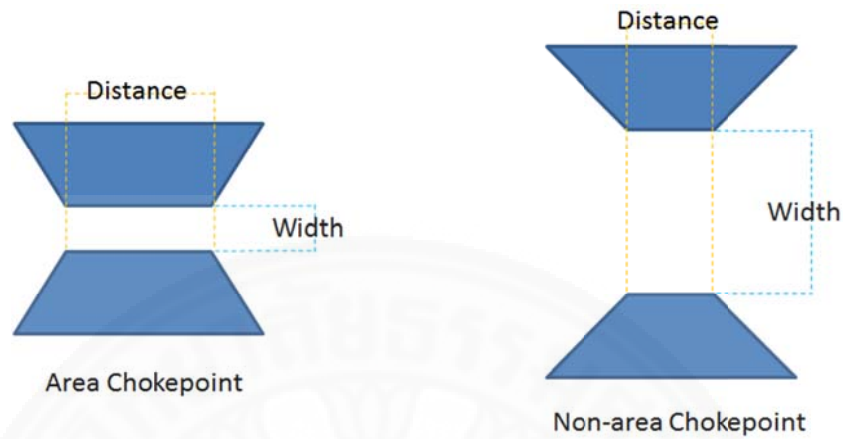
3. ในการเคลื่อนที่ของแต่ละทาง จะทำการตรวจสอบความชันในแต่ละตำแหน่งบนเส้นกราฟ หากความชันมีค่าไม่เกิน M จะหมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางเมื่อทำการเคลื่อนที่ไป ณ ตำแหน่งนั้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ระบบจะระบุให้ช่องแคบสามารถขยายระยะทาง ไปยังตำแหน่งนั้นได้
4. เมื่อเสร็จสิ้นการยืดระยะของช่องแคบทั้งสองทิศทาง บริเวณช่องแคบที่จากเดิมเป็นเพียงจุดตำแหน่งเดียว จะกลายเป็น ช่องแคบที่มีระยะทาง จึงประกอบด้วยตำแหน่ง 2 จุด ได้แก่ ตำแหน่งเริ่มต้นของพื้นที่ช่องแคบ และ ตำแหน่งสิ้นสุดของพื้นที่ช่องแคบ ซึ่งภาพตัวอย่างแสดงการทำงานขั้นตอนที่ 1-4 แสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 ภาพจำลองกระบวนการระบุหาช่องแคบแบบพื้นที่ของแต่ละเส้นทาง จากตำแหน่งช่องแคบที่ได้จากภาพที่ 3.17 ในรูปแบบกราฟเส้น

5. เมื่อได้ช่องแคบที่มีระยะทางแล้ว ระบบจะตรวจสอบช่องแคบดังกล่าวว่าเหมาะสมที่จะเป็น Area Chokepoint หรือไม่ ซึ่งลักษณะแสดงความเหมาะสมที่จะเป็น Area Chokepoint แสดงในภาพที่ 3.20 โดยเงื่อนไขในการตรวจสอบ เป็นดังนี้
 - a. ระยะทางจากตำแหน่งเริ่มต้นจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดของช่องแคบ มากกว่าความยาวเฉลี่ยของเส้นกั้นพื้นที่ ณ ตำแหน่งเริ่มต้นพื้นที่ช่องแคบ และตำแหน่งสิ้นสุดของพื้นที่ช่องแคบ 20% จึงจะถือว่า ช่องแคบนี้เป็น ช่อง

แคบที่มีระยะทาง หากไม่ใช่ ระบบจะให้กลับไปเป็นช่องแคบ แบบตำแหน่ง
ดั้งเดิม



ภาพที่ 3.20 ภาพแสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อให้ได้ช่องแคบแบบพื้นที่ที่มีลักษณะเหมาะสม

- เมื่อได้ช่องแคบที่มีระยะทางที่เหมาะสมแล้ว จะทำการขยายเส้นกัน ผนัง ตำแหน่งช่องแคบออกเป็นพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ภาพตัวอย่างผลลัพธ์การขยายระยะทางของช่องแคบ เพื่อสร้างช่องแคบแบบพื้นที่

D. การระบายสี เพื่อระบุพื้นที่ Flood Region

ในขั้นตอนนี้จะทำการระบุกลุ่มพื้นที่ด้วยการระบายสี โดยวิธีการFloodfill ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอน การหาจุดเริ่มต้นในการFlood ดังต่อไปนี้

- จุดเริ่มต้นFloodของกลุ่มพื้นที่ (Region's seed point)

เมื่อระบบทราบตำแหน่งของช่องแคบ ซึ่งเป็นตำแหน่งในการแบ่งกันพื้นที่ ทำให้ตำแหน่งถัดไปทางฝั่งซ้าย และตำแหน่งถัดไปทางฝั่งขวา ของตำแหน่งช่องแคบในระบบกราฟ จะเป็นพื้นที่คนละส่วนกัน ดังนั้น ระบบจึงใช้ตำแหน่งดังกล่าว เป็นจุดเริ่มต้นในการระบายสีพื้นที่ทั้ง2ฝั่ง ซึ่งระบบจะไม่ทำการระบายสีทับพื้นที่ ที่ถูกระบายสีแล้ว

- จุดเริ่มต้นFloodของช่องแคบแบบพื้นที่ (Area Chokepoint)

สำหรับช่องแคบแบบพื้นที่ ซึ่งเป็นช่องแคบที่มีระยะทาง จะประกอบด้วยตำแหน่งเริ่มต้นของพื้นที่ช่องแคบ และ ตำแหน่งสิ้นสุดของพื้นที่ช่องแคบ ระบบจะใช้ตำแหน่งกึ่งกลางที่อยู่ระหว่างตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสิ้นสุดของช่องแคบ เป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการระบายสี พื้นที่ภายในช่องแคบ แบบพื้นที่

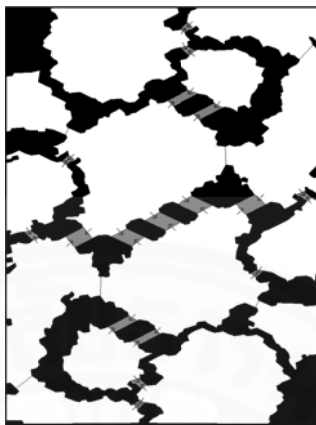
เมื่อได้ตำแหน่งที่ใช้ในการ Floodfill แล้ว ระบบจะทำการระบายสี เปรียบเหมือนการกำหนดค่า Region ID ลงไปในแต่ละตำแหน่งพื้นที่ที่เชื่อมต่อเป็นผืนแผ่นเดียวกัน การระบายสีในแต่ละจุดภาพพื้นที่จะสิ้นสุดเมื่อพบสิ่งกีดขวาง หรือเส้นแบ่งพื้นที่บริเวณช่องแคบ ซึ่งจะถือว่าสิ้นสุดการสร้าง Region ขึ้นนี้

E. การระบุจุดสำคัญ (hotspot)

ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนสุดท้าย ของกระบวนการ สร้างภาพผลลัพธ์ของการแบ่งพื้นที่ด้วยตำแหน่งช่องแคบ ซึ่งตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการระบายสีเพื่อระบุพื้นที่และการระบุจุดสำคัญ แสดงในภาพที่ 3.22

- สำหรับช่องแคบ แบบไม่มีระยะทาง จุดสำคัญ คือ จุดกึ่งกลาง ของเส้นกันพื้นที่ ณ ตำแหน่งช่องแคบนั้น
- สำหรับช่องแคบ แบบมีระยะทาง จุดสำคัญ คือ จุดกึ่งกลาง ของเส้นกันพื้นที่ ณ ตำแหน่งที่เริ่มเข้าสู่ช่องแคบ ทั้ง2ฝั่ง ซึ่งระบบจะทำการแสดงผล เป็นลูกศรบอกทิศทางในการเคลื่อนที่จากโซนพื้นที่ เข้าสู่ช่องแคบแบบพื้นที่ โดยการวาดลูกศร จะทำการเลือกตำแหน่งบนเส้นทาง ก่อนเข้าสู่ช่องแคบ เป็นจุดเริ่มต้นของลูกศร และเลือก ตำแหน่งบน

เส้นทางที่อยู่ในพื้นที่ช่องแคบ เป็นตำแหน่งของหัวลูกศร และทำการวาดด้วยคำสั่ง
“arrowedLine” ของ OpenCV Library



ภาพที่ 3.22 ภาพตัวอย่าง ภาพผลลัพธ์ตัวอย่างของงานวิจัย

3.3 การทดสอบการทำงานของขั้นตอนที่ได้ออกแบบ

งานวิจัยนี้ พัฒนาด้วย Visual Studio C++ 2010 โดยใช้ OpenCV library ซึ่งเป็น Open source สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพ (Image Processing) ช่วยในการอ่านข้อมูลรูปภาพเข้า ระบาย ลากเส้นแบ่งพื้นที่ และทำการแสดงผล

ค่า M ที่ต่างกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ของช่องแคบต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้ ทำการกำหนดค่า ดังกล่าวในการทดลองที่ $M = 0.3$

การวัดผลจะทำการเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ของงานวิจัย จะทำการเปรียบเทียบ ทั้งหมด 5 แผนที่ในเบื้องต้น ซึ่งอ้างอิงจากผลลัพธ์ งานตีพิมพ์ของ Perkins (2010) ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองของ Perkins (2010)

Map	Match	False +	False -	Time
Destination 1.1	23	1	0	19
Enarey 1.3	23	12	0	31
God's Garden	16	4	0	27
Longinus	15	2	0	28
Rush Hour 3.1	15	2	0	26
Return of the King	20	11	4	43

Table 1: Algorithm Accuracy and Running Time (seconds)

หมายเหตุ. จาก (Perkins L, 2010)

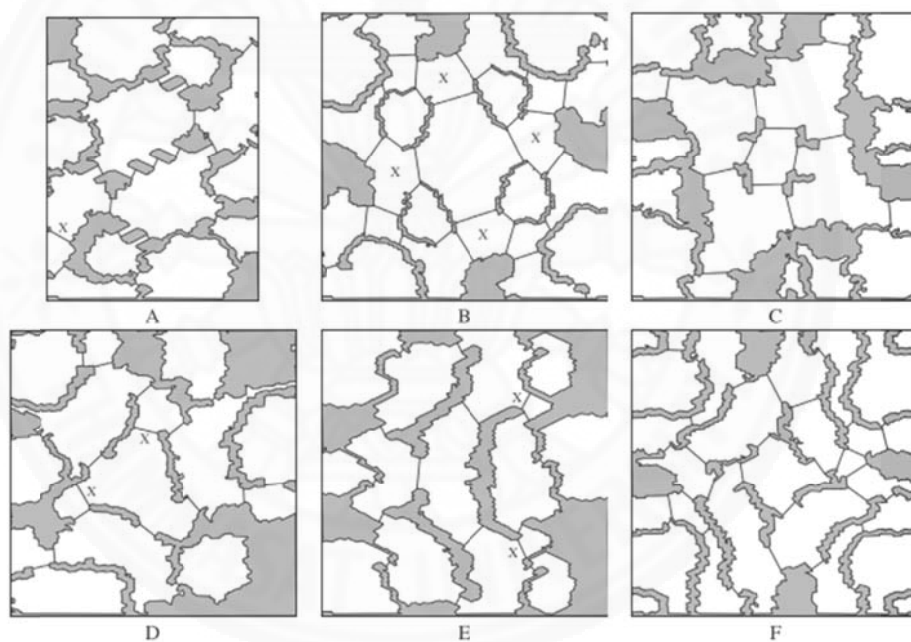
โดยที่ Match คือ จำนวนของตำแหน่งช่องแคบที่วิธีการของงานวิจัย Perkins (2010) หาได้ตรงกับตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมทดลองระบุว่าเป็นช่องแคบ

False+ คือ จำนวนของช่องแคบที่วิธีการของงานวิจัย Perkins (2010) หาได้ แต่ ผู้เข้าร่วมทดลองไม่ได้ระบุว่าตำแหน่งดังกล่าวเป็นช่องแคบ

False- คือ จำนวนของช่องแคบที่วิธีการของงานวิจัย Perkins (2010) หาไม่ได้ แต่ ผู้เข้าร่วมทดลองระบุว่าตำแหน่งดังกล่าวเป็นช่องแคบ

Time คือ เวลาในการประมวลผล

ภาพผลลัพธ์ของงานวิจัยที่จะทำการเปรียบเทียบตามตารางที่ 3.1 แสดงในภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 ภาพแสดงผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ จากการทดลองของ Perkins (2010).
จาก (Perkins L, 2010)

และเทียบกับผลลัพธ์ของวิธีการจาก Forbus et al. (2002), Obelleiro et al. (2008) และ Dill (2015) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 ภาพแสดงผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ของ Forbus et al. (2002), Obelleiro et al. (2008) และ Dill (2015) ตามลำดับ จาก (Forbus, K. D Mahoney, J. V and Dill K, 2002) จาก (Obelleiro, J Sampedro, R and Cerpa D, 2008) และ จาก (Dill K, 2015)

การเปรียบเทียบในแต่ละภาพแผนที่ จะวัดผลด้วยตำแหน่งของช่องแคบ การสังเกตด้วยสายตา เปรียบเทียบความใกล้เคียง และความแตกต่างของตำแหน่งช่องแคบที่ได้จากวิธีการของวิจัยฉบับนี้ กับผลลัพธ์จากวิธีการของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ Perkins (2010) ที่มีการวัดผลโดยการเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากผู้เข้าร่วมทดลอง Forbus et al. (2002), Obelleiro et al. (2008) และ Dill (2015)

หมายเหตุ

Map Return of the King ในงานวิจัยของ Perkins (2010) ไม่ได้ระบุตำแหน่ง False+ สังเกตได้จากการไม่ใช่เครื่องหมาย X ลงไปในภาพผลลัพธ์ F. ดังนั้น ในการวัดผลวิจัยนี้จึงไม่ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ดังกล่าว

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยฉบับนี้ เน้นการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS โดยทำการตรวจหาช่องแคบ 3 ประเภท ได้แก่ ช่องแคบทางเดิน (Corridor) ช่องแคบของพื้นที่ปิด (Enclosed Space) และช่องแคบแบบมีพื้นที่ (หรือมีระยะทาง) (Area Chokepoint) เพื่อใช้ในการแบ่ง Region จากข้อมูลแผนที่ใดๆ ที่สามารถแปลงเป็นข้อมูลภาพขาวดำได้

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการทดลองที่ได้จากวิธีการของงานวิจัย ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

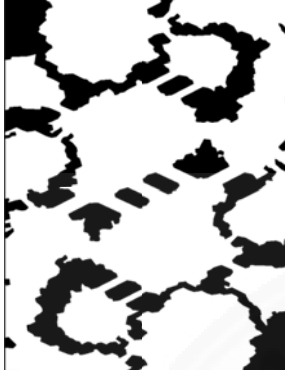




1. การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่า Threshold M ที่เหมาะสม และ
2. การวิเคราะห์ผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบทั้ง 3 ประเภทที่ได้จากวิธีการของงานวิจัย เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ที่ได้จากวิธีการของงานที่เกี่ยวข้องซึ่งได้แก่ วิธีการของ Perkins (2010) วิธีการของ Obelleiro et al. (2008) วิธีการของ Forbus et al. (2002) และ วิธีการของ Dill (2015)

ดังจะแสดงต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่า Threshold M ที่เหมาะสม





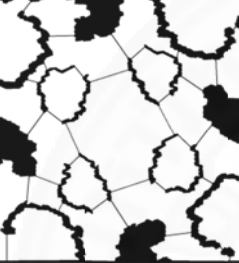
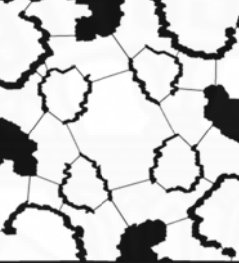
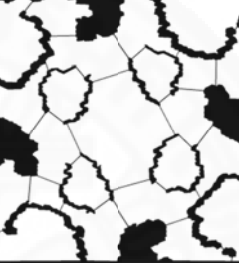
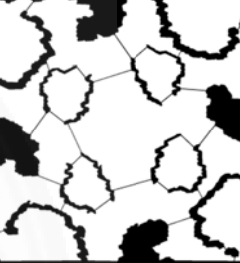




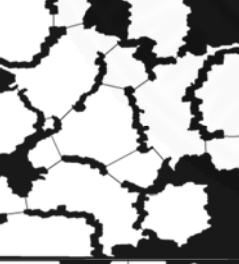
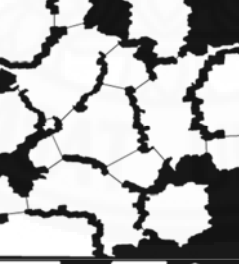
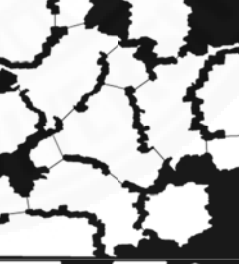





การวิเคราะห์ในส่วนนี้ ทำการทดสอบค่า M ที่มีค่าเท่ากับ 0, 0.15, 0.3 และ 0.45 กับภาพแผนที่ทดสอบ เนื่องจากงานวิจัยของ Perkins (2010) เป็นงานวิจัยเดียวที่มีการประเมินผลลัพธ์ของการแบ่งพื้นที่ ผู้วิจัยจึงทำการเลือกแผนที่ทดสอบจากงานวิจัยของ Perkins (2010) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และเปรียบเทียบโดยการสังเกตผลลัพธ์ของการแบ่งพื้นที่จากค่า M ที่แตกต่างกัน กับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ของ Perkins (2010) เพื่อหาค่า M ที่ทำให้ชุดของผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของ Perkins ที่สุด ดังแสดงผลลัพธ์การทดลองในตารางที่ 4.1

การวิเคราะห์ผลจะทดสอบเพียงการแบ่งพื้นที่ออกจากกันด้วย corridor และ enclosure เท่านั้น เนื่องจากวิธีการของ Perkins (2010) ไม่มีการหา Area Chokepoint

Destination 1.1 Map ID : 01	Enarey 1.3 Map ID : 02	God's Garden Map ID : 03
		
Longinus Map ID : 04	Rush Hour 3.1 Map ID : 05	
		






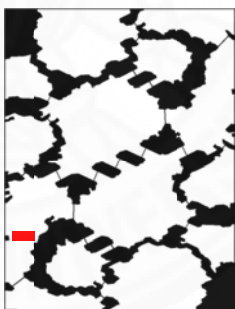


ภาพที่ 4.1 ภาพประกอบ ข้อมูลภาพแผนที่ขาว-ดำที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่า M

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ที่ได้จากค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$

Map ID	$M = 0.0$	$M = 0.15$	$M = 0.3$	$M = 0.45$
01				
02				
3				
04				
05				

4.1.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Destination 1.1 จากค่า M ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Destination 1.1 ที่ได้จากค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)

M Value	Perkins(2010)'s results	Our results	Compare Result
M = 0.0			Match: 24 False+: 2 False- : 0
M = 0.15			Match: 23 False+: 1 False- : 1
M = 0.3			Match: 23 False+: 0 False- : 1
M = 0.45			Match: 23 False+: 0 False- : 1

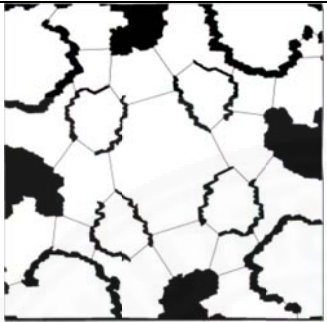
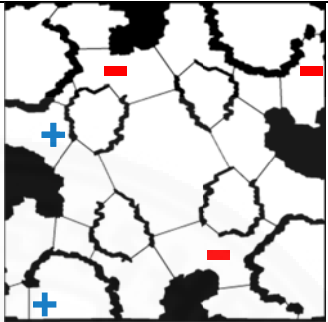
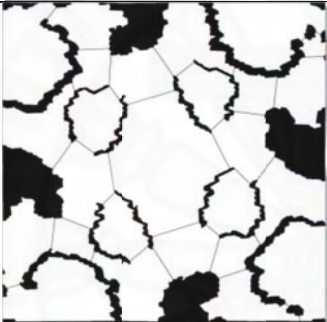
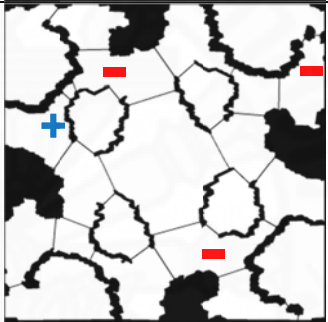
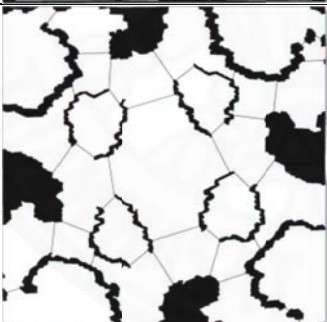
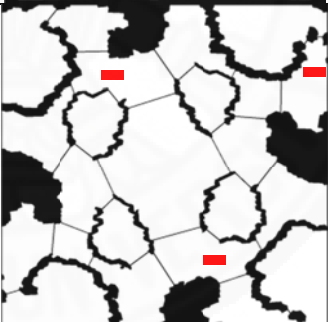
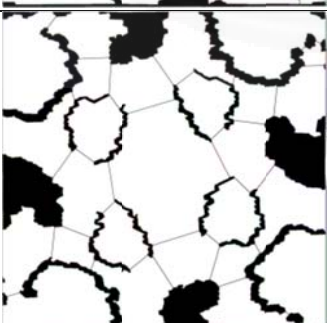
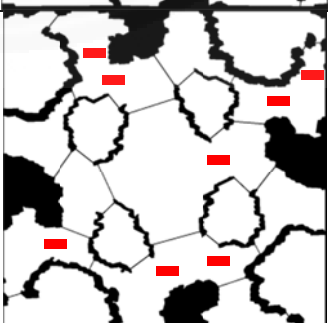
Match คือ ช่องแคบที่ตรงกัน

False + คือ ช่องแคบที่ได้จากการทดลอง แต่วิธีการของ Perkins (2010) ไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

False - คือ ช่องแคบที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) แต่ผลการทดลองไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

4.1.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Enarey 1.3 จากค่า M ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Enarey 1.3 ที่ได้จากค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)

M Value	Perkins (2010)'s results	Our results	Compare Result
M = 0.0			Match: 30 False+: 2 False- : 3
M = 0.15			Match: 30 False+: 1 False- : 3
M = 0.3			Match: 30 False+: 0 False- : 3
M = 0.45			Match: 25 False+: 0 False- : 8


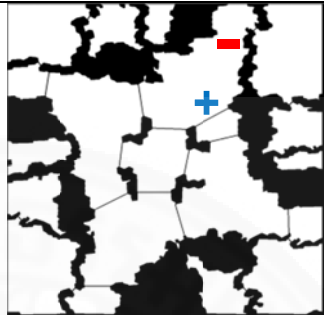



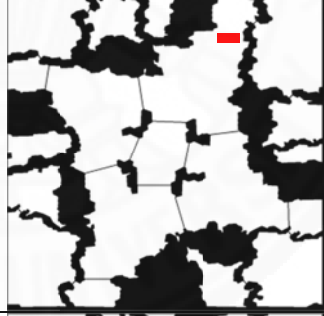

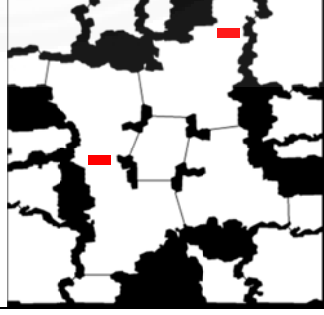
Match คือ ช่องแคบที่ตรงกัน

False + คือ ช่องแคบที่ได้จากการทดลอง แต่วิธีการของ Perkins (2010) ไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

False - คือ ช่องแคบที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) แต่ผลการทดลองไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

4.1.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ God's Garden จากค่า M ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ God's Garden ที่ได้จากค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)

M Value	Perkins (2010)'s results	Our results	Compare Result
M = 0.0			Match: 19 False+: 1 False- : 1
M = 0.15			Match: 19 False+: 1 False- : 1
M = 0.3			Match: 19 False+: 0 False- : 1
M = 0.45			Match: 18 False+: 0 False- : 2

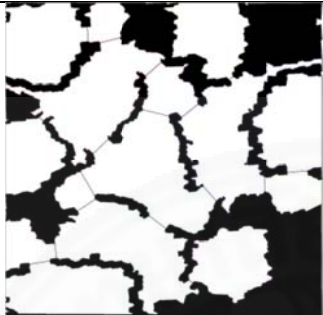


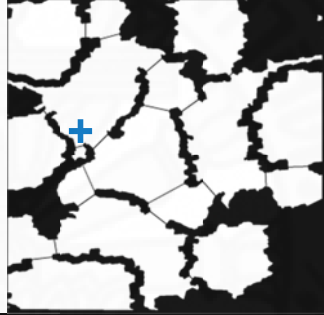

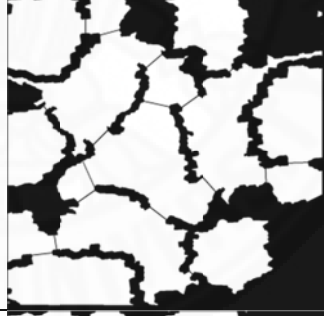
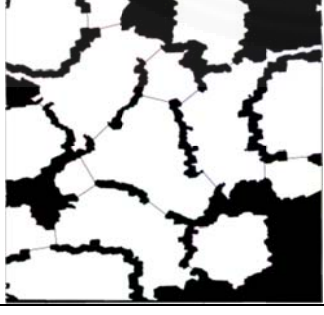
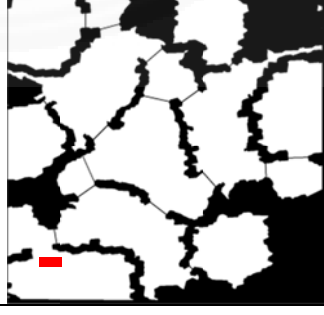
Match คือ ช่องแคบที่ตรงกัน

False + คือ ช่องแคบที่ได้จากการทดลอง แต่วิธีการของ Perkins (2010) ไม่ระบุว่า เป็นช่องแคบ

False - คือ ช่องแคบที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) แต่ผลการทดลองไม่ระบุว่า เป็นช่องแคบ

4.1.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Longinus จากค่า M ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Longinus ที่ได้จาก ค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)

M Value	Perkins (2010)'s results	Our results	Compare Result
M = 0.0			Match: 17 False+: 2 False- : 0
M = 0.15			Match: 17 False+: 1 False- : 0
M = 0.3			Match: 17 False+: 0 False- : 0
M = 0.45			Match: 16 False+: 0 False- : 1

Match คือ ช่องแคบที่ตรงกัน

False + คือ ช่องแคบที่ได้จากการทดลอง แต่วิธีการของ Perkins (2010) ไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

False - คือ ช่องแคบที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) แต่ผลการทดลองไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

4.1.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแผนที่ Rush Hour 3.1 จากค่า M ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบ ของแผนที่ Rush Hour 3.1 ที่ได้จากค่า $M = 0$, $M = 0.15$, $M = 0.3$ และ $M = 0.45$ เทียบกับผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธีการของ Perkins (2010)

M Value	Perkins (2010)'s results	Our results	Compare Result
M = 0.0			Match: 16 False+: 7 False- : 1
M = 0.15			Match: 16 False+: 4 False- : 1
M = 0.3			Match: 15 False+: 2 False- : 2
M = 0.45			Match: 14 False+: 1 False- : 3

Match คือ ช่องแคบที่ตรงกัน

False + คือ ช่องแคบที่ได้จากการทดลอง แต่วิธีการของ Perkins (2010) ไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

False - คือ ช่องแคบที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) แต่ผลการทดลองไม่ระบุว่าเป็นช่องแคบ

4.1.6 สรุปผลการวิเคราะห์เพื่อหาค่า M ที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากตารางที่ 4.2 ถึง 4.6

Map ID	M = 0.0		M = 0.15		M = 0.3		M = 0.45	
	Compare Result	Sum	Compare Result	Sum	Compare Result	Sum	Compare Result	Sum
Destination 1.1	Match: 24 False+: 2 False- : 0	22	Match: 23 False+: 1 False- : 1	22	Match: 23 False+: 0 False- : 1	22	Match: 23 False+: 0 False- : 1	22
Enarey 1.3	Match: 30 False+: 2 False- : 3	25	Match: 30 False+: 1 False- : 3	26	Match: 30 False+: 0 False- : 3	27	Match: 25 False+: 0 False- : 8	17
God's Garden	Match: 19 False+: 1 False- : 1	17	Match: 19 False+: 1 False- : 1	17	Match: 19 False+: 0 False- : 1	18	Match: 18 False+: 0 False- : 2	16
Longinus	Match: 17 False+: 2 False- : 0	15	Match: 17 False+: 1 False- : 0	16	Match: 17 False+: 0 False- : 0	17	Match: 16 False+: 0 False- : 1	15
Rush Hour 3.1	Match: 16 False+: 7 False- : 1	8	Match: 16 False+: 4 False- : 1	11	Match: 15 False+: 2 False- : 2	11	Match: 14 False+: 1 False- : 3	10

จากตารางที่ 4.7 ค่า Sum คือค่าที่ใช้แสดงความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการของงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) ซึ่งค่า Sum ได้จากการนำค่า Match ลบออกด้วย ค่า False ทั้งหมด ค่า Sum มากแสดงถึงความถูกต้องของผลลัพธ์ที่มากกว่า หรือได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับผลลัพธ์จากวิธีการของ Perkins (2010) ในกรณีที่มีค่า Sum เท่ากัน ค่า False ที่น้อยกว่าจะแสดงถึงความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของ Perkins (2010) ที่มากกว่า

ผลการทดลองแต่ละแผนที่ด้วยค่า M ที่มีค่าเท่ากับ 0, 0.15, 0.3 และ 0.45 แสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งสามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

แผนที่ Destination 1.1 ค่า M ที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมมากที่สุดได้แก่ 0.3 และ 0.45

แผนที่ Enarey 1.3 ค่า M ที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมมากที่สุดได้แก่ 0.3

แผนที่ God's Garden ค่า M ที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมมากที่สุดได้แก่ 0.3

แผนที่ Longinus ค่า M ที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมมากที่สุดได้แก่ 0.3

แผนที่ Rush Hour 3.1 ค่า M ที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมมากที่สุดได้แก่ 0.3 (เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จาก $M=0.3$ นั้นให้ค่า False ที่น้อยกว่า $M=0.15$)

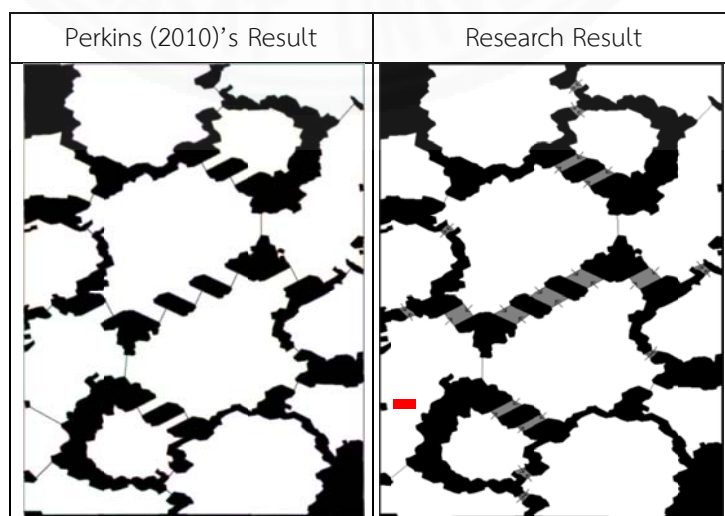
จากการอภิปรายข้อมูลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.7 ข้างต้น ผู้วิจัยจึงสรุปผลการทดลองหา ค่า M ที่เหมาะสมกับวิธีการนี้ได้แก่ 0.3

4.2 การวิเคราะห์ผลลัพธ์การตรวจหาช่องแคบ 3 ประเภท

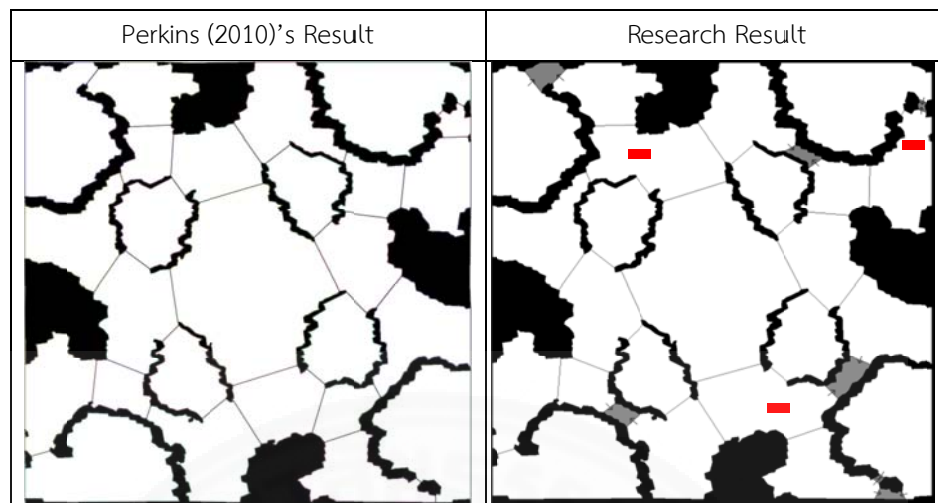
ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบและอภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการของงานวิจัยนี้ กับผลลัพธ์ของวิธีการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งวิธีการที่เกี่ยวข้องมี 4 วิธีการได้แก่ วิธีการของ Perkins (2010), วิธีการของ Obelleiro (2008), วิธีการของ Forbus et al. (2002) และ วิธีการของ Dill (2015) ดังจะนำเสนอต่อไปนี้

4.2.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ Perkins (2010)

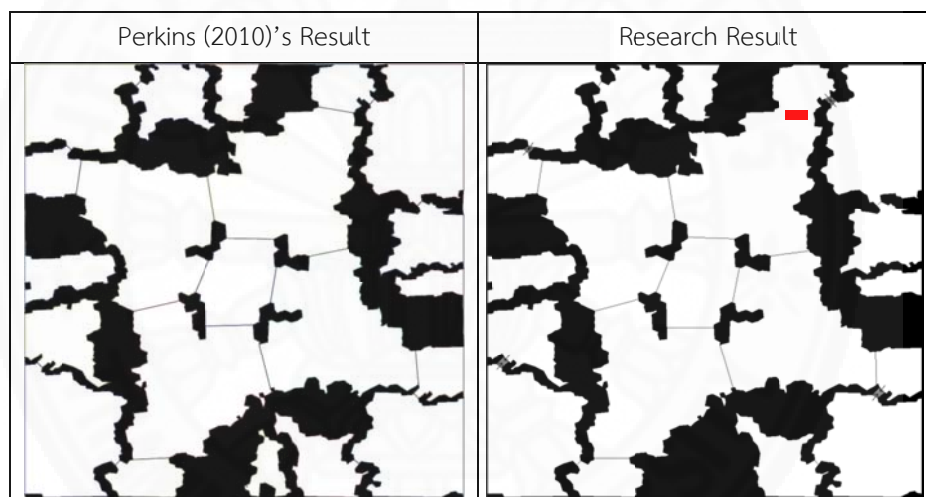
ข้อมูลแผนที่ที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีการของ Perkins (2010) มีทั้งหมด 5 แผนที่แสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการของงานวิจัยและวิธีการของ Perkins (2010) นั้นจะแสดงในภาพที่ 4.2 ถึงภาพที่ 4.6 ดังต่อไปนี้



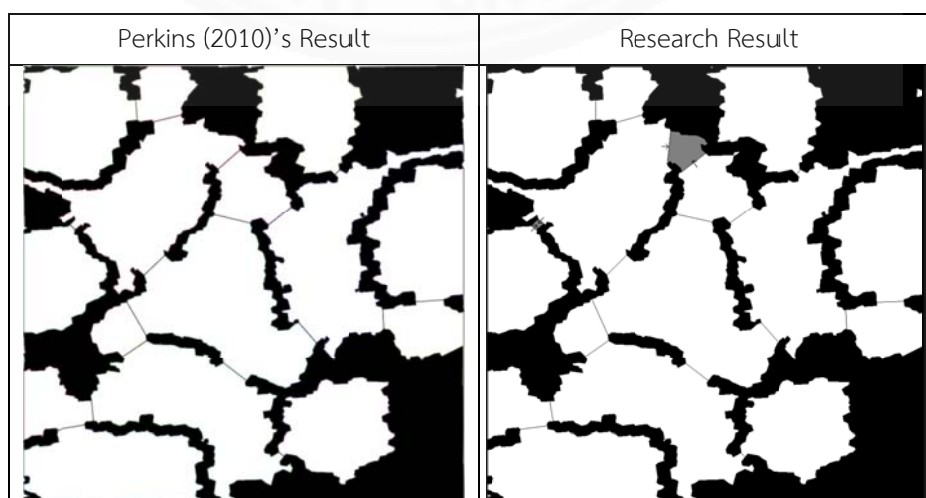
ภาพที่ 4.2 ผลลัพธ์ของแผนที่ Destination 1.1 ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย



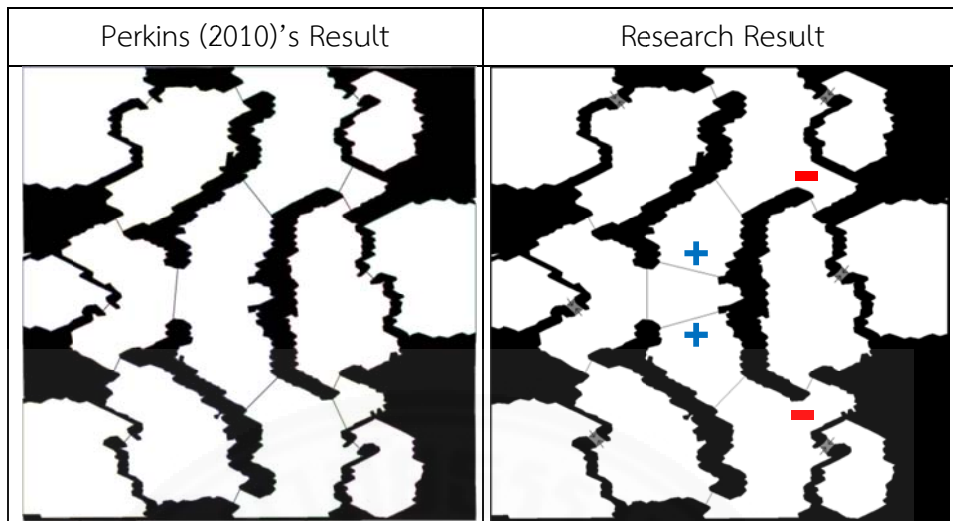
ภาพที่ 4.3 ผลลัพธ์ของแผนที่ Enarey 1.3 ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย



ภาพที่ 4.4 ผลลัพธ์ของแผนที่ God's Garden ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย



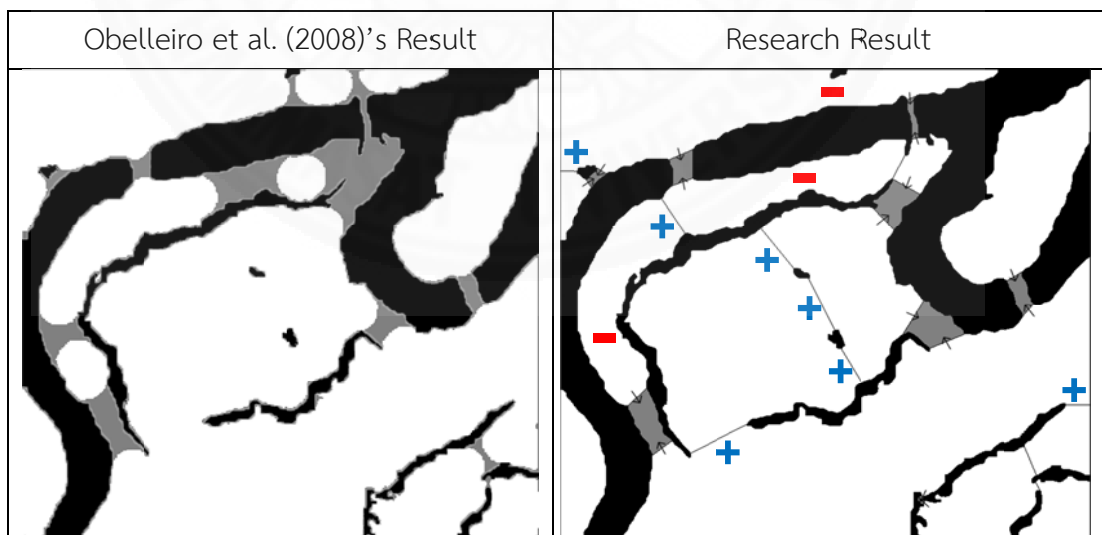
ภาพที่ 4.5 ผลลัพธ์ของแผนที่ Longinus ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย



ภาพที่ 4.6 ผลลัพธ์ของแผนที่ Rush Hour 3.1 ที่ได้จากวิธีการของ Perkins (2010) และ วิธีการของงานวิจัย

จากภาพที่ 4.2 ถึงภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าด้วยวิธีการของงานวิจัยนี้ สามารถตรวจหาช่องแคบได้ใกล้เคียงกับวิธีการของ Perkins (2010) เมื่อใช้ค่า $M = 0.3$ ดังแสดงผลการเปรียบเทียบการตรวจหาช่องแคบจากตารางที่ 4.7 และวิธีการนี้สามารถตรวจหาช่องแคบแบบพื้นที่ (Area Chokepoint) ได้ ซึ่งแสดงในบริเวณพื้นที่สีเทา

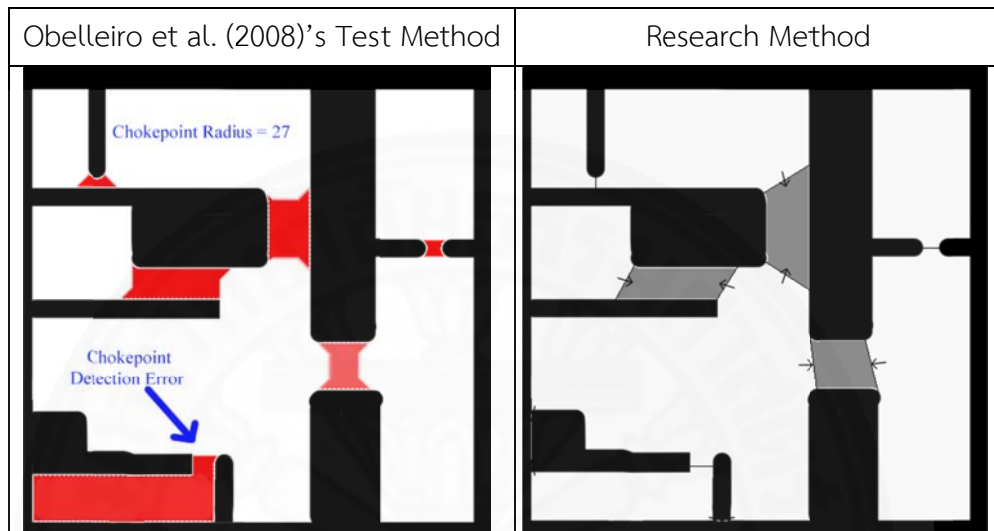
4.2.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ Obelleiro et al. (2008)



ภาพที่ 4.7 ผลลัพธ์ของแผนที่ที่ได้จากวิธีการของ Obelleiro et al. (2008) และ วิธีการของงานวิจัย

จากภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบระหว่างวิธีการของ Obelleiro et al. (2008) กับวิธีการของงานวิจัย จะเห็นได้ว่าวิธีการจากงานวิจัยนี้สามารถตรวจหา

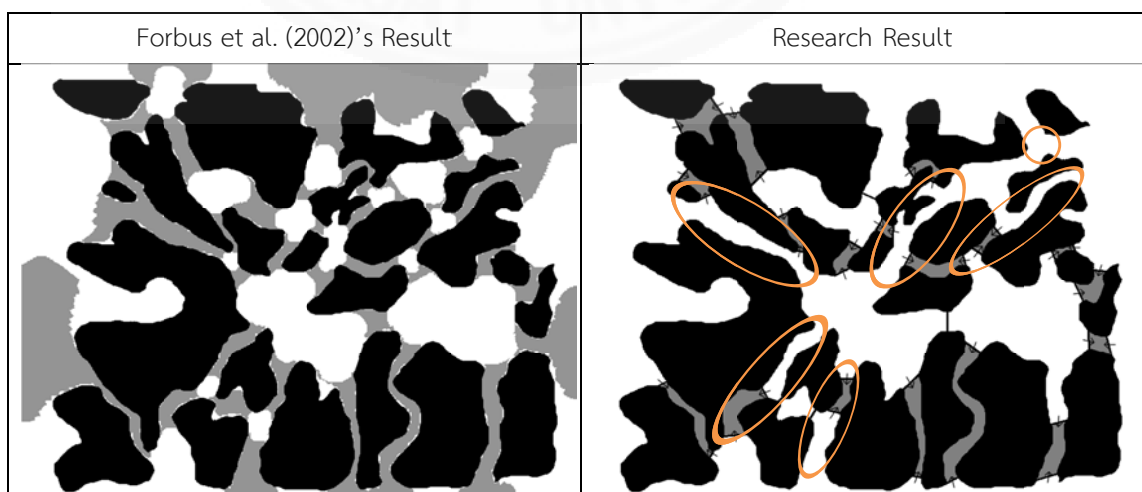
ช่องแคบที่มีขนาดที่หลากหลายได้มากกว่าวิธีการของ Obelleiro et al. (2008) เนื่องจากวิธีการของงานวิจัยนี้ใช้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทาง ในขณะที่ Obelleiro et al. (2008) ใช้ค่าความกว้างในการหาช่องแคบ แต่ในขณะเดียวกัน วิธีการของงานวิจัยนี้ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนได้ง่าย สังเกตได้จากสิ่งกีดขวางเล็กๆ 2 จุด บริเวณกลางแผนที่



ภาพที่ 4.8 ผลลัพธ์ของการทดลองวิธีการ Obelleiro et al. (2008) ที่เกิดปัญหา และ วิธีการของงานวิจัย

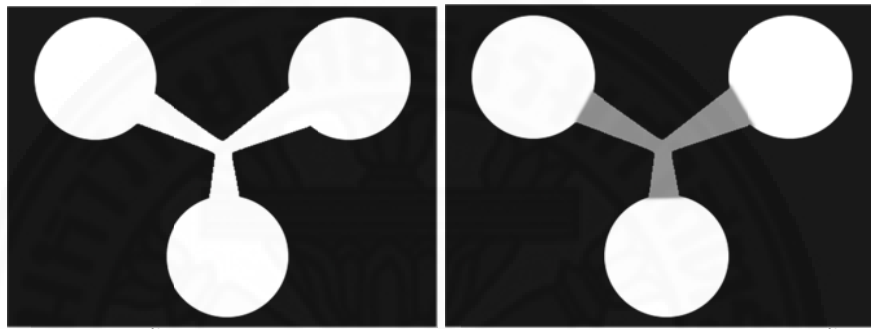
จากภาพที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการของงานวิจัย กับวิธีการของ Obelleiro et al. ในกรณีที่เกิดปัญหาจากภาพที่ 2.19 (C) จะเห็นได้ว่าวิธีการของงานวิจัยสามารถแก้ปัญหาจากตัวอย่างดังกล่าวได้

4.2.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ Forbus et al. (2002)



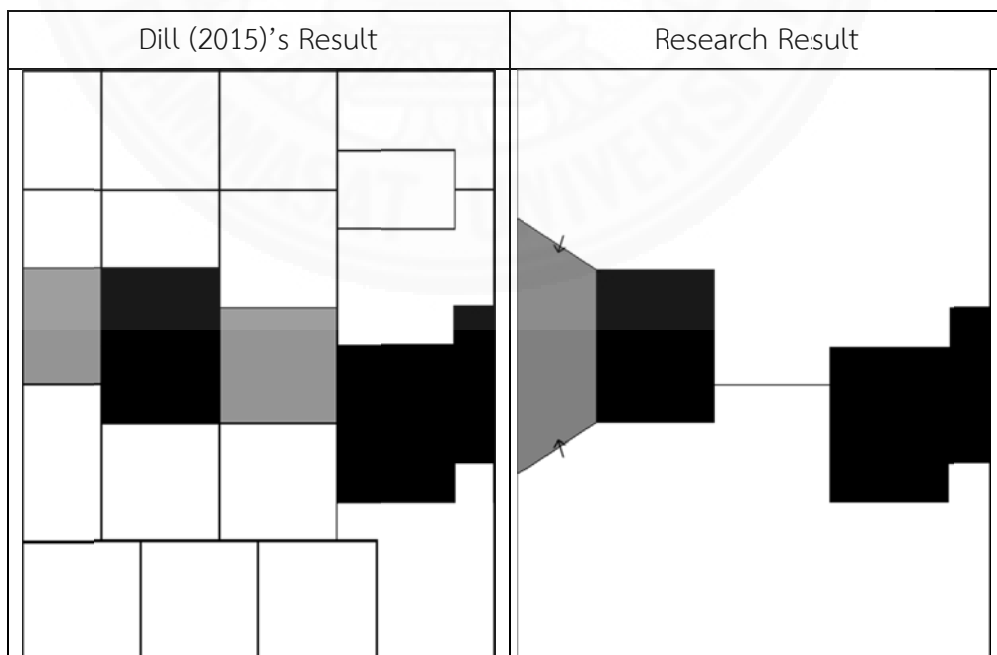
ภาพที่ 4.9 ผลลัพธ์ของแผนที่ที่ได้จากวิธีการของ Forbus et al. (2002) และ วิธีการของงานวิจัย

จากภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบระหว่างวิธีการของ Forbus et al. (2002) กับวิธีการของงานวิจัย จะเห็นได้ว่าวิธีการจากงานวิจัยนี้ไม่สามารถแบ่งพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพในกรณีที่ช่องแคบมีทางแยก ดังบริเวณที่แสดงเครื่องหมายในภาพที่ 4.9 ซึ่งวิธีการของงานวิจัยนี้ไม่ได้ออกแบบเพื่อรองรับการตรวจหาลักษณะของช่องแคบที่มีลักษณะเป็นทางแยก จึงไม่สามารถตรวจหาบริเวณที่มีลักษณะช่องแคบดังกล่าวได้ ส่งผลให้การแบ่งพื้นที่ในแผนที่ที่ประกอบด้วยช่องแคบที่มีลักษณะเป็นทางแยกไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งตัวอย่างลักษณะช่องแคบแบบทางแยกแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ภาพตัวอย่างพื้นที่ที่มีลักษณะช่องแคบแบบทางแยก(ซ้าย) และภาพตัวอย่างการแบ่งพื้นที่ด้วยช่องแคบแบบทางแยก(ขวา)

4.2.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ กับวิธีการของ Dill (2015)



ภาพที่ 4.11 ผลลัพธ์ของแผนที่ที่ได้จากวิธีการของ Dill (2015) และ วิธีการของงานวิจัย

จากภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่ระหว่างวิธีการของ Dill (2015) กับวิธีการของงานวิจัย เนื่องจากวิธีการที่ต่างกัน โดยวิธีการของงานวิจัยนี้ใช้ตำแหน่งช่องแคบในการแบ่งพื้นที่ ในขณะที่วิธีการของ Dill (2015) แบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นรูปแบบ Convex Region ก่อนทำการระบุว่า Region ใดเป็นช่องแคบ ดังนั้นจากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า ลักษณะการแบ่งพื้นที่ของ Dill (2015) นั้นได้ Region มากมาย ในขณะที่งานวิจัยนี้ได้ Region เพียง 2 ส่วน และผลลัพธ์การตรวจหาตำแหน่งช่องแคบที่ได้จากวิธีการทั้งสองนั้นได้ตำแหน่งช่องแคบที่ตรงกัน

ตารางที่ 4.8 ตารางสรุปการเปรียบเทียบในแต่ละวิธีการ

Method	Method Input Type	Corridor Chokepoint	Enclosed Spaced Chokepoint	Area Chokepoint	Junction Chokepoint
Forbus et al. (2002)	Tile	✓*	✗	✓	N/A*
Obelleiro et al. (2008)	Tile	✓*	◇*	✓	N/A*
Perkins (2010)	2D Polygon	✓	✓	✗	✗
Dill (2015)	Tile	✗	✗	✓	N/A*
Ours	Tile	✓	✓	✓	✗

หมายเหตุ

- ✗ ไม่สามารถตรวจหาช่องแคบประเภทดังกล่าวได้
- ✓ สามารถตรวจหาได้
- ✓* สามารถตรวจหาได้ แต่ใช้การนำเสนอเป็นรูปแบบของ Area Chokepoint (ไม่ใช่เส้น)
- ◇* มีโอกาสเกิดปัญหาในการตรวจหาช่องแคบแบบพื้นที่ปิดในบางกรณี ดังแสดงในภาพที่ 2.19 (C)
- N/A* ไม่สามารถระบุได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาวិธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS ด้วยวิธีการสร้างแกนกลาง รวมถึงนำเสนอหลักการตรวจหาช่องแคบโดยใช้อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทางต่อระยะทางการเคลื่อนที่ เพื่อตรวจหาช่องแคบ 3 ประเภท ได้แก่ ช่องแคบทางเดิน (Corridor) ช่องแคบของพื้นที่ที่ปิด (Enclosed Space) และช่องแคบแบบมีพื้นที่ (Area Chokepoint) โดยการทดลองสร้างผลลัพธ์การแบ่งพื้นที่จากข้อมูลภาพแผนที่ ที่ได้จากงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิธีการของ Perkins (2010) วิธีการของ Obelleiro et al. (2008) วิธีการของ Forbus et al. (2002) และ วิธีการของ Dill (2015) และวัดผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์การตรวจหาช่องแคบและแบ่งพื้นที่ที่ได้จากวิธีการของงานวิจัย กับผลลัพธ์การตรวจหาช่องแคบและแบ่งพื้นที่ที่ได้จากวิธีการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปการศึกษาวิจัย สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปการศึกษาวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการศึกษาการพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS ด้วยวิธีการสร้างแกนกลาง ซึ่งการสรุปการศึกษาวิจัย แบ่งออกเป็น การสรุปวัตถุประสงค์ของการศึกษา และสรุปวิธีการศึกษาวิจัย ดังนี้

5.1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้ ได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้นกล่าวคือ

1. ตรวจหาช่องแคบ 3 ประเภทจากข้อมูลภาพแผนที่ขาวดำ
2. สร้างภาพข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยการแยกลักษณะพื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ ออกจากกันด้วยช่องแคบ 3 ประเภท
3. เปรียบเทียบผลลัพธ์ เพื่อวิเคราะห์ข้อเด่นข้อด้อยของวิธีการในงานวิจัย กับวิธีการของงานที่เกี่ยวข้อง

5.1.2 วิธีศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยใช้ภาพแผนที่ขาวดำเป็นข้อมูลเริ่มต้น (input) ดังมีวิธีการโดยสรุปดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเข้าสู่ระบบ

ในขั้นตอนนี้จัดทำกราฟนำภาพแผนที่ขาวดำซึ่งแต่ละจุดภาพแสดงถึงตำแหน่งที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้และไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ เกิดเป็นโครงสร้างตารางที่เก็บค่า 0 และ 1 ซึ่งในมุมมองของการประมวลผลภาพพื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้หรือพื้นที่สีขาวเปรียบเสมือนวัตถุ ในขณะที่พื้นที่ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้หรือพื้นที่สีดำเปรียบเสมือนพื้นหลัง

2. ขั้นตอนการสร้างเส้นทาง

ขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการสร้างแกนกลางของวัตถุ (medial axis) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการประมวลผลภาพ วัตถุในที่นี้คือบริเวณพื้นที่ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในภาพแผนที่ แกนกลางของวัตถุจึงเปรียบเสมือนเส้นทางกึ่งกลางในพื้นที่ดังกล่าว วิธีการสร้างแกนกลางมีมากกว่าหนึ่งวิธีการ แต่เนื่องจากข้อมูลแผนที่ในงานวิจัยเป็นโครงสร้างข้อมูลแบบจุดภาพ ดังนั้นเส้นทางกึ่งกลางต้องมีลักษณะเป็นเส้นทางที่มีขนาดกว้าง 1 จุดภาพ จากการค้นหางานวิจัยพบว่าวิธีการที่ตอบโจทย์ข้างต้น ได้แก่ วิธีการของ Shih et al. (1990) ซึ่งจากการทดลองใช้วิธีการดังกล่าว มีแกนกลางบางส่วนมีขนาดกว้างมากกว่า 1 จุดภาพ งานวิจัยนี้จึงทำการสร้างระบบประมวลผลที่มีการตรวจสอบขนาดของแกนกลาง โดยจะประมวลผลแกนกลางที่ได้จนกระทั่งแกนกลางทั้งหมดมีความกว้างเท่ากับ 1 จุดภาพ จึงเป็นการสิ้นสุดขั้นตอนการสร้างเส้นทางกึ่งกลางของพื้นที่ทั้งหมดในแผนที่

สิ่งที่ต้องการถัดไปคือ การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่สำรวจ เส้นแกนกลางใดๆที่เป็นเส้นทางเดียวตลอดทั้งเส้น จุดปลายทางทั้งสองฝั่งคือจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเคลื่อนที่สำรวจในเส้นทางนั้น ในขณะที่เส้นทางที่มีการเชื่อมต่อกับเส้นทางอื่นๆมากกว่า 1 เส้นทาง ทำให้จุดที่เชื่อมต่อเส้นทางเหล่านั้นเกิดเป็นทางแยก งานวิจัยใช้จุดเชื่อมต่อดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเคลื่อนที่สำรวจเส้นทาง

ก่อนจะทำการหาช่องแคบ จะทำการกำจัดเส้นทางที่ไม่มีโอกาสพบช่องแคบออกไป การกำจัดเส้นทางเหล่านี้จะช่วยให้ทางแยกที่เกิดจากเส้นทาง

ดังกล่าวลดลง ส่งผลให้การเคลื่อนที่สำรวจของเส้นทางที่เหลืออยู่มี ประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น จากเดิมที่การเคลื่อนที่สำรวจเส้นทางต้องหยุดลงที่ ทางแยกนั้น สามารถเคลื่อนสำรวจเพื่อหาความเปลี่ยนแปลงความกว้างของ เส้นทางต่อไปได้ เป็นต้น

3. ขั้นตอนการตรวจหาช่องแคบ

ในขั้นตอนนี้จะทำการเคลื่อนที่สำรวจการเปลี่ยนแปลงความกว้างตลอด เส้นทางในทุกๆเส้นทาง ซึ่งความกว้างของเส้นทางได้จากการทำ Distance Transform เป็นกระบวนการส่วนหนึ่งของวิธีการหาแกนกลางที่กล่าวไว้ข้างต้น หากพบความเปลี่ยนแปลงความกว้างต่อระยะทางที่เคลื่อนที่แบบแคบลงอย่างมี นัยสำคัญ แปลความได้ว่า การเคลื่อนที่ผ่านเส้นทางนี้มีโอกาสพบทางแคบ เนื่องจากการเคลื่อนที่ ณ ปัจจุบัน เป็นการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่แคบ เมื่อทำการ เคลื่อนที่ต่อไปจนกระทั่งพบการเปลี่ยนแปลงความกว้างต่อระยะทางที่เคลื่อนที่ แบบกว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่า การเคลื่อนที่ที่ผ่านมานั้น ได้ทำการ เคลื่อนที่ผ่านบริเวณช่องแคบ และจะทำการระบุตำแหน่งช่องแคบบนเส้นทาง โดยใช้ตำแหน่งที่แคบที่สุดที่อยู่ระหว่างจุดที่พบการเปลี่ยนแปลงความกว้างทั้ง สอง (จุดที่แคบลง และ จุดที่กว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ)

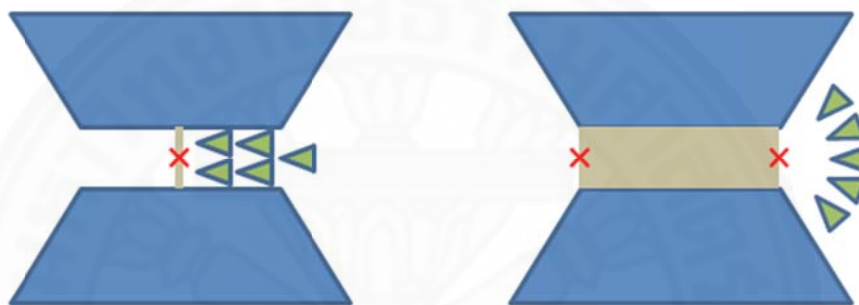
4. ขั้นตอนการตรวจหาช่องแคบแบบพื้นที่

ทุกๆตำแหน่งช่องแคบที่ตรวจหาได้ จะถูกวิเคราะห์ว่าช่องแคบดังกล่าวเป็น ช่องแคบแบบพื้นที่หรือไม่ โดยการทดสอบการเคลื่อนที่จากตำแหน่งช่องแคบ ออกไปยังตำแหน่งที่กว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองด้าน เพื่อหาระยะทางของ ช่องแคบนั้นๆ หากระยะทางของช่องแคบมีขนาดมากกว่า 20% ของความกว้าง เฉลี่ยของช่องแคบนั้น ช่องแคบดังกล่าวจะถูกระบุว่าเป็นช่องแคบแบบพื้นที่

กระบวนการศึกษาของงานวิจัย ใช้ภาพแผนที่เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการทดลอง โดย นำข้อมูลภาพแผนที่จากงานที่เกี่ยวข้องมาทำการทดลอง และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษา นี้ เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการที่เกี่ยวข้องนั้นๆ

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าวิธีการของงานวิจัยนี้ สามารถตรวจหาช่องแคบ 3 ประเภทจาก ข้อมูลภาพแผนที่ขาวดำ ได้แก่ ช่องแคบทางเดิน (Corridor) ช่องแคบของพื้นที่ปิด (Enclosed Space) โดยทั้ง 2 ประเภทนี้ได้ถูกกล่าวไว้ในงานของ Perkins (2010) ในขณะที่ช่องแคบประเภท สุดท้าย คือช่องแคบแบบมีพื้นที่ (Area Chokepoint) ซึ่งจำกัดความของช่องแคบแบบมีพื้นที่ สำหรับงานวิจัยนี้คือ ช่องแคบ 2 ประเภทข้างต้นที่มีระยะทาง สำหรับกรณีที่เหมาะสมในการระบุให้ ช่องแคบเป็นประเภทแบบมีพื้นที่ แสดงจากภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แสดงลักษณะการหาช่องแคบแบบมีพื้นที่ที่เหมาะสม

จากภาพที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ลักษณะของสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในภาพด้านซ้ายและขวา เหมือนกัน แตกต่างกันที่ภาพด้านซ้ายระบุตำแหน่งช่องแคบเป็นประเภททางเดิน ในขณะที่ภาพ ด้านขวาระบุเป็นช่องแคบแบบมีพื้นที่(ประเภททางเดินแบบมีพื้นที่) จะเห็นได้ว่าการระบุช่องแคบแบบ มีพื้นที่ช่วยทำให้การวางตำแหน่งยูนิตในการป้องกัน หรือการซุ่มโจมตี ทำได้เหมาะสม หรือมี ประสิทธิภาพมากกว่านั่นเอง

สำหรับช่องแคบที่ตรวจหาได้ เกิดจากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเส้นทาง ที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ใดบนภาพแผนที่ ทำให้สามารถตรวจหาช่องแคบของพื้นที่ปิดได้ดีกว่าวิธีการที่ใช้ เพียงความกว้างเพื่อตรวจหาช่องแคบ เช่น วิธีการของ Obelleiro et al. (2008) อีกทั้งวิธีการนี้ สามารถตรวจหาลักษณะช่องแคบแบบมีพื้นที่ ในขณะที่วิธีการของ Perkins (2010) ยังไม่สามารถ ระบุได้

เมื่อทดลองกับข้อมูลภาพแผนที่ที่ได้จาก Forbus et al. (2002) ทำให้ทราบถึงลักษณะของ ช่องแคบอีกประเภท นั่นคือ ช่องแคบแบบทางแยก ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ซึ่งวิธีการของงานวิจัยนี้ยัง

ไม่รองรับช่องแคบที่มีลักษณะดังกล่าว รวมถึงยังไม่มีงานวิจัยใดที่กล่าวถึงลักษณะของช่องแคบแบบทางแยกนี้มาก่อน

ภาพแผนที่ขาวดำที่ใช้ในการทดลองนำมาจากวิธีการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวนมาจากวิธีการที่เกี่ยวข้องนั้นๆ เรียบร้อยแล้ว เพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยในส่วนของการกำจัดสัญญาณรบกวนของข้อมูลภาพแผนที่ ในขณะที่การทดลองกับข้อมูลภาพแผนที่ที่ได้จาก Obelleiro et al. (2008) พบว่าวิธีการของงานวิจัยนี้มีความไวต่อข้อมูลสิ่งรบกวน เช่น สิ่งกีดขวางเล็กๆ ในแผนที่ เป็นต้น

ในการนำวิธีการของงานวิจัยนี้ไปใช้งานกับข้อมูลภาพแผนที่ชุดอื่นๆ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีการทดสอบเบื้องต้นเพื่อทำการหาค่า Threshold M ที่เหมาะสม ก่อนที่จะดำเนินการทำตามขั้นตอนต่อไปของงานวิจัยนี้ และวิธีการจากงานวิจัยนี้รองรับเพียงภาพขาวดำเท่านั้น สำหรับข้อมูลภาพแผนที่ในรูปแบบอื่นๆ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการของงานวิจัยนี้ได้โดยการแปลงข้อมูลให้อยู่ในลักษณะภาพแผนที่ขาวดำก่อน

5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

ด้วยวิธีการหาค่า Threshold M ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกการเปลี่ยนแปลงความกว้างอย่างมีนัยสำคัญของงานวิจัยนี้ ใช้การทดลองและสังเกตผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลแผนที่ตัวอย่าง เพื่อหาค่า Threshold M ที่เหมาะสมต่อวิธีการของงานวิจัย ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวอาจจะไม่สามารถใช้ได้กับข้อมูลภาพแผนที่ที่นอกเหนือจากการทดลอง ดังนั้นการศึกษาเพื่อพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต ควรออกแบบวิธีการเป็นระบบที่หาค่า Threshold M อัตโนมัติ รวมทั้งการตรวจหาช่องแคบแบบทางแยก เพื่อความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นของการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ภูมิประเทศสำหรับเกมประเภท RTS ด้วยวิธีการสร้างแกนกลาง ต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

Books and Book Articles

- Blum, H. (1967). A transformation for extracting new descriptors of shape. In W. Wathen-Dunn (Ed.), *Models for the perception of speech and visual form* (pp. 362–380). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Borgefors, G. (1986). Distance transformations in digital images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* (pp. 344–371). San Diego, CA: Academic Press Professional. DOI:10.1016/S0734-189X(86)80047-0
- Obelleiro, J., Sampedro, R., and Cerpa, D. (2008). RTS terrain analysis: an Image-processing approach. In Rabin, S. (Ed.), *AI gameprogramming wisdom 4* (pp. 361–372). Boston, Mass: Charles River Media.
- Dill, K. (2015). Spatial reasoning for strategic decision making. In Rabin, S. (Ed.), *Game AI Pro 2: Collected Wisdom of Game AI Professionals* (pp. 365–388): CRC Press.
- Sterren W. V. D. (2001). Terrain reasoning for 3D action games. In Deloura, M. (Ed.), *Game Programming Gems 2* (pp. 307-316): Charles River Media.

Conferences

- Shih, F. Y. & Pu, C. C. (1990). Medial axis transformation with single pixel and connectivity preservation using Euclidean distance computation. *Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition*, 10(1), pp. 723-725. DOI:10.1109/ICPR.1990.118203
- Perkins, L. (2010). Terrain analysis in real-time strategy games: an integrated approach to choke point detection and region decomposition. In G. M. Youngblood & V. Bulitko (Eds.), *Proceedings of the 6th AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, 6, pp. 168-173.: The AAAI Press.

- Si, C., Pisan, Y., & Tan, C. T. (2014). Automated terrain analysis in real-time strategy games. *Proceedings of the 9th International Conference on the Foundations of Digital Games*. Society for the Advancement of the Science of Digital Games, ISBN: 978-0-9913982-2-5
(http://www.fdg2014.org/papers/fdg2014_dc_04.pdf)
- Hale, D. H., Youngblood, G. M., & Dixit, P. N. (2008). Automatically-generated convex region decomposition for real-time spatial agent navigation in virtual worlds. In Darken, C., & Mateas, M. (Eds.), *Proceedings of the 4th Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference*, 4, pp. 173–178.: The AAAI Press.

Journals

- Forbus, K. D., Mahoney, J. V., & Dill, K. (2002). How qualitative spatial reasoning can improve strategy game AIs. *IEEE Intelligent Systems*, 17(4), pp. 25-30.
DOI:10.1109/MIS.2002.1024748
- Chang, S. (2007). Extracting skeletons from distance maps. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 7(7), pp. 213-219.
- Fabbri, R., Estrozi, L. F., & Costa, L. DA F. (2002). On Voronoi diagrams and medial axes. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 17, pp. 27-40.
- Sharma, S., & Kaur, M. (2013). Medial axis transformation based skeletonization of image patterns using Image processing techniques. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 13(4), pp. 7-10.
- Perkins, S., Jacka, D., and Marais, P., & Gain, J. (2008). A spatial awareness framework for enhancing game agent behavior. *Proceedings of the 2008 ACM SIGGRAPH Symposium on Video games*, pp. 15-22. DOI: 10.1145/1401843.1401846

บทความจาก Websites

Champanard, A. J. (2008). Terrain annotations: from designer hints to automated pre-processing. An AiGameDev Special Report. Retrieved from <http://aigamedev.com/open/article/terrain-annotations/>

Champanard, A. J. (2008). Terrain representation: AI hints and spatial data-structures. An AiGameDev Special Report. Retrieved from <http://aigamedev.com/insider/reports/terrain-representation/>

Palágyi, K. (n.d.) Skeletonization. Retrieved from <http://www.inf.u-szeged.hu/~palagyi/skel/skel.html>



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายวิทยา บิดาแก้ว
วันเดือนปีเกิด	3 มิถุนายน 2529
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2550: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่ง	Game Programmer บริษัท Q Studios Co.,Ltd.

ผลงานทางวิชาการ

Wittaya Bidakaew, Pavadee Sompagdee, Sukanya Ratanotayanon, & Pongsagon Vichitvejpaisal. (2016). RTS terrain analysis: an axial-based approach for improving chokepoint detection method. Proceedings of the 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology. 3-6 Feb. 2016: 228–233.

ประสบการณ์ทำงาน	2556 – ปัจจุบัน ตำแหน่ง Game Programmer บริษัท Q Studios Co.,Ltd. 2551 – 2556 ตำแหน่ง Effect Specialist และ MEL Script Programmer บริษัท Imagimax Co.,Ltd.
-----------------	--