บทที่ 7

การทดลอง

บทนี้แสดงรายละเอียดต่างๆของการทำการทดลองสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ โดยจะกล่าวถึงลักษณะของปัญหา เป้าหมายของการทดลอง อธิบายรายละเอียดของอุปกรณ์หลักๆที่สำคัญที่ประกอบด้วย แขนหุ่นยนต์ กล้องวิดีโอ และการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ รายละเอียดลักษณะของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง รายละเอียดของกระบวนการโปรแกรมพันธุการ การจำลองการทำงานของแขนหุ่นยนต์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ รายละเอียดของการออกแบบการทดลองทั้งหมด และสรุปท้ายบท

7.1 ลักษณะของปัญหา

งานวิจัยครั้งนี้ได้นำปัญหาในการควบคุมการเอื้อมแขนหุ่นยนต์เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางให้ไปยังเป้าหมายที่ได้ถูกกำหนดไว้ซึ่งแขนหุ่นยนต์สามารถเรียนรู้ที่จะแก้ปัญหาที่กำหนดให้ได้ด้วยตัวเอง โดยอาศัยระบบการมองเห็นผ่านกล้องวิดีโอเป็นส่วนนำทางของระบบ สำหรับขบวนการเรียนรู้ถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยวิธีการตามขบวนการโปรแกรมพันธุการที่ทำการสังเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาที่ถูกกำหนดไว้ได้ และยังต้องสามารถใช้โปรแกรมหุ่นยนต์ที่ได้นั้นเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในโลกจริง โดยอาศัยระบบการมองเห็นเป็นส่วนอินพุตให้กับทั้งระบบ

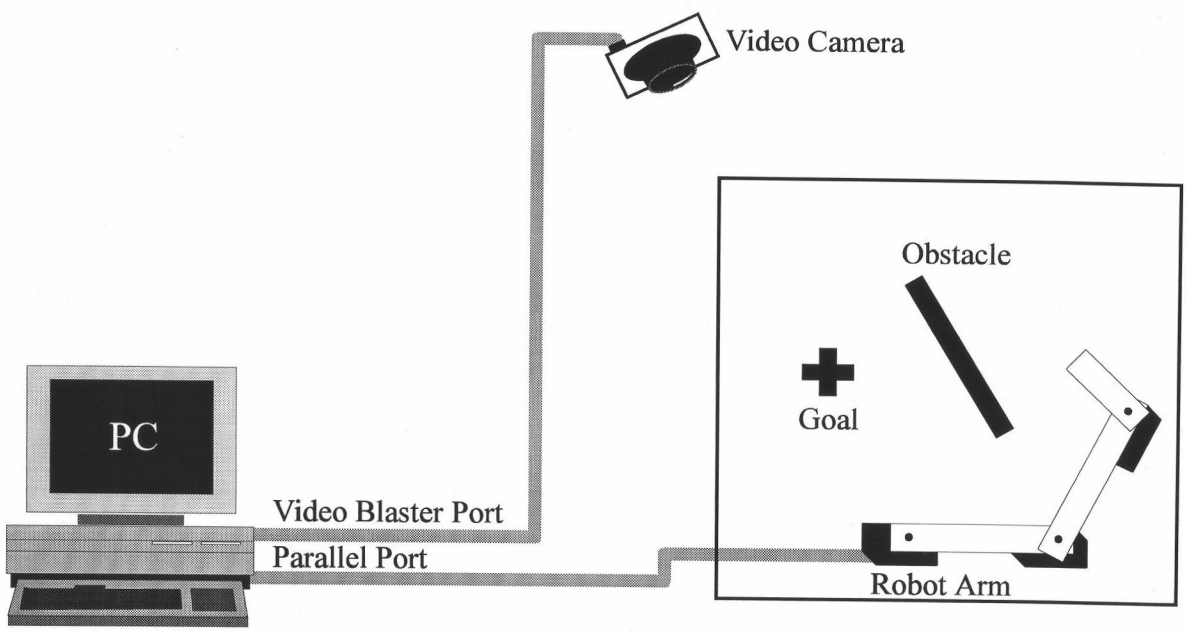
เป้าหมายของการทดลองครั้งนี้คือ “ค้นหาโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของมือจับของแขนหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายที่ปรากฏในภาพจากกล้องวิดีโอ โดยต้องหลีกเลี่ยงการชนกับสิ่งกีดขวาง”

อุปกรณ์หลักๆที่สำคัญสำหรับการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย แขนหุ่นยนต์ กล้องวิดีโอ และการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 7.1 สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญในการทดลองแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแขนหุ่นยนต์, ส่วนการมองเห็นและการประมวลผลภาพ และส่วนกระบวนการโปรแกรมพันธุการ

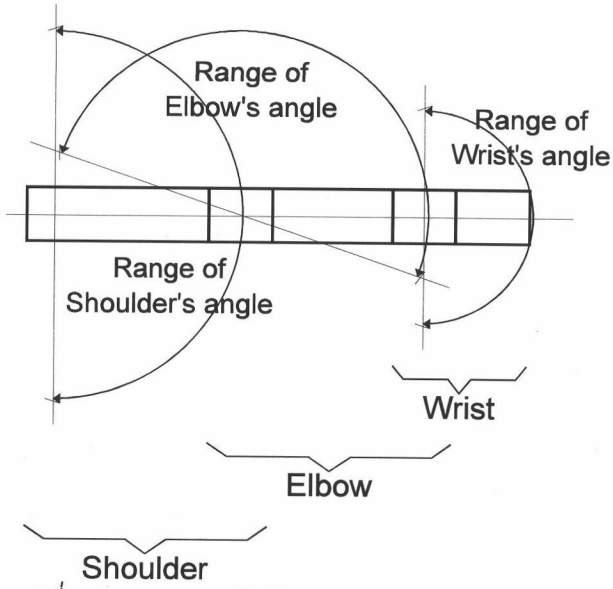
ส่วนแขนหุ่นยนต์จะประกอบด้วยโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์ การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้กับแขนหุ่นยนต์ และส่วนของการควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์ผ่านพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์

ส่วนการมองเห็นและการประมวลผลข้อมูลภาพจะใช้กล้องวิดีโอทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณภาพของแขนหุ่นยนต์และสภาพแวดล้อมของแขนหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วยสิ่งกีดขวางและเป้าหมาย โดยส่งสัญญาณภาพที่ได้ผ่านพอร์ตของอุปกรณ์วิดีโอบลาสเตอร์ (Video Blaster) ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเข้าขบวนการวิเคราะห์สัญญาณภาพ

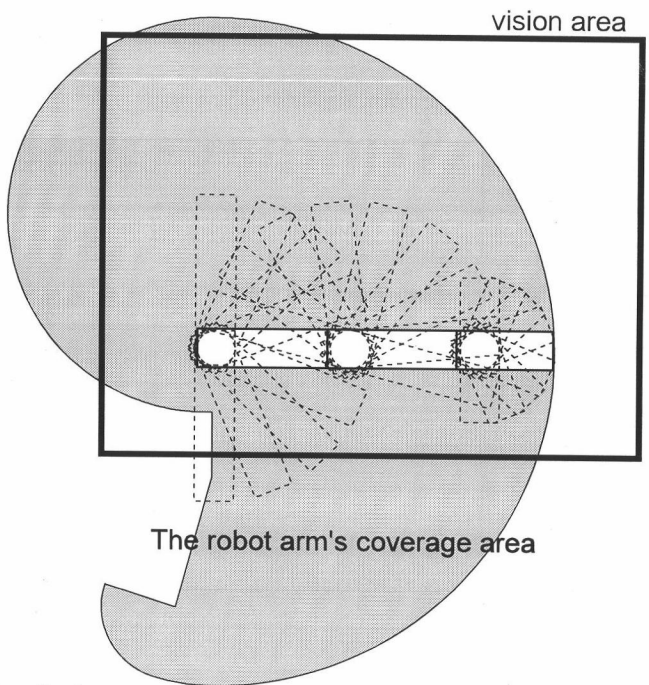
และส่วนกระบวนการโปรแกรมพันธุการ เป็นส่วนของการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อค้นหาโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สามารถแก้ปัญหาได้เหมาะสมที่สุด ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดฟังก์ชันและเทอร์มินอลสำหรับปัญหานี้ รวมทั้งเป็นการกำหนดวิธีการและพารามิเตอร์ต่างๆให้กับกระบวนการโปรแกรมพันธุการด้วย



รูปที่ 7.1 ภาพจำลองของการทดลอง



รูปที่ 7.2 แสดงระยะจำกัดของการหมุนของแต่ละข้อต่อ



รูปที่ 7.3 แสดงขอบเขตพื้นที่ของการเคลื่อนที่ทั้งหมดของแขนหุ่นยนต์ และขอบเขตพื้นที่ของการเคลื่อนที่ภายใต้ขอบเขตพื้นที่การมองเห็นผ่านกล้องวิดีโอ

7.2 <u>แขนหุ่นยนต์</u>

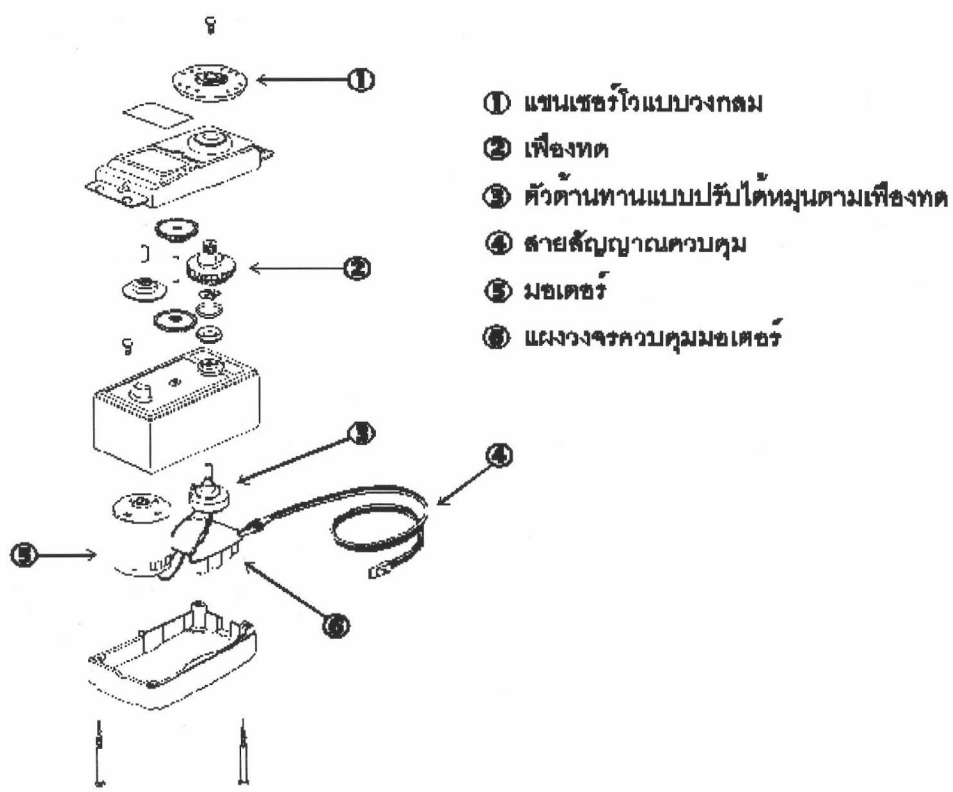
แขนหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับการทดลองครั้งนี้ถูกออกแบบให้มี 3 ข้อต่อ คือ ข้อต่อหัว-ไหล่(shoulder joint), ข้อต่อข้อศอก(elbow joint) และข้อต่อข้อมือ(wrist joint) โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ 3 ตัวที่สามารถควบคุมการหมุนของแต่ละข้อต่อได้ง่ายผ่านพอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์

แขนหุ่นยนต์ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 3 ส่วนดังต่อไปนี้

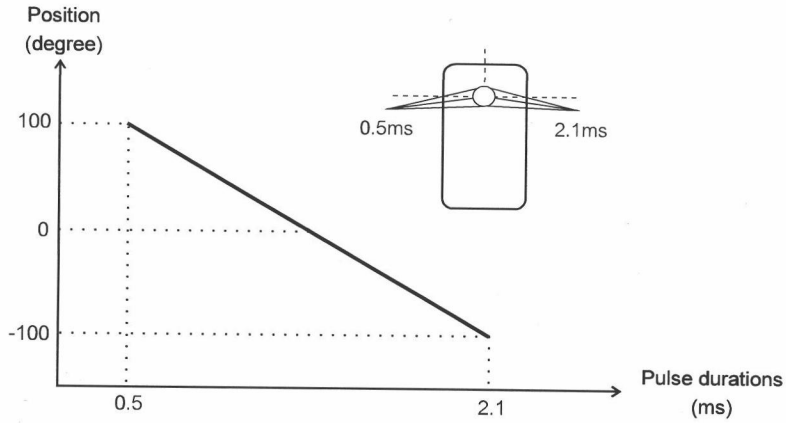
7.2.1 *<u>ส่วนของแขนหุ่นยนต์</u>* แขนหุ่นยนต์ถูกสร้างขึ้นมาอย่างง่ายๆไม่สลับซับซ้อนอะไรมากนัก ส่วนของแขนหุ่นยนต์ทำจากแผ่นพลาสติกหนา 3 ท่อนที่มีขนาด 6 นิ้ว, 6 นิ้ว และ 2.5 นิ้ว ที่ยึดติดกับเซอร์โวมอเตอร์ 3 ตัวในแต่ละข้อต่อ

รูปที่ 7.2 แสดงระยะจำกัดของการหมุนของแต่ละข้อต่อ ในแต่ละข้อต่อมีระยะจำกัดที่สามารถหมุนได้เพียง 180 องศา ซึ่งแต่ละข้อต่อจะมีขอบเขตการหมุนที่ไม่เหมือนกัน ขอบเขตการหมุนของข้อต่อข้อศอกจะเริ่มต้นที่ -15 องศา จนถึง 165 องศาตามแนวระดับ โดยที่ขอบเขตการหมุนของข้อต่อหัวไหล่และข้อต่อข้อมือจะเริ่มต้นที่ -90 องศา จนถึง 90 องศาตามแนวระดับ การกำหนดดังกล่าวนี้เลียนแบบขอบเขตการเคลื่อนที่ของแขนมนุษย์

รูปที่ 7.3 แสดงขอบเขตพื้นที่ของการเคลื่อนที่ทั้งหมดของแขนหุ่นยนต์ และขอบเขตพื้นที่ของการเคลื่อนที่ภายใต้ขอบเขตพื้นที่การมองเห็นผ่านกล้องวิดีโอ ซึ่งจะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ไม่ครอบคลุมพื้นที่ของพื้นที่การมองเห็นทั้งหมดได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการกำหนดตำแหน่งของเป้าหมายในพื้นที่การมองเห็นในแต่ละการทดลอง



รูปที่ 7.4 แสดงส่วนประกอบภายในของเซอร์โวมอเตอร์



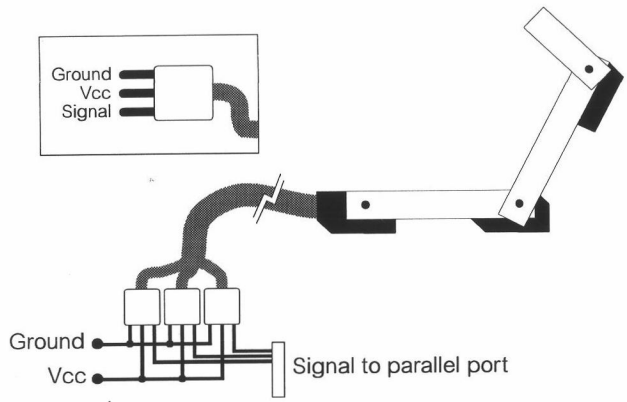
รูปที่ 7.5 แสดงกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์กับความกว้างของพัลส์

7.2.2 <u>*ส่วนเซอร์โวมอเตอร์*</u> เซอร์โวมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการควบคุมตำแหน่งโดยการใช้ความกว้างของพัลส์(pulse)จากสัญญาณอินพุตโดยเทียบกับความกว้างของพัลส์ที่สร้างขึ้นจากวงจรภายในของเซอร์โวมอเตอร์เอง เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆตามรูปที่ 7.4 ได้แก่ มอเตอร์, เฟืองทด, แขนเซอร์โวแบบวงกลม ตัวต้านทานแบบปรับได้หมุนตามเฟืองทด และแผงวงจรควบคุมมอเตอร์

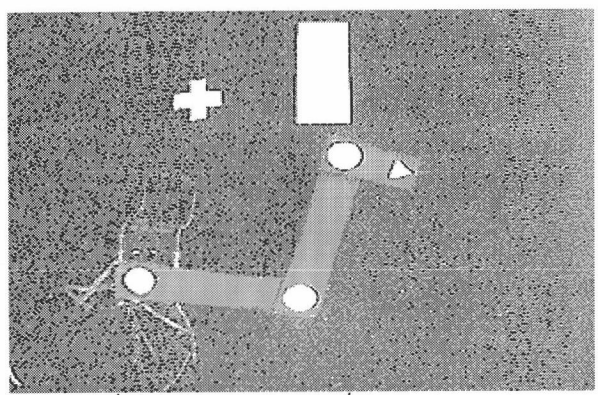
การทดลองครั้งนี้ใช้เซอร์โวมอเตอร์ของ FUTABA รุ่น FP-S148 (Indirect Drive) ซึ่งสามารถควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ตามรูปที่ 7.5 ซึ่งแสดงกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์กับความกว้างของพัลส์ ซึ่งมุมที่เปลี่ยนไปจะขึ้นกับความกว้างของพัลส์ที่มีค่าตั้งแต่ 0.5 - 2.1 ms. โดยที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนของมุมได้ถึง 200 องศา โดยใช้แรงดัน 5 โวลต์ ปรกติจะกินกระแสเพียง 12 มิลลิแอมป์แต่เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาจะกินกระแส 400-600 มิลลิแอมป์ สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 2 กิโลกรัม

7.2.3 <u>*ส่วนการควบคุม*</u> การควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ถูกออกแบบให้สามารถทำได้ง่ายเพียงใช้การส่งสัญญาณผ่านพอร์ตขนานไปยังเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวที่แต่ละข้อต่อ ซึ่งจะใช้บิตข้อมูลของพอร์ตขนานเพียง 3 บิตเท่านั้น

จากรูปที่ 7.6 จะเห็นว่าการควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวจะใช้สายสัญญาณ 3 เส้นคือ สายดิน(Ground), สายไฟเลี้ยง(Vcc) และสายสัญญาณ (Signal) การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวสามารถทำได้โดยต่อสายดินทั้งหมดเข้ากับสายดินของเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการต่อแรงดันภายนอก(+5 โวลต์)ที่มีสายดินต่อร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ากับสายไฟเลี้ยงของเซอร์โวมอเตอร์ทั้งหมด และต่อสายสัญญาณของแต่ละเซอร์โวมอเตอร์เข้ากับพอร์ตขนานเพื่อใช้ในการควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 7.6 แสดงรูปจำลองการควบคุมแขนหุ่นยนต์



รูปที่ 7.7 ภาพแสดงภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ

7.3 <u>การมองเห็นและการประมวลผลข้อมูลภาพ</u>

การมองเห็นและการประมวลผลข้อมูลภาพเป็นส่วนที่มีสำคัญมากสำหรับการทดลองครั้งนี้ โดยถูกใช้เป็นส่วนอินพุตข้อมูลให้กับระบบทั้งหมด ทั้งที่เป็นข้อมูลภาพของสภาพแวดล้อมของแขนหุ่นยนต์เบื้องต้นเพื่อจำลองการทำงานของแขนหุ่นยนต์ในขบวนการโปรแกรมพันธุการ และเป็นข้อมูลภาพให้กับการประมวลผลของฟังก์ชันต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้เพื่อในระหว่างการทดลองในโลกจริง

ในส่วนนี้แบ่งเป็นส่วนย่อยต่างๆที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

7.3.1 <u>กล้องวิดีโอ</u> กล้องวิดีโอที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นกล้องวิดีโอที่ส่งสัญญาณภาพขาว/ดำแบบเอ็นทีเอสซี(NTSC)ที่ได้ทำการแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขแล้ว และมีการปรับความชัดของภาพได้เองโดยอัตโนมัติ

กล้องวิดีโอถูกใช้ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณภาพของแขนหุ่นยนต์และสภาพแวดล้อมของแขนหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วยสิ่งกีดขวางและเป้าหมาย โดยส่งสัญญาณภาพที่ได้ผ่านพอร์ตของอุปกรณ์วิดีโอบลาสเตอร์ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์

7.3.2 *<u>วิดีโอบลาสเตอร์</u>* วิดีโอบลาสเตอร์เป็นอุปกรณ์ต่อเชื่อมโยงแบบสื่อ-ร่วมหลายแบบ(multimedia interface) ที่นำมาต่อเพิ่มเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำให้เครื่อง-คอมพิวเตอร์สามารถใช้สัญญาณภาพวิดีโอและแหล่งกำเนิดเสียงจากเครื่องเล่นวิดีโอ, เครื่องเล่น-จานวิดีโอ และกล้องวิดีโอ ทำการรวมสัญญาณเหล่านี้เข้ากับสัญญาณกราฟิกวีจีเอ(VGA) เพื่อใช้ในการผลิตการนำเสนอต่างๆได้มากมาย และยังสามารถนำสัญญาณภาพที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมต่างๆที่มีการต่อเชื่อมกับอุปกรณ์ดังกล่าวได้

7.3.3 *<u>การประมวลผลข้อมูลภาพ</u>* สัญญาณภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ ดังรูปที่ 7.7 จะถูกประมวลผลเพื่อทำการจำแนกแยกแยะวัตถุต่างๆที่ปรากฏบนสัญญาณภาพ โดยแยกพิจารณาเป็นส่วนๆของแขนหุ่นยนต์และสภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์

เพื่อความสะดวกในการแยกส่วนของการแยกแยะส่วนแขนหุ่นยนต์และส่วนของสภาพแวดล้อม ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ความแตกต่างของค่าของขีดเริ่มเปลี่ยน(threshold)มาเป็นเครื่องมือช่วย ได้มีการกำหนดให้ส่วนต่างๆของแขนหุ่นยนต์จะใช้สีขาวและส่วนของสภาพแวดล้อมจะเป็นสีม่วง โดยมีพื้นหลังเป็นสีดำ ซึ่งจะทำให้ส่วนของแขนหุ่นยนต์มีค่าขีด-เริ่มเปลี่ยนมากกว่าส่วนของสภาพแวดล้อม

การประมวลผลสำหรับแขนหุ่นยนต์มีเป้าหมายเพื่อกำหนดตำแหน่งของข้อต่อหัวไหล่, ข้อต่อข้อศอก, ข้อต่อข้อมือ และปลายแขน ที่ปรากฏบนสัญญาณภาพ และเพื่อความสะดวกในการแยกแยะส่วนต่างๆของแขนหุ่นยนต์ ได้มีการกำหนดรูปร่างเฉพาะแทนส่วนต่างๆ รวมกับความสัมพันธ์ระหว่างกันมาช่วยในการกำหนดตำแหน่งให้แต่ละส่วน ดังต่อไปนี้

-<u>ปลายแขน</u> เป็นรูปสามเหลี่ยม และมีขนาดพื้นที่น้อยกว่า

-<u>ข้อต่อหัวไหล่</u> เป็นรูปวงกลม และมีตำแหน่งคงที่เสมอที่ด้านมุมล่างซ้ายของสัญญาณภาพ

-<u>ข้อต่อข้อมือ</u> เป็นรูปวงกลม และมีตำแหน่งใกล้กับตำแหน่งของปลายแขน

-<u>ข้อต่อข้อศอก</u> เป็นรูปวงกลม และมีตำแหน่งเป็นตำแหน่งที่เหลือ

สำหรับส่วนสภาพแวดล้อมของแขนหุนยนต์จะถูกประมวลผลตอนเวลาเริ่มต้นของการทดลองแต่ละครั้ง โดยการใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนมาช่วยเพื่อแยกส่วนของสภาพ-แวดล้อมออกจากแขนหุ่นยนต์ เพื่อทำการแยกแยะวัตถุว่าเป็นสิ่งกีดขวางหรือเป้าหมาย โดยกำ-หนดให้สัญลักษณ์ที่ใช้แทนเป้าหมายมีลักษณะเป็นรูปกากบาทที่มีพื้นที่น้อยที่สุด ส่วนวัตถุที่เหลือ

จะเป็นสิ่งกีดขวางทั้งหมด ซึ่งพื้นที่ของสิ่งกีดขวางทั้งหมดจะถูกนำไปแยกเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อถูกใช้สำหรับการตรวจสอบการชนในระหว่างการทดลองต่อไป

สำหรับวิธีการที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุต่างๆในสัญญาณภาพ ซึ่งสามารถหาข้อมูลต่างๆที่เป็นคุณสมบัติของวัตถุได้เช่น พื้นที่, ความกระทัดรัด, เส้นขอบ และตำแหน่งจุดตรงกลางของวัตถุ เป็นต้น กรุณาอ่านในภาคผนวก ข.

7.4 กระบวนการโปรแกรมพันธุการ

ในการทดลองครั้งนี้การโปรแกรมพันธุการถูกใช้เพื่อค้นหาโปรแกรมหุ่นยนต์ที่สามารถแก้ปัญหาได้เหมาะสมที่สุด ซึ่งต้องอาศัยการกำหนดฟังก์ชันและเทอร์มินอลที่เหมาะสมซึ่งส่วนมากจะพิจารณาถึงฟังก์ชันและเทอร์มินนอลที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหา รวมทั้งการกำหนดรายละเอียดและพารามิเตอร์ต่างๆตามขั้นตอนวิธีของการโปรแกรมพันธุการที่เหมาะสม

ในส่วนนี้สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ ลักษณะของโปรแกรมหุ่นยนต์ และการดำเนินการโปรแกรมพันธุการ ดังต่อไปนี้

7.4.1 ***ลักษณะของโปรแกรมหุ่นยนต์*** สำหรับการออกแบบโปรแกรมหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับขบวนการโปรแกรมพันธุการ จะพิจารณาตามหัวข้อดังต่อไปนี้

7.4.1.1 ***ฟังก์ชันและเทอร์มินอล*** สำหรับการกำหนดฟังก์ชันและเทอร์มินอลที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้พิจารณาจากความเป็นไปได้ทั้งหมดที่สามารถทำได้ในปัญหานี้ ซึ่งได้มาจากการประมวลผลข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ และการควบคุมการเคลื่อนที่เบื้องต้นของแขนหุ่นยนต์

การทดลองครั้งนี้กำหนดให้เซตของฟังก์ชัน F = {IF-AND, IF-OR, IF-NOT} และเซตของเทอร์มินอล T = {s+, s-, e+, e-, w+, w-, HIT?, SEE?, INC?, DEC?, OUT?}

โดยกำหนดให้ฟังก์ชันต่างๆมีรูปแบบการใช้คำสั่งดังนี้

ฟังก์ชัน s+ เป็นคำสั่งที่สั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ของข้อต่อหัวไหล่หมุนขึ้น 1 ขั้น และ s- เป็นคำสั่งที่สั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ของข้อต่อหัวไหล่หมุนลง 1 ขั้น และในทำนองเดียวกันกับคำสั่ง e+, e- (ข้อต่อข้อศอก) และ w+, w- (ข้อต่อข้อมือ) โดยที่ฟังก์ชันทั้งหมดจะให้ค่าเป็น จริง (TRUE) เสมอ

ฟังก์ชัน HIT? เป็นฟังก์ชันที่ทำการตรวจสอบว่าส่วนใดของแขนหุ่นยนต์สัมผัสหรือชนกับสิ่งกีดขวางหรือไม่ ซึ่งฟังก์ชันนี้ขึ้นกับค่าของตัวแปร PAIN ที่แทนค่า

ความเจ็บของแขนหุ่นยนต์โดยที่ถ้ามีการชนเกิดขึ้นค่าตัวแปร PAIN จะเพิ่มขึ้น 10 และถ้าไม่มีการชนค่าตัวแปร PAIN จะลดลงที่ละ 1 จนกระทั่งมีค่าเหลือ 0 ฟังก์ชันนี้จะให้ค่าเป็น จริง ถ้าค่าตัวแปร PAIN มีค่ามากกว่า 0 และจะให้ค่าเป็น เท็จ ถ้าค่าตัวแปร PAIN มีค่าเท่ากับ 0

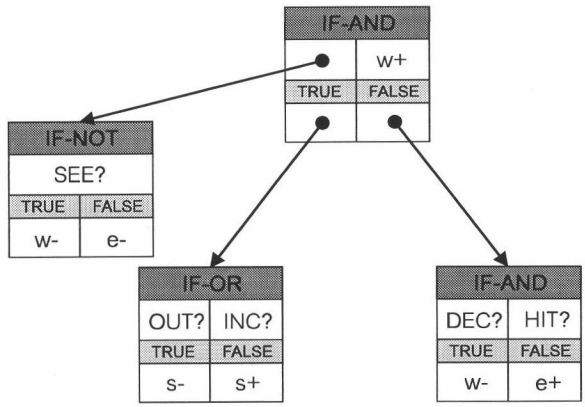
ฟังก์ชัน SEE? เป็นฟังก์ชันที่ทำการตรวจสอบว่าระหว่างทางจากปลายแขนหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายตามแนวตรงมีสิ่งกีดขวางอยู่หรือไม่ ถ้ามีสิ่งกีดขวางขวางอยู่จะให้ค่าเป็น เท็จ และถ้าไม่จะให้ค่าเป็น จริง

ฟังก์ชัน INC? เป็นฟังก์ชันที่ทำการตรวจสอบว่าระยะห่างระหว่างปลายแขนหุ่นยนต์กับเป้าหมายมีค่าเพิ่มขึ้นหรือไม่ ถ้าเพิ่มขึ้นจะให้ค่าเป็น จริง นอกนั้นจะให้ค่าเป็น เท็จ ในทางตรงกันข้าม ฟังก์ชัน DEC? จะทำการตรวจสอบว่าลดลงหรือไม่ ถ้าลดลงจะให้ค่าเป็น จริง นอกนั้นจะให้ค่าเป็น เท็จ

ฟังก์ชัน OUT? เป็นฟังก์ชันที่ทำการตรวจสอบว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจากขอบเขตของภาพที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าพบว่ามีส่วนใดของแขนหุ่นยนต์ออกนอกขอบเขตจะให้ค่าเป็น จริง นอกนั้นจะให้ค่าเป็น เท็จ

ฟังก์ชัน IF-AND ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มี 4 อาร์กิวเมนต์ ซึ่งจะปฏิบัติการตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 ถ้าอาร์กิวเมนต์ที่ 1 และ 2 เป็น จริง ไม่เช่นนั้นจะปฏิบัติการตามอาร์กิวเมนต์ที่ 4 ในทำนองเดียวกันกับฟังก์ชัน IF-OR ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มี 4 อาร์กิวเมนต์เหมือนกัน ซึ่งจะปฏิบัติการตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 ถ้าอาร์กิวเมนต์ที่ 1 หรือ 2 เป็น จริง ไม่เช่นนั้นจะปฏิบัติการตามอาร์กิวเมนต์ที่ 4 ส่วนฟังก์ชัน IF-NOT ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มี 3 อาร์กิวเมนต์ ซึ่งจะปฏิบัติการตามอาร์กิวเมนต์ที่ 2 ถ้านิเสธของอาร์กิวเมนต์ที่ 1 เป็น จริง ไม่เช่นนั้นจะปฏิบัติการตามอาร์กิวเมนต์ที่ 3 อย่างไรก็ตามทั้งสามฟังก์ชันไม่จำเป็นต้องมีอาร์กิวเมนต์ที่ 3 หรือ 4 ครบ ตัวแปรคำสั่งจะตรวจสอบเอง ถ้าพบว่าไม่มีอาร์กิวเมนต์ก็จะไม่มีการปฏิบัติงานสำหรับเงื่อนไขนั้น

7.4.1.2 ***รูปแบบของโปรแกรม*** สำหรับรูปแบบของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีลักษณะคล้ายภาษาลิสป์ที่มีลักษณะเป็นนิพจน์เชิงสัญลักษณ์ ซึ่งสามารถสร้างและดัดแปลงสำหรับการผสมผสานระหว่างฟังก์ชันกับเทอร์มินอลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ง่าย โดยลักษณะเช่นนี้จะอาศัยโครงสร้างแบบต้นไม้ซึ่งใช้มากในการสร้างตัวแปรโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากรูปที่ 7.8 แสดงตัวอย่างของโปรแกรมหุ่นยนต์ และการแทนด้วยโครงสร้างต้นไม้ ซึ่งจะเห็นว่าโปรแกรมเริ่มด้วยฟังก์ชัน IF-AND ที่จะทำการตรวจสอบค่านิเสธของฟังก์ชัน SEE? เป็นจริงหรือไม่ ถ้าเป็นจริงไม่ต้องทำอะไรเพราะข้อต่อข้อมือขึ้นและลงเท่ากัน ถ้าเป็นเท็จจะหมุนข้อต่อข้อศอกลง 1 ขั้น และหมุนข้อต่อข้อมือขึ้น 1 ขั้น จากนั้นทำการตรวจสอบ




```
(IF-AND (IF-NOT SEE? w- e-) w+ (IF-OR OUT?
 INC? s- s+) (IF-AND DEC? HIT? w- e+))
```

รูปที่ 7.8 ตัวอย่างของโปรแกรมหุ่นยนต์และการแทนด้วยโครงสร้างต้นไม้

ฟังก์ชัน OUT? และINC? ถ้าฟังก์ชันใดเป็นจริงจะหมุนข้อต่อหัวไหล่ลง 1 ขั้นและจะหมุนข้อต่อหัวไหล่ขึ้น 1 ขั้นถ้าทั้งสองฟังก์ชันเป็นเท็จ ส่วนฟังก์ชัน IF-AND ในส่วนสุดท้ายของโปรแกรมเป็นส่วนที่ไม่มีประโยชน์ในโปรแกรมหุ่นยนต์นี้ซึ่งจะไม่มีทางถูกเรียกใช้ได้เลยเพราะฟังก์ชัน IF-AND ในส่วนแรกจะมีค่าเป็นจริงเสมอ สำหรับส่วนที่ไม่มีประโยชน์นี้อาจจะถูกใช้ประโยชน์ได้เมื่อถูกแลกเปลี่ยนกับโปรแกรมหุ่นยนต์อื่นๆในกระบวนการตามตัวดำเนินการโปรแกรมพันธุการ

7.4.1.3 ***การแปลคำสั่ง*** ในการทดลองแต่ละครั้งโปรแกรมหุ่นยนต์จะถูกแปลคำสั่งในทุกๆครั้งของการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ โดยอาศัยข้อมูลอินพุตที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลภาพ แล้วปฏิบัติการตามลำดับของรูปแบบโปรแกรม โดยเอาต์พุตของโปรแกรมจะอยู่ในรูปของตัวแปรพิเศษ 3 ตัวแปรคือ N_s, N_e และN_w ที่แทนจำนวนครั้งของการหมุนของแต่ละข้อต่อคือ ข้อต่อหัวไหล่, ข้อต่อข้อศอก และข้อต่อข้อมือ ตามลำดับ ตัวแปรทั้งสามที่ได้จะถูกนำไปขับเซอร์โวมอเตอร์ของแต่ละข้อต่อให้หมุนตามค่าของตัวแปรที่ได้ ซึ่งถ้ามีค่าเป็นศูนย์หมายถึงข้อต่อนั้นจะไม่มีการหมุน ถ้ามีค่าเป็นบวกข้อต่อนั้นๆจะหมุนขึ้น และถ้ามีค่าเป็นลบข้อต่อนั้นๆจะหมุนลง เซอร์โวมอเตอร์อาจจะไม่สามารถหมุนได้ถ้าอยู่ในกรณีที่แขนหุ่นยนต์ชนกับสิ่งกีดขวางหรือแขนหุ่นยนต์กำลังเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตของภาพที่ได้กำหนดไว้ หรือข้อต่อนั้นๆหมุนไปสู่ขีดจำกัดที่เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนได้ การหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะทำให้แขนหุ่นยนต์เกิดการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ดังกล่าวจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอินพุตที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลภาพ จากนั้นโปรแกรมหุ่นยนต์ก็จะถูกนำมาแปลคำสั่งอีกครั้ง เพื่อสร้างคำสั่งที่ทำให้เกิด

การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์จนกระทั่งแขนหุ่นยนต์สามารถเข้าถึงเป้าหมาย หรือถูกยกเลิกจากการปฏิบัติงานด้วยเงื่อนไขอื่นๆ

7.4.2 ***<u>การดำเนินการโปรแกรมพันธุการ</u>*** กระบวนการโปรแกรมพันธุการที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ถูกแบ่งออกเป็น 5 สถานะดังต่อไปนี้

สถานะที่ 1 การสร้างประชากรเบื้องต้น

เป็นการดำเนินการในขั้นตอนแรกจะเริ่มต้นด้วยการสุ่มสร้างประชากรของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่เกิดจากการการผสมผสานด้วยวิธีการสุ่มระหว่างฟังก์ชันกับเทอร์มินอลขึ้นมา ซึ่งมีขนาดของประชากรเท่ากับ 40 โปรแกรม

สถานะที่ 2 การทวนสอบแต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์

ในแต่ละรุ่นของประชากรสำหรับกระบวนการโปรแกรมพันธุการแต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์จะถูกปฏิบัติการแปลคำสั่งซ้ำไปซ้ำมาจนกระทั่งถึงเกณฑ์ของการสิ้นสุดการปฏิบัติการอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งได้กำหนดไว้ดังนี้

-จำนวนรอบของการปฏิบัติการของแต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์กำหนดให้ต้องไม่เกิน 1000 รอบ

-เวลาที่ใช้มากที่สุด กำหนดไว้ไม่เกิน 60 วินาที

-แขนหุ่นยนต์อยู่ในภาวะตาย(Dead Condition)ที่กำหนดให้แขนหุ่นยนต์นั้นหมดสภาพไป โดยพิจารณาจากเงื่อนไขสองอย่างคือ พิจารณาตำแหน่งสุดท้ายของแขนหุ่นยนต์ว่าอยู่ในตำแหน่งเดิมที่เหมือนกันเป็นจำนวนเกิน 50 ครั้งของรอบการปฏิบัติการหรือพบว่าค่าตัวแปร PAIN มีค่ามากกว่า 2000 หน่วย

-เมื่อแขนหุ่นยนต์ประสบความสำเร็จ สามารถเคลื่อนปลายแขนไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้

สถานะที่ 3 การประเมินค่าแต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์

เมื่อสิ้นสุดการทวนสอบในแต่ละรุ่น แต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์จะถูกบันทึกเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา และกำหนดค่าความเหมาะหรือความสามารถในการแก้ปัญหาให้แก่โปรแกรมหุ่นยนต์นั้นๆ โดยมีเงื่อนไขสำหรับการกำหนดค่าความเหมาะดังต่อไปนี้

กำหนดให้ค่าความเหมาะเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 5000 แต้ม จากนั้น ในกรณีที่แขนหุ่นยนต์ไม่ประสบผลสำเร็จ ค่าความเหมาะจะถูกหักด้วยผลคูณของค่าคงที่ค่าหนึ่งกับระยะห่างจากปลายแขนไปยังเป้าหมายในตำแหน่งสุดท้ายของแขนหุ่นยนต์ ถ้าในตำแหน่งสุดท้ายของแขนหุ่นยนต์พบว่าในระหว่างทางจากปลายแขนหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมาย

ตามแนวตรงมีสิ่งกีดขวางอยู่ ค่าความเหมาะจะถูกหักออกอีก 1000 แต้ม ลำดับต่อมาถ้าสภาพสุดท้ายของแขนหุ่นยนต์อยู่ในสภาพที่เหมือนกับสภาพที่ถูกบันทึกว่าเป็นสภาพที่เป็นภาวะตายมาก่อนแล้ว ค่าความเหมาะจะถูกหักออกอีก 4000 แต้ม และสุดท้าย ถ้าแขนหุ่นยนต์ประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหา ค่าความเหมาะจะถูกบวกขึ้นอีก 3000 แต้ม

สรุปทั้งหมดคือ

$$FITNESS = 5000 - (k \times Distance \times not\text{-}SUCCESS) - (1000 \times not\text{-}SEE) - (4000 \times DIE) + (3000 \times SUCCESS)$$

ค่า k ที่ใช้ในการทดลองคือ k = 1

ค่าความเหมาะสุดท้ายที่เป็นผลลัพธ์จะถูกกำหนดให้เป็นค่าความเหมาะของแต่ละแขนหุ่นยนต์ในแต่ละรุ่น

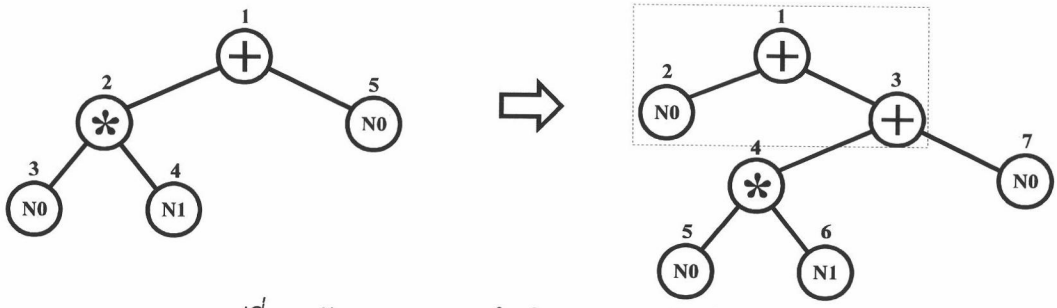
สถานะที่ 4 การคัดเลือก 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ที่ดีที่สุด

อาศัยเวลาที่ใช้และค่าความเหมาะของแต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์นำโปรแกรมหุ่นยนต์ทั้งหมดมาจัดอันดับ โดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ก่อนซึ่งจะจัดอันดับจากค่าน้อยไปมาก ในกรณีที่เวลาทที่ใช้เท่ากันจะจัดอันดับตามค่าความเหมาะของแต่ละโปรแกรมจากค่ามากไปน้อย จากนั้นพิจารณาคัดเลือกโปรแกรมหุ่นยนต์ที่ดีที่สุดในรุ่นนั้นจำนวน 10 โปรแกรม

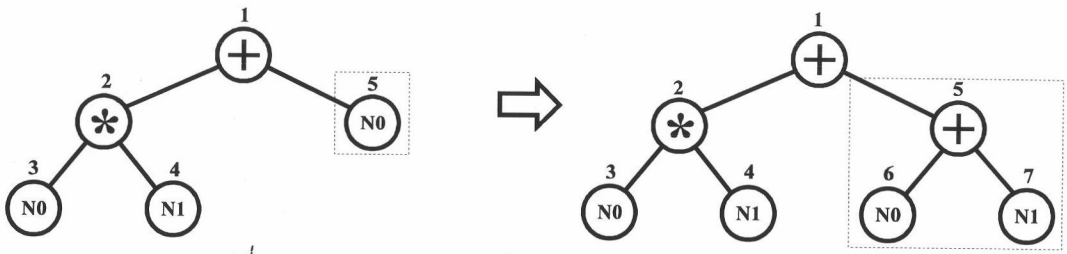
สถานะที่ 5 ปฏิบัติการทางพันธุการ

การปฏิบัติการทางพันธุการเป็นการสังเคราะห์ประชากรใหม่ของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่เป็นเสมือนลูกหลานของ 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ที่ดีที่สุดจากรุ่นที่แล้ว โดยการใช้ตัวดำเนินการพันธุการ ซึ่งตัวดำเนินการพันธุการที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย การกำเนิดใหม่, การผสมพันธุ์, การกลายพันธุ์แบบต่อยอด และการกลายพันธุ์แบบต่อปลาย โดยที่การกำเนิดใหม่เป็นตัวดำเนินการที่ทำการคัดลอก 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ที่ดีที่สุดจากรุ่นที่แล้วทั้งหมดไปอยู่ในรุ่นถัดไป ส่วนการผสมพันธุ์เป็นตัวดำเนินการที่ทำการสังเคราะห์อีก 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ใหม่ขึ้นมาโดยอาศัยการจับคู่กันด้วยวิธีการสุ่มในกลุ่มของ 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ที่ดีที่สุด ซึ่งการแลกเปลี่ยนกันของส่วนของโปรแกรมหุ่นยนต์ทั้งสองเกิดจากการสุ่มเลือกทั้งหมด

สำหรับการกลายพันธุ์แบบต่อยอดเป็นตัวดำเนินการที่ทำการสังเคราะห์ 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ใหม่ขึ้นมา โดยสังเคราะห์โปรแกรมเล็กๆที่เกิดจากการสุ่มสร้างซึ่งจะถูกต่อเพิ่มเข้ากับส่วนยอดของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เดิมที่เป็น 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ที่ดีที่สุดของรุ่นที่แล้ว ดังรูปที่ 7.9 ซึ่งปมที่ 1 ของโปรแกรมเดิมถูกโปรแกรมใหม่ต่อเพิ่ม และ



รูปที่ 7.9 ลักษณะของการดำเนินการกลายพันธุ์แบบต่อยอด



รูปที่ 7.10 ลักษณะของการดำเนินการกลายพันธุ์แบบต่อปลาย

ในทำนองเดียวกัน กับ การกลายพันธุ์แบบต่อปลายซึ่งจะเป็นตัวดำเนินการที่ทำการสังเคราะห์ 10 โปรแกรมหุ่นยนต์ใหม่ขึ้น โดยอาศัยการสังเคราะห์โปรแกรมเล็กๆจากการสุ่มสร้าง แล้วนำโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมเล็กๆที่สุ่มสร้างขึ้นมาได้นั้นเข้าแทนกิ่งใดกิ่งหนึ่งของโครงสร้างต้นไม้ของโปรแกรมหุ่นยนต์เดิมซึ่งถูกสุ่มเลือกได้ ดังรูปที่ 7.10 ซึ่งปมที่ 5 ถูกแทนด้วยโปรแกรมเล็กๆ

7.4.3 ***<u>การล้างพันธุ์ในการทดลอง</u>*** โดยทั่วๆไปแล้วในกระบวนการโปรแกรมพันธุการจะไม่มีการใช้ตัวดำเนินการล้างพันธุ์ สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการนำการล้างพันธุ์มาใช้เพื่อช่วยในการค้นหาโปรแกรมได้เร็วขึ้น ซึ่งการล้างพันธุ์นี้ถูกนำมาใช้ในลักษณะที่สร้างโอกาสใหม่ๆให้กับกระบวนการค้นหาโปรแกรมที่เหมาะสม โดยในระหว่างการวิวัฒนาการ ถ้าพบว่าในรุ่นใดไม่มีโปรแกรมหุ่นยนต์ใดเลยที่ประสบความสำเร็จ และโปรแกรมหุ่นยนต์ที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกของรุ่นนั้นๆมีตำแหน่งสุดท้ายที่เหมือนกันทั้งหมดเป็นจำนวน 4 รุ่นติดต่อกัน ตัวดำเนินการล้างพันธุ์จะถูกนำมาใช้ ซึ่งตัวดำเนินการล้างพันธุ์จะทำการเปลี่ยนรหัสคำสั่งโดยวิธีการสุ่มในประชากรทั้งหมดของโปรแกรมหุ่นยนต์ โดยใช่ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนมีค่าเท่ากับ 1/3

สำหรับสรุปพารามิเตอร์ต่างๆของการโปรแกรมพันธุการที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 7.1

วัตถุประสงค์	เพื่อค้นหาโปรแกรมหุ่นยนต์ที่เหมาะสมที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์เพื่อนำปลายแขนไปยังเป้าหมายที่กำหนดไว้ในสภาพแวดล้อมต่างๆได้
ขนาดของประชากร	40 โปรแกรม
จำนวนรุ่นมากที่สุดที่ใช้ในการทดลอง	ไม่จำกัด(จนกระทั่งประสบความสำเร็จมากพอสมควร)
ความน่าจะเป็นของการเกิดใหม่	25 %
ความน่าจะเป็นของการผสมพันธุ์	25 %
ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์แบบต่อปลาย	25 %
ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์แบบต่อยอด	25 %
ขนาดมากที่สุดที่สังเคราะห์ระหว่างทำการทดลอง	3000 คำสั่ง
ขนาดมากที่สุดที่สังเคราะห์เมื่อเริ่มทำการทดลอง	มากว่า 1 คำสั่ง แต่ไม่เกิน 3000 คำสั่ง
เงื่อนไขของการล้างพันธุ์	ตำแหน่งสุดท้ายของ10โปรแกรมที่ดีที่สุดอยู่ตำแหน่งเดียวกันเป็นจำนวน 4 รุ่นติดต่อกันที่ไม่มีโปรแกรมประสบความสำเร็จในรุ่นนั้น
ความน่าจะเป็นของการล้างพันธุ์แต่ละปมของโครงสร้างโปรแกรม	33 %
ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนรูป	0 % (ไม่มีการใช้ในการทดลอง)
ความน่าจะเป็นของการแก้ไข	0 % (ไม่มีการใช้ในการทดลอง)
เงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม	- ปฏิบัติการไม่เกิน 1000 รอบ - เวลามากที่สุดไม่เกิน 50 วินาที - เลิกเมื่อแขนหุ่นยนต์อยู่ในภาวะตาย - ประสบความสำเร็จ
ค่าความเหมาะ	- ระยะห่างจากปลายแขนถึงเป้าหมาย - ปลายแขนมองเห็นเป้าหมายหรือไม่ - อยู่ในตำแหน่งที่ถูกบันทึกว่าตายแล้ว

ตารางที่ 7.1 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆของการโปรแกรมพันธุการที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการคัดเลือกโปรแกรม	คัดเลือกโปรแกรม 10 อันดับแรกที่จัดอันดับตาม เวลาที่ใช้ และค่าความเหมาะตามลำดับ
การสังเคราะห์โปรแกรม	การสุ่ม
การจับคู่	การสุ่ม
การเลือกจุดผสมพันธุ์	การสุ่ม
เงื่อนไขของระบบ	1) ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์ชนกับสิ่งกีดขวางส่วนนั้นจะต้องเคลื่อนที่กลับไปในทิศทางตรงกันข้าม 2) ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์ชนออกนอกพื้นที่การมองเห็นส่วนนั้นจะต้องเคลื่อนที่กลับเข้ามา
โครงสร้างโปรแกรม	คล้ายภาษาลิสป์ที่มีลักษณะเป็นนิพจน์-เชิงสัญลักษณ์
ฟังก์ชัน	IF-AND, IF-OR และ IF-NOT
เทอร์มินอล	s+, s-, e+, e-, w+, w-, HIT?, SEE?, INC?, DEC? และ OUT?

ตารางที่ 7.1 (ต่อ) สรุปพารามิเตอร์ต่างๆของการโปรแกรมพันธุการที่ใช้ในการทดลอง

7.5 การจำลองการทำงานของแขนหุ่นยนต์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

การจำลองการทำงานของแขนหุ่นยนต์บนเครื่องคอมพิวเตอร์จะพยายามให้มีความใกล้เคียงกับการทดลองในโลกจริงมากที่สุด ขั้นตอนการทำงานต่างๆจะต้องเหมือนกัน ซึ่งจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากข้อมูลภาพจากกล้องวิดีโอในขั้นตอนแรกของการทดลองแต่ละครั้ง มาใช้ในการคำนวณต่างๆในการจำลองการทำงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองเช่น ตำแหน่งปลายแขน, การตรวจสอบการชนกับสิ่งกีดขวาง และการตรวจสอบว่ามองเห็นเป้าหมายหรือไม่ของปลายแขนหุ่นยนต์ เป็นต้น

ในขั้นตอนแรกทุกครั้งของการทดลองจะมีการประมวลผลข้อมูลภาพเพื่อทำการเก็บข้อมูลหลายๆอย่างที่จะถูกนำไปใช้ในการจำลองการทำงาน ดังต่อไปนี้ ข้อมูลสภาพแวดล้อม

ของแขนหุ่นยนต์, ตำแหน่งของเป้าหมาย, ตำแหน่งของข้อต่อหัวไหล่, ความยาวของแขนหุ่นยนต์ท่อนบน, ความยาวของแขนหุ่นยนต์ท่อนล่าง และความยาวของปลายแขนหุ่นยนต์

เพื่อป้องกันไม่ให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนออกนอกขอบเขตของการมองเห็นทั้งด้านล่างและด้านบน ทั้งในการทดลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์และการทดลองในโลกจริง จึงมีข้อจำกัดในการทดลองดังต่อไปนี้คือ ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์พยายามเคลื่อนที่ออกนอกขอบเขตการมองเห็นด้านล่าง ระบบจะบังคับให้ข้อต่อหัวไหล่หมุนขึ้น 1 ขั้น และถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์พยายามเคลื่อนที่ออกนอกขอบเขตการมองเห็นด้านบน ระบบจะบังคับให้ข้อต่อหัวไหล่หมุนลง 1 ขั้น

และเพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์ที่พยายามเคลื่อนที่เข้าชนกับสิ่งกีดขวาง ทั้งในการทดลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์และการทดลองในโลกจริง ระบบจะบังคับให้ข้อต่อของส่วนนั้นๆของแขนหุ่นยนต์หมุนกลับมาในทิศทางตรงกันข้าม จนกระทั่งไม่มีการชนเกิดขึ้น

7.6 <u>การออกแบบการทดลอง</u>

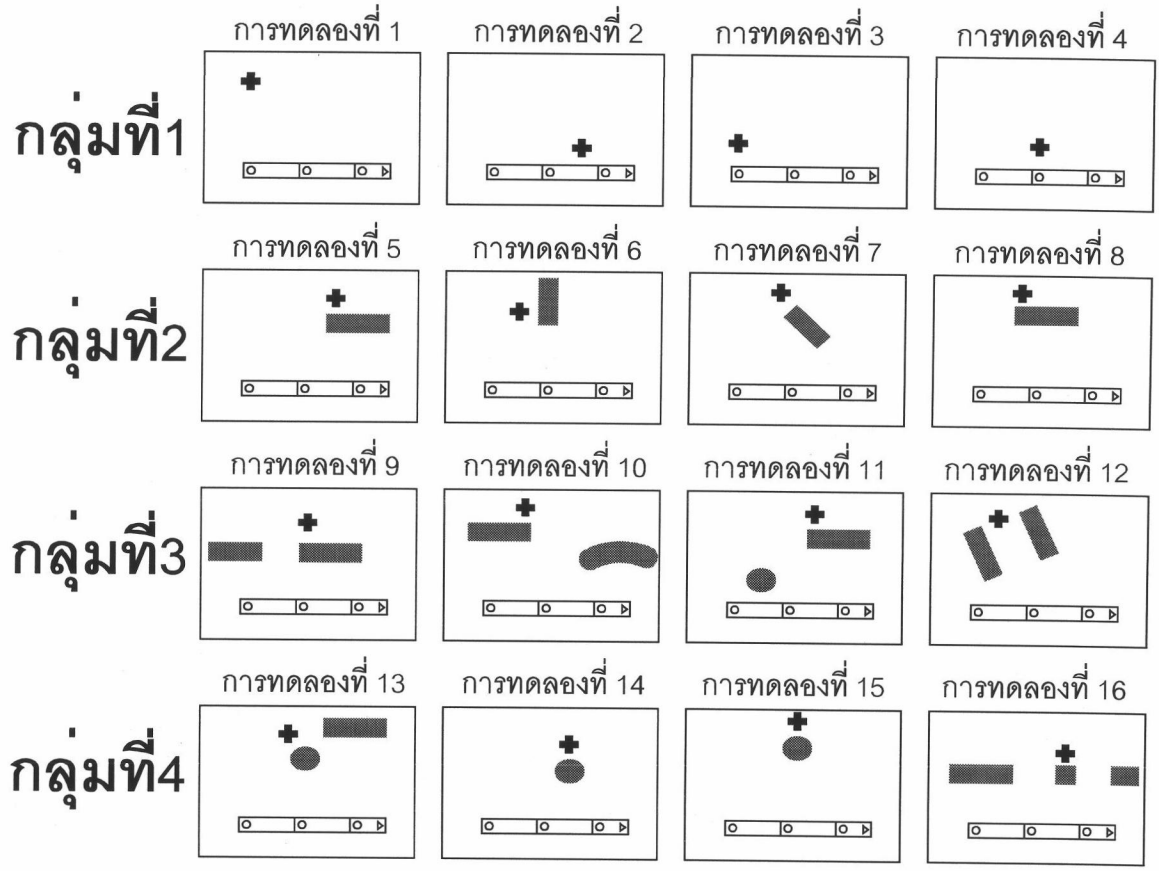
การทดลองครั้งนี้ได้ถูกออกแบบให้มีการทดลองแบ่งเป็น 4 กลุ่มด้วยกันแยกตามลักษณะของสภาพแวดล้อมดังนี้คือ

1) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของการแก้ปัญหาของแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางและไม่มีสิ่งกีดขวาง

2) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางที่กำหนดให้มีเพียง 1 สิ่งกีดขวางเท่านั้น เพื่อศึกษาถึงความผลกระทบต่อการแก้ปัญหาของแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางเพียง 1 สิ่งกีดขวาง

3) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางที่กำหนดให้มีมากกว่า 1 สิ่งกีดขวาง เพื่อศึกษาถึงความผลกระทบต่อการแก้ปัญหาของแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางมากกว่า 1 สิ่งกีดขวาง

4) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะของปัญหาจุดต่ำสุดเสมือน(Local Minima) เพื่อศึกษาถึงความผลกระทบต่อการแก้ปัญหาของแขนหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะของปัญหาจุดต่ำสุดเสมือน ที่เป็นปัญหาที่แขนหุ่นยนต์มักจะติดอยู่ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเป็นเวลานาน ทั้งนี้เป็นเพราะที่ตำแหน่งนั้นจะให้ค่าความเหมาะที่สูงมากซึ่งใกล้เคียงกับการแก้ปัญหานั้นแต่ไม่ใช่



รูปที่ 7.11 แสดงลักษณะสภาพแวดล้อมของการทดลองทั้งหมด

การทดลองทั้งหมดจะมี 4 กลุ่มแต่ละกลุ่มจะมี 4 การทดลอง ซึ่งหมายถึงจะมีการทดลองทั้งหมด 16 การทดลองใน 16 สภาพแวดล้อม ดังรูปที่ 7.11 ในแต่ละสภาพแวดล้อมจะมีการทำการทดลองย่อยๆเพื่อค้นหาโปรแกรมหุ่นยนต์ที่เหมาะสมการทดลองละ 10 ครั้ง ซึ่งจะเก็บข้อมูลต่างๆเพื่อหาค่าเฉลี่ย, ศึกษาถึงผลกระทบของตัวดำเนินการทางพันธุการที่มีต่อการแก้ปัญหา จากนั้นจะคัดเลือกโปรแกรมหุ่นยนต์ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละการทดลองๆละ 10 โปรแกรมที่ได้จากทดลองทั้ง 10 ครั้ง รวมทั้งหมดแล้ว 160 โปรแกรมซึ่งจะถูกนำไปทดสอบการทำงานของแต่ละโปรแกรมหุ่นยนต์กับแขนหุ่นยนต์ในโลกจริงว่าจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด

7.7 <u>สรุปท้ายบท</u>

บทนี้ได้แสดงรายละเอียดที่สำคัญหลายอย่างสำหรับการทำการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ดังต่อไปนี้

การทดลองครั้งนี้ได้นำปัญหาในการควบคุมการเอื้อมแขนหุ่นยนต์เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางให้ไปยังเป้าหมาย โดยแขนหุ่นยนต์สามารถเรียนรู้ที่จะแก้ปัญหาที่กำหนดให้ได้ด้วยตัวเอง โดยอาศัยระบบการมองเห็นผ่านกล้องวิดีโอเป็นส่วนนำทางของระบบ และใช้กระบวนการตามขบวนการโปรแกรมพันธุการสำหรับขบวนการเรียนรู้เพื่อทำการสังเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาได้ และโปรแกรมหุ่นยนต์ที่ได้ต้องสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในโลกจริง โดยอาศัยระบบการมองเห็นเป็นส่วนอินพุต

อธิบายถึงรายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการทดลองโดยเฉพาะในส่วนของแขนหุ่นยนต์ ส่วนการมองเห็นและการประมวลผลข้อมูลภาพที่ใช้กล้องวิดีโอในการส่งสัญญาณภาพขาว/ดำผ่านพอร์ตของอุปกรณ์วิดีโอบลาสเตอร์ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ และอาศัยค่าของขีดเริ่มเปลี่ยนและการกำหนดสัญลักษณ์พิเศษใช้การประมวลผลข้อมูลภาพเพื่อการกำหนดตำแหน่งต่างๆของวัตถุในสัญญาณภาพ และรวมทั้งอธิบายรายละเอียดของกระบวนการโปรแกรมพันธุการที่ใช้ในการทดลอง ทั้งลักษณะของโปรแกรมหุ่นยนต์ การกำหนดฟังก์ชัน และเทอร์มินอลที่ใช้ในการทดลอง อธิบายถึงรูปแบบของโปรแกรมหุ่นยนต์และการแปลคำสั่งของโปรแกรมหุ่นยนต์ที่มีลักษณะเฉพาะสำหรับการทดลองครั้งนี้ และรายละเอียดของการดำเนินการโปรแกรมพันธุการทั้ง 5 สถานะ

การจำลองการทำงานของแขนหุ่นยนต์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลภาพในขั้นตอนแรกของการทดลองแต่ละครั้ง ซึ่งมีข้อจำกัดต่างๆที่ใช้ในการทดลองเพื่อป้องกันแขนหุ่นยนต์เคลื่อนออกนอกขอบเขตของการมองเห็นทั้งด้านล่างและด้านบน และเพื่อป้องกันส่วนใดส่วนหนึ่งของแขนหุ่นยนต์พยายามเคลื่อนที่เข้าชนสิ่งกีดขวาง

รายละเอียดของการทดลองที่แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่มตามสภาพแวดล้อมของแขนหุ่นยนต์ ดังต่อไปนี้คือ 1) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง 2) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางที่กำหนดให้มีเพียง 1 สิ่งกีดขวางเท่านั้น 3) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางที่กำหนดให้มีมากกว่า 1 สิ่งกีดขวาง และ 4) กลุ่มของสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะของปัญหาจุดต่ำสุดเสมือน