บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

กำหนดการเชิงพันธุกรรม (genetic programming) เป็นวิธีในการค้นหาผลเฉลยซึ่งหมายถึงคำตอบ (solution) ของปัญหาซึ่งมีความซับซ้อนและหาคำตอบได้ยากถ้าใช้วิธีการในการหาคำตอบทั่วไป กำหนดการเชิงพันธุกรรมนี้มีแนวคิดมาจากการคัดเลือกตามธรรมชาติและตัวปฏิบัติการ(operator) ต่างๆ ในทางพันธุศาสตร์ วิวัฒนาการในธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตนั้นไม่มีแบบแผนและเป้าหมายที่แน่นอน แต่กระบวนการทางธรรมชาติจะผลักดันให้สิ่งมีชีวิตแต่ละตัวแข่งขันกันเพื่อดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมของตัวเอง ผู้ที่อ่อนแอก็จะอยู่ไม่ได้และถูกกำจัดไปส่วนผู้ที่เข้มแข็งและผู้ที่มีความยืดหยุ่นในการปรับตัวสูงซึ่งอยู่รอดจะสืบสายพันธุ์และมีวิวัฒนาการของตัวเองต่อไป สำหรับขั้นตอนของกำหนดการเชิงพันธุกรรมเริ่มจากการสุ่มกลุ่มของผลเฉลยที่เป็นไปได้ แล้วกำหนดค่าความเหมาะ (fitness value) จากฟังก์ชันความเหมาะ (fitness function) ให้กับแต่ละผลเฉลย จากนั้นทำการวิวัฒนาการจนได้กลุ่มของผลเฉลยที่มีค่าความเหมาะสูง ปัญหาก็คือผลเฉลยที่ได้มานั้นมีความเหมาะสูงเฉพาะเมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ถูกใช้เป็นตัววัดเท่านั้น ถ้าสภาพแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ผลเฉลยเดิมนั้นมักจะขาดความยืดหยุ่นในการปรับตัวจนอาจไม่สามารถทำงานได้ หรือที่กล่าวว่า ผลเฉลยที่ได้ไม่มีความทนทาน

เทคนิคหนึ่งที่ได้มีการนำมาใช้ในกำหนดการเชิงพันธุกรรมเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่มีค่าความเหมาะสูงขึ้นนั้นก็คือ การปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในกำหนดการเชิงพันธุกรรม เช่น [3]ใช้ฟังก์ชันเซตที่เหมาะสม [7] ปรับวิธีการไขว้เปลี่ยน (crossover) และวิธีการเลือกต้นแบบในการไขว้เปลี่ยน เป็นต้น

การวัดประสิทธิภาพของวิธีกำหนดการเชิงพันธุกรรมแบบหนึ่ง คือ การเทียบวัดความทนทานของผลเฉลย มักมีการกล่าวว่าผลเฉลยจะมีความทนทานถ้าผลเฉลยนั้นมีความยืดหยุ่นในการปรับตัวต่อความเปลี่ยนแปลงและความผิดพลาดต่างๆ ได้สูง และสำหรับงานวิจัยนี้ได้นิยามความทนทานว่าเป็นการที่ผลเฉลยยังคงประสิทธิผลแม้เมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปภายใต้ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่กำหนด

การวิจัยในครั้งนี้ต้องการศึกษาแนวทางในการเพิ่มความทนทานของวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรมโดยอาศัยการปรับพารามิเตอร์สำหรับปัญหาการนำร่องหุ่นยนต์ และพารามิเตอร์ซึ่งจะให้ความสนใจเป็นพิเศษ คือ รูปแบบของฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบของผลเฉลย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเสนอแนวทางในการเพิ่มความทนทานของวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรมโดยอาศัยการปรับพารามิเตอร์สำหรับปัญหาการนำร่องหุ่นยนต์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) การวิจัยนี้เพื่อศึกษาวิธีการที่ทำให้ผลเฉลยที่ได้มีความทนทาน คือ ทำให้ผลเฉลยที่ได้ยังคงประสิทธิผล แม้อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมหรือสนามทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้าง โดยอาศัยการปรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในกำหนดการเชิงพันธุกรรม
2) ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการค้นหาผลเฉลยในการควบคุมหุ่นยนต์เดินหลบหลีกสิ่งกีดขวางเพื่อไปหาเป้าหมายในระนาบ 2 มิติ ภายในขอบเขตที่กำหนดแน่นอน
3) พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ปรับในการทดลอง คือลักษณะของโนด(ฟังก์ชันและเทอมินอลที่ใช้)
4) การทดลองจะเป็นการจำลองการทำงานและสภาพแวดล้อมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยไม่ทำการทดลองกับสภาพแวดล้อมและการทำงานจริง

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาทฤษฎีของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและกำหนดการเชิงพันธุกรรม
2) ศึกษาแนวทางในการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ในวิธีกำหนดการเชิงพันธุกรรม
3) ออกแบบวิธีการปรับพารามิเตอร์ของกำหนดการเชิงพันธุกรรม
4) ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง
5) วิเคราะห์ผลการทดลอง
6) สรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ความทนทานของกำหนดการเชิงพันธุกรรมทำให้ผลเฉลยที่ได้ในโลกจำลองมีความยืดหยุ่นเมื่อพบกับความผิดพลาดมากขึ้น และน่าจะเพิ่มแนวโน้มของการประสบความสำเร็จของการนำผลเฉลยไปปฏิบัติการในโลกจริงให้ใกล้เคียงกับความสำเร็จที่ได้รับในโลกจำลองมากยิ่งขึ้น
2) คำตอบที่ทนทานมากขึ้นจะเพิ่มความน่าเชื่อถือและความสนใจในการเลือกกำหนดการเชิงพันธุกรรมเพื่อเป็นเทคโนโลยีที่จะถูกพัฒนาให้ใช้ต่อไปสำหรับวงการอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

3) สามารถใช้แนวทางในการปรับพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มความทนทานสำหรับปัญหาอื่นๆ ของกำหนดการเชิงพันธุกรรมได้

1.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
กำหนดการเชิงพันธุกรรม

กำหนดการเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนามาจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม(genetic algorithm) ซึ่งคิดค้นโดย Holland(1975) ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการค้นหาคำตอบโดยจำลองแบบตามการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างไปจากเทคนิคอื่นๆ ทางปัญญาประดิษฐ์(artificial intelligence) เนื่องจากในการแก้ปัญหาโดยเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ส่วนใหญ่นั้นจะเริ่มจากการสร้างความรู้(knowledge) แล้วทำการค้นหาคำตอบโดยอ้างอิงกับความรู้ที่เก็บไว้ แต่การแก้ปัญหาโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะต่างไป โดยจะเริ่มจากการสุ่มสร้างกลุ่มของผลเฉลยที่เป็นไปได้ ทำการวิวัฒนาการโดยเก็บสายพันธุ์ที่ดีบางส่วนเพื่อนำไปทำการผสมพันธุ์ต่อไป ส่วนที่ไม่ดีพอจะถูกกำจัดทิ้งโดยขั้นตอนการวิวัฒนาการจะเกิดขึ้นครั้งแล้วครั้งเล่าจนเป็นที่พอใจ และผลลัพธ์จะได้เป็นกลุ่มของผลเฉลย สำหรับความแตกต่างของกำหนดการเชิงพันธุกรรมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นอยู่ที่รูปแบบของผลเฉลยเป็นสำคัญ ผลเฉลยของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีลักษณะเป็นสายอักขระ(string)โดยที่ความยาวของสายอักขระของประชากรผลเฉลยในปัญหาเดียวกันจะมีขนาดคงที่ตลอดเวลา ส่วนผลเฉลยของกำหนดการเชิงพันธุกรรมจะอยู่ในลักษณะของต้นไม้(tree)ซึ่งสามารถมีขนาดและรูปร่างที่ไม่แน่นอนได้

ขั้นตอนในการค้นหาคำตอบของกำหนดการเชิงพันธุกรรม แบ่งได้เป็น การสร้างกลุ่มประชากรของผลเฉลยตั้งต้น การตรวจสอบประสิทธิภาพของผลเฉลย การสร้างกลุ่มประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ และการหาผลลัพธ์

1) การสร้างกลุ่มประชากรของผลเฉลยตั้งต้น

ขั้นตอนนี้เป็นการเริ่มต้นโดยการสร้างประชากรของผลเฉลยซึ่งได้จากการสุ่ม(random) ลักษณะของผลเฉลยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปโครงสร้างแบบต้นไม้ได้ โดยองค์ประกอบของผลเฉลยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เทอมินอล(terminal) และฟังก์ชัน(function)

ฟังก์ชัน ลักษณะของฟังก์ชันคือ ฟังก์ชันต้องการอาร์กิวเมนต์(argument)เพื่อช่วยในการทำงาน โดยที่อาร์กิวเมนต์ของฟังก์ชันสามารถเป็นอีกฟังก์ชันได้ ตัวอย่างของฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันการปฏิบัติการพื้นฐาน(เช่นการบวก ลบ) ฟังก์ชันมาตรฐานทางคณิตศาสตร์(เช่น SIN LOG) ฟังก์ชันมาตรฐานในการโปรแกรม(เช่น if-then-else) หรือฟังก์ชันทางตรรก(เช่น AND OR) เป็นต้น

เทอมินอล โดยปกติจะเป็นเซตของปัจจัยที่เป็นอิสระแก่กัน เช่น สำหรับปัญหาการหาทางออกจากเขาวงกตแล้ว เทอมินอล คือคำสั่งในการเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ตรงไป เป็นต้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเทอมินอล คือ ฟังก์ชันที่ไม่มีอาร์กิวเมนต์ก็ได้

ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้จะได้กลุ่มประชากรของผลเฉลยจำนวนหนึ่งซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป เมื่อมองในแง่ของพันธุศาสตร์แล้ว ผลเฉลยก็เปรียบเสมือนโครโมโซม(chromosome) ฟังก์ชันและเทอมินอล เปรียบเสมือนจีน(gene) บนโครโมโซมนั้นๆ สำหรับตัวอย่างของผลเฉลยอาจดูได้จากรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2

2) **การตรวจสอบประสิทธิภาพของผลเฉลย**

หลังจากที่ได้กลุ่มประชากรผลเฉลยเริ่มต้นแล้ว ขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของผลเฉลยแต่ละอัน แล้วทำการเลือกประชากรจำนวนหนึ่ง ซึ่งมักเป็นส่วนที่มีประสิทธิภาพดี เพื่อนำไปเป็นต้นแบบของการสร้างกลุ่มประชากรของผลเฉลยในรุ่น(generation) ถัดไป การตรวจวัดประสิทธิภาพจะตรวจวัดโดยทำการประเมินหาค่าความเหมาะให้กับแต่ละผลเฉลยจากฟังก์ชันความเหมาะที่กำหนด

การประเมินหาค่าความเหมาะของผลเฉลยกระทำโดยนำผลเฉลยไปทำการประมวลผลในสภาพแวดล้อมที่กำหนดซึ่งการประมวลผลผลเฉลยจะเริ่มจากราก(root) ของโครงสร้างต้นไม้ไปถึงตำแหน่งของเทอมินอลซึ่งใช้แสดงการเคลื่อนไหวหรือการตรวจจับสภาพแวดล้อมอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น *การเลี้ยวซ้าย การเดินหน้า การวัดระยะห่าง* เป็นต้น และให้กระทำคำสั่งนั้นกับหุ่นยนต์ในโลกจำลองแล้วทำการประมวลผลต่อไป ถ้าประมวลผลไปจนสุดต้นไม้แล้วให้ย้อนกลับไปเริ่มต้นที่รากของต้นไม้ใหม่จนกว่าจะสิ้นสุดเงื่อนไขที่กำหนด

ค่าความเหมาะจะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่าประชากรตัวใดจะอยู่รอดและตัวใดควรถูกกำจัด ดังนั้นเพื่อให้ประชากรที่ดีซึ่งมีความสามารถสูงในการแก้ปัญหาได้อยู่รอดต่อไป ต้องกำหนดฟังก์ชันความเหมาะที่เหมาะสมกับปัญหาให้มากที่สุด เพราะความสามารถที่ทำให้ประสิทธิภาพของประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นถัดไปจะเพิ่มขึ้นได้มากหรือน้อยเพียงใดนั้น ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งก็อยู่ที่ฟังก์ชันความเหมาะนั่นเอง

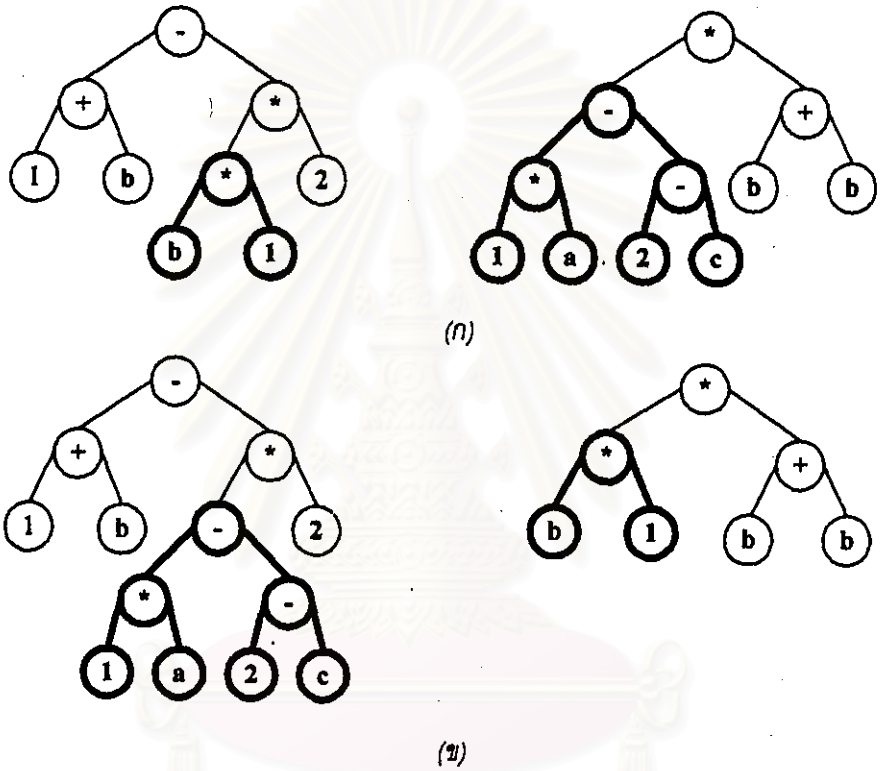
3) **การสร้างประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่**

เมื่อประชากรบางส่วนของรุ่นก่อนถูกเลือกให้มีโอกาสอยู่รอดแล้ว ส่วนที่เหลือจะถูกกำจัดทิ้ง ดังนั้นเพื่อคงจำนวนประชากรให้เท่ากันในแต่ละรุ่นแล้ว จะต้องทำการขยายพันธุ์จากกลุ่มของประชากรที่ถูกเลือกให้ครบจำนวนตามกำหนด ในส่วนนี้จะกล่าวถึงตัวดำเนินการทางพันธุกรรม(genetic operation)เพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่ดังนี้

การสืบพันธุ์(reproduce) เป็นการเลือกบางส่วนของผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพสูงจากรุ่นก่อนมาเป็นส่วนหนึ่งของประชากรในรุ่นใหม่ ซึ่งการคัดลอกนั้นทำโดยคงลักษณะเดิมทุกประการไว้

พยสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การไขว้เปลี่ยน(crossover) เป็นกระบวนการในการสร้างผลเฉลยใหม่โดยทำการแลกเปลี่ยนส่วนประกอบบางส่วนซึ่งกันและกันระหว่างผลเฉลย 2 ผลเฉลยที่เลือกมาจากกลุ่มประชากรที่ได้จากการสืบพันธุ์ วิธีการ คือทำการสุ่มเลือกผลเฉลย 2 ตัวเพื่อเป็นพ่อแม่(parent)จากกลุ่มประชากรที่สืบพันธุ์มา จากนั้น สุ่มเลือกหนึ่งตำแหน่งภายในผลเฉลยแต่ละตัว ตัดโครงสร้างต้นไม้ย่อยทั้งสองออกจากตำแหน่งในผลเฉลยแต่ละอัน แล้วทำการสลับไขว้เปลี่ยนกันไปไว้ยังตำแหน่งที่ถูกตัดออกมานั้น อันจะได้ผลเฉลยใหม่ 2 ตัวที่เราเรียกว่าลูก(children หรือ offspring)ซึ่งจะเป็นผลเฉลยที่มีลักษณะร่วมของผลเฉลยที่เป็นพ่อและแม่ ตัวอย่างของการไขว้เปลี่ยนแสดงดังรูปที่ 1.1

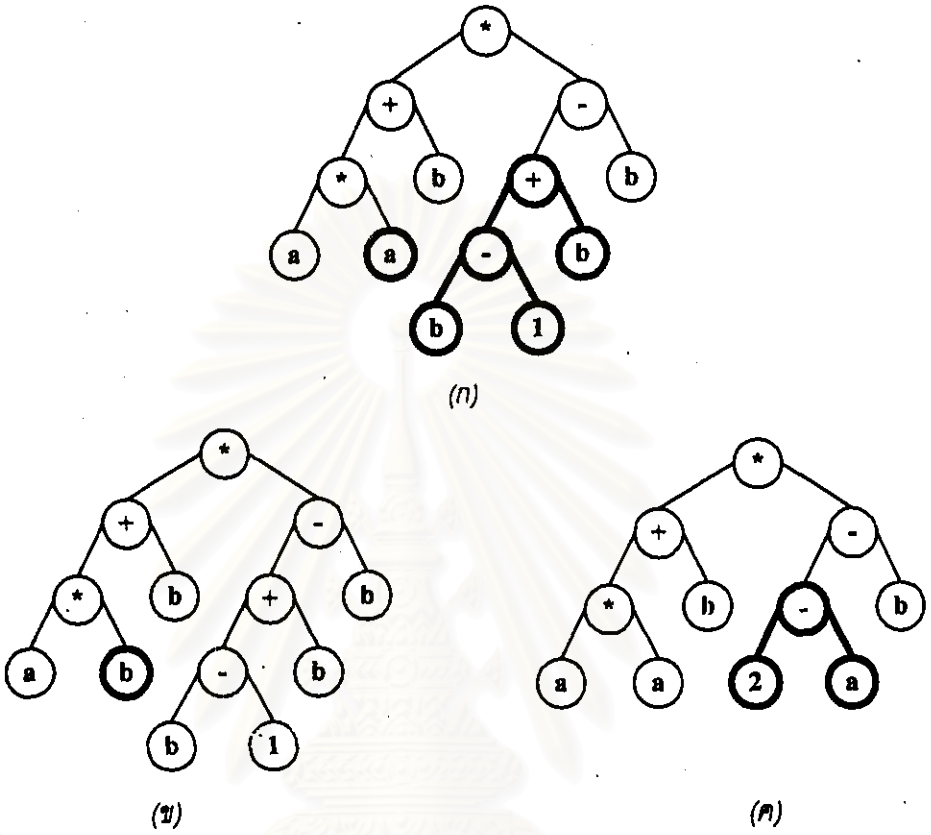


รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างการไขว้เปลี่ยนจากผลเฉลยรุ่นเดิม 2 อัน (ก) เป็นผลเฉลยรุ่นใหม่ 2 อัน (ข)

การกลาย(mutation) เป็นกระบวนการในการสร้างผลเฉลยใหม่โดยทำการเปลี่ยนแปลงจากผลเฉลยในกลุ่มประชากรที่ได้จากการสืบพันธุ์ การเปลี่ยนแปลงเป็นการเปลี่ยนแปลงโดยการสุ่มโดยทำการสุ่มเลือกผลเฉลย 1 อันแล้วสุ่มเลือกตำแหน่งเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในผลเฉลยนั้นแล้วทำการสุ่มสร้างต้นไม้ย่อยใหม่แทนต้นไม้ย่อยเก่าที่ตัดทิ้งไป และจะทำให้ได้ต้นไม้ใหม่ซึ่งกลายพันธุ์มาจากต้นไม้เก่า ตัวอย่างของการไขว้เปลี่ยนแสดงดังรูปที่ 1.2

การสุ่มเลือกผลเฉลยในกลุ่มประชากรที่ได้จากการสืบพันธุ์ในกระบวนการไขว้เปลี่ยนและการกลายนั้น สามารถสุ่มโดยให้โอกาสในการสุ่มของผลเฉลยแต่ละอันมีค่าเท่าๆ กันหรือมีค่าต่างกันไปตามค่าความเหมาะของแต่ละผลเฉลยก็ได้

ประชากรของผลเฉลยรุ่นใหม่ที่ได้ในขั้นตอนนี้ จะถูกนำไปดำเนินการซ้ำในขั้นตอนตรวจสอบประสิทธิภาพของผลเฉลยใหม่ และวนซ้ำขั้นตอนการสร้างประชากรของผลเฉลยจนกระทั่งเป็นจริงตามเงื่อนไขในการสิ้นสุดการทำงาน



รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างการกลาย

(ก) ผลเฉลยรุ่นเดิมที่ถูกเลือก

(ข) ผลเฉลยรุ่นใหม่ซึ่งเกิดการกลายโดยการเปลี่ยนเทอมินอล

(ค) ผลเฉลยรุ่นใหม่ซึ่งเกิดการกลายโดยการเปลี่ยนต้นไม้ส่วนย่อย(subtree)

4) **การหาผลลัพธ์**

ผลลัพธ์หรือคำตอบของกำหนดการเชิงพันธุกรรมนั้น จะเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 และทำงานวนซ้ำในขั้นตอนที่ 2 และ 3 ซึ่งได้กล่าวถึงตามข้างต้น โดยสามารถแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานในรูปของรหัสเทียม(pseudo code) ดังรูปที่ 1.3 สำหรับเงื่อนไขในการสิ้นสุดการทำงาน มักนิยมกำหนดให้การทำงานสิ้นสุดเมื่อครบจำนวนรุ่น

```
gen = 0
create Initial random population
evaluate fitness of each individual in population
do while (gen < max_gen)
    copy best of individuals to new generation set by reproduction rate
    create individuals by crossover equal to crossover rate
    create individuals by mutation equal to mutation rate
    evaluate fitness of each individual in population
    gen = gen+1
enddo
show result
```

รูปที่ 1.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานของกำหนดการเชิงพันธุกรรม

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดค่าขึ้นเพื่อใช้ควบคุมในกระบวนการของกำหนดการเชิงพันธุกรรม มีดังต่อไปนี้

1) รูปแบบของโนด(node) หมายถึง ลักษณะของฟังก์ชันและเทอมินอล ที่ใช้
2) จำนวนประชากรของผลเฉลย(population)ซึ่งเท่ากันในแต่ละรุ่น
3) จำนวนรุ่น (number of generation)
4) ขนาดของประชากรที่สุ่มสร้างในรุ่นแรก
5) ความน่าจะเป็นของการสืบพันธุ์ (reproduction probability)
6) ความน่าจะเป็นของการไขว้เปลี่ยน (crossover probability)
7) ความน่าจะเป็นของการกลาย (mutation probability)
8) รูปแบบของการไขว้เปลี่ยน

กำหนดการเชิงพันธุกรรมทำงานได้ดีสำหรับปัญหาหลายประเภท เช่นปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมาก โดยเป็นวิธีที่ง่ายต่อการทำงานแบบขนาน แต่ต้องใช้การคำนวณสูง

1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.7.1 การวิจัยปัญหาแขนหุ่นยนต์

Prabhas Chongstitvatana and Jumpol Polvichai [5] ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ "Learning a Visual Task by Genetic Programming" เป็นการพัฒนาระบบการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพให้สามารถทำงานได้ในโลกจริงโดยใช้กระบวนการของกำหนดการเชิงพันธุกรรม

ปัญหาที่ใช้เป็นปัญหาของการเคลื่อนไหวแขนหุ่นยนต์ให้หลบหลีกสิ่งกีดขวางมุ่งไปยังเป้าหมายที่กำหนด สภาพแวดล้อมของสนามมีการจัดวางสิ่งกีดขวางและเป้าหมายใน 3 รูปแบบโดยมีความยากง่ายที่ต่างกัน แขนหุ่นยนต์รับรู้สภาพแวดล้อมโดยภาพจากกล้อง ในขั้นตอนของการหาคำตอบไม่ได้ใส่สิ่งรบกวนใดๆ เข้าสู่ระบบ เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนต่างๆ จะนำผลเฉลยที่ได้มาทดสอบกับแขนหุ่นยนต์จริง

ผลจากการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ผลเฉลยในทุกชุดของการทดลองที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันไปนั้นประสบความสำเร็จเป็นที่น่าพอใจ แต่เมื่อนำผลเฉลยที่สำเร็จในโลกจำลองมาใช้กับแขนหุ่นยนต์จริง ปรากฏว่ามีบางผลเฉลยที่ไม่ประสบผลสำเร็จ เนื่องมาจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทำงานของแขนหุ่นยนต์จริง ทั้งนี้เพราะสภาพสนาม หุ่นยนต์ และอุปกรณ์ที่ใช้จริงมีความผิดพลาดและแตกต่างไปจากสภาพของแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ เป็นการยากหรือแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะจัดสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบจริงให้เหมือนกับสภาพแวดล้อมในคอมพิวเตอร์ที่จำลองขึ้นทุกประการ

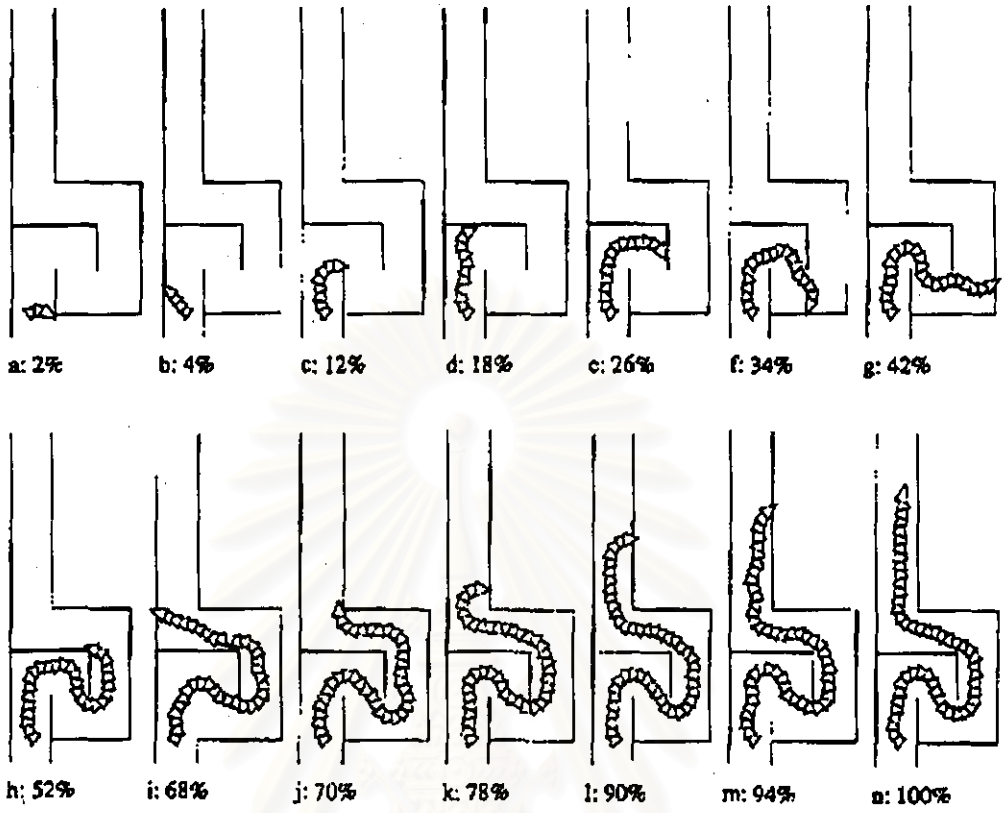
1.7.2 การวิจัยปัญหาการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางของผลเฉลย

Craig W. Reynolds [6] ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ "Evolution of Obstacle Avoidance Behavior : Using Noise to Promote Robust Solutions" เป็นการศึกษากระบวนการวิวัฒนาการของผลเฉลยให้สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางโดยเดินตามช่องทางแคบ จุดประสงค์เพื่อพัฒนาผลเฉลยที่ควบคุมหุ่นยนต์ให้ทนทาน หุ่นยนต์สามารถรับรู้สภาพแวดล้อมได้จากตัวตรวจจับ และมีหน้าที่ต้องเคลื่อนที่โดยไม่ชนสิ่งกีดขวาง

สิ่งกีดขวางของงานวิจัยนี้ เป็นสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงคือ ทางเดินมีลักษณะเป็นช่องทางแคบ การเดินตามทางแคบโดยไม่ชนสิ่งกีดขวางจะต่างจากการเดินหลบหลีกสิ่งกีดขวางบนพื้นที่กว้าง การเดินตามทางแคบจะเดินได้ยากกว่า เนื่องจากไม่สามารถเดินหลีกไปทางพื้นที่ว่างด้านข้างได้ แต่จะต้องเดินในลักษณะ U-turn ซึ่งต้องมีการคำนวณมุมมองศาที่ดีพอร่วมกับความเร็วในการเคลื่อนที่ด้วย

ผลเฉลยที่จะใช้งานได้ในโลกจริงจำเป็นจะต้องมีความทนทานเพื่อให้ยังคงสามารถประสบผลสำเร็จเมื่อมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นในโลกจริง ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งผลเฉลยที่มีความทนทานต่อสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นได้ดี ได้ออกแบบให้มีการใส่การรบกวนในระหว่างการเรียนรู้ โดยจะทำการสมมติให้การทำงานของหุ่น

ยนต์อันหมายถึงการรับรู้ของตัวตรวจจับและคำสั่งเคลื่อนที่ต่างๆ เกิดความผิดพลาดขึ้นบ้างเล็กน้อย เช่น เคลื่อนที่ผิดพลาด ตัวตรวจจับบอกตำแหน่งผิดพลาด



รูปที่ 1.4 สภาพทางเดิน หุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลองและเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการเคลื่อนที่ลักษณะต่างๆ

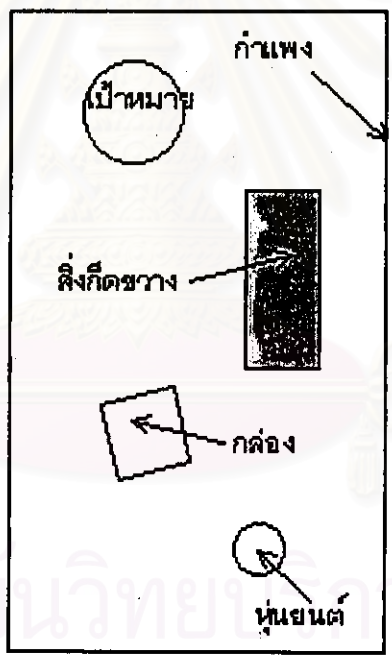
ในรูปที่ 1.4 แสดงสภาพทางเดินและหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลองและแสดงเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการเคลื่อนที่ลักษณะต่างๆ ผลเฉลยที่ได้ค่าความเหมาะ 100% หมายถึงผลเฉลยที่เดินครบจำนวนก้าวที่กำหนดได้โดยไม่ชนสิ่งกีดขวางและถือได้ว่าผลเฉลยนั้นมีความทนทาน

ผลจากการทดลอง ไม่พบผลเฉลยที่มีความทนทานตามที่ตั้งข้อกำหนดไว้ เนื่องจากผลจากการทดลองของกลุ่มที่มีการใส่การรบกวนไม่มีการทดลองใดสร้างผลเฉลยที่มีค่าความเหมาะถึง 100% ในขณะที่กลุ่มซึ่งไม่มีการใส่การรบกวนในระหว่างการเรียนรู้ มีบางการทดลองที่สามารถสร้างผลเฉลยที่มีค่าความเหมาะ 100% ได้ ผู้วิจัยให้ความเห็นสำหรับกรณีที่ล้มเหลวไว้หลายประการเช่น ใช้จำนวนการทดลองไม่มากพอ ปัญหายากเกินไป ต้องการคำตอบเฉพาะเจาะจงมากเกินไป หรือการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายเกินไป เป็นต้น

1.7.3 การวิจัยความทนทานของผลเฉลย

Takuya Ito, Hitoshi Iba และ Masayuki Kimura [3] ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ "Robustness of Robot Program Generated by Genetic Programming" เป็นการศึกษาความทนทานของผลเฉลยโดยกำหนดการเชิงพันธุกรรม โดยได้มีการนิยามความทนทานในที่นี้ว่าเป็นความสามารถของผลเฉลยที่ควบคุมหุ่นยนต์ในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ

ปัญหาที่ใช้เป็นปัญหาเกี่ยวกับการย้ายกล่องไปยังเป้าหมายที่กำหนด ภายใต้สภาพแวดล้อมพื้นที่จำกัด วัตถุที่เกี่ยวข้องมีเพียง 5 ชิ้น คือ หุ่นยนต์ กล่อง สิ่งกีดขวาง เป้าหมาย อย่างละชิ้น ถูกล้อมรอบด้วยกำแพงสี่เหลี่ยมดังในรูปที่ 1.5 ตัวหุ่นยนต์มีตัวตรวจจับที่รับรู้สภาพแวดล้อมในแง่ต่างๆ 5 ชนิดคือ โดยสัมผัส โดยการมองเห็น โดยรับรู้ระยะห่างกับวัตถุใกล้สุด โดยการชนกับวัตถุ โดยตรวจสอบระยะห่างจากเป้าหมาย นอกจากนี้ความสามารถในการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์มีดังนี้คือ การเดินหน้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา หยิบวัตถุ ปล่อยวัตถุ



รูปที่ 1.5 แสดงสภาพแวดล้อมของปัญหาหุ่นยนต์หยิบกล่อง ในการทดลองของ Ito, Iba และ Kimura (1996)

การทดลองเพื่อหาผลเฉลยที่มีความทนทานนั้น ทำโดยการสร้างการทดลอง 2 รูปแบบ การทดลองแรก โดยทำการเปลี่ยนค่าเงื่อนไขเริ่มต้นต่างๆ เช่น ตำแหน่งและทิศทางเริ่มต้นของหุ่นยนต์ เพื่อทดสอบว่าจะสามารถหาผลเฉลยที่สำเร็จซึ่งไม่ขึ้นกับค่าเงื่อนไขเริ่มต้นได้หรือไม่ การทดลองแบบที่สองจะเป็นการรบกวนในตัวตรวจจับและตัวเคลื่อนที่โดยทำให้การทำงานของตัวตรวจจับและตัวเคลื่อนที่มี

ความผิดพลาดไปบ้าง ในแต่ละการทดลอง จะนำผลเฉลยที่ดีที่สุดจากกลุ่มประชากรของแต่ละรุ่นไปทำการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน 50 สภาพแวดล้อม

ผลของการวิจัยพบว่าผลเฉลยที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 รูปแบบมีความทนทาน โดยผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่า การที่ผลเฉลยมีความทนทานนั้น ประการแรกเนื่องมาจากตัวตรวจจับมีความสามารถหลายประเภทประกอบกันในการรับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมซึ่งได้มีการกำหนดไว้อย่างเหมาะสม สาเหตุอีกประการหนึ่งน่าจะมาจากส่วนล้นเกิน(redundancy)ภายในผลเฉลยซึ่งผู้วิจัยได้กล่าวถึงส่วนล้นเกินว่าเป็นการที่มีส่วนซึ่งกระจัดกระจายตามที่ต่างๆ ของผลเฉลยที่ไม่มีประสิทธิภาพในสถานการณ์หนึ่ง แต่กลับให้ประโยชน์ในอีกสถานการณ์หนึ่ง โดยลักษณะดังกล่าวได้มาจากฟังก์ชันที่ชื่อ prog2 ซึ่งกำหนดให้ประมวลผลอาร์กิวเมนต์ของตัวเองตามลำดับ

1.7.4 การวิจัยความทนทานของผลเฉลยที่ทดสอบโดยใช้หลายสนาม

Prabhas Chongstitvatana [8] ได้ทำการวิจัยในหัวข้อ "Improve Robustness of Robot Program Generated by Genetic Programming for Dynamic Environments" เพื่อเสนอวิธีการในการพัฒนาความทนทานของผลเฉลยที่ได้จากกำหนดการเชิงพันธุกรรมโดยใช้จำนวนหลายสนามเป็นตัวทดสอบ

ปัญหาที่ใช้เป็นปัญหาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากจุดตั้งต้นให้ไปยังจุดปลายทางที่กำหนดภายในพื้นที่ปิดซึ่งมีสิ่งกีดขวางอยู่ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา รวมทั้งสามารถรับรู้การเข้าใกล้เป้าหมายด้วย สำหรับสิ่งกีดขวางจะเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดใกล้เคียงกัน มีรูปทรงที่ต่างกัน จัดวางกระจัดกระจายภายในพื้นที่ปิด อัตราส่วนของพื้นที่ของสิ่งกีดขวางกำหนดไว้ที่ประมาณ 20% ของพื้นที่โดยรวม

การทดลองเพื่อหาผลเฉลยที่มีความทนทานโดยอาศัยการขยับตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง โดยการหาค่าความเหมาะของผลเฉลยจะได้จากการทดสอบในสนามหลายสนามที่ถูกทำให้เปลี่ยนไปจากสนามต้นแบบ สำหรับการหาค่าความเหมาะของผลเฉลยกระทำโดยการเลือกผลเฉลยที่ดีที่สุดของรุ่นสุดท้ายและทดสอบภายใต้สนาม 2000 สนามที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากสนามต้นแบบ

ผลของการทดลองพบว่า ค่าความทนทานของผลเฉลยจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนสนามที่ใช้ทดสอบในการหาค่าความเหมาะในช่วงกระบวนการวิวัฒนาการนั้นมากขึ้น

ผลจากงานวิจัยปัญหาแขนหุ่นยนต์ [5] แสดงให้เห็นว่า คำตอบส่วนหนึ่งที่ได้จากโลกจำลองบนคอมพิวเตอร์ล้มเหลวเมื่อนำไปใช้กับแขนหุ่นยนต์จริงอันเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโลกจริง คำตอบดังกล่าวมีความเปราะบางและไม่ยืดหยุ่นต่อความผิดพลาดและความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาแนวทางในการเพิ่มความทนทานให้กับคำตอบ ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับความทนทานของผลเฉลย Craig W. Reynold [6] ทดลองโดยใส่การรบกวนใน

ระหว่างการเรียนรู้สำหรับปัญหาของการเดินตามทางแคบ ผลที่ได้ไม่พบผลเฉลยที่มีความทนทานตามที่ตั้งข้อกำหนดไว้ ในขณะที่ Takuya Ito, Hitoshi Iba และ Masayuki Kimura [3] ทำการทดลองโดยใส่การรบกวนในระหว่างการเรียนรู้สำหรับปัญหาการย้ายกล่องไปยังเป้าหมายที่กำหนด ผลการทดลองปรากฏว่าสามารถได้ผลเฉลยที่มีความทนทาน และสรุปถึงความสำเร็จว่ามาจากความสามารถของตัวตรวจจับประการหนึ่งร่วมกับการกำหนดฟังก์ชันที่เหมาะสม ในงานวิจัยของ Prabhas Chongstitvatana [8] ทำการทดลองกับปัญหาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในพื้นที่ปิดที่มีสิ่งกีดขวางอยู่โดยทดลองผลเฉลยกับสนามหลายสนาม ผลการทดลองพบว่าความทนทานของผลเฉลยขึ้นกับจำนวนสนามที่ผลเฉลยนั้นใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกที่จะทำการทดลองในปัญหาของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในพื้นที่ปิดที่มีสิ่งกีดขวางอยู่ โดยไม่ทำการใส่การรบกวนในระหว่างขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้ สำหรับวิธีการได้เลือกที่จะใช้การปรับฟังก์ชันเซตเนื่องจากให้ความสนใจต่อข้อสรุปของงานวิจัยของ Takuya Ito, Hitoshi Iba และ Masayuki Kimura ที่กล่าวถึงความสำเร็จที่มาจากการเลือกใช้ฟังก์ชันเซตที่เหมาะสม

1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย

บทที่ 2 จะเป็นการนำเสนอลักษณะของปัญหาการนำร่องหุ่นยนต์ในพื้นที่ปิดที่มีสิ่งกีดขวางอยู่และรายละเอียดต่างๆ ของกำหนดการเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในการทดลอง บทที่ 3 เสนอขั้นตอนในการทดลองเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มความทนทาน และสรุปผลการทดลองในบทที่ 4

1.9 ผลงานที่ตีพิมพ์จากงานวิจัย

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการ โดยนำเสนอในงานประชุมวิชาการ The third Annual National Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE) วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ. 2542 ซึ่งจัดที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในหัวข้อ "Improving the robustness of a genetic programming learning method by function set tuning" โดย Maria Prateeptongkum และ Prabhas Chongstitvatana