บทที่ 2

กำหนดการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์

บทนี้เสนอรายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 1) ลักษณะและพารามิเตอร์ต่างๆของปัญหาแขนหุ่นยนต์ 2) รายละเอียดต่างๆของกำหนดการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์ได้แก่ โครงสร้างของโปรแกรมหุ่นยนต์ การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมหุ่นยนต์ ลักษณะของตัวสร้างประชากรเริ่มต้นซึ่งออกแบบใหม่ การปฏิบัติการเชิงพันธุกรรมที่ใช้ และพารามิเตอร์ต่างๆของกำหนดการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์ และ 3) สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ลักษณะของปัญหาแขนหุ่นยนต์

ปัญหาแขนหุ่นยนต์ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาตลอดการวิจัยนี้ได้นำมาจากจากปัญหาแขนหุ่นยนต์ในการวิจัย *การเรียนรู้ของแขนหุ่นยนต์โดยใช้การโปรแกรมเชิงพันธุการ* ของ จุมพล พลวิชัย (2539) เป้าหมายของปัญหาแขนหุ่นยนต์คือการหาโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายโดยต้องหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางซึ่งในการวิจัยนี้ *โปรแกรมหุ่นยนต์* หมายถึงผลเฉลยที่ถูกสร้างในกระบวนการกำหนดการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์

ในการทดลองปัญหาแขนหุ่นยนต์ของการวิจัยดังกล่าว ได้ใช้กล้องวิดีทัศน์ในการจับภาพแขนหุ่นยนต์และสภาพแวดล้อมในการทำงานจากด้านบน ภาพที่ได้จากการจับภาพโดยกล้องวิดีทัศน์จะถูกนำมาประมวลผลเพื่อจำแนกชนิดและหาตำแหน่งของวัตถุต่างๆในภาพซึ่งได้แก่ แขนหุ่นยนต์ สิ่งกีดขวาง และเป้าหมาย จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปจำลองแบบสภาพแวดล้อมในคอมพิวเตอร์ และใช้กระบวนการกำหนดการทางพันธุกรรมในการหาโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนแขนหุ่นยนต์หลบสิ่งกีดขวางไปยังเป้าหมายได้ ซึ่งผลการทดลองพบว่ากระบวนการกำหนดการเชิงพันธุกรรมสามารถใช้ในการแก้ปัญหาแขนหุ่นยนต์ได้จริง

สำหรับส่วนประกอบของปัญหาแขนหุ่นยนต์อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญคือ

1. **ส่วนแขนหุ่นยนต์** ตัวแขนหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 3 ท่อน แต่ละท่อนมีความยาวต่างกัน แต่ละท่อนยึดติดกับข้อต่อซึ่งมีจำนวน 3 ข้อต่อได้แก่ ข้อต่อหัวไหล่ ข้อต่อข้อศอก และข้อต่อมือ โดยแต่ละข้อต่อจะมีระยะจำกัดของการหมุนแตกต่างกัน ข้อต่อมีการเคลื่อนที่ในระนาบ 2 มิติ

2. **ส่วนการมองเห็นและการประมวลผลข้อมูลภาพ** ส่วนการมองเห็นและการประมวลผลข้อมูลภาพนี้ เป็นส่วนที่สร้างข้อมูลอินพุตให้แก่ระบบทั้งหมด ได้แก่ข้อมูลสภาพแวดล้อมของปัญหาแขนหุ่นยนต์เบื้องต้น และข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลเทอมินอลและฟังก์ชันต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมหุ่นยนต์ การมองเห็นเกิดจากการจับภาพด้วยกล้องวีดีทัศน์จากนั้นทำการแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไป

เนื่องจากการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอแนวทางในการลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณของวิธีการเรียนรู้แบบกำหนดการเชิงพันธุกรรมซึ่งไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำงานของแขนหุ่นยนต์จริง จึงทำการทดลองโดยจำลองแบบการทำงานของแขนหุ่นยนต์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยยังคงมีขั้นตอนการทำงานต่างๆเช่นเดียวกับการทำงานของแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมจริง

2.2 <u>พารามิเตอร์ของแขนหุ่นยนต์และพื้นที่ในการจำลองแบบ</u>

พารามิเตอร์ของแขนหุ่นยนต์และพื้นที่ในการจำลองแบบในการวิจัยนี้ได้ใช้ชุดเดียวกันกับข้อมูลการทดลองในรายงานการวิจัย *Learning a Visual Task by Genetic Programming* ของ Prabhas Chongstitvatana และ Jumpol Polvichai (1996) ซึ่งมีข้อมูลและโปรแกรมต้นฉบับอยู่ครบถ้วน รายงานการวิจัยดังกล่าวเป็นรายงานของการทดลองที่ปรับปรุงต่อมาจากการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539) โดยทำการเขียนโปรแกรมต้นฉบับขึ้นใหม่เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานและทำการทดลองเป็นจำนวนมาก ผลการทดลองของรายงานการวิจัยดังกล่าวมีผลสอดคล้องกับการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539)

พารามิเตอร์ของแขนหุ่นยนต์และพื้นที่ในการจำลองแบบมีดังนี้

1. **ขนาดของแขนหุ่นยนต์** แขนหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 3 ท่อน โดยความยาวของท่อนไหล่ ท่อนศอก และท่อนมือเท่ากับ 74 จุดภาพ 68 จุดภาพ และ 24 จุดภาพ ตามลำดับ ความกว้างของแต่ละท่อนเท่ากับ 15 จุดภาพ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. **ระยะจำกัดของการหมุนของข้อต่อแขนหุ่นยนต์** แขนหุ่นยนต์ประกอบด้วยข้อต่อจำนวน 3 ข้อต่อได้แก่ ข้อต่อไหล่ ข้อต่อศอก และข้อต่อมือ โดยแต่ละข้อต่อมีระยะจำกัดของการหมุนเท่ากับ -90 ถึง 90 องศา -20 ถึง 160 องศา และ -90 ถึง 90 องศาตามลำดับ โดยตำแหน่งของข้อต่อไหล่อยู่ที่ตำแหน่ง (40,170)

3. **ขั้นของการหมุนของข้อต่อแขนหุ่นยนต์** จำนวนขั้นของการหมุนของแต่ละข้อต่อมีจำนวน 37 ขั้นโดยแต่ละขั้นจะขยับข้อต่อขึ้นหรือลงขั้นละ 5 องศา

4. **ขนาดของพื้นที่** พื้นที่มีความกว้าง 200 จุดภาพ และมีความยาว 250 จุดภาพ

2.3 โครงสร้างของโปรแกรมหุ่นยนต์

โครงสร้างของโปรแกรมหุ่นยนต์มีลักษณะเป็นโครงสร้างต้นไม้โดยประกอบไปด้วยฟังก์ชันและเทอมินอลดังนี้

1. **ฟังก์ชัน** ฟังก์ชันที่ใช้ในโปรแกรมหุ่นยนต์มี 3 ฟังก์ชัน ได้แก่ฟังก์ชัน IF-AND IF-OR และ IF-NOT ฟังก์ชัน IF-AND เป็นฟังก์ชันที่มี 4 อาร์กิวเมนต์ โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 และ 2 เป็นจริง ไม่เช่นนั้นจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 4 ฟังก์ชัน IF-OR เป็นฟังก์ชันที่มี 4 อาร์กิวเมนต์เช่นเดียวกัน โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 หรือ 2 เป็นจริง ไม่เช่นนั้นจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 4 สำหรับฟังก์ชัน IF-NOT เป็นฟังก์ชันที่มี 3 อาร์กิวเมนต์ โดยจะปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 2 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 เป็นเท็จและปฏิบัติตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 เมื่ออาร์กิวเมนต์ที่ 1 เป็นจริง

2. **เทอมินอล** เทอมินอลที่ใช้ในโปรแกรมหุ่นยนต์มี 11 เทอมินอลได้แก่ s+, s-, e+, e-, w+, w-, HIT?, SEE?, INC?, DEC? และ OUT?

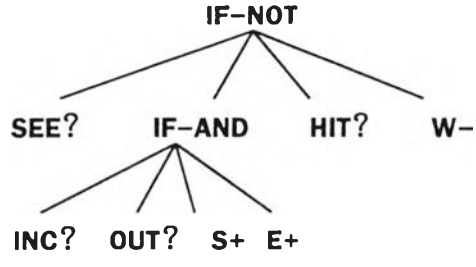
เทอมินอล s+ ทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อหัวไหล่ขึ้น 1 ขั้น ส่วนเทอมินอล s- ทำหน้าที่ตรงข้ามกับเทอมินอล s+ คือทำหน้าที่เป็นคำสั่งให้หมุนข้อต่อหัวไหล่ลง 1 ขั้น สำหรับเทอมินอล e+,e- และ w+,w- ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่จะเป็นคำสั่งในการสั่งงานข้อต่อศอก และข้อต่อมือตามลำดับ

เทอมินอล HIT? ทำหน้าที่ในการตรวจสอบสภาพการชนกับสิ่งกีดขวาง โดยจะให้ค่าเป็นจริง เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์มีการชนกับสิ่งกีดขวาง และให้ค่าเป็นเท็จเมื่อไม่พบการชนกับสิ่งกีดขวาง

เทอมินอล SEE? ทำหน้าที่ในการตรวจสอบการมองเห็นเป้าหมาย โดยให้ค่าเป็นจริงเมื่อแนวเส้นตรงจากปลายแขนหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายไม่ถูกสิ่งกีดขวางบัง และให้ค่าเป็นเท็จเมื่อพบว่ามีสิ่งกีดขวางบังอยู่

เทอมินอล INC? ทำหน้าที่ตรวจสอบระยะทางที่เพิ่มขึ้นระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมาย โดยให้ค่าเป็นจริงเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกห่างจากเป้าหมายและให้ค่าเป็นเท็จเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น ส่วนเทอมินอล DEC? จะทำหน้าที่ตรงข้ามคือให้ค่าจริงเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้นและให้ค่าเป็นเท็จเมื่อพบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกห่างจากเป้าหมาย

เทอมินอล OUT? ทำหน้าที่ตรวจสอบการออกนอกพื้นที่ โดยให้ค่าเป็นจริงเมื่อพบว่ามีส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่ และให้ค่าเป็นเท็จเมื่อไม่พบการออกนอกพื้นที่



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโปรแกรมหุ่นยนต์

2.4 การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมหุ่นยนต์

ประสิทธิภาพของโปรแกรมหุ่นยนต์ของแต่ละโปรแกรมวัดด้วยค่าความเหมาะซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} FitnessValue = & -2000 \times FinalDistance/InitialDistance \\ & -100 \times Sumdistance/InitialDistance \\ & -1000 \times notSee \\ & -4000 \times Die \end{aligned}$$

InitialDistance หมายถึงระยะทางระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมายก่อนการประมวลผลโปรแกรมหุ่นยนต์

FinalDiatance หมายถึงระยะทางระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมายเมื่อประมวลผลตามโปรแกรมหุ่นยนต์จบแล้ว

SumDistance หมายถึงระยะทางรวมในการเคลื่อนแขนหุ่นยนต์จนจบการประมวลผลตามโปรแกรมหุ่นยนต์

notSee หมายถึงเมื่อประมวลผลตามโปรแกรมหุ่นยนต์จบแล้วพบว่าระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์และเป้าหมายมีสิ่งกีดขวางบังอยู่

Die หมายถึงโปรแกรมหุ่นยนต์สิ้นสุดการทำงานในลักษณะตาย ซึ่งเกิดจากระหว่างการประมวลผลโปรแกรมหุ่นยนต์พบว่ามีการชนระหว่างแขนหุ่นยนต์และสิ่งกีดขวางมากเกินกว่าที่กำหนด

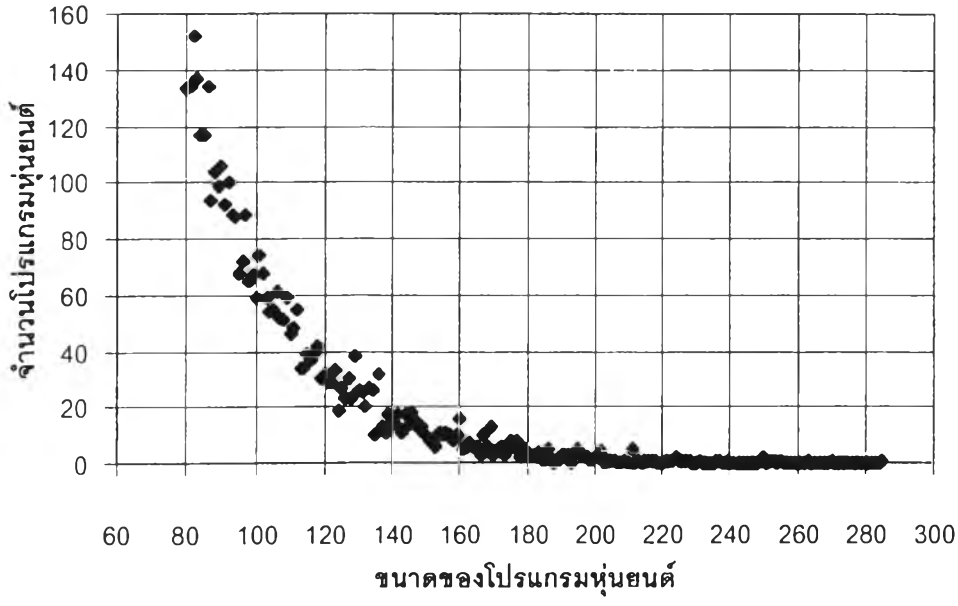
สมการในการคำนวณค่าความเหมาะนี้แตกต่างจากสมการในรายงานการวิจัยของ Prabhas Chongstitvatana และ Jumpol Polvichai (1996) แต่เนื่องจากที่มาของสมการนี้ได้นำมาจากโปรแกรมต้นฉบับของรายงานการวิจัยดังกล่าว จึงได้สอบถามยืนยันกับ ผศ. ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา ผู้เขียนรายงานการวิจัย ซึ่งพบว่าสมการที่ใช้นี้เป็นสมการที่ถูกต้อง ส่วนในรายงานการวิจัยนั้นผิดพลาดอันเนื่องมาจากการจัดพิมพ์

ค่าความเหมาะของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่คำนวณค่าได้มากกว่า แสดงถึงความเหมาะสมของผลเฉลย โดยโปรแกรมหุ่นยนต์ที่จะมีค่าความเหมาะสูงคือโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ได้เข้าใกล้เป้าหมาย มีระยะทางรวมในการเคลื่อนแขนหุ่นยนต์น้อย เมื่อสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมหุ่นยนต์แล้วระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์กับเป้าหมายไม่พบสิ่งกีดขวาง และโปรแกรมหุ่นยนต์นั้นไม่สิ้นสุดการทำงานในลักษณะตาย

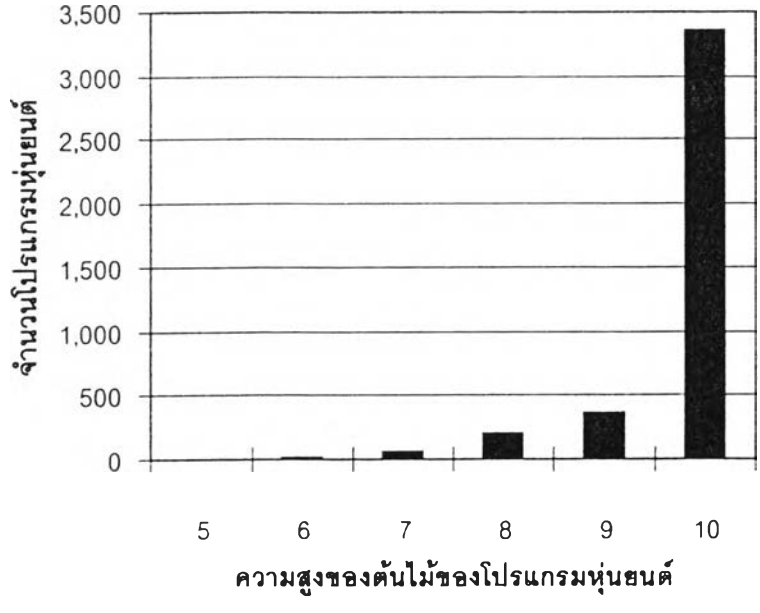
2.5 **ตัวสร้างประชากรเริ่มต้น** (initial population generator)

ในการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539) การสร้างประชากรโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นจะมีการกำหนดขนาดขั้นต่ำของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นก่อน ซึ่งขนาดขั้นต่ำของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นนี้จะถูกนำไปคำนวณหาความสูงมากที่สุดของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้น ลักษณะของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สร้างด้วยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นนี้พบว่าขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นมีการกระจายสูงในขณะที่ความสูงของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นมีการกระจายต่ำ รูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละขนาดและความสูงของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สร้างโดยตัวสร้าง

ประชากรเริ่มต้นดังกล่าวจำนวน 4,000 โปรแกรม โดยกำหนดขนาดขั้นต่ำของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นเท่ากับ 80 สัญลักษณ์



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นและจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นในการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539)



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละความสูงของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นในการวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539)

ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่เพื่อใช้กับกระบวนการกำหนดการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์ทุกการทดลอง จุดประสงค์ในการออกแบบตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่ใหม่นี้ เพื่อให้เกิดความยุติธรรมของขนาดของโปรแกรมซึ่งอาจมีผลต่อค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ สามารถใช้ได้กับทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ และตัวสร้างประชากรเริ่มต้นที่ออกแบบใหม่นี้ไม่มีความเฉพาะเจาะจงกับปัญหาแขนหุ่นยนต์

สำหรับขั้นตอนการทำงานของ ตัวสร้างประชากรเริ่มต้น มีดังนี้

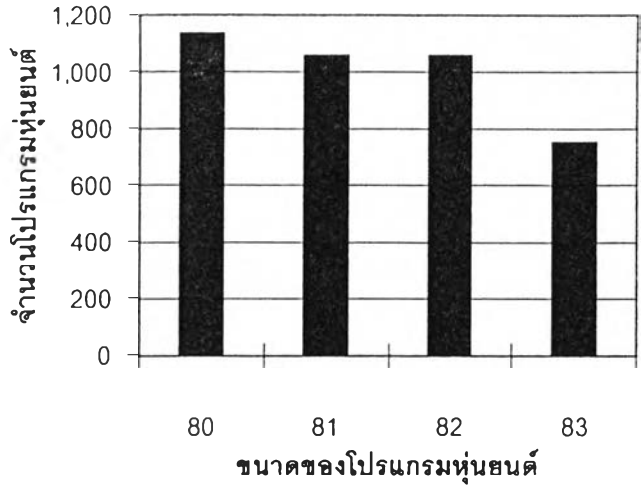
1. **กำหนดขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์** โดยขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์หมายถึงจำนวนของสัญลักษณ์ทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรมหุ่นยนต์ซึ่งประกอบไปด้วยฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันเอดีเอฟ (ในกรณีที่มีการใช้วิธีเอดีเอฟ)

2. **สร้างฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันเอดีเอฟเริ่มต้น** โดยฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันเอดีเอฟจะถูกสร้างเป็นต้นไม้ความสูง 1 ซึ่งชุดของฟังก์ชันและเทอมินอลที่ใช้ในแต่ละฟังก์ชันจะแตกต่างกัน

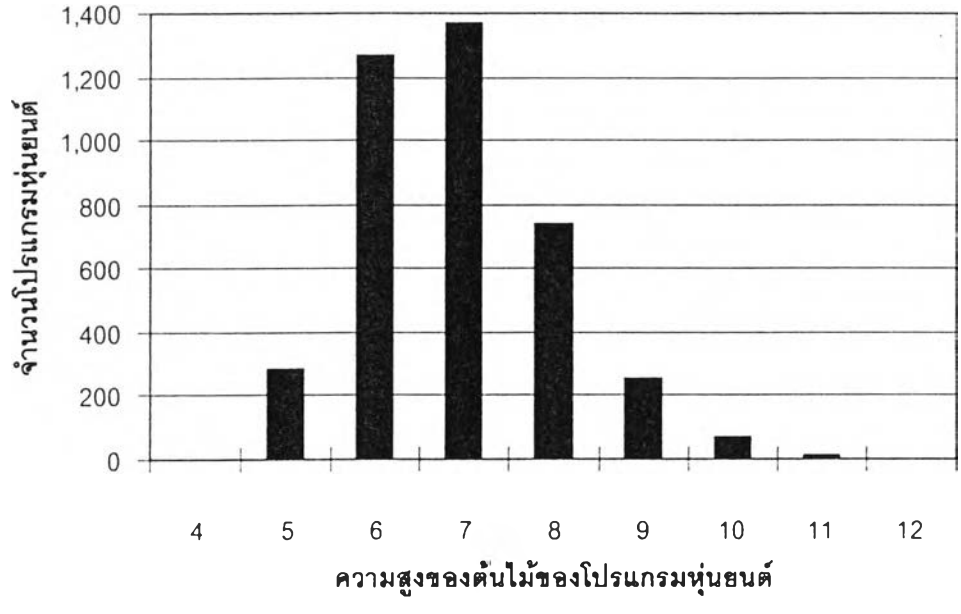
3. **เพิ่มขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์** โดยการสุ่มเลือกฟังก์ชันหลักหรือฟังก์ชันเอดีเอฟเพื่อทำการเพิ่มขนาด การเพิ่มขนาดทำโดยการต่อปลายในโครงสร้างต้นไม้ของฟังก์ชันที่ถูกเลือกนั้น (ลักษณะเช่นเดียวกับการกลายแบบต่อปลาย)

4. **ดำเนินการเพิ่มขนาดซ้ำ** ดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 ซ้ำจนกว่าขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์รวมจะมากกว่าหรือเท่ากับขนาดของโปรแกรมที่กำหนดไว้ในขั้นต้น

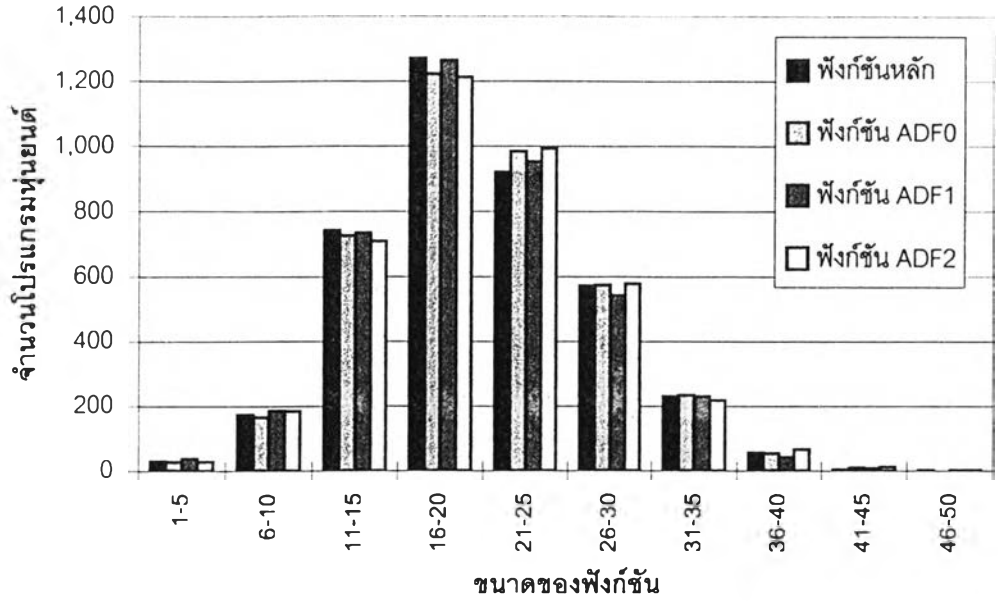
รูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงลักษณะของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่ โดยทำการสร้างประชากรโปรแกรมหุ่นยนต์จำนวน 4,000 โปรแกรม กำหนดขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เท่ากับ 80 สัญลักษณ์โดยไม่ใช้วิธีเอดีเอฟ ซึ่งพบว่าขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นจะมีขนาดอยู่ระหว่าง 80 ถึง 83 สัญลักษณ์ และความสูงของโครงสร้างต้นไม้อยู่ระหว่าง 4 ถึง 12 สำหรับกรณีที่ใช้วิธีเอดีเอฟผลการสร้างประชากรโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่แสดงดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 โดยกำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟเท่ากับ 3 ฟังก์ชัน



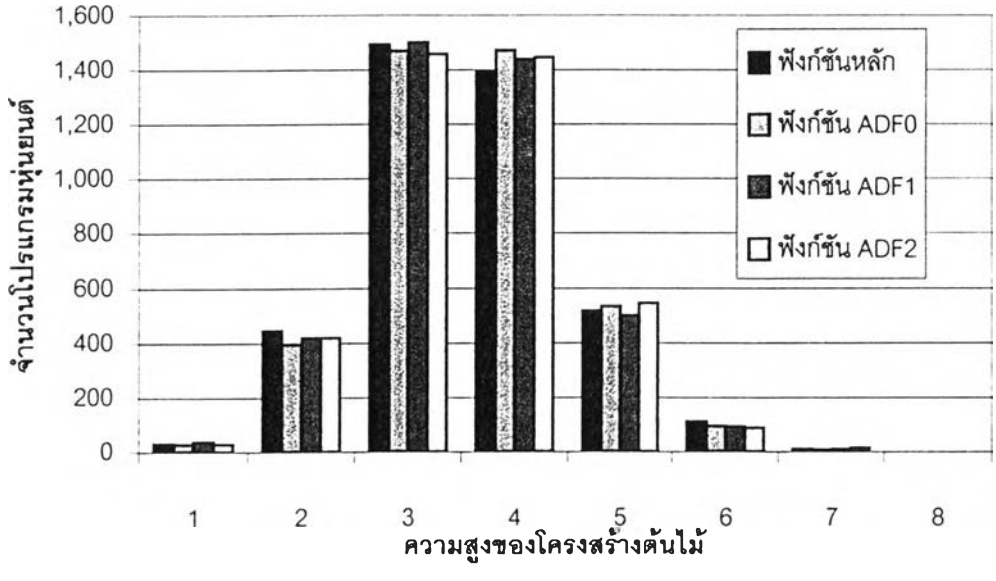
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่เมื่อไม่ได้ใช้วิธีเอดีเอฟ



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละความสูงของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่เมื่อไม่ได้ใช้วิธีเอดีเอฟ



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละช่วงขนาดของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟ กำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟเท่ากับ 3 ฟังก์ชัน



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงจำนวนโปรแกรมหุ่นยนต์ในแต่ละขนาดของความสูงของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เริ่มต้นที่สร้างโดยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่เมื่อใช้วิธีเอดีเอฟ กำหนดจำนวนฟังก์ชันเอดีเอฟเท่ากับ 3 ฟังก์ชัน

ผลของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สร้างด้วยตัวสร้างประชากรเริ่มต้นใหม่นี้ โปรแกรมหุ่นยนต์จะถูกจำกัดเฉพาะขนาดของโปรแกรมรวม โดยจะไม่จำกัดขนาดของฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันเอดีเอฟแต่ละฟังก์ชัน โปรแกรมหุ่นยนต์ที่ถูกสร้างจึงมีความหลากหลายโดยที่มีขนาดรวมเท่ากันทุกโปรแกรม

2.6 การปฏิบัติการเชิงพันธุกรรม

การปฏิบัติการเชิงพันธุกรรมที่ใช้สำหรับปัญหาแขนหุ่นยนต์นี้ได้แก่ การสืบพันธุ์ การไขว้เปลี่ยน การกลายแบบต่อยอด และการกลายแบบต่อปลาย ลักษณะการกลายทั้งสองแบบเกิดจากการสร้างต้นไม้ความสูง 1 เพื่อต่อยอดหรือต่อปลายในโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์ ตัวอย่างการกลายทั้ง 2 แบบแสดงดังรูปที่ 2.8

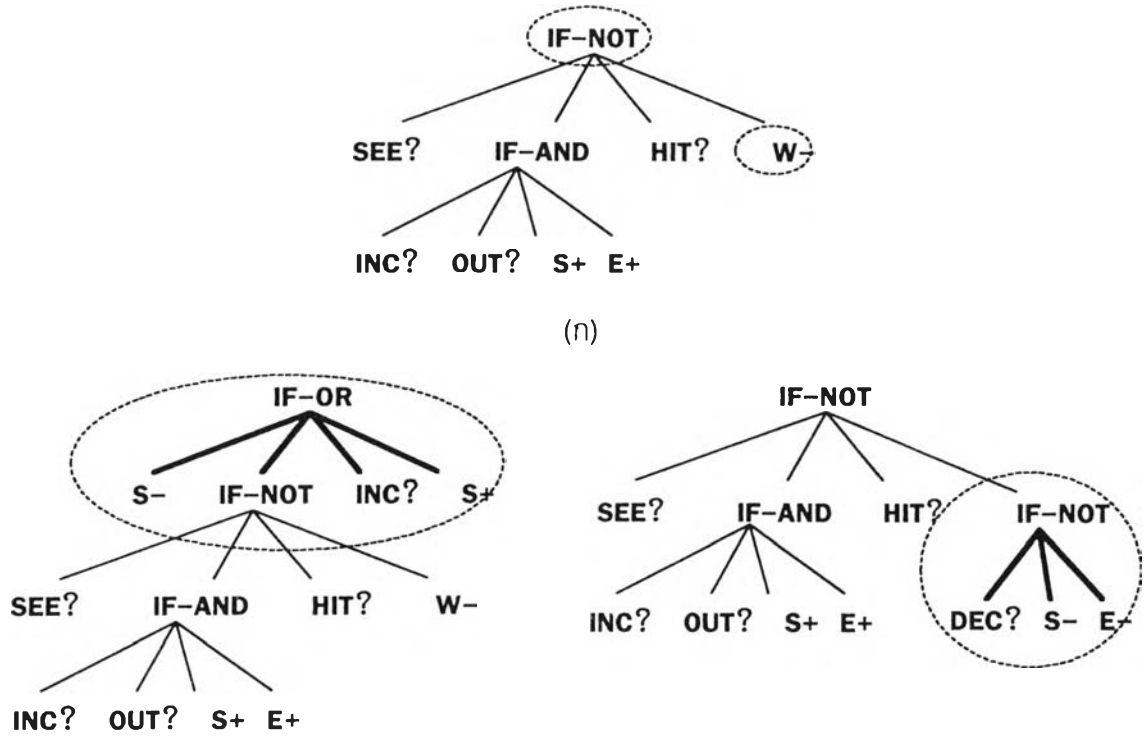
ในการเลือกโปรแกรมหุ่นยนต์เพื่อทำการ ไขว้เปลี่ยน การกลายแบบต่อยอด และการกลายแบบต่อปลายจะทำโดยการสุ่มเลือก ความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของแต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์จะขึ้นอยู่กับค่าความเหมาะของโปรแกรมหุ่นยนต์นั้น

2.7 พารามิเตอร์ของกำหนดการเชิงพันธุกรรม

พารามิเตอร์ต่างๆของกำหนดการเชิงพันธุกรรมแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ของกำหนดการเชิงพันธุกรรม

จำนวนประชากร	400 โปรแกรม
ขนาดเริ่มต้นของประชากร	80 สัญลักษณ์ (1 สัญลักษณ์เท่ากับ 1 ฟังก์ชันหรือ 1 เทอมินอล)
จำนวนรุ่นมากที่สุดในการทดลอง	10 รุ่น
จำนวนรอบของการทดลอง	1,000 รอบ
อัตราการสืบพันธุ์	10 เปอร์เซนต์
อัตราการไขว้เปลี่ยน	40 เปอร์เซนต์
อัตราการกลายแบบต่อยอด	25 เปอร์เซนต์
อัตราการกลายแบบต่อปลาย	25 เปอร์เซนต์
ค่าความมั่นใจของความสำเร็จ (z)	99 เปอร์เซนต์



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการกลายแบบต่อยอดและต่อปลาย

(ก) โปรแกรมหุ่นยนต์ก่อนเกิดการกลาย

(ข) โปรแกรมหุ่นยนต์ซึ่งเกิดการกลายแบบต่อยอด

(ค) โปรแกรมหุ่นยนต์ซึ่งเกิดการกลายแบบต่อปลาย

2.8 <u>สภาพแวดล้อมในการทดลอง</u>

สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองสำหรับการวิจัยนี้ได้นำมาจากสภาพแวดล้อมที่มีความเพียรพยายามเชิงคำนวณสูงที่สุดของแต่ละกลุ่มสภาพแวดล้อมในงานวิจัยของ จุมพล พลวิชัย (2539) ยกเว้นกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นกลุ่มสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง เนื่องจากสภาพแวดล้อมในกลุ่มนี้มีความยากไม่เพียงพอจึงไม่สามารถนำมาใช้วัดประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ลดทอนความเพียรพยายามเชิงคำนวณได้

สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.9 โดยรายละเอียดของสภาพแวดล้อมทั้ง 3 นี้แสดงในภาคผนวก ก

รูปที่ 2.9 สภาพแวดล้อมทั้ง 3 ที่ใช้ในการทดลอง