

การควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบมัลติโหมด
MULTI-MODE CONTROL FOR SOCCER ROBOTS

อลงกรณ์ วิจิตรนสาร
ALONGKON VIJITTANASAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2655-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบมัลติโหมด

MULTI-MODE CONTROL FOR SOCCER ROBOTS

อลงกรณ์ วิจิตรนสาร

ALONGKON VIJITTANASAN

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 63672

วัน,เดือน,ปี..... 30 ต.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2655-5

MULTI-MODE CONTROL FOR SOCCER ROBOTS

ALONGKON VIJITTANASAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MOMGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2655-5

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบมัลติโหมด
นักศึกษา	นายอลงกรณ์ วิจิตรธนสาร
รหัสนักศึกษา	44061811
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. ปิติเขต สุรักษา

บทคัดย่อ

มีนักวิจัยหลายคนจากทั่วโลก ได้ทำการคิดค้นและพัฒนาวิธีการควบคุมการตัดสินใจของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยที่ผ่านมามีการคิดค้นวิธีการควบคุมการตัดสินใจต่างๆ อยู่หลายวิธีด้วยกัน รวมทั้งการวางแผนการเล่นแบบต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีคุณสมบัติ ที่แตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอลในสถานะการณ์ขณะแข่งขันด้วย และบ่อยครั้งที่วิธีการควบคุมการตัดสินใจที่ได้ออกแบบไว้เกิดความไม่เหมาะสม หรือแบบแผนการเล่นไม่สอดคล้องกัน รวมทั้งการตัดสินใจในบางสถานะการณ์ที่มีได้คาดคิดไว้ล่วงหน้า วิทยานิพนธ์เสนอการควบคุมการตัดสินใจแบบมัลติโหมดสำหรับหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยมีระบบควบคุมการตัดสินใจในส่วนกลางประสานควบคุมการทำงานของทีมหุ่นยนต์ให้สอดคล้องกันตามสถานะการณ์นั้นๆ

Thesis Title	Multi – Mode Control for Soccer Robots
Student	Mr. Alongkon Vijittanasan
Student ID.	44061811
Degree	Master of Engineering
Programme	Information Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Pitikhate Sooraksa

ABSTRACT

Various methods for decision-making of soccer robots, including playing strategies, have been developed by researchers around the world. Each method has different features depending on different situations of the match involved. In several occasions, the designed methods for decision making are unsuitable, or playing strategies have conflicts, or have undesired results in unexpected situations. This thesis proposes a multi-mode decision-making for soccer robots. The method applies a centrally decision-making for controlling the situations in accordance with encountered scenarios.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้รับความเมตตาจาก รศ. ดร. ปิติเขต สุรักษา ที่กรุณาให้คำชี้แนะและเป็นที่ยกย่องให้แก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา รวมทั้ง อาจารย์บุญชนะ ภูระหงษ์ ที่คอยเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ และคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมกันนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาตลอด

ขอบคุณ หัวหน้างาน พี่ ๆ และเพื่อนร่วมงาน ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และอนุญาติให้ลางานรวมทั้งยังสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ ในเวลางานปกติได้ ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

และสุดท้ายที่จะลืมเสียไม่ได้คือ กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยอบรมเลี้ยงดูตั้งแต่เล็กจนสำเร็จในสิ่งที่มุ่งหวังไว้ ฉะนั้นคุณงามความดีใด ๆ ก็ตามที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ทุก ๆ ท่านที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

อลงกรณ์ วิจิตรชนสาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
รายการสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์.....	2
1.5 ขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โครงสร้างทาง Hardware ของหุ่นยนต์.....	4
2.1.1 กล้อง (Camera).....	5
2.1.2 คอมพิวเตอร์ (Computer).....	6
2.1.3 ระบบการสื่อสาร (Communication).....	7
2.1.4 หุ่นยนต์.....	9
2.1.4.1 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 2 ล้อ.....	9
2.1.4.2 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ.....	11
2.1.4.3 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ.....	13
2.2 การควบคุมการทำงานหุ่นยนต์.....	15
2.2.1 พีซีพีเคชั่น.....	16
2.2.2 กฎการควบคุม.....	19
2.2.3 การวินิจฉัยกฎ.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 คีฬชชพิเคชั่น.....	20
บทที่ 3 การออกแบบระบบควบคุมและแผนการ.....	22
3.1 การตัดสินใจเลือกแผนการเล่น.....	22
3.2 แผนการรุกทำประตู.....	27
3.3 แผนการรับ.....	30
3.4 แผนการล่อหลอก.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	38
4.1 การจำลองแผนการรุก.....	39
4.2 การจำลองแผนการรับ.....	51
4.3 การจำลองแผนการล่อหลอก.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	78
เอกสารอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก ก.....	83
ภาคผนวก ข.....	85
ภาคผนวก ค.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบของระบบการสื่อสารต่าง ๆ.....	9
2.2 กฎการควบคุมเมื่อหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวาง.....	28
4.1 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรุกแบบที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.2	39
4.2 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรุกแบบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.8	43
4.3 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรุกแบบที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.13.....	47
4.4 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรับแบบที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.19.....	51
4.5 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรับแบบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.25.....	55
4.6 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรับแบบที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.31.....	59
4.7 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.37 และ 4.38.....	63
4.8 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.44 และ 4.45.....	67
4.9 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.51 และ 4.52.....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพบล็อกของระบบหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	4
2.2 ระบบการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	5
2.3 ตัวอย่างกล้องที่ใช้สำหรับแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอลของทีม ITE-Gold.....	6
2.4 ตัวอย่างของโครงข่ายคอมพิวเตอร์แบบ LAN ที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	8
2.5 แผนภาพบล็อกของระบบการสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์.....	8
2.6 ตัวอย่างของ TX และ RX ที่นิยมใช้งาน.....	7
2.7 โครงสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล 2 ล้อ.....	10
2.8 แผนภาพบล็อกการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล 2 ล้อ.....	10
2.9 โครงสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล 3 ล้อ.....	11
2.10 แผนภูมิจลศาสตร์ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ.....	12
2.11 โครงสร้างหุ่นยนต์ 4 ล้อ.....	13
2.12 เรขาคณิตของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ.....	14
2.13 แผนภาพบล็อกการควบคุมแบบคลุ่มเครือของหุ่นยนต์.....	15
2.14 หุ่นยนต์และทิศทางไปยังจุดมุ่งหมาย.....	16
2.15 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุต.....	17
2.16 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต.....	18
3.1 การแบ่งพื้นที่ของสนามแข่ง.....	23
3.2 ตำแหน่งของลูกบอลและทิศทางบนสนาม.....	24
3.3 ตำแหน่งของลูกบอลและแผนการเล่น.....	25
3.4 แผนภาพบล็อกการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	26
3.5 แผนรุกทำประตูจาก Zone 3 หรือ Att ₁	27
3.6 แผนรุกทำประตูจาก Zone 6 หรือ Att ₂	28
3.7 แผนรุกทำประตูจาก Zone 9 หรือ Att ₃	29
3.8 เวกเตอร์การยิงประตู.....	30
3.9 แผนรับแบบที่ 1 หรือ Def ₁	31
3.10 แผนรับแบบที่ 2 หรือ Def ₂	32
3.11 แผนรับแบบที่ 3 หรือ Def ₃	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 แผนการป้องกันประตู.....	34
3.13 แผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1	35
3.14 แผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo_2	36
3.15 แผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo_3	37
4.1 โปรแกรมจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอล.....	38
4.2 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรุกที่ 1 หรือ Att_1	40
4.3 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att_1	40
4.4 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att_1	41
4.5 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att_1	41
4.6 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att_1	42
4.7 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att_1	42
4.8 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรุกที่ 2 หรือ Att_2	44
4.9 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att_2	44
4.10 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att_2	45
4.11 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att_2	45
4.12 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att_2	46
4.13 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att_2	46
4.14 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรุกที่ 3 หรือ Att_3	48
4.15 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att_3	48
4.16 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att_3	49
4.17 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att_3	49
4.18 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att_3	50
4.19 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att_3	50
4.20 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรับที่ 1 หรือ Def_1	52
4.21 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def_1	52
4.22 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def_1	53
4.23 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def_1	53
4.24 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def_1	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.53 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะส่งบอลให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 สอดขึ้นมาทำประตูตามแผน....	73
4.54 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo ₃	74
4.55 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo ₃	74
4.56 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo ₃	75
4.57 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo ₃	75
4.58 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo ₃	76

บทที่ 1

บทนำ

“หุ่นยนต์เตะฟุตบอล” จัดเป็นหัวข้อสำคัญของวงการวิศวกรรมหุ่นยนต์เชิงการศึกษา เนื่องจากเพราะรวมสหวิทยาการเข้าด้วยกันหลายสาขา เช่น ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ การส่งข้อมูล และเข้ารหัสในการสื่อสาร [26] วิศวกรรมเครื่องกล อิเล็กทรอนิกส์ และ อื่น ๆ [9, 3, 10] เพื่อให้การเรียนรู้ในศาสตร์หุ่นยนต์นี้มีความบันเทิงควบคู่ขณะเรียนรู้ จึงมีการจัดการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล [2, 4, 5, 6] นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 [7] ต่อเนื่องเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน [2, 6] ด้วยความน่าสนใจดังกล่าวในข้างต้นจึงเป็นแรงบันดาลใจในการศึกษาปัญหาในหัวข้อเกี่ยวกับหุ่นยนต์เตะฟุตบอลสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันเกมการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล (RoboCup) ที่มีการแข่งขันกันอยู่ทั่วโลกนั้นใช้ยุทธวิธี หรือ มีแบบแผนการตัดสินใจในการควบคุมหุ่นยนต์อยู่หลากหลายวิธีด้วยกัน โดยแต่ละวิธีมีจุดเด่น หรือจุดเสีย ที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เช่น ใช้วิธีการควบคุมการทำประตูแบบโดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) [1, 29, 30] ด้วยวิธีนี้พบว่าบางสถานการณ์ จะมีการควบคุมการตัดสินใจที่ดี สามารถทำประตูได้เร็ว เคลื่อนที่พาบอลไปข้างหน้าได้ดี แต่ในขณะเดียวกันการป้องกันประตูอาจจะเกิดความผิดพลาดได้ง่ายหากคิดกฎเกณฑ์ไม่ครอบคลุมทุกกรณี [11] หรือถ้ามีหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามอยู่ก็อาจจะถูกแย่งลูกบอลไปได้ง่าย หรือ วิธีการตัดสินใจแบบเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA) ก็อาจจะใช้สำหรับวิธีการคำนวณหาทิศทาง และเส้นทาง ที่นานเกินไป ส่งผลให้ฝ่ายตรงข้ามที่ใช้วิธีคิดคำนวณแบบที่ไม่ซับซ้อนสามารถขัดขวางการเข้าทำประตูได้เร็วกว่า [8] เป็นต้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงนำเสนอวิธีการควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบมัลติโหมด (Multi-Mode Control for Soccer Robots) ซึ่งได้รวมเอาวิธีการเคลื่อนที่ การทำประตู การป้องกัน และการล่อหลอก หลายวิธีเข้ามาใช้รวมกัน โดยมีส่วนควบคุมการตัดสินใจส่วนกลางทำหน้าที่ตัดสินใจเลือกแผนการดำเนินการ เพื่อให้เหมาะสมในสถานการณ์นั้น ๆ โดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือที่แยกแยะรับมือกับสถานการณ์นั้นๆ ให้ครอบคลุมทุกกรณีหลัก

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1) ออกแบบระบบวางแผนการเล่นของหุ่นยนต์
- 2) ระบบที่ได้ออกแบบสามารถใช้ได้กับสถานการณ์การแข่งขันที่หลากหลาย คือ เป็นระบบที่ช่วยตัดสินใจในกรณีที่หุ่นยนต์เป็นฝ่ายทำประตู ฝ่ายป้องกัน หรือ การล่อหลอก
- 3) ใช้เวลาในการตัดสินใจเลือกดำเนินการไม่นาน
- 4) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ที่ใช้ในหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1) ออกแบบระบบการตัดสินใจ โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ เป็นแนวคิดหลักในการออกแบบระบบควบคุม
- 2) นำระบบที่ได้ออกแบบการตัดสินใจมาทดสอบและเก็บผลการทดสอบบนแบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม Matlab หรือ โปรแกรมอื่นที่เกี่ยวข้อง
- 3) ระบบที่ออกแบบสามารถครอบคลุมถึง การทำประตู การป้องกัน และการล่อหลอก

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

- 1) ระบบควบคุมการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยใช้หลักการของตรรกศาสตร์คลุมเครือ
- 2) ระบบควบคุมการตัดสินใจเลือกแผนการ
- 3) แบบแผนโดยแบ่งเป็นแผนรุก แผนรับ หรือ แผนล่อหลอก

1.5 ขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์

- 1) ระบบค้นคว้าเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่รวบรวมได้
- 3) ออกแบบระบบควบคุมการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง
- 4) ออกแบบระบบควบคุมการตัดสินใจเลือกแผนการ
- 5) ทำการทดลองระบบที่ออกแบบไว้
- 6) สรุปผล วิเคราะห์ผลการทดลอง และเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

สำหรับบทต่อไปจะอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในด้าน การออกแบบ
เครื่องกล สำหรับหุ่นยนต์เตะฟุตบอลและ พื้นฐานของตรรกศาสตร์คลุมเครือ

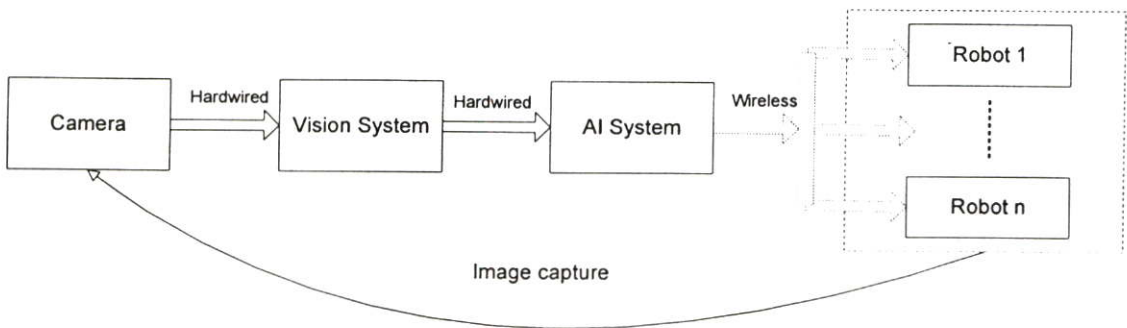
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเรื่องหุ่นยนต์เตะฟุตบอล โดยแบ่งเป็นด้านโครงสร้างเชิงฮาร์ดแวร์ของหุ่นยนต์ และการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ในส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์อธิบายถึง ภาพรวมของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล [2, 4, 5,] การสื่อสาร [26] และการออกแบบระบบเครื่องกลของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล [10] ซึ่งมีการพัฒนาเริ่มจากการเคลื่อนที่แบบ 2 ล้อ การเคลื่อนที่แบบ 3 ล้อ และการเคลื่อนที่แบบ 4 ล้อ ตามลำดับ สำหรับการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์อธิบายถึงทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์เตะฟุตบอล คือ การเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวาง [12, 13, 22, 23] แผนการทำประตุ [11, 16] ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

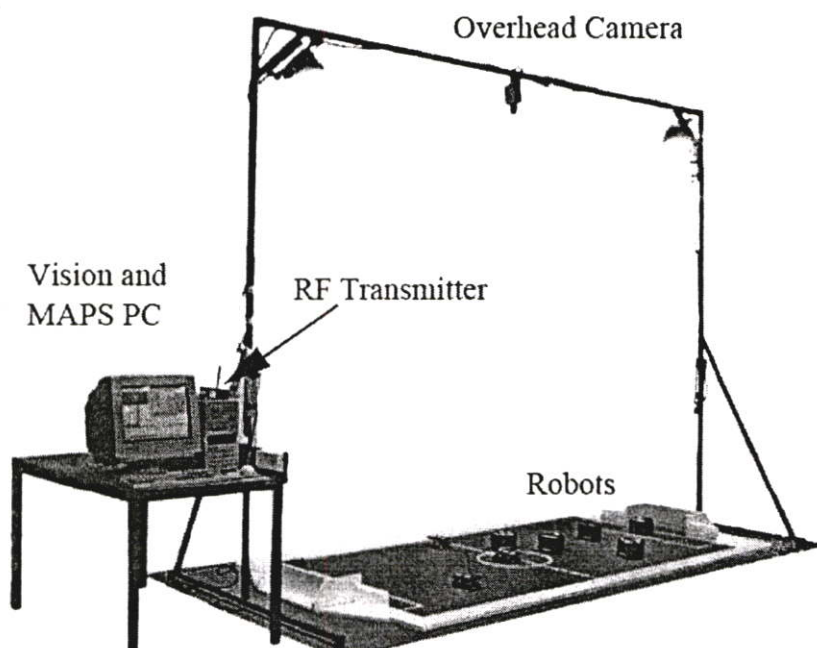
2.1 โครงสร้างเชิงฮาร์ดแวร์ของหุ่นยนต์

ระบบหุ่นยนต์เตะฟุตบอล เป็นการนำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จำนวน 3-5 ตัว ต่อหนึ่งทีม มาทำการเตะลูกกอล์ฟสีแดง หรือสีส้ม โดยมีกล้องทำหน้าที่แทนตาทำงานร่วมกับระบบการมองเห็น (Vision system) ในการมองตำแหน่งหุ่นยนต์ และลูกบอล [24, 25] โดยมีคอมพิวเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เสมือนปัญญาประดิษฐ์ (AI) ผ่านการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication) ในลักษณะคล้ายคลึงกับเกมการแข่งขันฟุตบอล โดยสามารถเขียนแผนภาพบล็อกการทำงานของระบบหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพบล็อกของระบบหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

จากแผนภาพบล็อกแสดงการทำงานของระบบหุ่นยนต์เตะฟุตบอล สามารถแสดงภาพรวมของระบบหุ่นยนต์เตะฟุตบอลได้ ดังรูปที่ 2.2

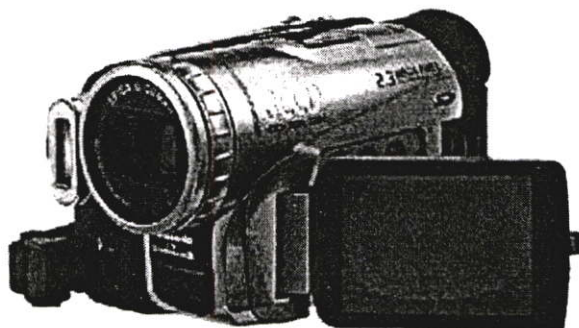


รูปที่ 2.2 ระบบการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล [2, 4, 5]

โครงสร้างเชิงฮาร์ดแวร์ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลประกอบไปด้วย

2.1.1 กล้อง (Camera)

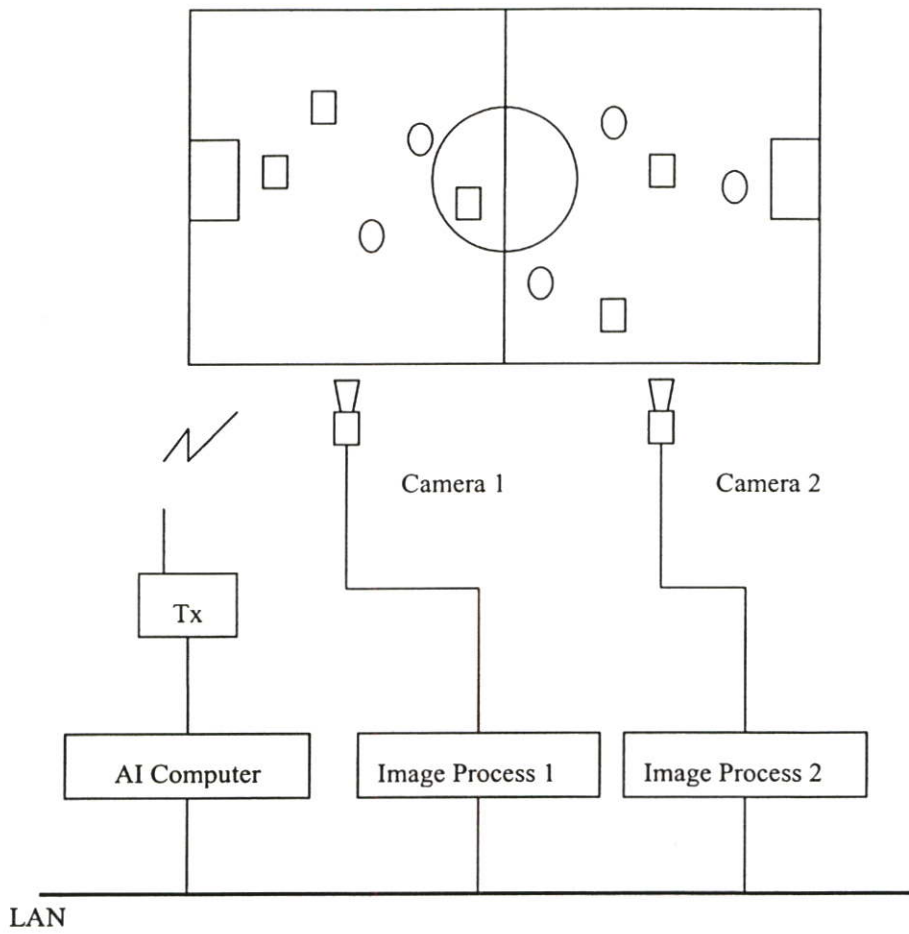
กล้องเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ทำหน้าที่เสมือนตาช่วยในการมองเห็นของระบบ เมื่อกำลังจับภาพได้ก็จะส่งสัญญาณภาพนั้นๆ เข้าสู่โปรแกรมการประมวลผลภาพ [24] เพื่อหาพิกัดตำแหน่งของลูกบอล พิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์ทั้งหมดที่อยู่ภายในสนามแข่งขัน และส่งพิกัดที่ได้ให้กับโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ เพื่อควบคุมต่อไป ตัวอย่างกล้องที่ใช้ในการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอลชิงแชมป์ประเทศไทยของทีม ITE-Gold ในระหว่างปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2548



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกล้องที่ใช้สำหรับแข่งขันหุ่นยนต์ตะฟุตบอลของทีม ITE-Gold ที่ใช้เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ฟุตบอลชิงแชมป์ประเทศไทยปี พ.ศ. 2545 - พ.ศ. 2548

2.1.2 คอมพิวเตอร์ (Computer)

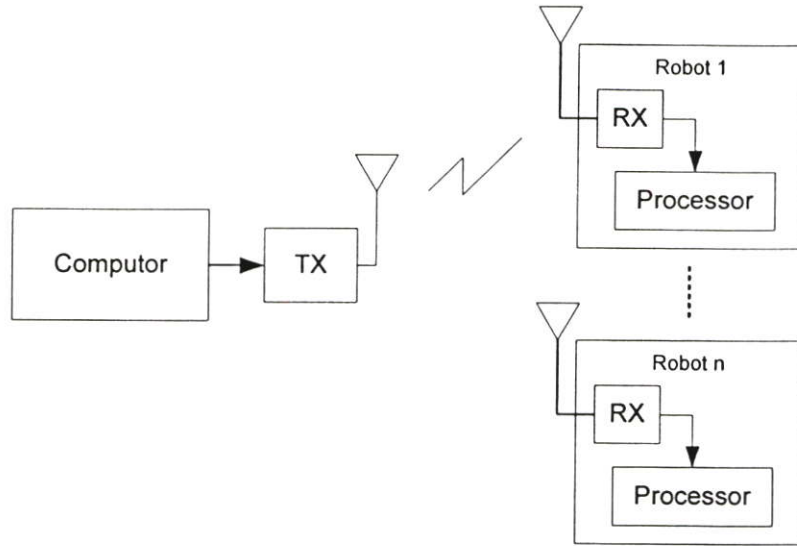
คอมพิวเตอร์ ใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ หรือเสมือนสร้างปฏิบัติการปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบการมองเห็นที่ได้จากกล้อง โดยขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ออกแบบ คือ รวมทุกการประมวลผลไว้ที่คอมพิวเตอร์ตัวเดียวกันดังรูปที่ 2.2 หรือ อาจจะแยกส่วนการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ กับ ระบบการมองเห็นไว้ในคอมพิวเตอร์แต่ละตัว โดยสื่อสารถึงกันผ่านระบบโครงข่าย LAN ดังที่แสดงที่รูปที่ 2.4 หรือจะส่งข้อมูลถึงกันผ่านสายเคเบิล ในกรณีใช้คอมพิวเตอร์สองตัวในการประมวลผล และในกรณีที่มีคอมพิวเตอร์มากกว่าสองเครื่องขึ้นไปจะส่งข้อมูลผ่านระบบ Wireless LAN



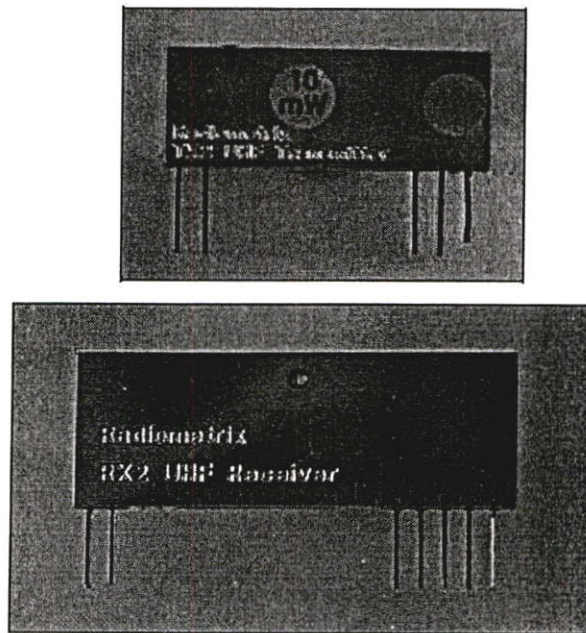
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของโครงข่ายคอมพิวเตอร์แบบ LAN ที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

2.1.3 ระบบการสื่อสาร (Communication)

ระบบการสื่อสารที่ใช้สื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ควบคุมกับหุ่นยนต์เตะฟุตบอล [26] ตามมาตรฐานของ RoboCup นั้นความถี่ที่ใช้ในการแข่งขันส่วนใหญ่จะใช้ RF Wireless Module ความถี่ที่ 418 MHz, 433 MHz, 869 MHz และ 914 MHz เพื่อป้องกันความสับสน และรบกวนสัญญาณสื่อสารกันเองของทีมที่ทำการแข่งขัน ในขณะที่ดำเนินการแข่งขัน โดยหลักการทำงานสามารถแสดงได้ตามแผนภาพบล็อกการทำงาน ดังรูปที่ 2.5 และแสดงตัวอย่างของ TX และ RX ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกของระบบการสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างของ TX และ RX ที่นิยมใช้งาน [32]

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารข้อมูลได้มีการพัฒนาอย่างมาก นอกจากโมดูล ที่ได้ยกตัวอย่างไว้แล้วนั้น ยังมีการส่งข้อมูลผ่านระบบ โปรโตคอล อื่นๆ เช่น Bluetooth 802.11a 802.11b และ 802.11g เป็นต้น โดยแต่ละแบบก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ดังแสดงตาม ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบของระบบการสื่อสารต่าง ๆ

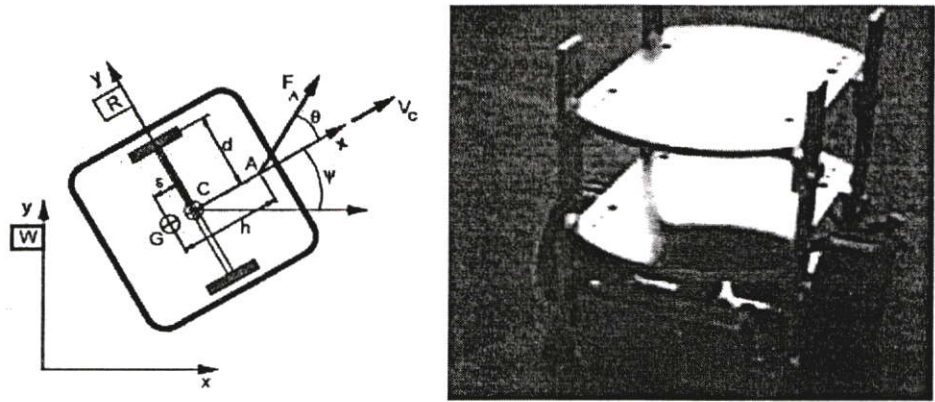
Protocol	Frequency	Max Throughput	Actual Throughput	Range	Latency
Bluetooth	2.4 GHz	1.2 Mbps	680 kbps	10-100 m	< 2 ms
802.11a	5 GHz	54 Mbps	21 Mbps	60-120 ft	< 2.5 ms
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	4 Mbps	90-150 ft	< 5 ms
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	17 Mbps	90-150 ft	< 2.5 ms

2.1.4 หุ่นยนต์

หุ่นยนต์ที่ใช้ในการแข่งขันหุ่นยนต์เตะฟุตบอลจะมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าต้องการ หุ่นยนต์ในลักษณะใด โดยหลักๆ แล้ว สามารถแบ่งหุ่นยนต์ตามลักษณะล้อ และลักษณะการเคลื่อนที่ได้เป็น 3 แบบด้วยกัน คือ หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 2 ล้อ หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ และหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ [3, 10] โดยมีโครงสร้างหุ่นยนต์พอสังเขป ดังต่อไปนี้

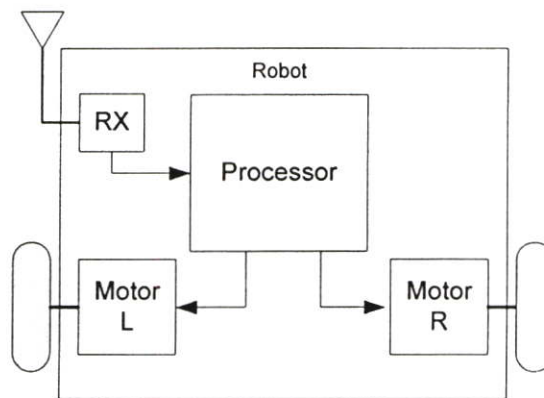
2.1.4.1 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 2 ล้อ

หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 2 ล้อ [27] มีโครงสร้างของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลที่มีลักษณะการเคลื่อนที่เป็น 2 ล้อ หรือ มีล้อหลักที่ใช้ในการเคลื่อนที่อยู่ด้วยกัน 2 ล้อ โดยล้อทั้งสองจะทำมุม 180 องศาซึ่งกันและกัน และมีล้อที่ใช้พวงการทรงตัวอีกหนึ่งล้อ หรือสองล้อขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ ดังรูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างหุ่นยนต์ 2 ล้อ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล 2 ล้อ

ซึ่งจะมีการทำงานดังต่อไปนี้ คือ เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณควบคุมการเคลื่อนที่แบบสื่อสารไร้สายโดยส่งข้อมูลเข้าที่ RX ข้อมูลก็ถูกส่งไปยัง Processor เพื่อทำการประมวลผลและควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนล้อทั้งสองข้างของหุ่นยนต์ไปในทิศทางที่ได้รับข้อมูลมา ดังแสดงตามแผนภาพลี้กการทำงาน ดังรูปที่ 2.8



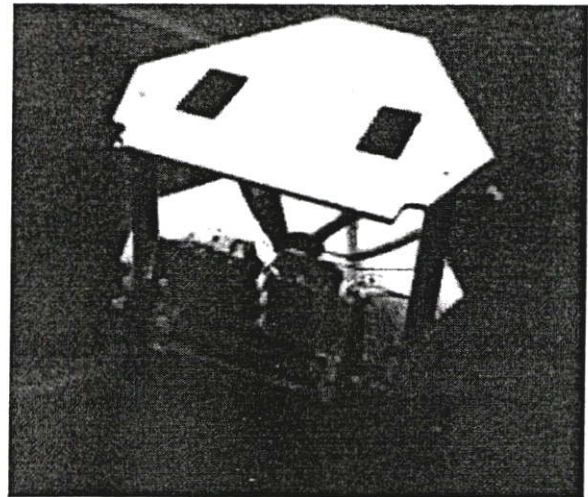
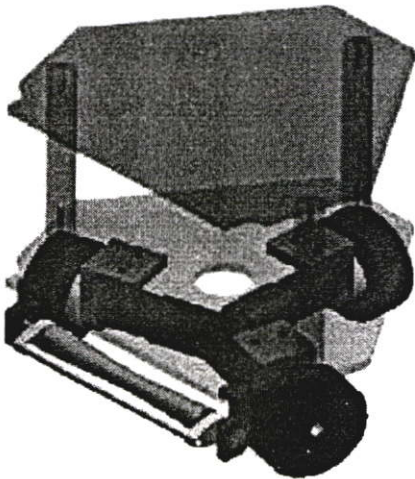
รูปที่ 2.8 แผนภาพลี้กการทำงานของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล 2 ล้อ

2.1.4.2 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ

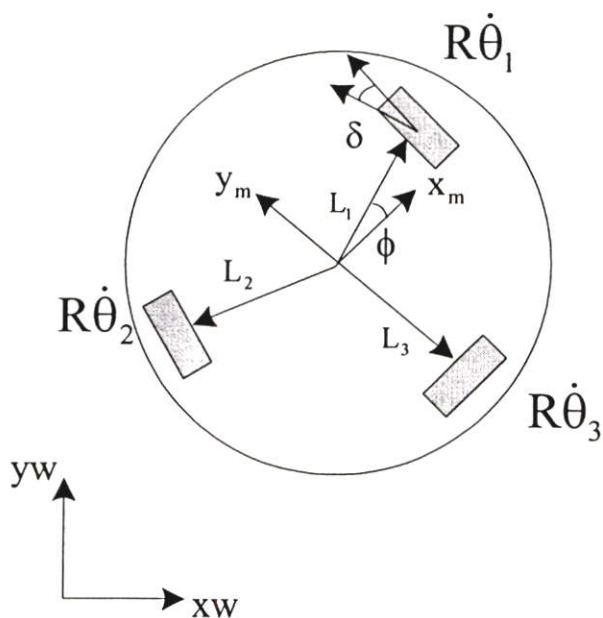
หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ จะมีลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่แตกต่างจากหุ่นยนต์แบบมี 2 ล้อ อย่างชัดเจน คือ ในการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า การถอยหลัง หรือการเคลื่อนที่ไปด้านข้าง จะเป็นผลของการหมุนของล้อทั้งสาม กล่าวคือ การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นผลรวมของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของล้อทั้งสามของหุ่นยนต์ ตามรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดง โครงสร้างของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ

หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบมี 3 ล้อ นี้จะแก้ปัญหาคือการเคลื่อนที่ด้านข้างซึ่งเป็นข้อเสียของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 2 ล้อได้ โดยสามารถเคลื่อนที่ไปด้านข้างทั้งซ้ายและขวาได้ดีกว่า แต่การที่มีล้อเพิ่มเป็นสามล้อจะมีผลอย่างมาก ต่อการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า และ ด้านหลัง เพราะถ้าตำแหน่งของล้อทั้งสามทำมุมไม่เหมาะสมต่อกัน จะทำให้การเคลื่อนที่ด้านหน้า และด้านหลัง เคลื่อนที่ได้ไม่รวดเร็ว และ หุ่นยนต์จะต้องใช้พลังงานอย่างมากในการหมุนล้อทั้งสามเพื่อให้ผลรวมเวกเตอร์เป็นไปตามความต้องการ และเป็นผลให้การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำได้ยาก

สำหรับการวางตำแหน่งของล้อทั้งสาม มุมที่เหมาะสมต่อการวางตำแหน่งล้อคือล้อคู่หน้า ควรทำมุมมากกว่า 120 องศา แต่ไม่เกิน 160 องศา และล้อที่สามจะต้องวางในตำแหน่งกึ่งกลางของล้อที่ 1 และ 2 [10]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างหุ่นยนต์เตะฟุตบอล 3 ล้อ



รูปที่ 2.10 แผนภูมิศาสตร์ ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ

จากรูปที่ 2.10 แสดงแผนภูมิศาสตร์ ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ จะเห็นได้ว่าแกนอ้างอิงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ นั้นคือ y_m และ x_m โดยมีมุมของ ล้อ 1 คือ $(\delta + \phi)$ ล้อ 2 คือ $(\delta - \phi)$ และล้อ 3 คือ $(90 - \phi)$ โดยที่ให้ อัตราเร็วของเวกเตอร์ที่ล้อ i (1, 2, 3) คือ $R\dot{\theta}_i$, L_1 และ L_2 คือระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของหุ่นยนต์กับล้อที่ 1 และล้อที่ 2 ส่วน L_3 คือระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางหุ่นยนต์กับล้อที่ 3 ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้ ดังนี้

$$R\dot{\theta}_1 = -\sin(\delta + \phi)\dot{x} + \cos(\delta + \phi)\dot{y} + L_1\dot{\phi} \quad (2.1)$$

$$R\dot{\theta}_2 = -\sin(\delta - \phi)\dot{x} - \cos(\delta - \phi)\dot{y} + L_2\dot{\phi} \quad (2.2)$$

$$R\dot{\theta}_3 = \cos(\phi)\dot{x} + \sin(\phi)\dot{y} + L_3\dot{\phi} \quad (2.3)$$

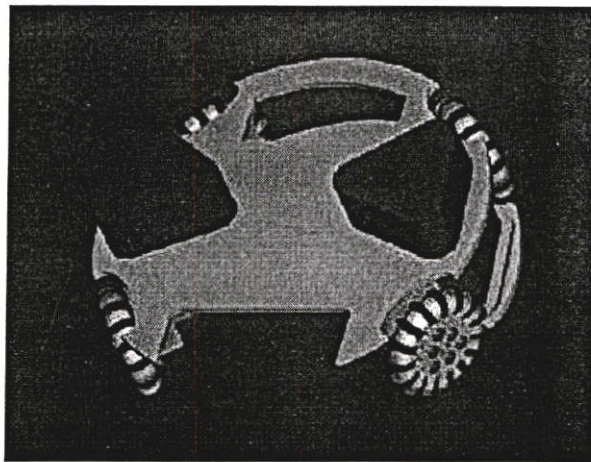
จากสมการที่ 2.1 2.2 และ 2.3 สามารถเขียนใหม่ ได้สมการที่ 2.4 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} -\sin(\delta + \varphi) & \cos(\delta + \varphi) & L_1 \\ -\sin(\delta - \varphi) & -\cos(\delta - \varphi) & L_2 \\ \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & L_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

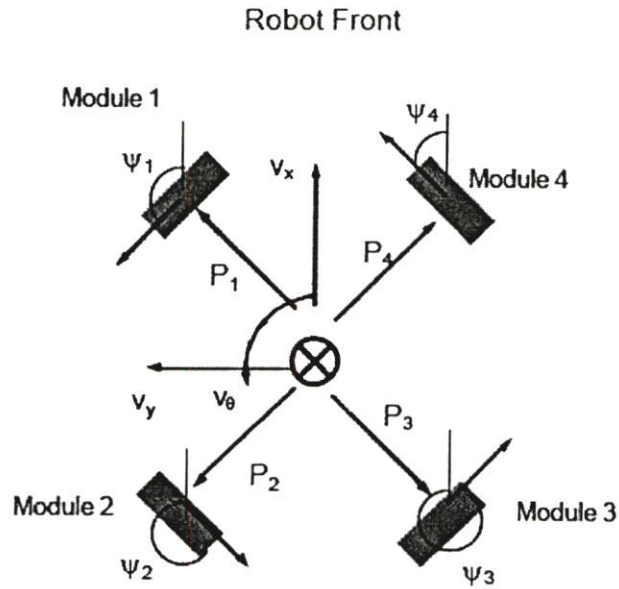
2.1.4.3 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ

จาก ข้อ 2.1.4.2 หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 3 ล้อ จะเห็นได้ว่าลักษณะการเคลื่อนที่แบบ 3 ล้อจะมีข้อด้อยในส่วนของ การเคลื่อนที่ไปด้านหน้า และด้านหลัง จากข้อด้อยดังกล่าวทำให้มีการพัฒนา หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อขึ้นมา [10, 28]

หุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ มีลักษณะการเคลื่อนที่ ไปได้รอบทิศทางเนื่องจากล้อที่เพิ่มขึ้นมาอีก 1 ชุด จะทำให้หุ่นยนต์มีมิติการเคลื่อนที่ได้มากกว่าเดิม แต่จะมีข้อเสียตรงที่หุ่นยนต์แบบนี้จะใช้พลังงานในการทำงานมาก ดังนั้นในการออกแบบระบบสำรองพลังงาน (Battery) และระบบควบคุมอื่นๆ จึงต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการประหยัดพลังงานให้มากที่สุด โครงสร้างของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ ดังแสดงรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างหุ่นยนต์ 4 ล้อ [3, 31]



รูปที่ 2.12 เรขาคณิตของชุดขับของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ [3, 31]

จากรูปที่ 2.12 แสดงเรขาคณิตของชุดขับของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบ 4 ล้อ [31] จะเห็นได้ว่า V_x V_y และ V_θ แสดงถึง อัตราความเร็วของหุ่นยนต์ในระนาบ x อัตราความเร็วของหุ่นยนต์ในระนาบ y และ อัตราความเร็วในการหมุนของหุ่นยนต์ ตามลำดับ ในขณะที่ P คือ เวกเตอร์ของแรงระหว่างล้อกับศูนย์กลางหุ่นยนต์ l คือขนาดของเวกเตอร์ P และ ψ คือทิศทางการหมุนของล้อแต่ละโมดูล \tilde{w}_i โดย $i = 1, 2, 3, 4$ และตัวแปรทั้งหมดสามารถนำมาเขียนสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ได้ดังสมการที่ (2.5)

$$\begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \\ \tilde{w}_3 \\ \tilde{w}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\psi_1) & \sin(\psi_1) & l_1 \\ \cos(\psi_2) & \sin(\psi_2) & l_2 \\ \cos(\psi_3) & \sin(\psi_3) & l_3 \\ \cos(\psi_4) & \sin(\psi_4) & l_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_\theta \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

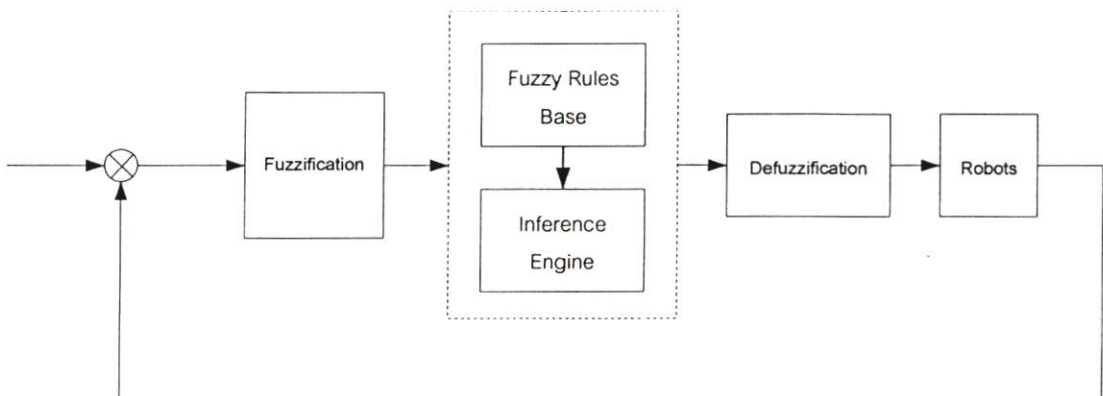
2.2 การควบคุมการทำงานหุ่นยนต์

ในหัวข้อนี้จะเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นงานของ อภิวิทย์ และ ก้องเกียรติ [12, 23] เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบตัดสินใจและวางแผนของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลที่จะนำเสนอในบทที่ 3 ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการต่อยอดจากงานดังกล่าวโดยมีเนื้อหาโดยสรุป ดังต่อไปนี้

โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือของหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.15 ที่แสดงถึงแผนภาพบล็อกการควบคุมหุ่นยนต์ โดยมีรายละเอียด คือ

- ฟัซซิฟิเคชัน คือการแปลงค่าตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุต ให้อยู่ในรูปแบบค่าความเป็นสมาชิก โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกร่วมกับตัวแปรทางภาษา
- กฎการควบคุม หรือ กฎการควบคุมฟัซซี โดยแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต โดยปกติจะอยู่ในรูปของกฎ ถ้า-แล้ว (If-Then rules)
- การวินิจฉัยกฎ เป็นการนำค่าความเป็นสมาชิกที่ได้รับ ไปประมวลผลตามกฎที่ได้ออกแบบไว้
- ดีฟัซซิฟิเคชัน เป็นการแปลงค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากการวินิจฉัยกฎ ให้อยู่ในรูปของค่าเอาต์พุต เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบที่ต้องการ

สำหรับแนวคิดพื้นฐานของตรรกศาสตร์คลุมเครือแสดงในภาคผนวก



รูปที่ 2.13 แผนภาพบล็อกการควบคุมแบบคลุมเครือของหุ่นยนต์

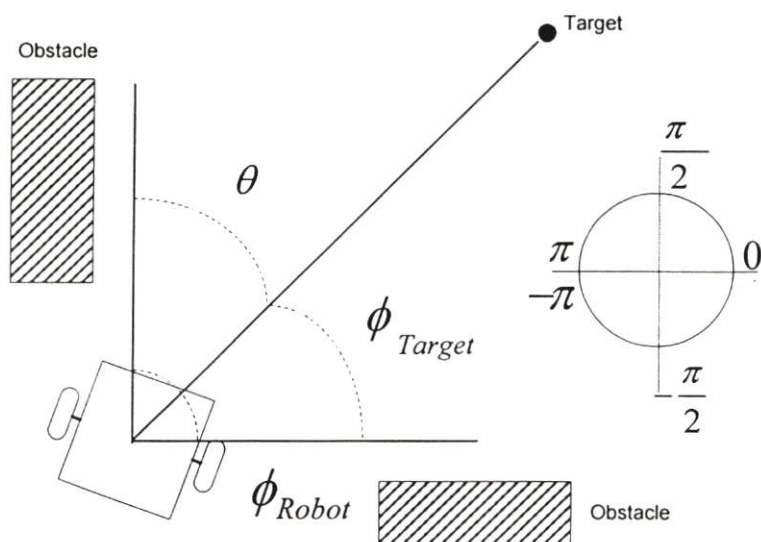
2.2.1 ฟิชซิฟิเคชัน

หุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางจะมีตัวแปรอินพุตที่ใช้ในการฟิชซิฟิเคชัน 3 ตัว คือ ระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางด้านซ้าย ระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางด้านหน้า และระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางด้านขวา โดยแปรทิศทางของเป้าหมาย หาได้จากสมการที่ 2.22 คือ

$$\theta = \phi_{Robot} - \phi_{Target} \quad (2.6)$$

โดย θ คือ ทิศทางของเป้าหมาย
 ϕ_{Target} คือ มุมระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมาย
 ϕ_{Robot} คือ มุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

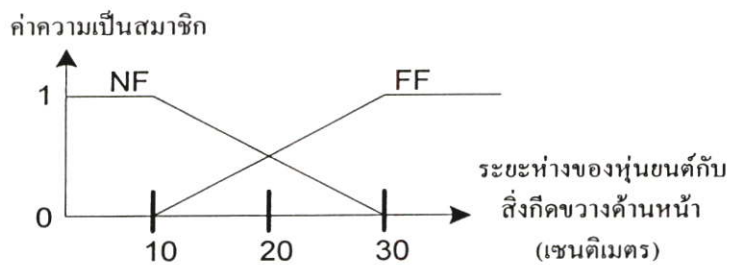
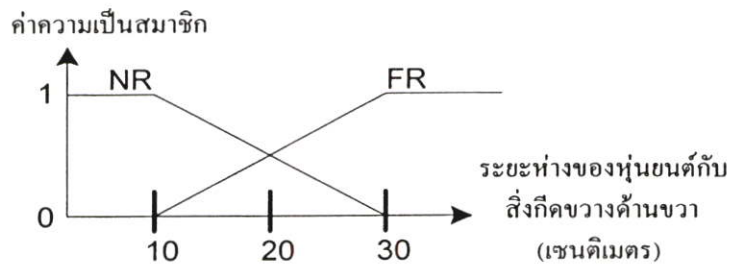
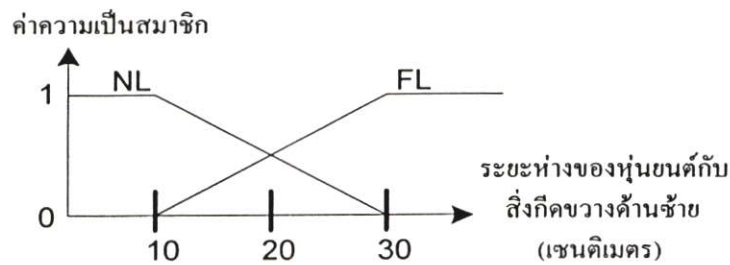
จากสมการข้างต้น ถ้าเป้าหมายอยู่ทางด้านซ้ายของหุ่นยนต์ ค่าของทิศทางเป้าหมายมีค่าเป็นลบ และถ้าเป้าหมายอยู่ทางด้านขวาของหุ่นยนต์ ค่าของทิศทางเป้าหมายมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าเป้าหมายอยู่ข้างหน้าทิศทางจะเป็นศูนย์ การหาเป้าหมายของหุ่นยนต์แสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.14 หุ่นยนต์และทิศทางไปยังจุดหมาย

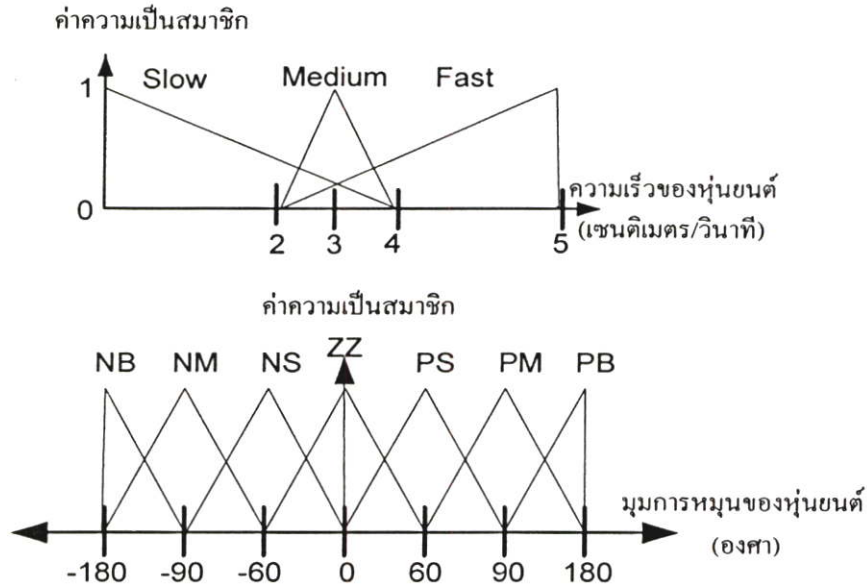
จากสมการตัวอย่างที่ได้กล่าวมา สามารถเขียนแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตได้ ดังแสดงไว้รูปที่ 2.17

- โดยที่ FL: Far Left ไกลจากสิ่งกีดขวางทางซ้าย
 NL: Near Left เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางด้านซ้าย
 FR: Far Right ไกลจากสิ่งกีดขวางทางขวา
 NR: Near Right เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางขวา
 FF: Far Front ไกลจากสิ่งกีดขวางด้านหน้า
 NF: Near Front เข้าใกล้สิ่งกีดขวางด้านหน้า



รูปที่ 2.15 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุต

สำหรับหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางแล้วเอาต์พุตก็คือ ความเร็วของหุ่นยนต์ และ มุมในการหมุนของหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถนำมาเขียนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ แสดงได้ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.16 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต

โดยที่	Slow	หมายถึงกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ
	Medium	หมายถึงกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วปานกลาง
	Fast	หมายถึงกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

สำหรับฟังก์ชันเอาต์พุตของมุมการหมุนของหุ่นยนต์มีตัวแปรดังต่อไปนี้

โดยที่	NB: Negative Big	กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางซ้ายมาก
	NM: Negative Medium	กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางซ้ายปานกลาง
	NS: Negative Small	กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางซ้ายเล็กน้อย
	ZZ: Zero	กำหนดให้หุ่นยนต์ตรงไปข้างหน้า
	PS: Positive Small	กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวาเล็กน้อย
	PM: Positive Medium	กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวาปานกลาง
	PB: Positive Big	กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวามาก

2.2.2 กฎการควบคุม

หลังจากทำการแปลงค่าระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางโดยการฟัซซีฟิเคชันแล้ว จะนำค่าที่ได้เข้าสู่กระบวนการตัดสินใจโดยใช้กฎการควบคุมฟัซซีร่วมกับส่วนการวินิจฉัย กฎการควบคุมในรูปแบบของกฎ ถ้า-แล้ว (If-Then rules) ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุต ในส่วนนี้อาศัยความรู้และประสบการณ์ของผู้พัฒนากำหนดขึ้น จำนวนของกฎขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรอินพุตและตัวแปรทางภาษาของตัวแปรอินพุตแต่ละตัว เช่น

$$\begin{array}{ll} R^i : & \text{If } x \text{ is } A_i \\ & \text{AND } y \text{ is } B_i \\ \text{Then} & z \text{ is } C_i \end{array} \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

โดยที่ x , y และ z เป็นตัวแปรคลุมเครือ ส่วน A_i , B_i และ C_i เป็นเทอมของเซตที่มีความสอดคล้องกับตัวแปรคลุมเครือ x , y และ z ที่อยู่ในเอกภพ U , V และ W ตามลำดับ ประพจน์ $x \text{ is } A_i$ และ $y \text{ is } B_i$ เป็นส่วนอินพุตของฟัซซีหรือเงื่อนไข เรียกว่า “Premise” ส่วนประพจน์ $z \text{ is } C_i$ เป็นส่วนของผลจากเงื่อนไขหรือเอาต์พุต เรียกว่า “Consequence” จำนวนของกฎในระบบหนึ่งจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอินพุตและตัวแปรทางภาษา โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีของ Mamdani ในการควบคุม มีจำนวนกฎที่เป็นไปได้ทั้งหมด 8 กฎ ซึ่งได้จาก ระยะห่างทางด้านซ้าย 2 เทอม X ระยะห่างด้านหน้า 2 เทอม X ระยะห่างทางด้านขวา 2 เทอม

เมื่อเริ่มทำงาน หุ่นยนต์จะทำการตรวจสอบหาเป้าหมาย หากตรวจพบ หุ่นยนต์จะทำการตรวจสอบต่อไปว่าระหว่างตัวหุ่นยนต์กับเป้าหมายอยู่ห่างกันเป็นระยะเท่าใด เช่น หากเป้าหมายอยู่ใกล้ หุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายด้วยความเร็วต่ำ เพื่อป้องกันการชนกับเป้าหมาย หากไม่พบเป้าหมายจะทำการตรวจสอบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่รอบตัวในทิศทางใดบ้าง แล้วจึงตัดสินใจเคลื่อนที่ และในระหว่างการเคลื่อนที่ จะมีการตรวจสอบหาเป้าหมายเป็นระยะ โดยนำมาเขียนเป็นกฎการควบคุมได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 กฎการควบคุมเมื่อหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวาง

กฎที่	ระยะห่างด้านหน้า	ระยะห่าง ด้านซ้าย	ระยะห่าง ด้านขวา	มุมการหมุน	ความเร็ว
1	NF	NL	NR	NB	Medium
2	NF	NL	FR	PM	Slow
3	NF	FL	NR	NS	Slow
4	FF	NL	NR	ZZ	Fast
5	NF	FL	FR	NM	Slow
6	FF	FL	NR	ZZ	Medium
7	FF	NL	FR	ZZ	Medium
8	FF	FL	FR	PB	Medium

2.2.3 การวินิจฉัยกฎ

เป็นการประมวลผลตามกฎที่ระบบได้เรียนรู้หรือออกแบบไว้เพื่อหาเอาต์พุต จากค่าความเป็นสมาชิกที่ได้รับ การให้เหตุผลทางฟัซซี่จะใช้วิธีการของ Mamdani – Min Composite เนื่องจากใช้เวลาในการประมวลผลน้อยและมีการคำนวณไม่ซับซ้อน

2.2.4 ดีฟัซซิฟิเคชัน

เป็นการแปลงค่าที่ได้จากการวินิจฉัยกฎการควบคุม ให้อยู่ในรูปของค่าเอาต์พุตที่เป็น จำนวนจริง เพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ วิธีการที่ใช้ในการดีฟัซซิฟิเคชันจะใช้วิธีการหาค่าศูนย์กลาง หรือ Center of Area (COA) เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมและให้ผลค่อนข้างดี เพราะจุดศูนย์กลางของพื้นที่ น่าจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของเซตนั้น ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาความเร็วของหุ่นยนต์ ได้จากสมการที่ 2.23

$$V_{Robot} = \frac{\sum_{j=1}^N \mu(v_j) * v_j}{\sum_{j=1}^N \mu(v_j)} \quad (2.7)$$

โดยที่ V_{Robot} คือความเร็วของหุ่นยนต์ที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน

- v_i คือค่าเอาต์พุตของตัวแปรความเร็วที่กำหนดโดยกฎข้อที่ i
 $\mu(v_i)$ คือค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร v_i ที่กำหนดจากกฎข้อที่ i
 N คือจำนวนข้อมูลที่สุ่มตัวอย่างทั้งหมด

มุมการหมุนของหุ่นยนต์สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.24

$$\theta_{Robot} = \frac{\sum_{j=1}^N \mu(\theta_j) * \theta_j}{\sum_{j=1}^N \mu(\theta_j)} \quad (2.8)$$

- โดยที่ θ_{Robot} คือมุมการหมุนที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชั่น
 θ_j คือค่าเอาต์พุตของตัวแปรการหมุนที่กำหนดตามกฎข้อที่ j
 $\mu(\theta_j)$ คือค่าความเป็นสมาชิกของ θ_j ที่กำหนดโดยกฎข้อที่ j
 N คือจำนวนข้อมูลที่สุ่มตัวอย่างทั้งหมด

ในบทต่อไปจะเป็นการนำเสนอในเรื่องที่เกี่ยวกับการออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่และแผนการเล่นของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

บทที่ 3

การออกแบบโหมดควบคุมแผนการเล่น

ในบทที่ 3 นี้จะเป็นบทที่อธิบายถึงการออกแบบระบบควบคุม หรือปัญญาประดิษฐ์ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล สำหรับการออกแบบจะแบ่งได้เป็นหลายส่วน คือ การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เข้าหาลูกบอลโดยเป็นการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (Obstacle) หรือหุ่นยนต์ฝั่งตรงข้าม ซึ่งจะกล่าวถึงแนวทางในการออกแบบในภาคผนวก ข สำหรับโหมดการตัดสินใจเลือกการเล่น แผนการรุกทำประตู แผนการรับ และแผนการล่อหลอก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การตัดสินใจเลือกแผนการเล่น

เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล จะทำการแบ่งพื้นที่การเล่นของสนามออกเป็นส่วนๆ โดยจะแบ่งค่าขอบเขตของโซนเรียงจากเลขมากไปหาน้อยเพื่อให้สังเกตเห็นทิศทางของบอลได้สะดวกขึ้น สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งสนามเป็น 9 ส่วนด้วยกัน คือ

Zone 1 คือ พื้นที่ระหว่าง 480 - 330 ตามแนวแกน y และ 190 - 0 ตามแนวแกน x

Zone 2 คือ พื้นที่ระหว่าง 480 - 330 ตามแนวแกน y และ 390 - 190 ตามแนวแกน x

Zone 3 คือ พื้นที่ระหว่าง 480 - 330 ตามแนวแกน y และ 580 - 390 ตามแนวแกน x

Zone 4 คือ พื้นที่ระหว่าง 330 - 150 ตามแนวแกน y และ 190 - 0 ตามแนวแกน x

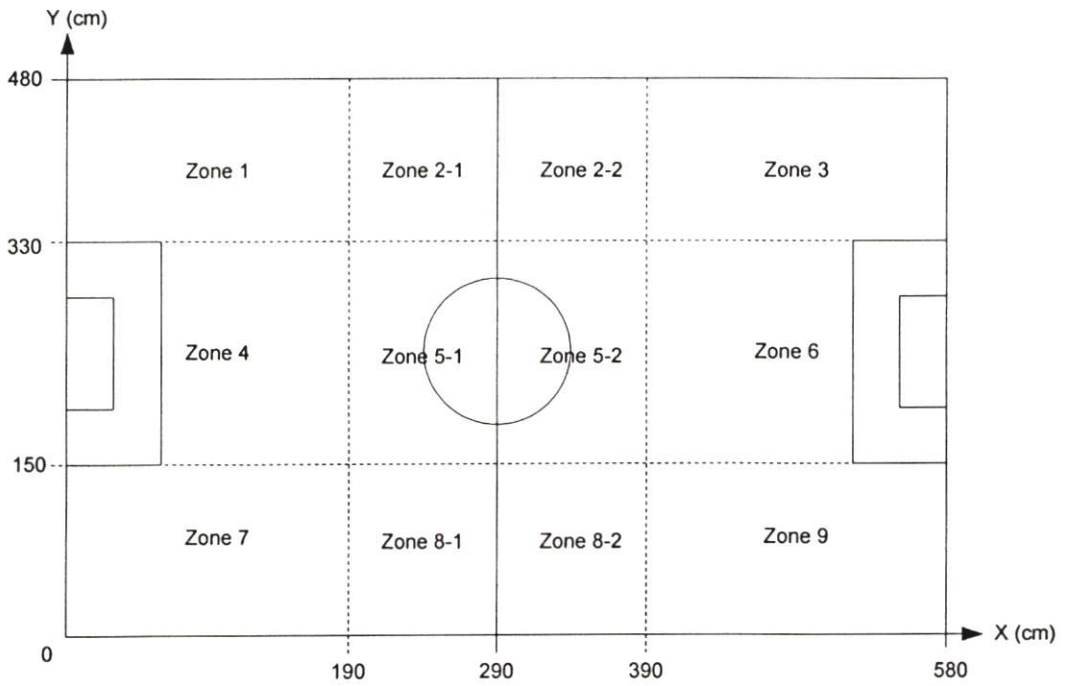
Zone 5 คือ พื้นที่ระหว่าง 330 - 150 ตามแนวแกน y และ 390 - 190 ตามแนวแกน x

Zone 6 คือ พื้นที่ระหว่าง 330 - 150 ตามแนวแกน y และ 580 - 390 ตามแนวแกน x

Zone 7 คือ พื้นที่ระหว่าง 150 - 0 ตามแนวแกน y และ 190 - 0 ตามแนวแกน x

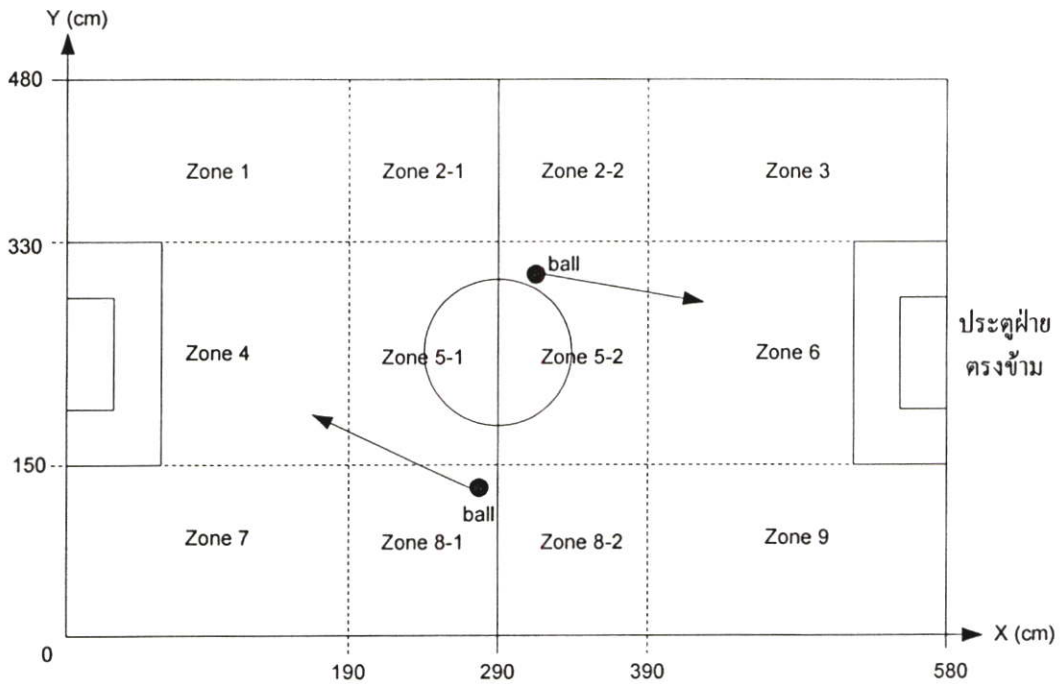
Zone 8 คือ พื้นที่ระหว่าง 150 - 0 ตามแนวแกน y และ 390 - 190 ตามแนวแกน x

Zone 9 คือ พื้นที่ระหว่าง 150 - 0 ตามแนวแกน y และ 580 - 390 ตามแนวแกน x



รูปที่ 3.1 การแบ่งพื้นที่ของสนามแข่ง

และในการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล จะพิจารณาถึง ตำแหน่งของลูกบอล (B_x, B_y) และทิศทางของลูกบอล (ทิศทางลูกบอลหาได้จาก $B_{x+1} - B_x$ และผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเป็นบวก หรือ ลบ) ว่าชี้ไปในทางใด สมมติว่าถ้าลูกบอลอยู่ในตำแหน่งเกินครึ่งสนามเข้าไปอยู่ในแดนฝ่ายตรงข้าม พร้อมกับมีทิศทางของเวกเตอร์ชี้ไปในทิศตรงกับประตูฝ่ายนั้น แสดงว่าหุ่นยนต์ต้องอยู่ในแผนรุก ขณะเดียวกันถ้าลูกบอลอยู่ในตำแหน่งไม่เกินครึ่งสนามอยู่ในแดนตัวเองพร้อมกับมีทิศทางวิ่งเข้าหาประตู หุ่นยนต์ต้องอยู่ฝ่ายรับ โดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของลูกบอลและทิศทางบนสนาม

หรือ สามารถเขียนได้เป็น

ถ้า $580 \geq B_x > 290$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นบวก แผนการเล่นคือ Att,

ถ้า $0 \leq B_x \leq 290$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นลบ แผนการเล่นคือ Def,

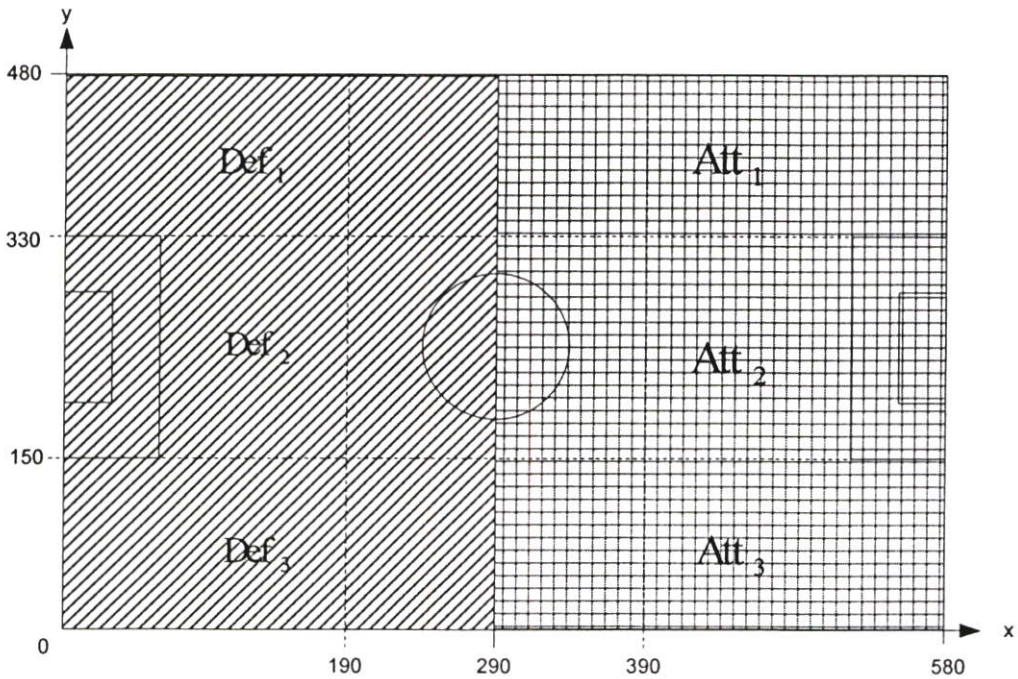
โดยที่ Att, หมายถึง Plan of Attack หรือ แผนการรุก

Def, หมายถึง Plan of Defense หรือ แผนการตั้งรับ

และ $i = 1, 2, 3$

เมื่อทำการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นได้แล้วว่า จะดำเนินแผนการเล่นแบบ รุก หรือ รับ แล้วจะต้องมีการตัดสินใจในส่วนของรายละเอียดแผนการเล่นอีกชั้นหนึ่ง นั่นคือ จะพิจารณาดำเนินการลูกบอลอีกครั้ง และในครั้งนี่จะเป็นการพิจารณาว่า จะดำเนินการรุกแบบใด และแผนตั้งรับแบบไหน โดยสามารถนำมาเขียนเป็น กฎการควบคุม ดังต่อไปนี้

ถ้า $580 \geq B_x > 290, 480 \geq B_y > 330$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นบวก แผนการเล่นคือ Att₁
 ถ้า $580 \geq B_x > 290, 330 \geq B_y > 150$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นบวก แผนการเล่นคือ Att₂
 ถ้า $580 \geq B_x > 290, 150 \geq B_y \geq 0$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นบวก แผนการเล่นคือ Att₃
 ถ้า $0 \leq B_x \leq 290, 480 \geq B_y > 330$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นลบ แผนการเล่นคือ Def₁
 ถ้า $0 \leq B_x \leq 290, 330 \geq B_y > 150$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นลบ แผนการเล่นคือ Def₂
 ถ้า $0 \leq B_x \leq 290, 150 \geq B_y \geq 0$ และ ทิศทางของลูกบอลเป็นลบ แผนการเล่นคือ Def₃



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของลูกบอลและแผนการเล่น

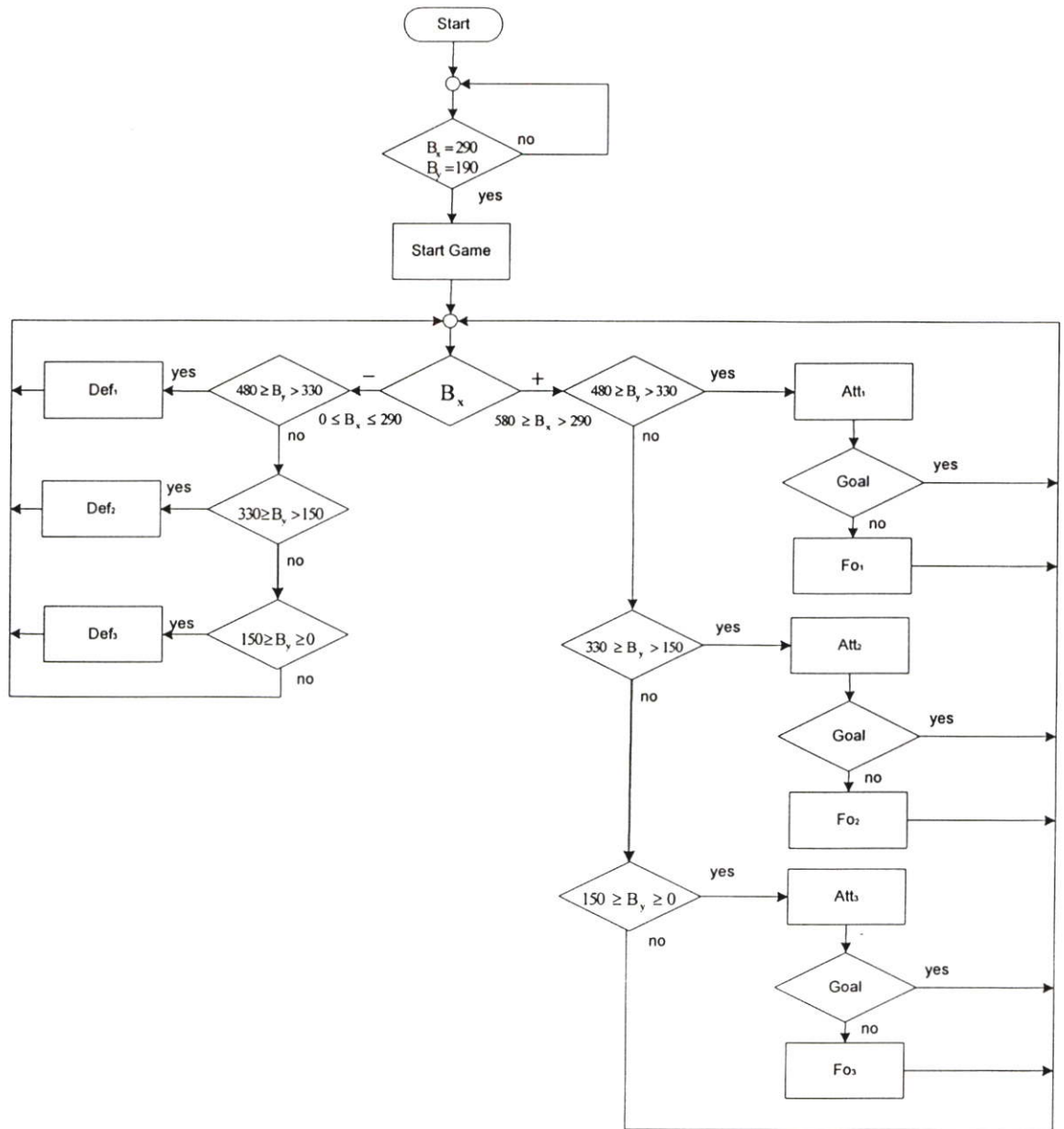
โดยในที่นี้หุ่นยนต์แต่ละตัวจะถูกกำหนดความรับผิดชอบในแต่ละโซน ดังนี้

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| หุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) | รับผิดชอบโซน 4 |
| หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) | รับผิดชอบโซน 1, 2, 4, 5, 7, 8, |
| หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) | รับผิดชอบโซน 2, 3, 5, 6, 8, 9 |
| หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) | รับผิดชอบโซน 3, 6, 9 |

อนึ่งหุ่นยนต์แต่ละตัวสามารถปฏิบัติการในบริเวณรอยต่อของโซนรับผิดชอบได้

ในระหว่างดำเนินแผนการรุกทั้งสามแบบ ถ้าไม่สามารถทำประตู (Goal) ได้จะดำเนินแผนการถอยออก ซึ่งจะมีด้วยกัน สามแผนคือ Fo₁, Fo₂ และ Fo₃ โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นสามารถนำมาเขียนแผนภาพบล็อกการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพบล็อกการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

3.2 แผนการรูกทำประตุ

แผนการรูกทำประตุในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งเป็น 3 แบบด้วยกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหุ่นยนต์กับลูกบอลว่า ณ ขณะนั้นกำลังเคลื่อนที่ในพื้นที่โซนใด โดยแผนการรูกนี้จะเป็นตัวกำหนดพื้นที่ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ทำตามแผน ดังต่อไปนี้

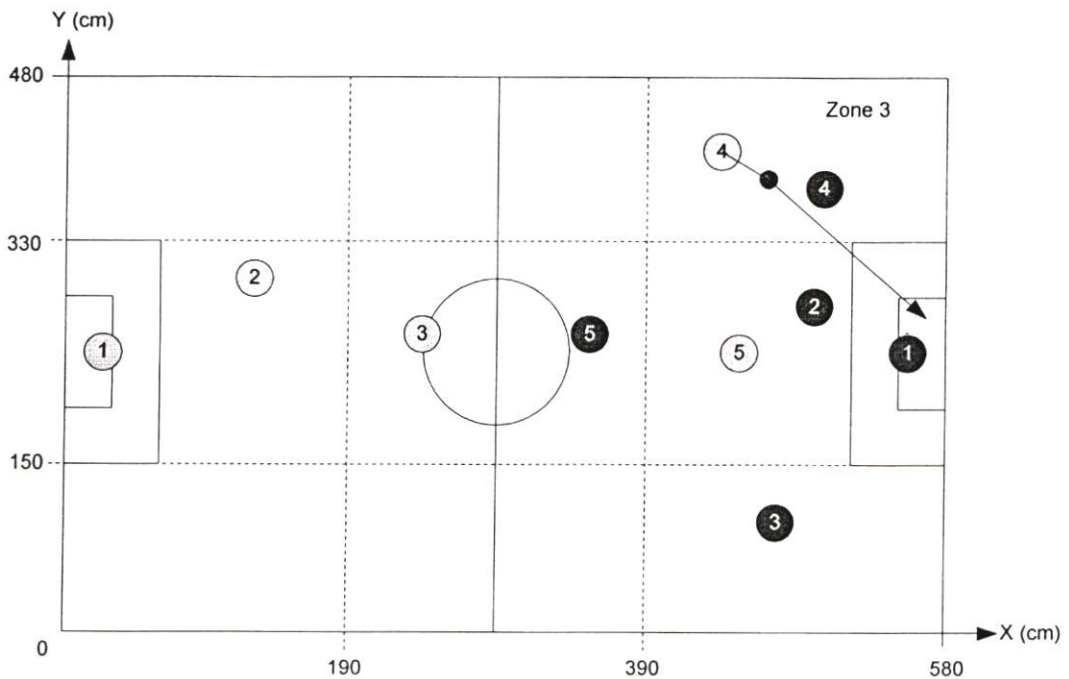
3.2.1 แผนรูกทำประตุแบบที่ 1

แผนรูกทำประตุแบบที่ 1 หรือ Att₁ เป็นการรูกเข้าทำประตุที่ตรงข้ามโดยเคลื่อนที่เข้าไปจากโซน 3 หรือ โซน 2-2 ด้วยหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) ในขณะที่หุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ป้องกันประตุภายในโซน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เคลื่อนที่รูกอยู่ภายในโซน 2, 5, 8 หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เป็นผู้รับผิดชอบโดยเคลื่อนที่ เข้าหาลูกบอลแล้ว เข้าทำประตุจากโซน 3 และ 6 หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เคลื่อนที่รูกอยู่ในโซน 6 โดยสามารถเขียนได้เป็น

$$\text{Att}_1 : Y1 \text{ and } Y2 = \text{Zone 4} \quad Y3 = \text{Zone 2, 5, 8} \quad Y4 = \text{Zone 3, 6} \quad Y5 = \text{Zone 6}$$

โดย Y_i คือ ทีมสีเหลือง และ $i = 1, 2, 3, 4, 5$

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.5



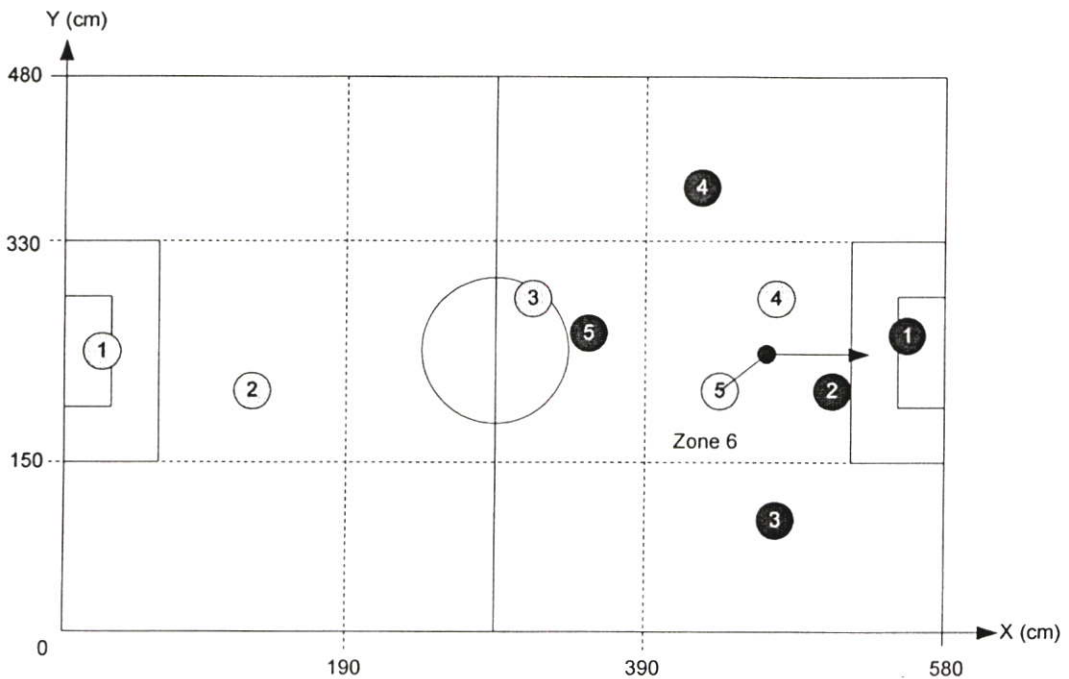
รูปที่ 3.5 แผนรูกทำประตุจาก Zone 3 หรือ Att₁

3.2.2 แผนรูกทำประตุมแบบที่ 2

แผนรูกทำประตุมแบบที่ 2 หรือ Att₂ เป็นการรูกเข้าทำประตุมที่ตรงข้ามโดย เคลื่อนที่เข้าไปจาก โชน 6 หรือ โชน 5-2 ด้วยหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) ในขณะที่หุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ ป้องกันประตุมภายใน โชน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เคลื่อนที่รูกอยู่ภายใน โชน 2, 5, 8 หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เคลื่อนที่รูกอยู่ใน โชน 6 หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เป็นผู้รับผิดชอบเคลื่อนที่ เข้าหาลูกบอลแล้ว เข้าทำประตุม จาก โชน 6 โดยสามารถเขียนได้เป็น

Att₂: Y1 and Y2 =Zone 4 Y3= Zone 2, 5, 8 Y4 = Zone 5, 6 Y5= Zone 6

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.6



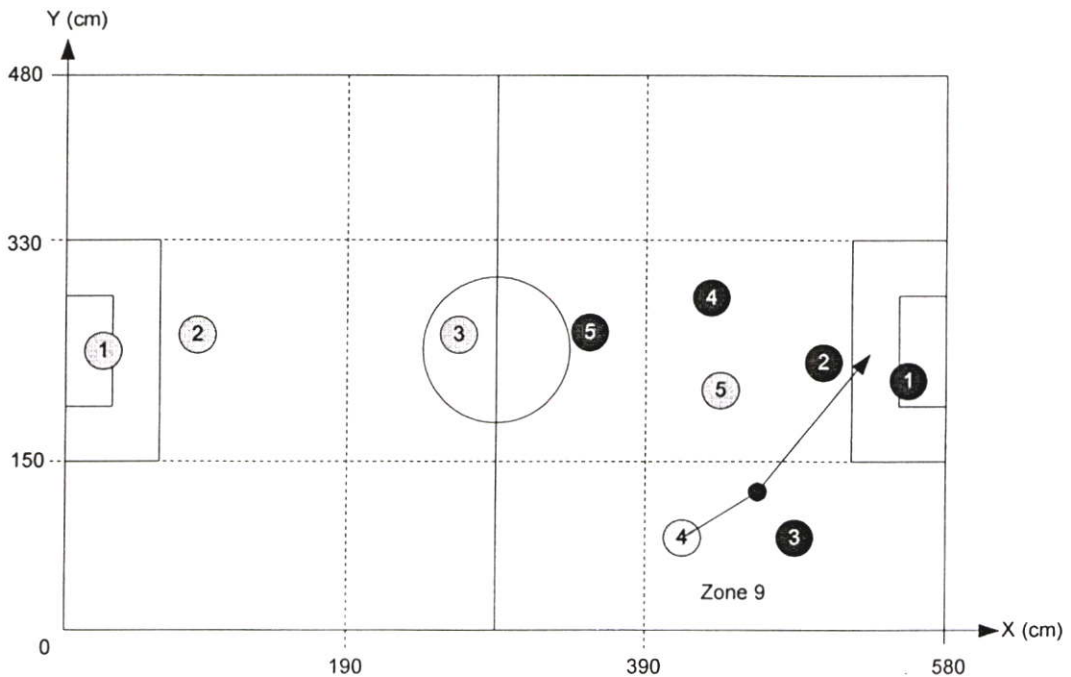
รูปที่ 3.6 แผนรูกทำประตุมจาก Zone 6 หรือ Att₂

3.2.3 แผนรูกทำประตุมแบบที่ 3

แผนรูกทำประตุมแบบที่ 3 หรือ Att₃ เป็นการรูกเข้าทำประตุมตรงข้ามโดย เคลื่อนที่เข้าไปจาก โชน 9 หรือ โชน 8-2 ด้วยหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) ในขณะที่หุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ ป้องกันประตุมภายใน โชน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เคลื่อนที่รออยู่ภายใน โชน 2, 5, 8 หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เป็นผู้รับผิดชอบเคลื่อนที่เข้าหาลูกบอลแล้วเข้าทำประตุม จากโชน 9 และ 6 และหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เคลื่อนที่รออยู่ใน โชน 6 โดยสามารถเขียนได้เป็น

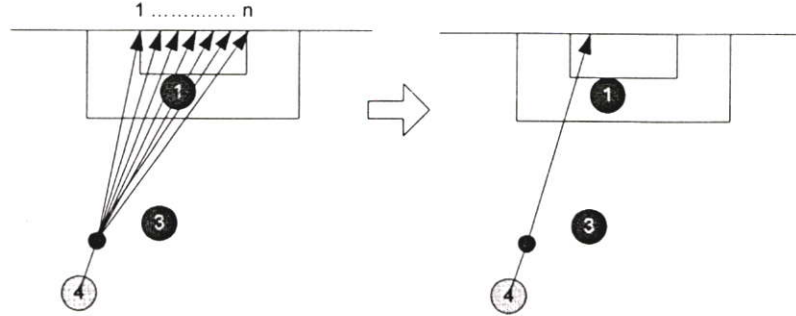
Att₃ : Y1 and Y2 = Zone 4 Y3= Zone 2, 5, 8 Y4 = Zone 6, 9 Y5= Zone 6

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนรูกทำประตุมจาก Zone 9 หรือ Att₃

สำหรับการยิงประตูหุ่นยนต์จะทำการตรวจสอบทิศทางการทำประตูโดยจะทำการลากเวกเตอร์จากลูกบอลไปที่ประตูหลายๆ เวกเตอร์ โดยเลือกเวกเตอร์ที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และเลือกยิงไปตามเวกเตอร์ที่ยาวในช่องว่างและมีขนาดน้อยที่สุด ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เวกเตอร์การยิงประตู

3.3 แผนการรับ

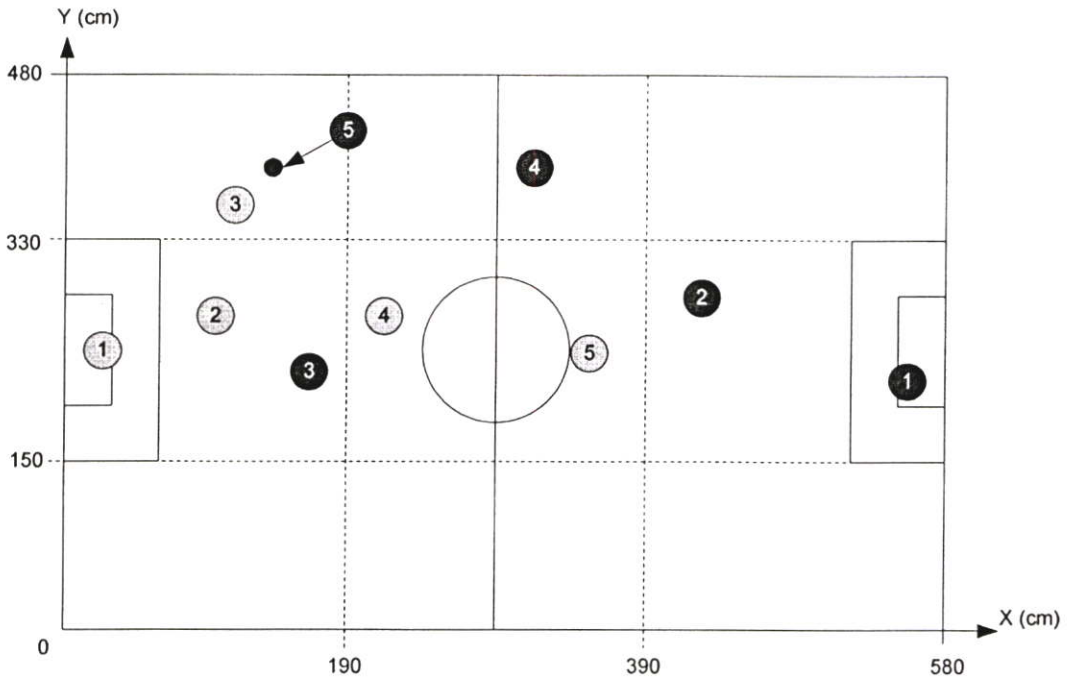
แผนการตั้งรับแบ่งเป็น 3 แบบ ด้วยกันตามตำแหน่งของหุ่นยนต์กับลูกบอลว่าที่เคลื่อนที่รุกเข้ามาขณะนั้น โดยแผนการรับสามารถกำหนดพื้นที่ที่ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เล่นเกมตามแผน ดังต่อไปนี้

3.3.1 แผนรับแบบที่ 1

แผนรับแบบที่ 1 หรือ Def₁ เป็นการรักษารุกเข้าทำประตูจากทีมตรงข้ามเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าจากโซน 1 หรือโซน 2-1 โดยที่มีการป้องกันคือหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ป้องกันประตูอยู่ภายในโซน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เคลื่อนที่รออยู่ภายในโซน 2, 5, 8 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เป็นผู้รับผิดชอบเคลื่อนที่ลงมาช่วยกันบอลอยู่ในโซน 1, 2, 4, 5 หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เคลื่อนที่รอลูกบอลอยู่ที่โซน 5 โดยสามารถเขียนได้เป็น

$$\text{Def}_1: Y1 \text{ and } Y2 = \text{Zone } 4 \quad Y3 = \text{Zone } 1, 2, 4, 5 \quad Y4 = \text{Zone } 2, 5, 8 \quad Y5 = \text{Zone } 5$$

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.9



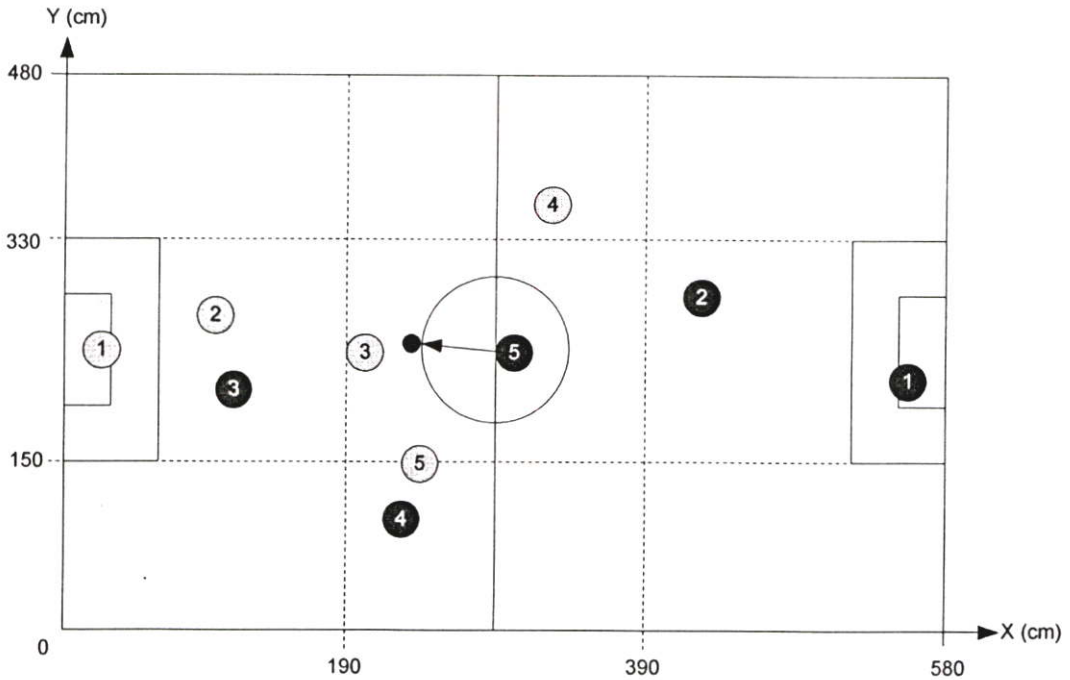
รูปที่ 3.9 แผนรับแบบที่ 1 หรือ Def₁

3.3.2 แผนรับแบบที่ 2

แผนรับแบบที่ 2 หรือ Def₂ เป็นการตั้งรับการเข้าทำประตูจากทีมตรงข้ามเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าจากโซน 4 หรือโซน 5-2 โดยที่มีการป้องกันคือหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ป้องกันประตูอยู่ภายในโซน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เป็นผู้รับผิดชอบเคลื่อนที่กันประตูอยู่ภายในโซน 2, 5, 8 หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เคลื่อนที่ลงมารอบอลอยู่ในโซน 2, 3, 5, 6 หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เคลื่อนที่รอลูกบอลอยู่ที่โซน 5, 6, 8, 9 โดยสามารถเขียนได้เป็น

Def₂: Y1 and Y2 =Zone 4 Y3= Zone 2, 5, 8 Y4 = Zone 2, 3, 5, 6 Y5= Zone 5, 6, 8, 9

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.10



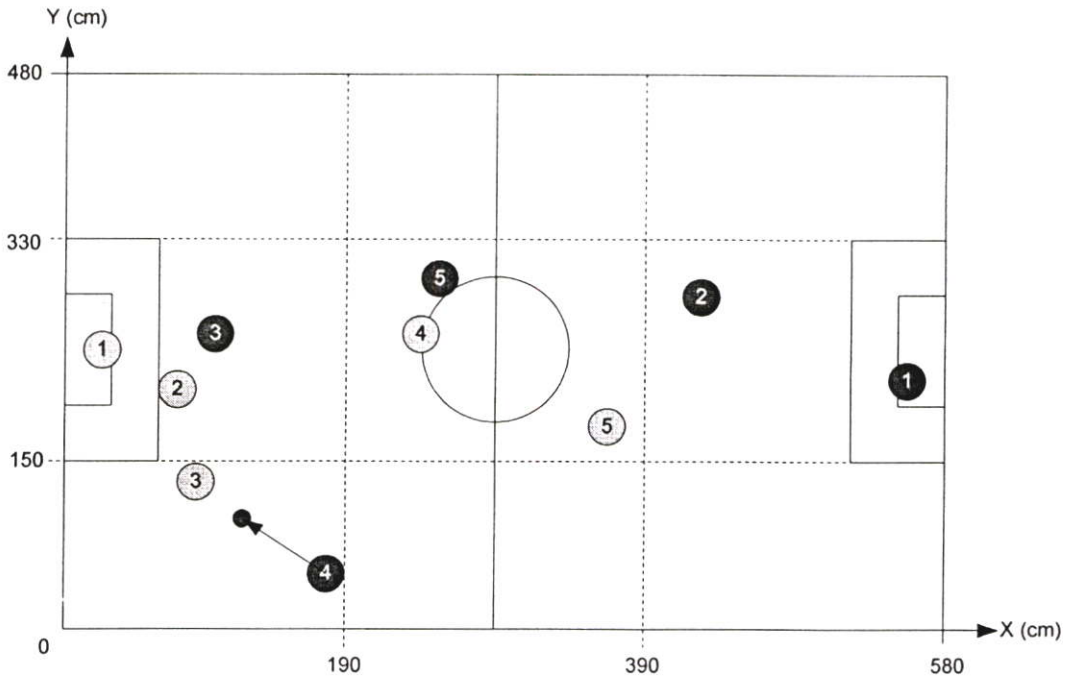
รูปที่ 3.10 แผนรับแบบที่ 2 หรือ Def₂

3.3.3 แผนรับแบบที่ 3

แผนรับแบบที่ 3 หรือ Def₃ คือ เป็นการตั้งรับการเข้าทำประตูจากทีมตรงข้ามเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าจากโซน 7 หรือ โซน 8-1 โดยที่มีการป้องกันคือหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ป้องกันประตูอยู่ภายในโซน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เคลื่อนที่กันประตูอยู่ภายในโซน 2, 5, 8 หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เคลื่อนที่ลงมาช่วยไล่บอลอยู่ในโซน 7 และ 8 หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เคลื่อนที่รอลูกบอลอยู่ที่โซน 5 โดยสามารถเขียนได้เป็น

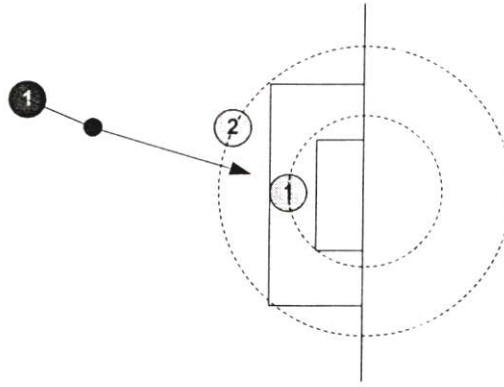
Def₃: Y1 and Y2 =Zone 4 Y3= Zone 4, 5, 7, 8 Y4 = Zone 7, 8 Y5= Zone 5

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนรับแบบที่ 3 หรือ Def₃

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ Y1 และ Y2 จะเป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะครึ่งวงกลมโดยมีการจุดศูนย์กลางอยู่ที่เส้นขอบประตู และเมื่อมีหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามเข้ามาจะทำการลากเวกเตอร์ทั้งหมดจากลูกบอลมาที่ประตู จากนั้นหุ่นยนต์ Y1 และ Y2 จะเคลื่อนที่เข้ามาตามแนวเพื่อปิดมุมในการทำประตูของฝ่ายตรงข้าม และไม่ว่าหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามจะเคลื่อนที่ห้ามุมยิงประตูไปทางไหน Y1 และ Y2 ก็จะเคลื่อนที่ตามไปปิดมุมยิงประตูเสมอ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนการป้องกันประตู

3.4 แผนการล่อหลอก

แผนการล่อหลอกคือ แผนการที่เตรียมไว้เพื่อช่วยในการรุกเข้าทำประตูในกรณีที่แผนการรุกทั้งสามแบบไม่สามารถทำประตูได้ และแผนการล่อหลอกนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหุ่นยนต์กับลูกบอล และแผนการเล่นในขณะนั้นๆ ว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่รุกเข้ามาจากโซนใดเพื่อทำประตู แต่เมื่อไม่สามารถหา มุมยิงเพื่อทำประตู ก็จะทำการเปลี่ยนแผนเป็นแผนล่อหลอกต่อไป โดยกำหนดให้

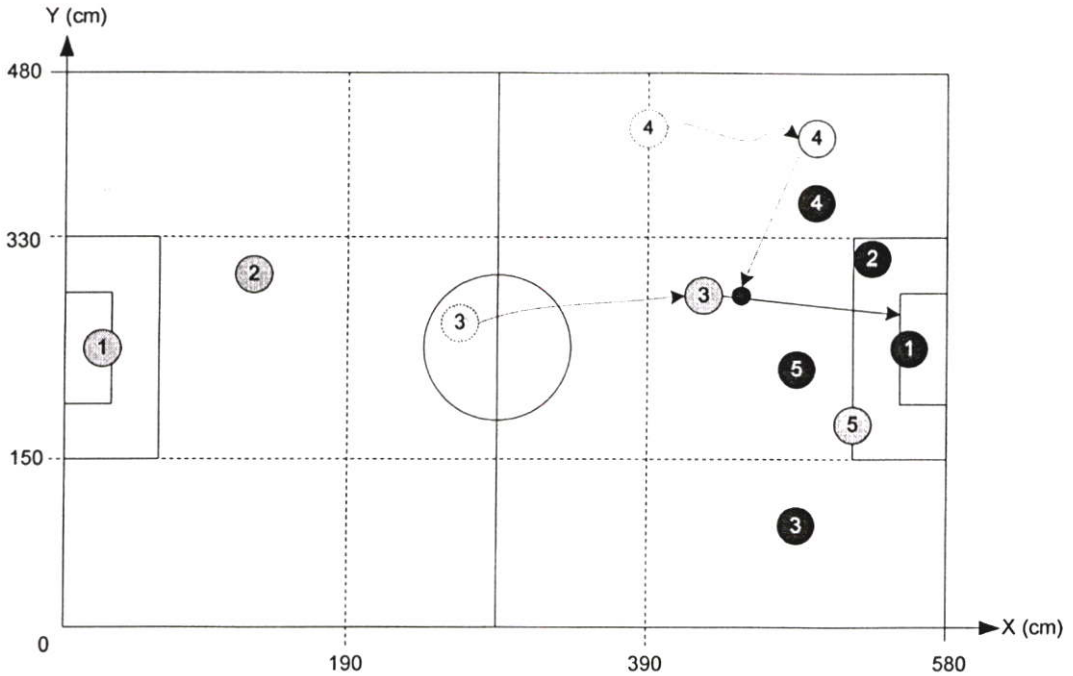
แผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1 คือแผนการล่อหลอกต่อจากการรุกแบบ Att_1
 แผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo_2 คือแผนการล่อหลอกต่อจากการรุกแบบ Att_2
 แผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo_3 คือแผนการล่อหลอกต่อจากการรุกแบบ Att_3
 มีรายละเอียดของแผน ดังต่อไปนี้

3.4.1 แผนการล่อหลอกที่ 1

แผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1 เป็นการล่อหลอกเพื่อการเข้าทำประตูจากทีมตรงข้ามต่อจากการ รุกแบบที่ 1 หากมีการปฏิบัติการผิดพลาดเคลื่อนที่รุกเข้าจากโซน 3 ซึ่งเมื่อไม่สามารถทำประตูได้ก็จะมี การส่งลูกบอลกลับเพื่อให้หุ่นยนต์อีกตัวหนึ่งเข้าทำประตูแทน โดยมีขอบเขตการเคลื่อนที่ คือ หุ่นยนต์ตัว ที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ป้องกันประตูอยู่ในโซน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เคลื่อนที่รออยู่ในโซน โซน 5, 6 เพื่อเป็นตัววิ่งเข้าไปทำประตู หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เคลื่อนที่มาช่วยเลี้ยงบอลอยู่ในโซน 2 และ 3 และ 5 หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เคลื่อนที่เป็นตัวหลอกอยู่โดยวิ่งจากโซน 6 ไปที่โซน 9 และจะกลับมาใน เขตรับผิดชอบของตนหลังจากที่ผ่านระบบการคำนวณตำแหน่งลูกบอลและจบแผนในรอบถัดไป โดย สามารถเขียนได้เป็น

Fo_1 : Y1 and Y2 =Zone 4 Y3= Zone 5, 6 Y4 = Zone 2, 3 Y5= Zone 6, 9

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.13



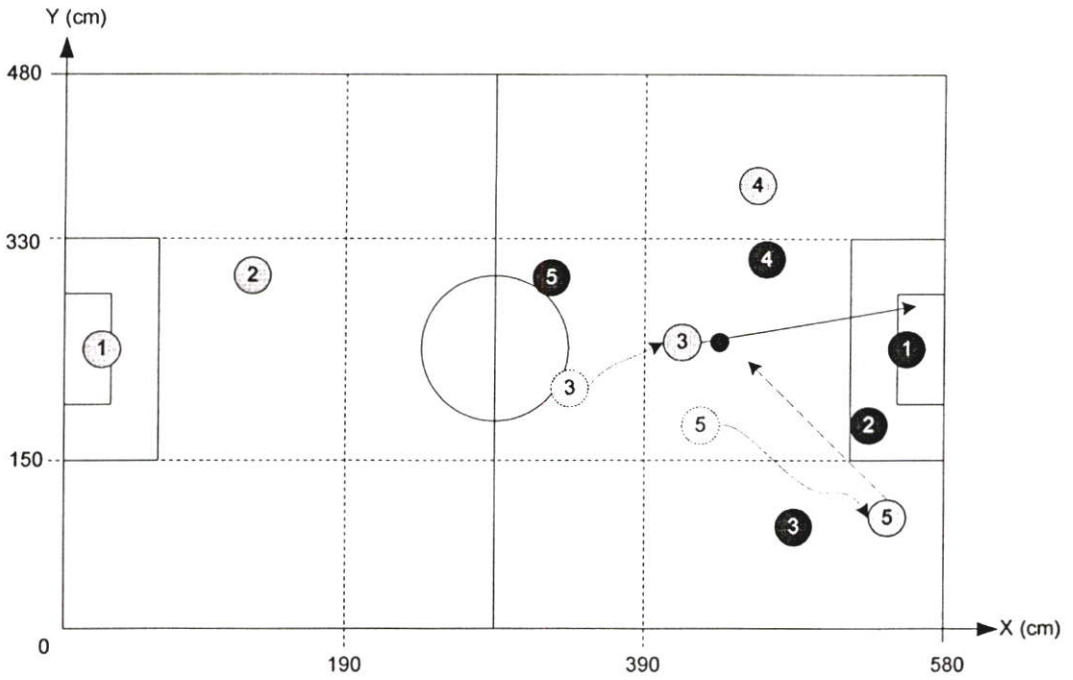
รูปที่ 3.13 แผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1

3.4.2 แผนการล่อหลอกที่ 2

แผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo_2 เป็นการล่อหลอกเพื่อการเข้าทำประตูกจากทีมตรงข้ามต่อจากการรุกแบบที่ 2 เมื่อปฏิบัติการรุกแบบที่ 2 ผิดพลาด โดยเคลื่อนที่รุกเข้าจากโซน 6 แต่จะมีการหลอกให้หุ่นยนต์ทีมตรงข้ามเคลื่อนที่ไปด้านข้าง และจะมีการส่งลูกบอลกลับเพื่อให้หุ่นยนต์อีกตัวหนึ่งเข้าทำประตูแทนจากโซน 6 โดยมีขอบเขตการเคลื่อนที่ คือ หุ่นยนต์ตัวที่ 1 ($Y1$) และ 2 ($Y2$) ทำหน้าที่ป้องกันประตูอยู่ในโซน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 ($Y3$) เคลื่อนที่รออยู่ภายในโซน 5, 6 เพื่อเป็นตัววิ่งเข้าไปทำประตู หุ่นยนต์ตัวที่ 4 ($Y4$) เคลื่อนที่มาช่วยหลอก อยู่ในโซน 2 และ 3 หุ่นยนต์ตัวที่ 5 ($Y5$) เคลื่อนที่เป็นพาลูกบอลจากโซน 6 ไปที่โซน 9 เพื่อหลอกให้หุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามวิ่งหลงทางมาป้องกันในโซนที่ 9 ทำให้เกิดช่องว่างให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 ปฏิบัติการ จากนั้นส่งลูกบอลกลับมาที่โซน 6 เพื่อให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 ($Y3$) เข้าทำประตู โดยสามารถเขียนได้เป็น

Fo_2 : $Y1$ and $Y2$ = Zone 4 $Y3$ = Zone 5, 6 $Y4$ = Zone 2, 3 $Y5$ = Zone 6, 9

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.14



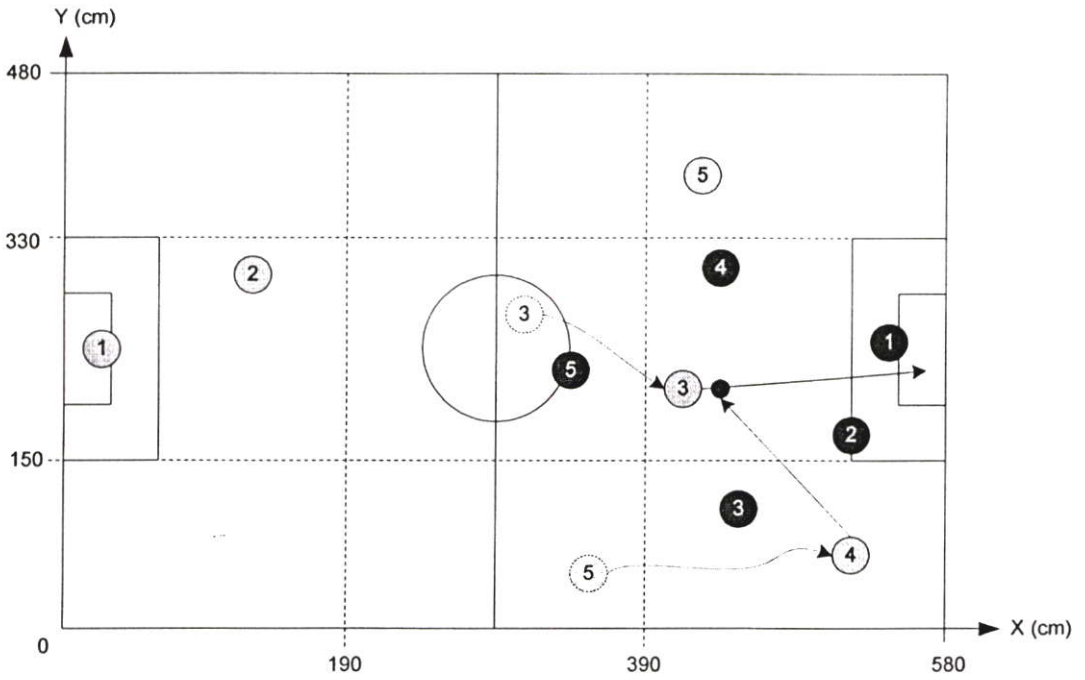
รูปที่ 3.14 แผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo₂

3.4.3 แผนการล่อหลอกที่ 3

แผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo₃ เป็นการล่อหลอกเพื่อการเข้าทำประตูกจากทีมตรงข้ามต่อจากการรุกแบบที่ 3 เคลื่อนที่รุกเข้าจากโซน 9 จะมีการหลอกให้หุ่นยนต์ทีมตรงข้ามเคลื่อนที่ไปด้านข้าง และจะมีการส่งลูกบอลกลับเพื่อให้หุ่นยนต์อีกตัวหนึ่งเข้าทำประตูแทนจากโซน 6 โดยมีขอบเขตการเคลื่อนที่ คือ หุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1) และ 2 (Y2) ทำหน้าที่ป้องกันประตูอยู่ในโซน 4 หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) เคลื่อนที่รออยู่ภายในโซน 5, 6 เพื่อเป็นตัววิ่งเข้าไปทำประตู หุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4) เคลื่อนที่พาลูกบอลจากโซน 8 ไปที่โซน 9 แล้วส่งบอลกลับมาให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 ซึ่งทำหน้าที่แทนศูนย์หน้า (ตัวยิงแถวสอง) ที่โซน 6 ในขณะที่หุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5) เคลื่อนที่หลอกอยู่ระหว่างโซน 3 กับ โซน 6 เพื่อให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3) มีพื้นที่เข้าทำประตูโดยสามารถเขียนได้เป็น

$$Fo_3 : Y1 \text{ and } Y2 = \text{Zone } 4 \quad Y3 = \text{Zone } 5, 6 \quad Y4 = \text{Zone } 6, 9 \quad Y5 = \text{Zone } 3, 6$$

ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo₃

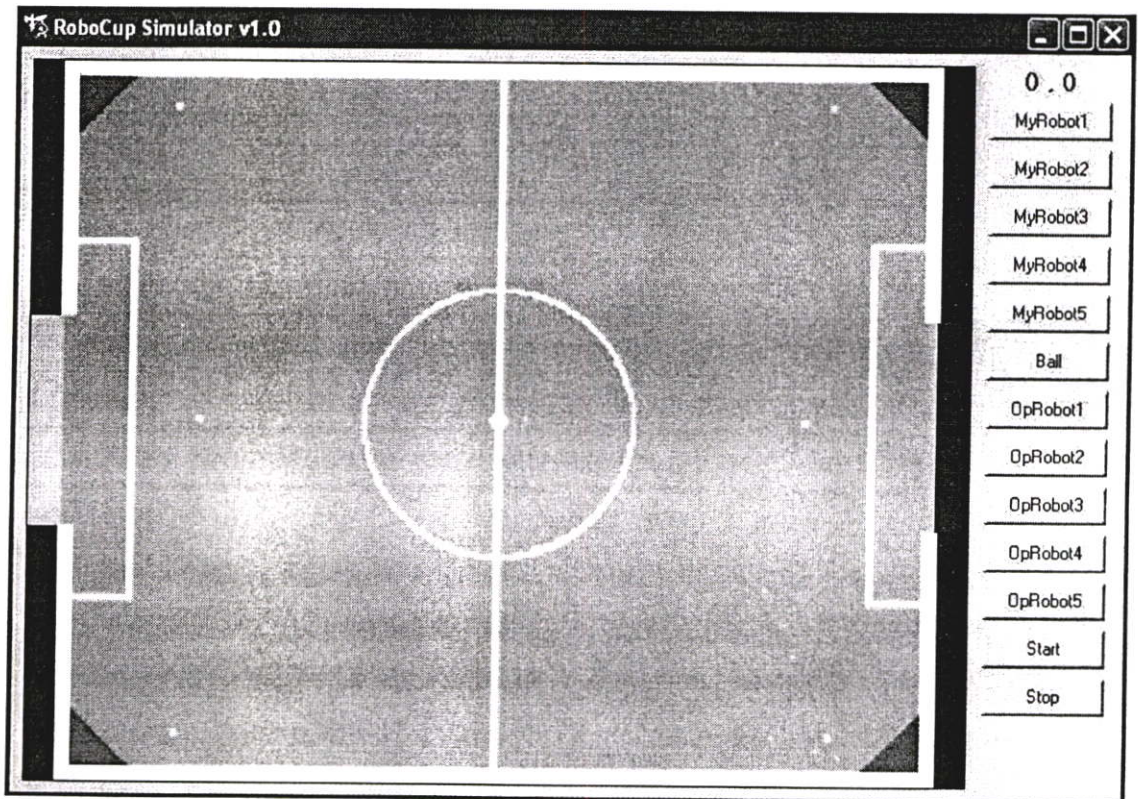
ในบทต่อไปจะเป็นการนำเสนอผลการทดลองการจำลองการทำงานของระบบเสมือน ปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่และแผนการเล่นของหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทนี้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดลองการจำลองเสมือนระบบปัญญาประดิษฐ์ของหุ่นยนต์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยเป็นการจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ด้วยโปรแกรม RoboCup Simulator v1.0 ซึ่งเขียนขึ้นด้วยโปรแกรมภาษา Visual Basic V6 หรือ VB6 ดังรูปที่ 4.1

ในการจำลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การจำลองแผนการรุก และการจำลองแผนการรับ และการจำลองแผนล่อหลอก การจำลองดังกล่าว แสดงถึงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เตะฟุตบอลในขณะวิ่งเข้าหาลูกบอล การทำประตู และการเคลื่อนที่ภายในโซนของหุ่นยนต์ตัวอื่นๆ ที่กำหนดไว้ตามแผน อนึ่งตอนเริ่มการแข่งขัน หุ่นยนต์จะถูกกำหนดให้อยู่ที่พิกัดมุมล่างซ้ายของกราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.1 โปรแกรมจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอล

4.1 การจำลองแผนการรูก

การจำลองแผนการรูกตามการออกแบบแผนการรูกในบทที่ 3 จะจำลองแผนตามที่ได้ออกแบบ โดยแบ่งเป็นการจำลองแผนการรูกทำประตูแบบที่ 1 หรือ Att₁, การจำลองการทำประตูแบบที่ 2 หรือ Att₂ และการจำลองแผนการรูกแบบที่ 3 หรือ Att₃ โดยมีรายละเอียดการจำลองและผลการทดลอง ดังนี้

4.1.1 การจำลองแผนการรูกทำประตูแบบที่ 1

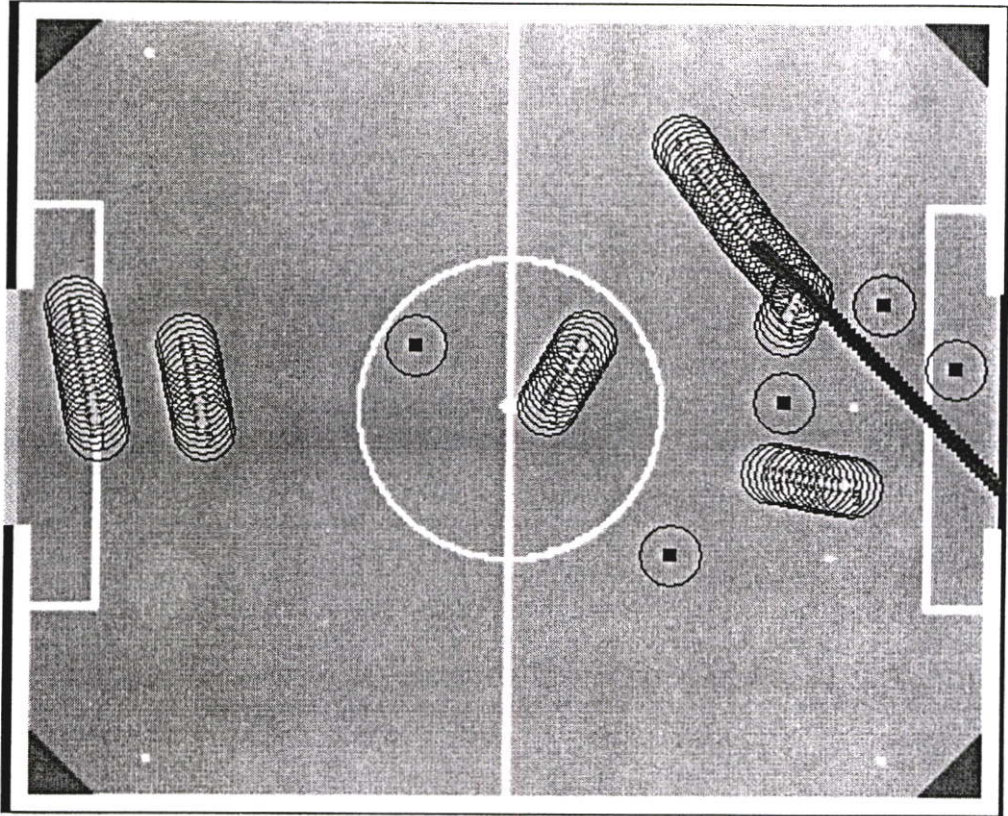
ในการจำลองแผนการรูกทำประตูแบบที่ 1 หรือ Att₁ กำหนดให้หุ่นยนต์คันต์ฝ่ายตรงข้ามเป็นสีน้ำเงิน ฝ่ายรูกเป็นสีเหลือง ลูกบอลเป็นสีแดง เพื่อช่วยในการบันทึกผล และประหยัดเวลาการทดลองจะกำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.1 คือ

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรูกแบบที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.2

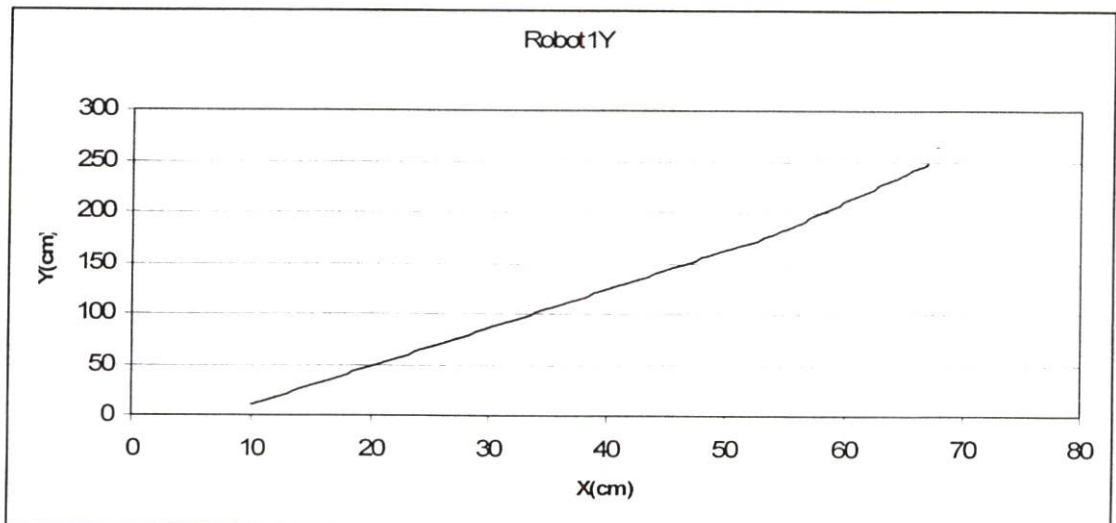
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	55	187
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	124	206
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	294	273
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	430	64
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	485	277
ตำแหน่งของลูกบอล	480	394

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (480, 394) ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่โซน 3 ตามการกำหนดขอบเขตพื้นที่ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาตามแผนภาพลือกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกแผนการรูกแบบที่ 1 หรือ Att₁ ดำเนินการตามแผนการรูกแบบที่ 1 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการรูกตามแผนการรูกแบบที่ 1 เป็นไปตามรูปที่ 4.2 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.3 ถึง 4.6

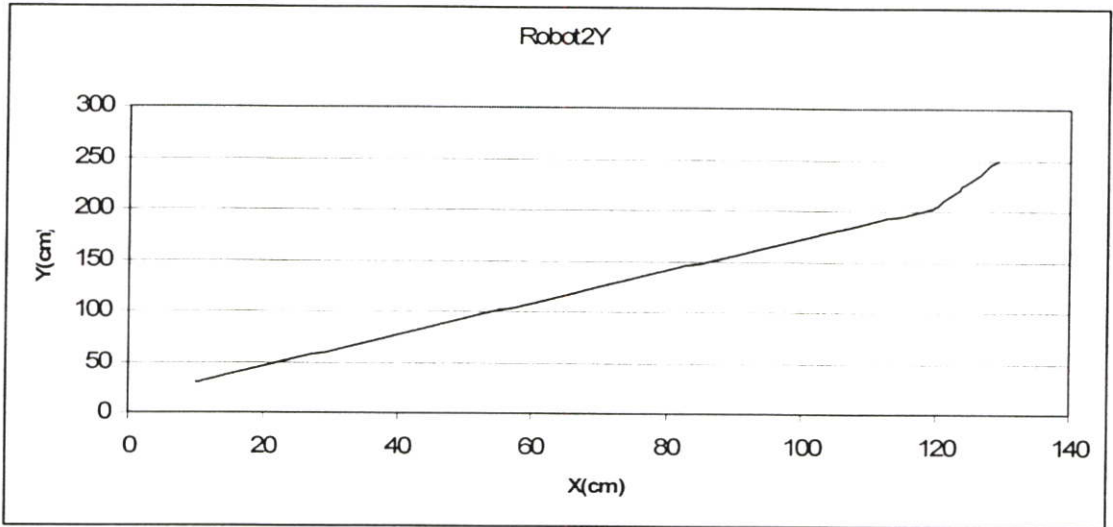
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยังเข้าประตูใช้เวลา 8 วินาที



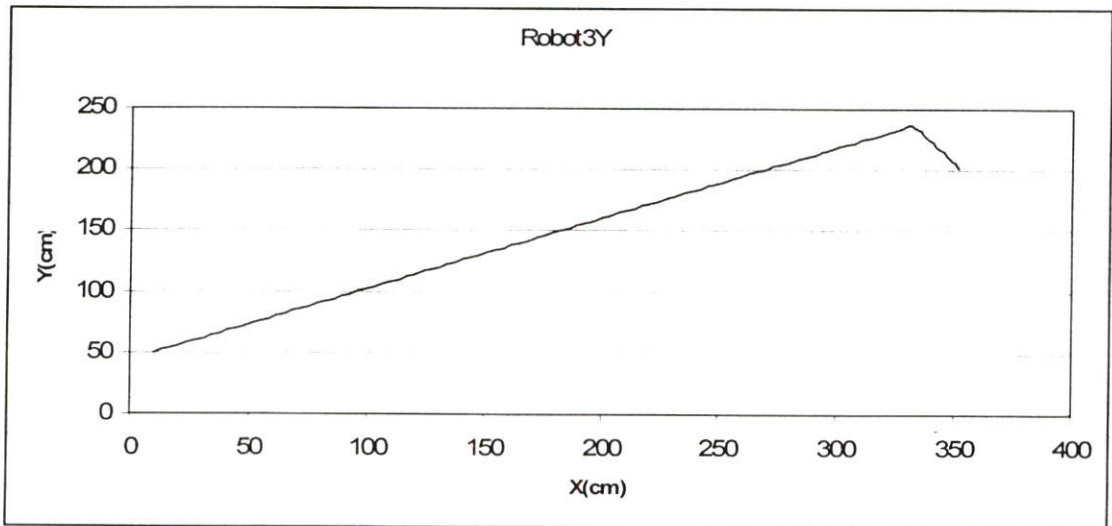
รูปที่ 4.2 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรุกที่ 1 หรือ Att₁



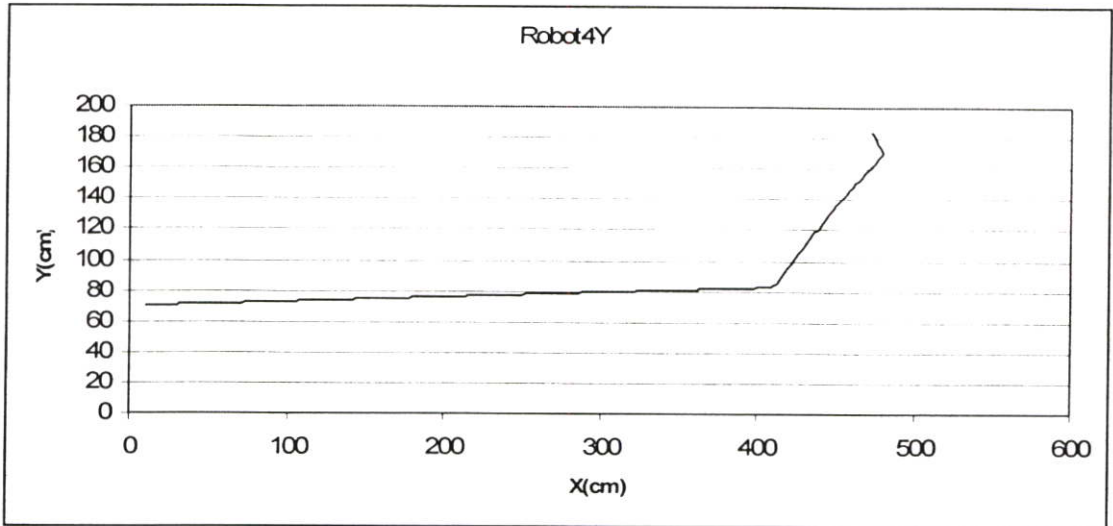
รูปที่ 4.3 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att₁



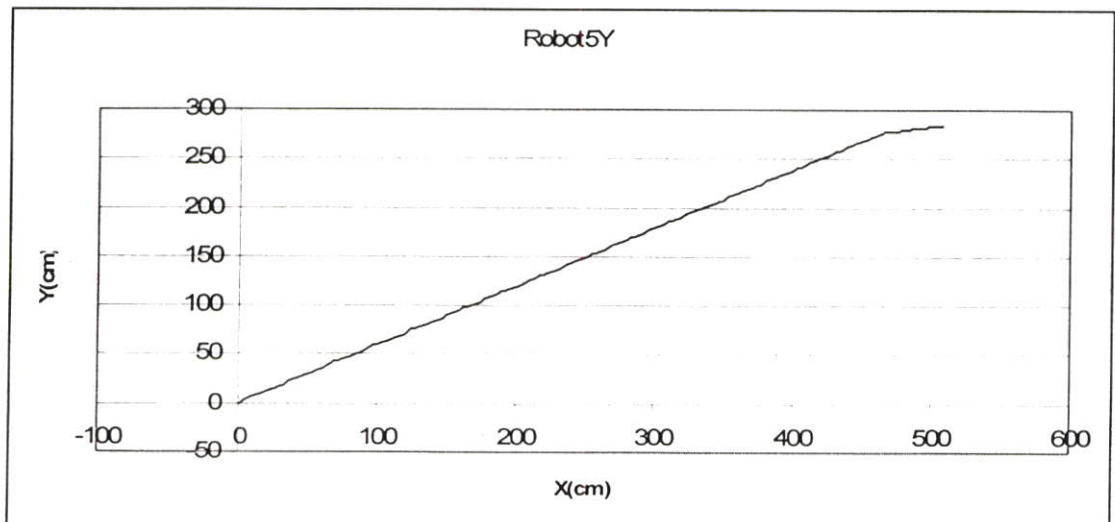
รูปที่ 4.4 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att₁



รูปที่ 4.5 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att₁



รูปที่ 4.6 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att₁



รูปที่ 4.7 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรุกที่ 1 หรือ Att₁

4.1.2 การจำลองแผนรูกทำประตุมแบบที่ 2

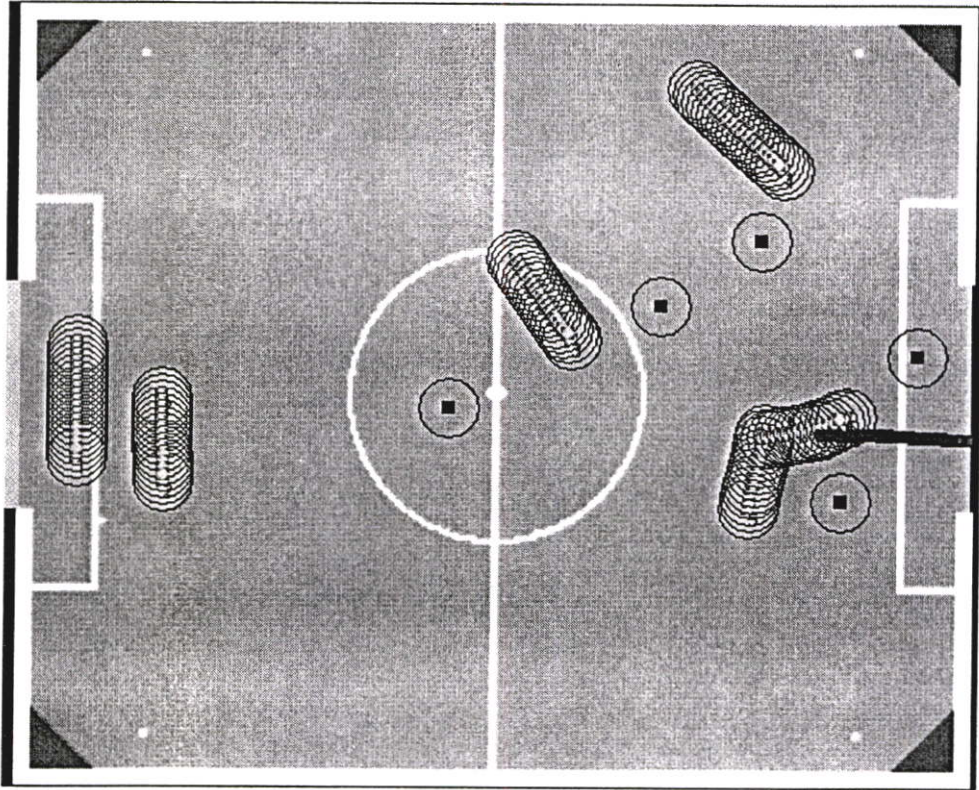
ในการจำลองแผนรูกทำประตุมแบบที่ 2 หรือ Att_2 กำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.2 คือ

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรูกแบบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.8

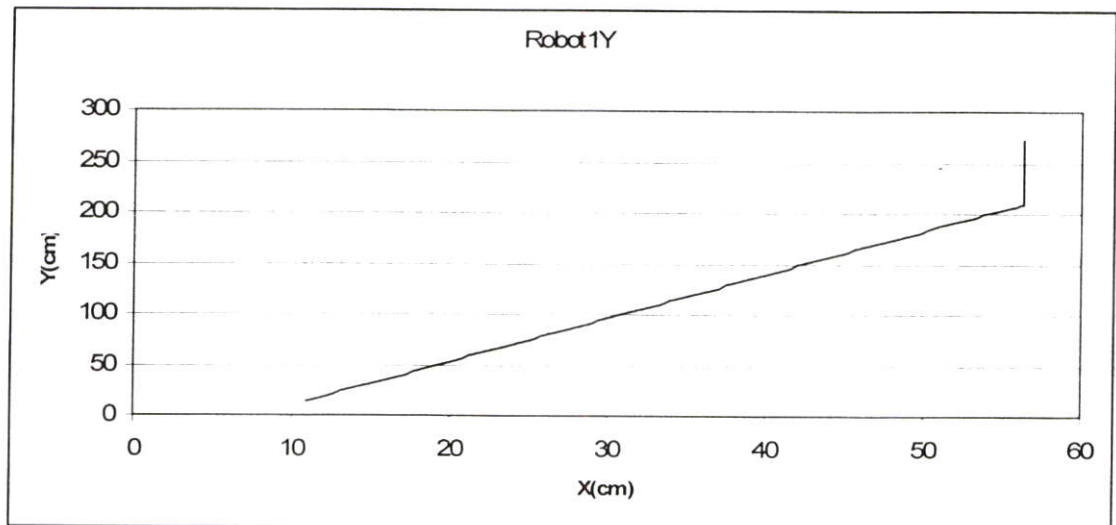
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	56	208
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	104	276
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	320	155
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	429	51
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	462	308
ตำแหน่งของลูกบอล	508	262

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (508, 262) ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่โซน 6 ตามการกำหนดขอบเขตพื้นที่ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาตามแผนภาพลือกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกแผนการรูกแบบที่ 2 หรือ Att_2 และดำเนินการตามแผนการรูกแบบที่ 2 ผลที่ได้จากการจำลองแผนการรูกตามแผนการรูกแบบที่ 2 เป็นไปตามรูปที่ 4.7 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.8 ถึง 4.12

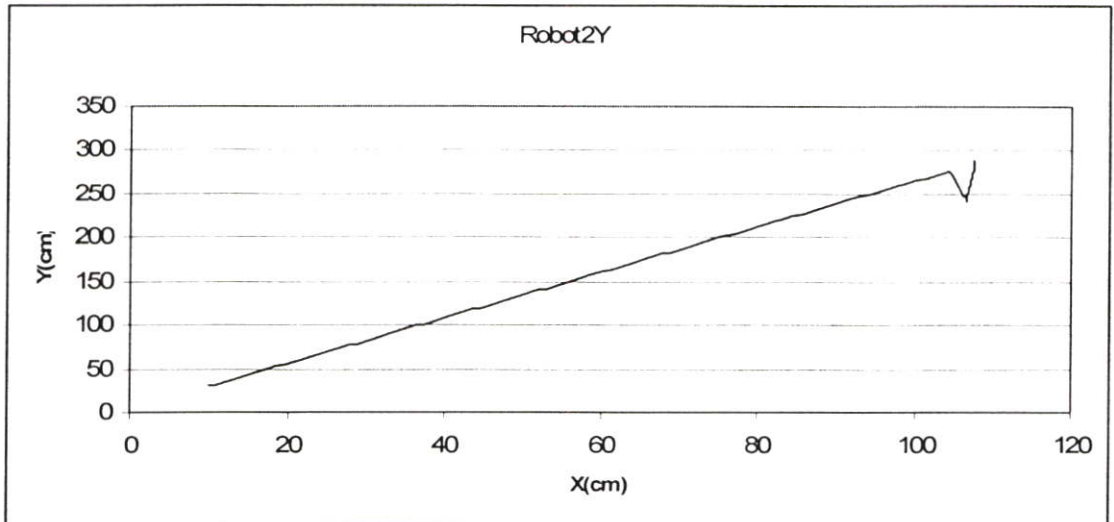
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยิงเข้าประตูใช้เวลา 11 วินาที



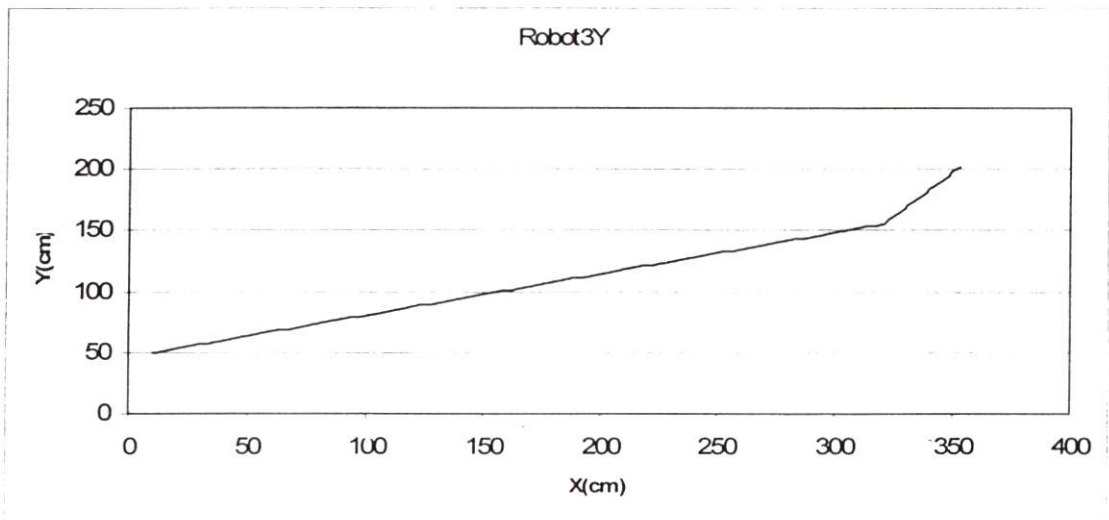
รูปที่ 4.8 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรุกที่ 2 หรือ Att₂



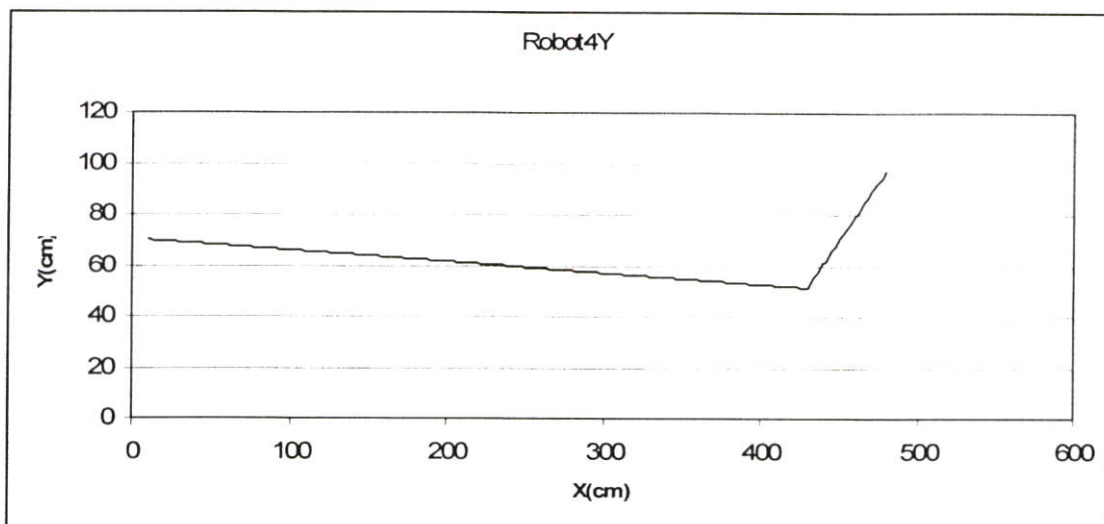
รูปที่ 4.9 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att₂



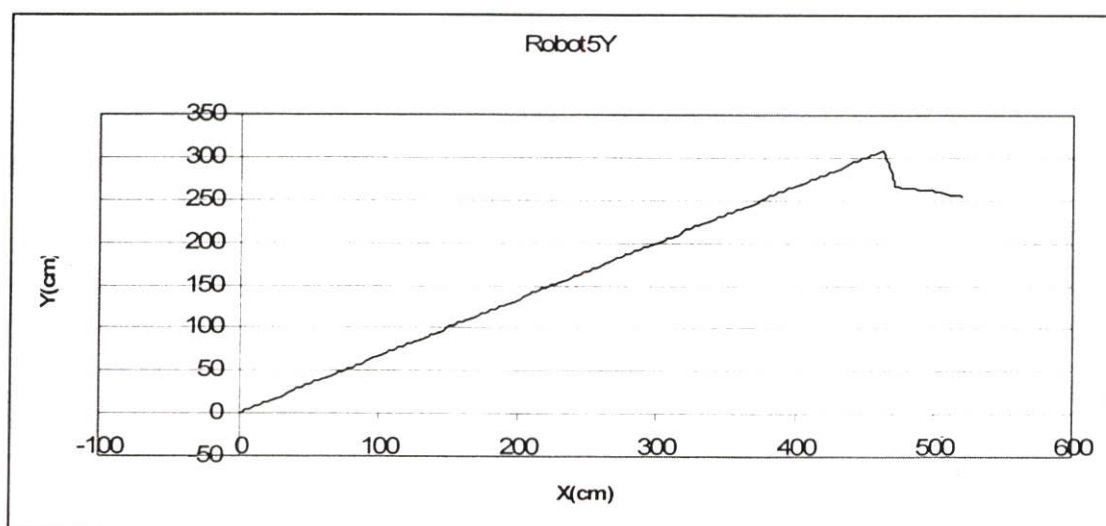
รูปที่ 4.10 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att₂



รูปที่ 4.11 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att₂



รูปที่ 4.12 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att₂



รูปที่ 4.13 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรุกที่ 2 หรือ Att₂

4.1.3 การจำลองแผนรुकทำประตุแบบที่ 3

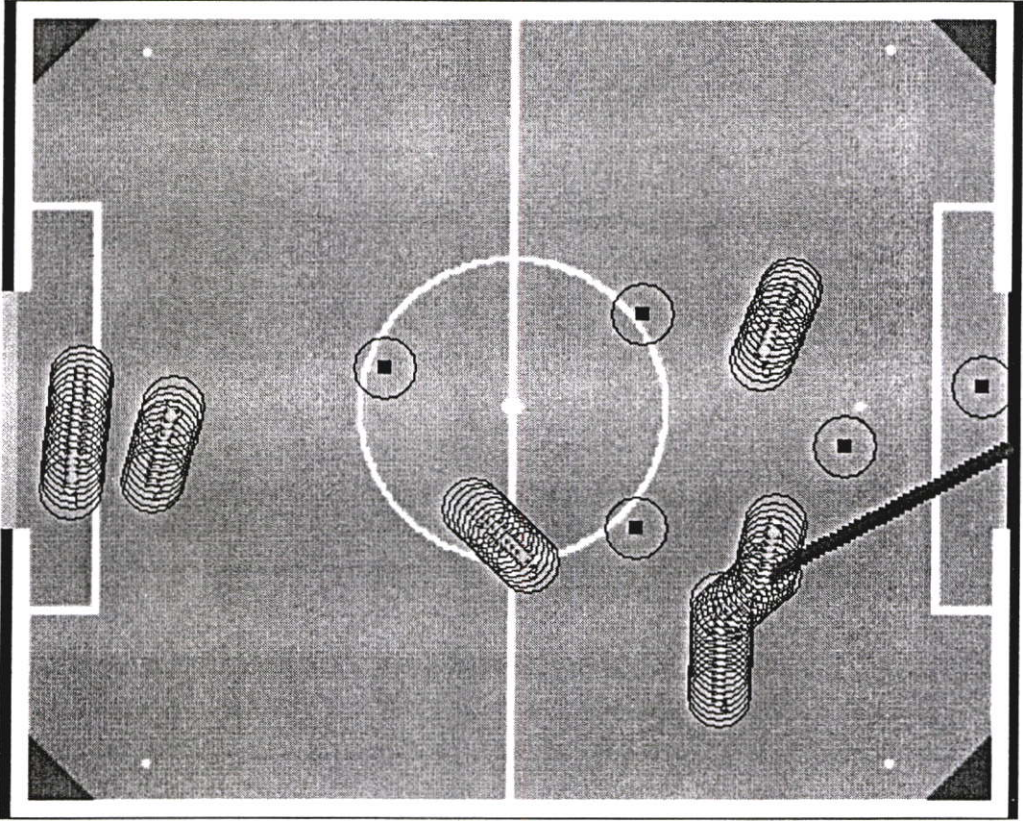
ในการจำลองแผนรुकทำประตุแบบที่ 3 หรือ Att₃ กำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ และ ลูกบอล ตามตารางที่ 4.3 คือ

ตารางที่ 4.3 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรुकแบบที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.13

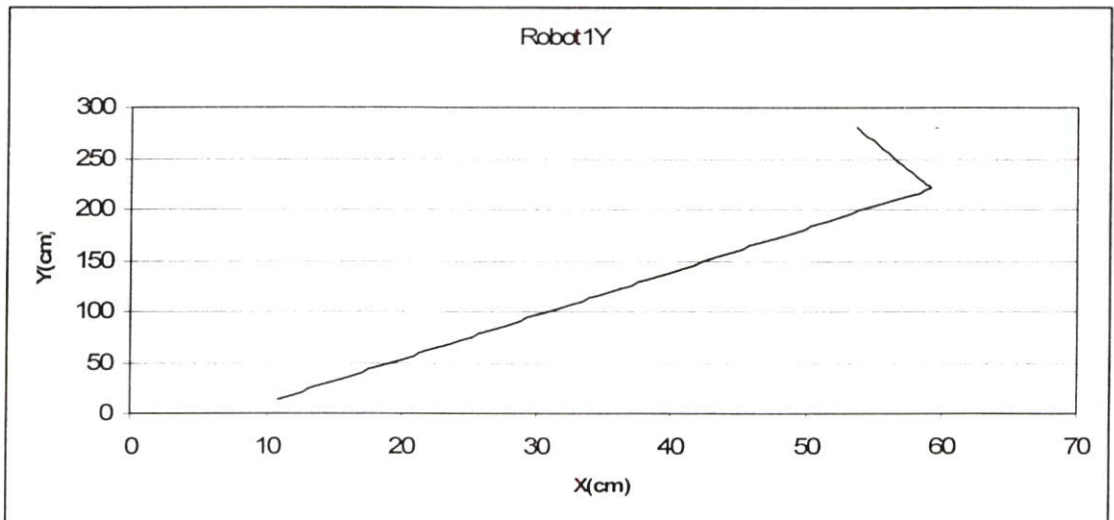
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	59	220
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	100	282
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	287	297
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	431	407
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	471	167
ตำแหน่งของลูกบอล	461	138

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (461, 138) ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่โซน 9 ตามการกำหนดขอบเขตพื้นที่ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาตามแผนภาพบล็อกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกแผนการรुकแบบที่ 3 หรือ Att₃ ดำเนินการตามแผนการรुकแบบที่ 1 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการรुकตามแผนการรुकแบบที่ 3 เป็นไปตามรูปที่ 4.13 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.14 ถึง 4.18

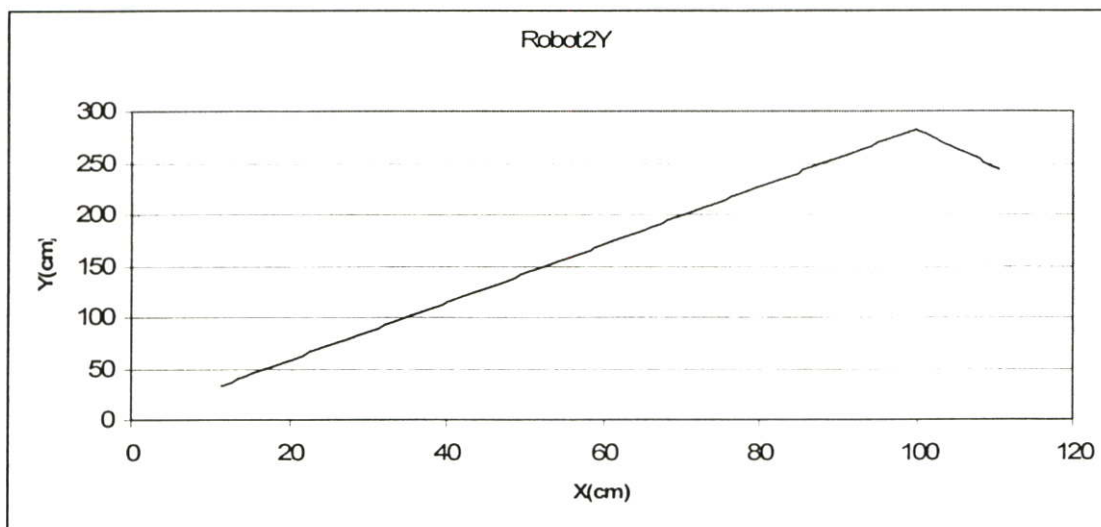
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยังเข้าประตุใช้เวลา 10 วินาที



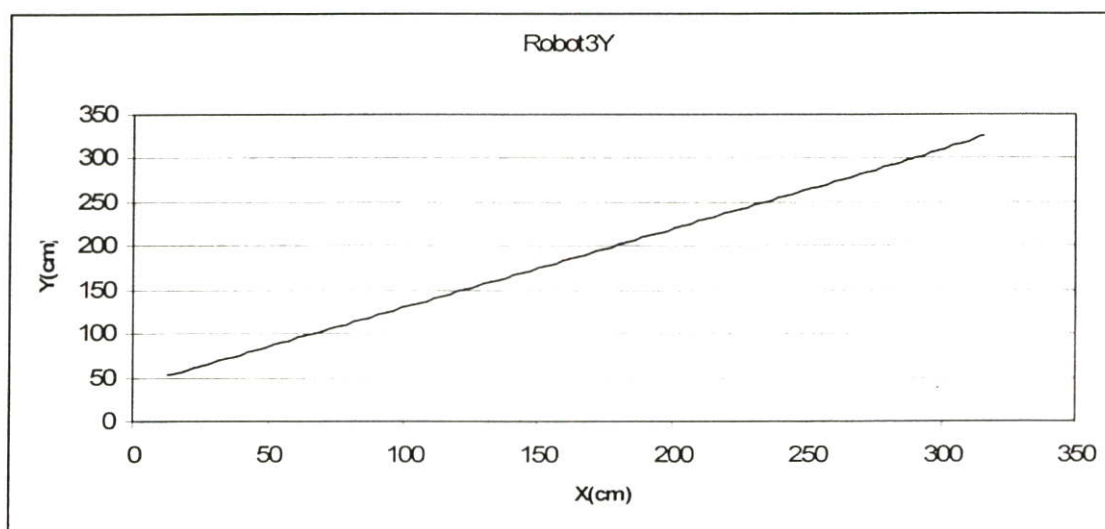
รูปที่ 4.14 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรุกที่ 3 หรือ Att₃



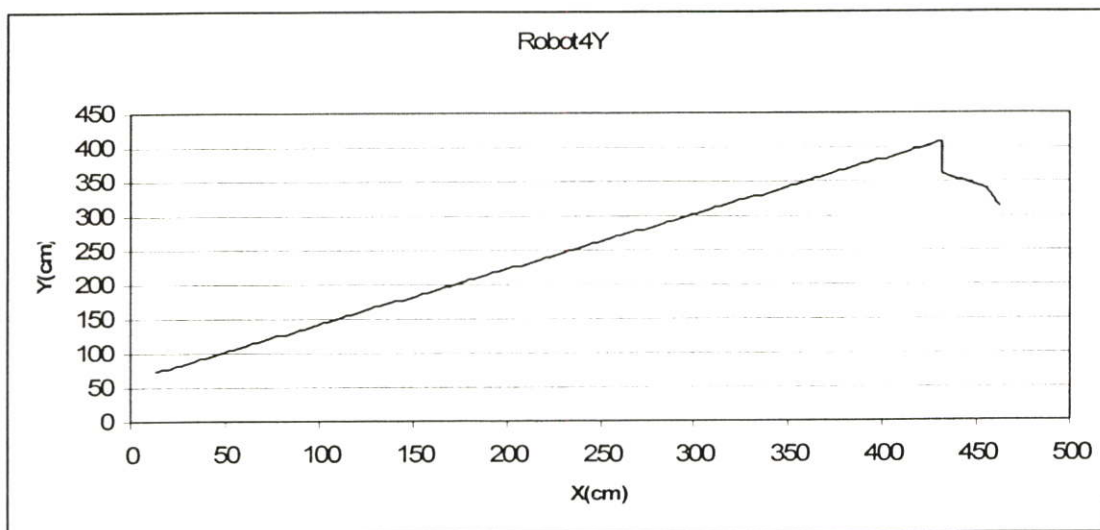
รูปที่ 4.15 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att₃



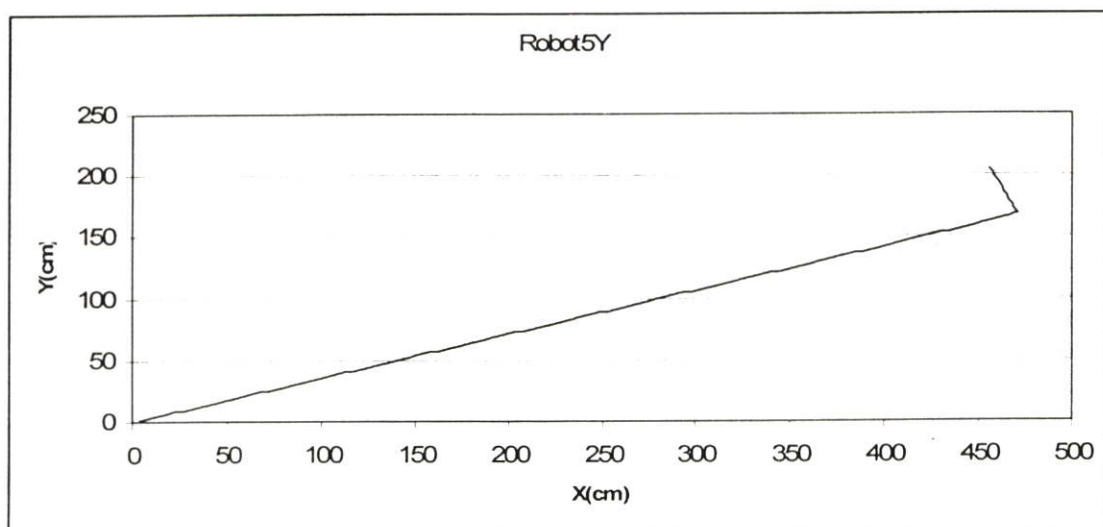
รูปที่ 4.16 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att₃



รูปที่ 4.17 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att₃



รูปที่ 4.18 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att₃



รูปที่ 4.19 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรุกที่ 3 หรือ Att₃

4.2 การจำลองแผนการรับ

การจำลองแผนการรับตามการไหลแผนการตั้งรับในบทที่ 3 จะจำลองแผนตามที่ได้ออกแบบ ในขณะที่หุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามได้ครอบครองบอลและกำลังทำเกมรุกเพื่อเข้ามาทำประตู โดยแบ่งเป็นการจำลองแผนการรับแบบที่ 1 หรือ Def_1 การจำลองแผนการรับแบบที่ 2 หรือ Def_2 และการจำลองแผนการรับแบบที่ 3 หรือ Def_3 โดยมีรายละเอียดการจำลองและผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

4.2.1 การจำลองแผนรับแบบที่ 1

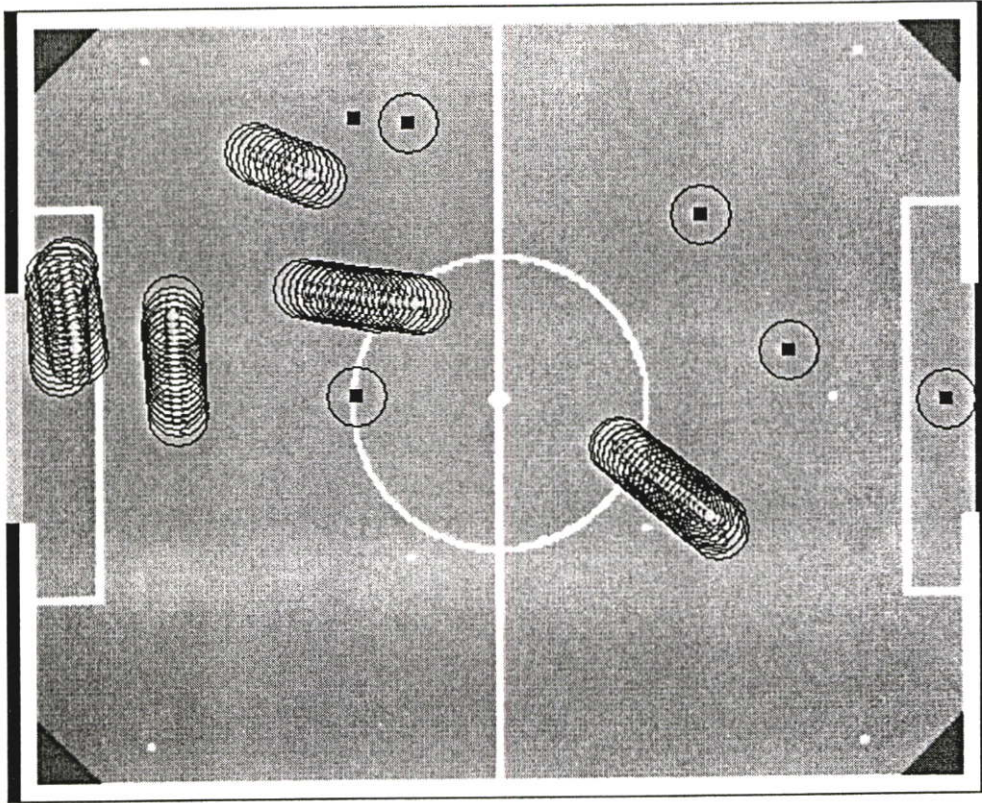
ในการจำลองแผนตั้งรับแบบที่ 1 หรือ Def_1 กำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.4 คือ

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรับแบบที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.19

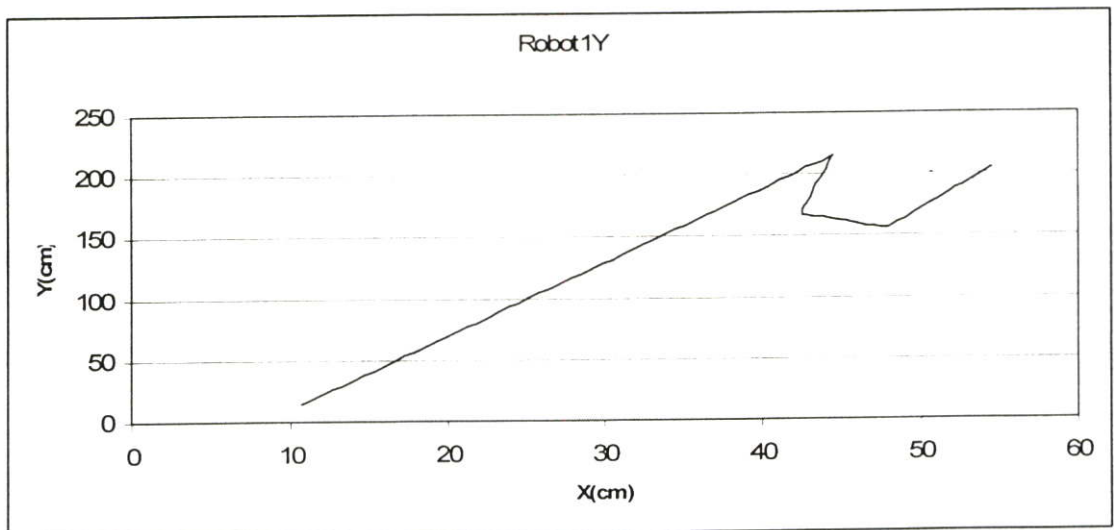
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	44	215
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	110	188
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	161	86
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	235	177
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	441	317
ตำแหน่งของลูกบอล	222	365

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (222, 365) ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่โซน 2 -1. หรือโซน 2 รับตามการกำหนดขอบเขตพื้นที่ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาตามแผนภาพบล็อกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกแผนการรับแบบที่ 1 หรือ Def_1 เนื่องจากการถูกฝ่ายตรงข้ามทำการรุกรมาจากโซนที่ 1 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการตั้งรับแบบที่ 1 เป็นไปตามรูปที่ 4.19 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.20 ถึง 4.24

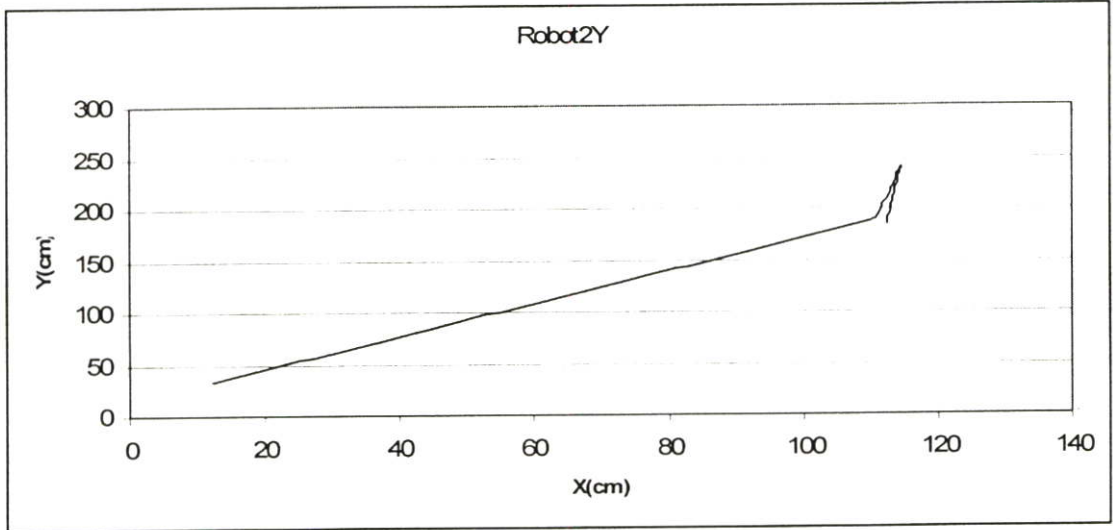
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยิงเข้าประตูใช้เวลา 9 วินาที



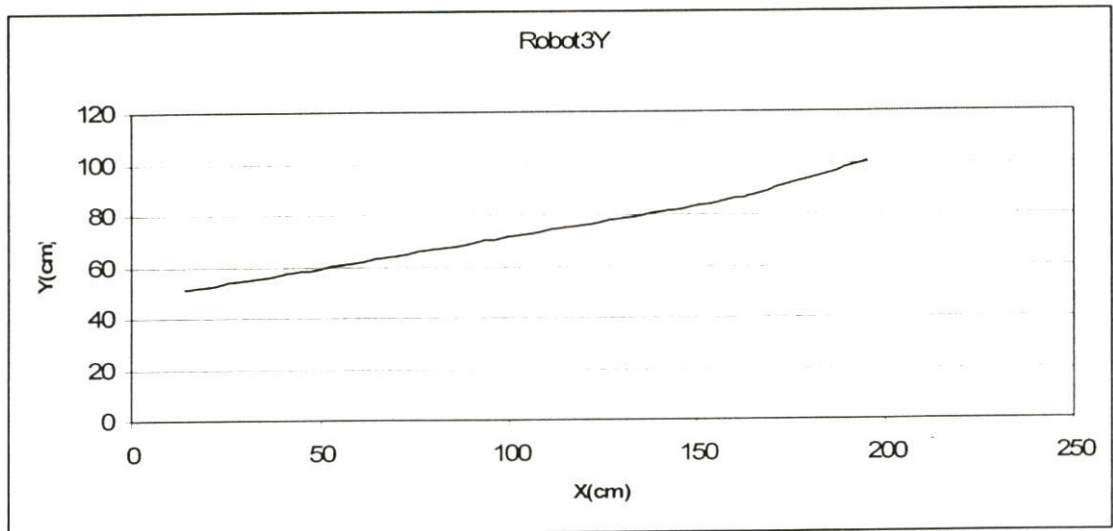
รูปที่ 4.20 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรับที่ 1 หรือ Def,



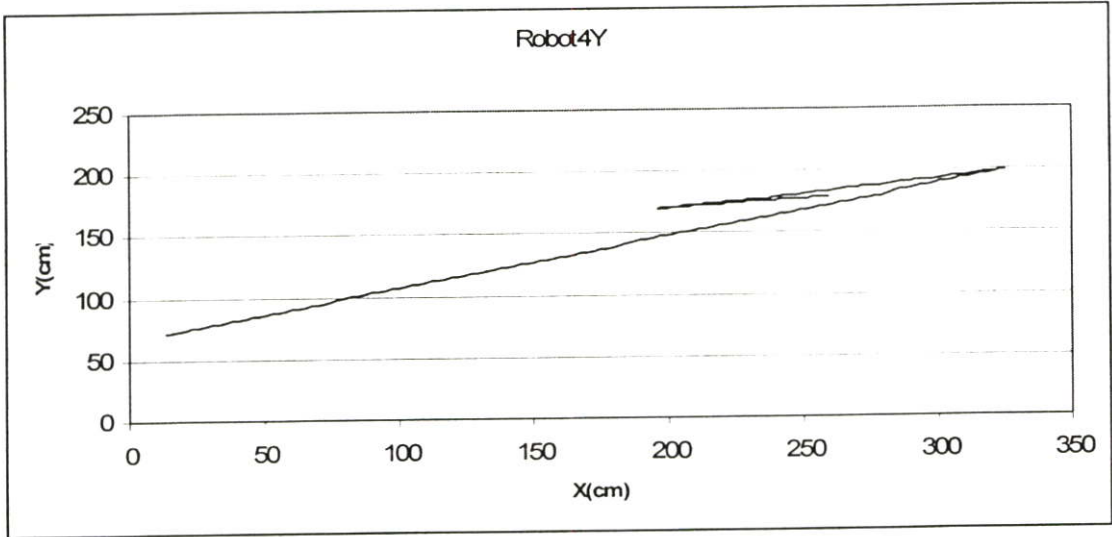
รูปที่ 4.21 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def,



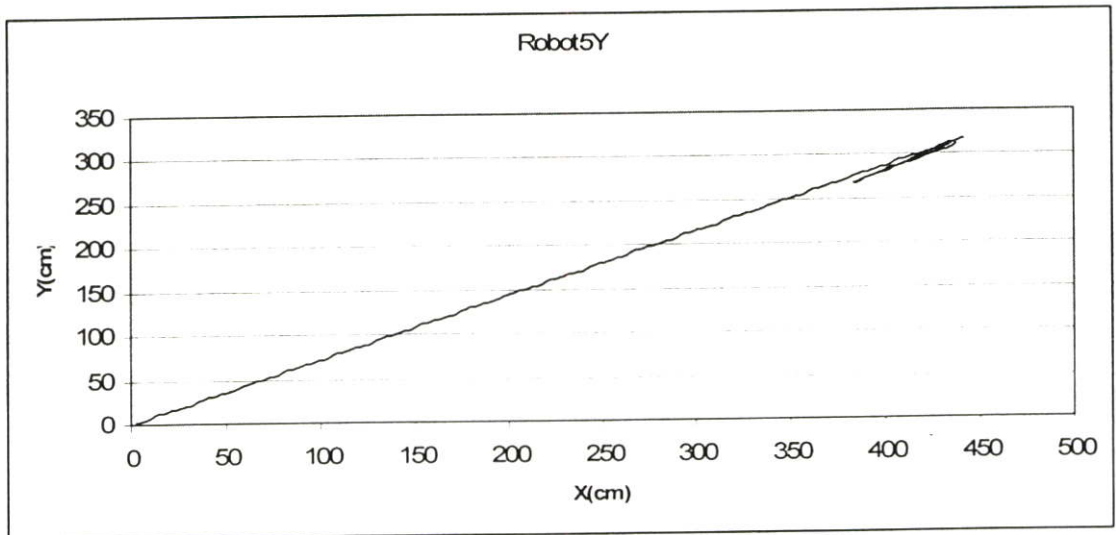
รูปที่ 4.22 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def₁



รูปที่ 4.23 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def₁



รูปที่ 4.24 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def₁



รูปที่ 4.25 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรับที่ 1 หรือ Def₁

4.2.2 การจำลองแผนรับแบบที่ 2

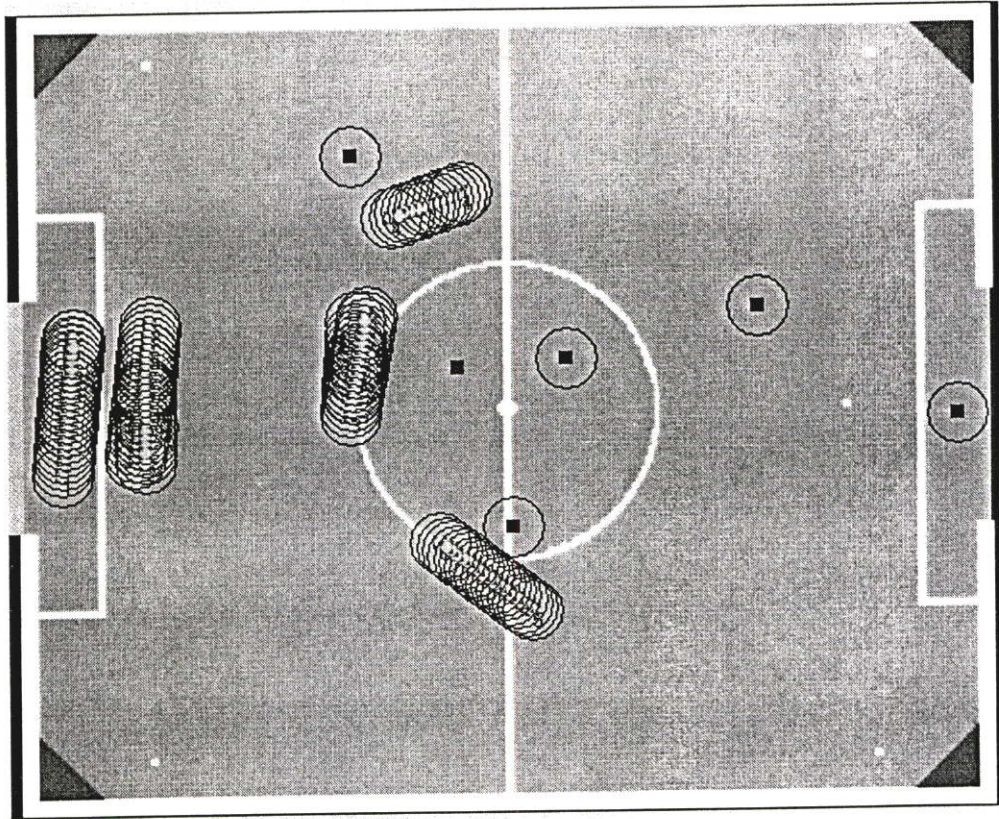
ในการจำลองแผนตั้งรับแบบที่ 2 หรือ Def_2 กำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.5 คือ

ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรับแบบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.25

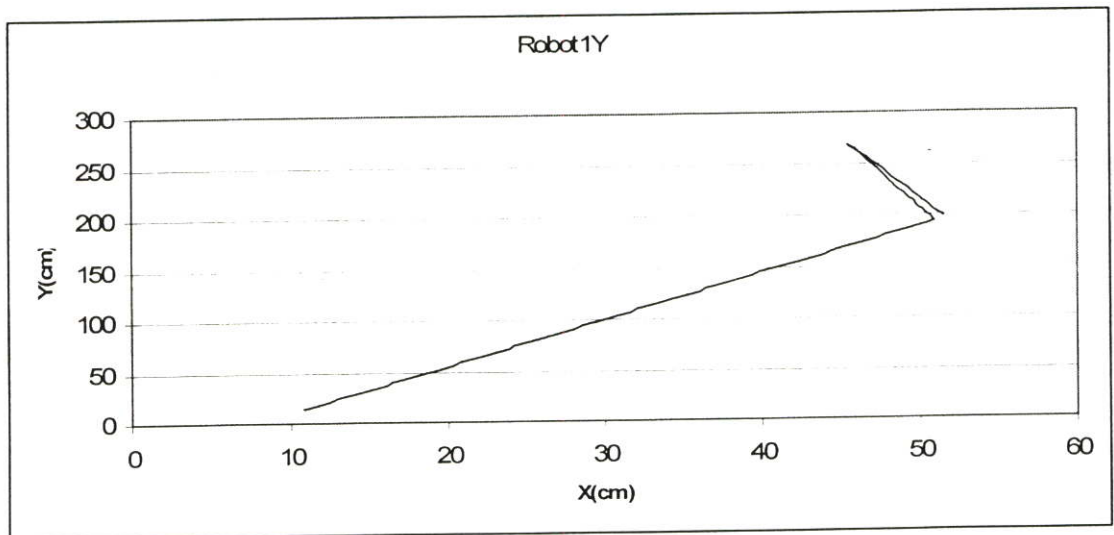
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	50	193
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	88	265
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	220	216
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	183	208
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	324	359
ตำแหน่งของลูกบอล	280	213

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (280, 213) ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่โซน 5 ตามการกำหนดขอบเขตพื้นที่ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาตามแผนภาพบล็อกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกแผนการรับแบบที่ 2 หรือ Def_2 เนื่องจากการถูกฝ่ายตรงข้ามทำการรุกรมาจากโซนที่ 5 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการตั้งรับแบบที่ 2 เป็นไปตามรูปที่ 4.25 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.26 ถึง 4.30

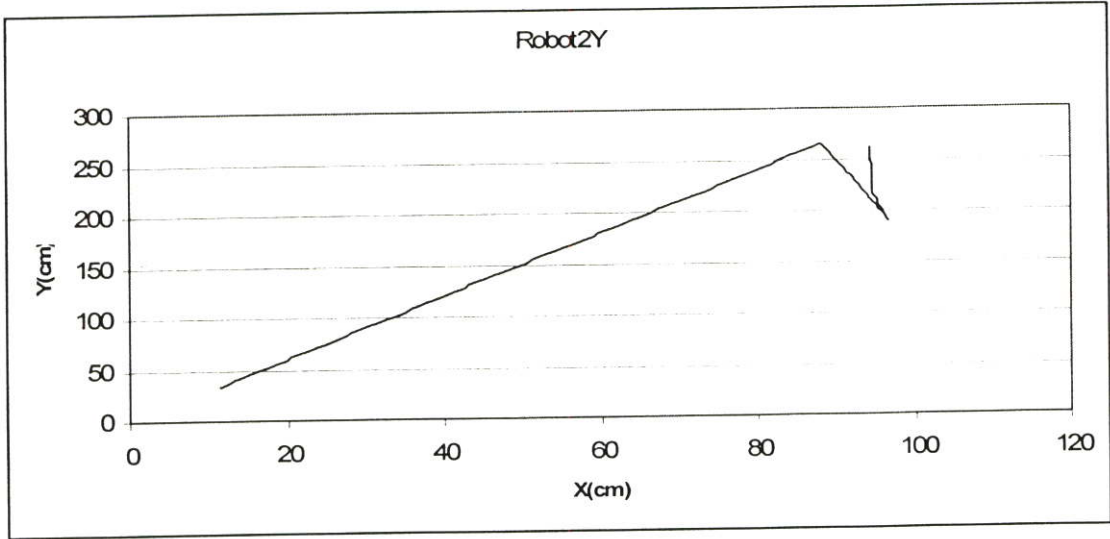
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยิงเข้าประตูใช้เวลา 8 วินาที



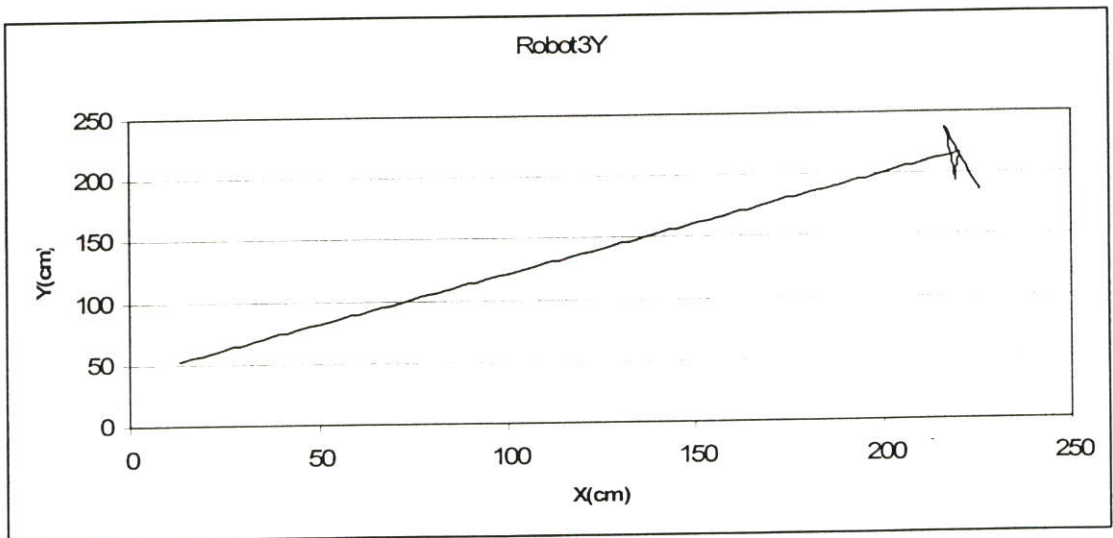
รูปที่ 4.26 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรับที่ 2 หรือ Def₂



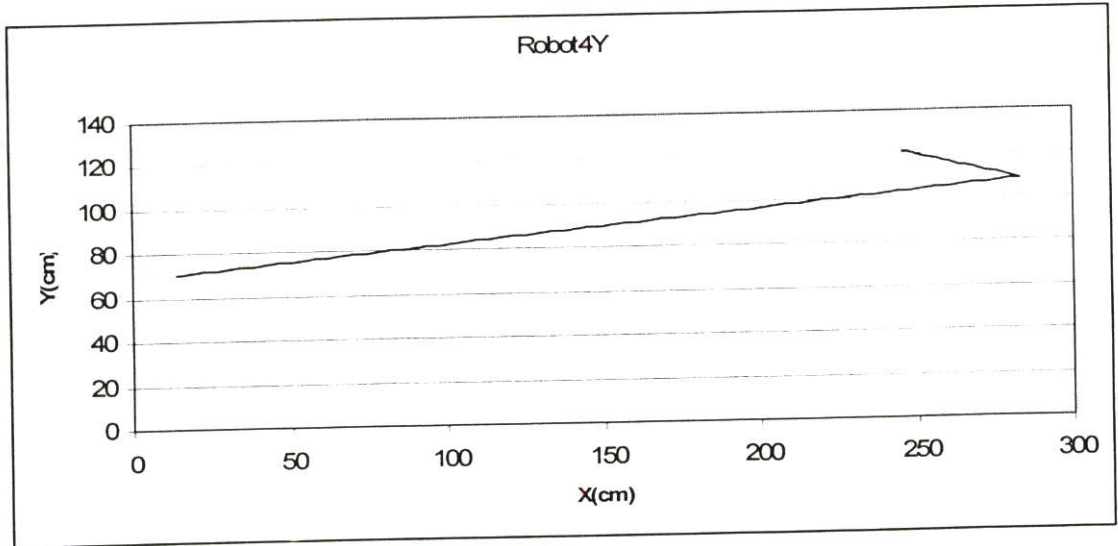
รูปที่ 4.27 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรับที่ 2 หรือ Def₂



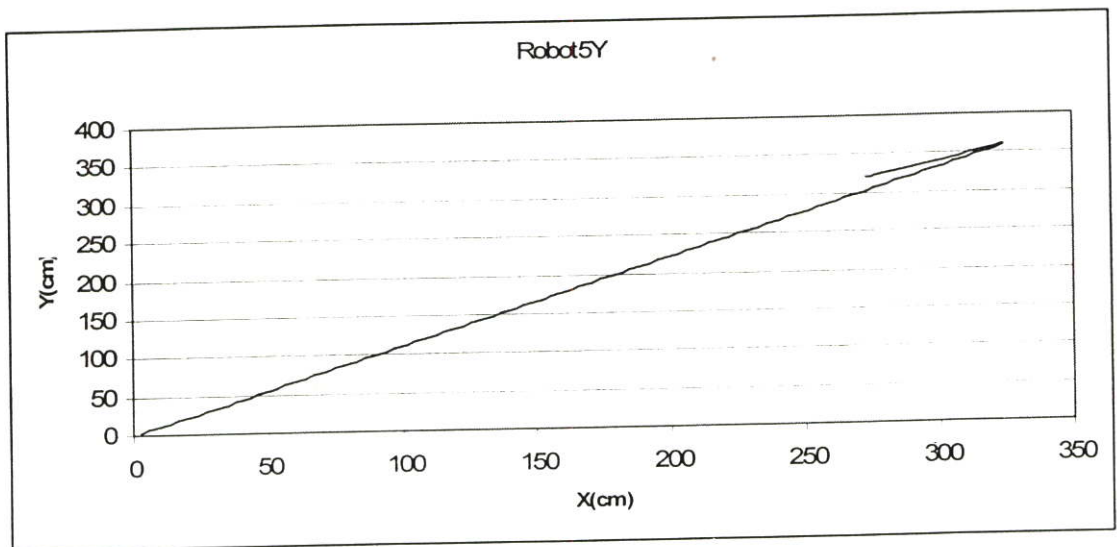
รูปที่ 4.28 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรับที่ 2 หรือ Def₂



รูปที่ 4.29 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรับที่ 2 หรือ Def₂



รูปที่ 4.30 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรับที่ 2 หรือ Def₂



รูปที่ 4.31 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรับที่ 2 หรือ Def₂

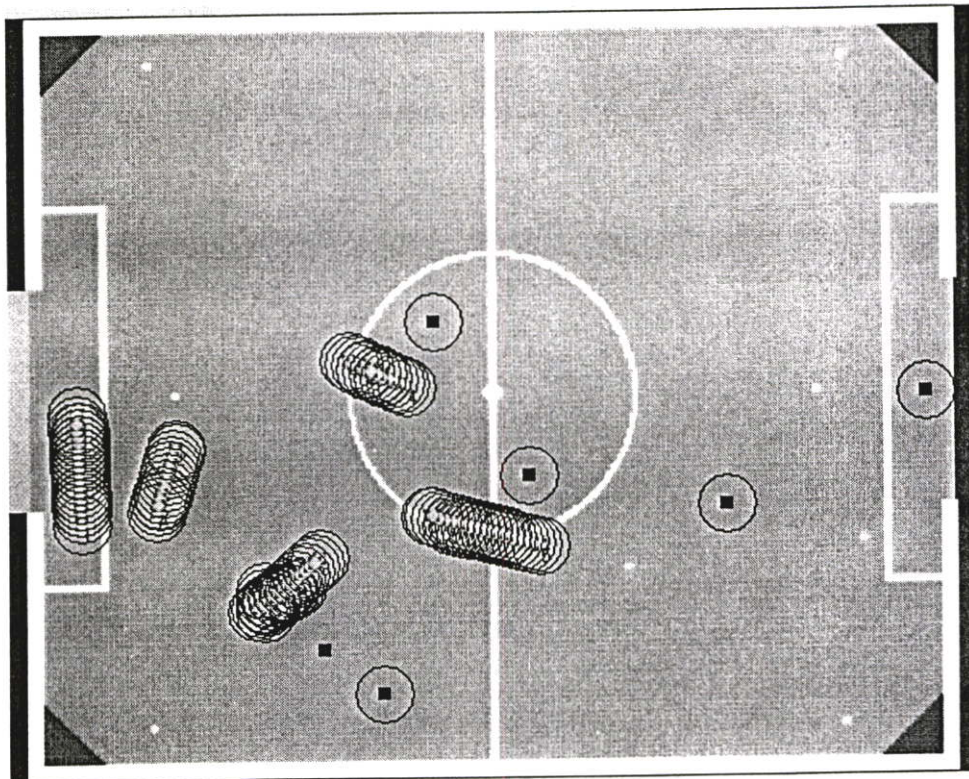
4.2.3 การจำลองแผนรับแบบที่ 3

ในการจำลองแผนตั้งรับแบบที่ 3 หรือ Def_3 กำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.6 คือ

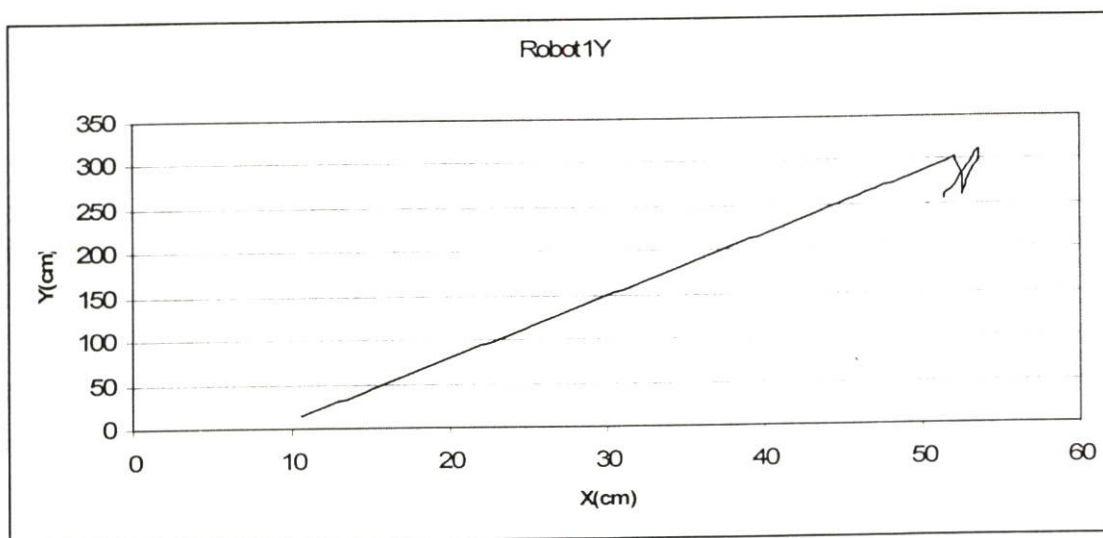
ตารางที่ 4.6 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการรับแบบที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.31

ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	52	302
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	101	307
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	166	360
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	219	216
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	283	320
ตำแหน่งของลูกบอล	204	98

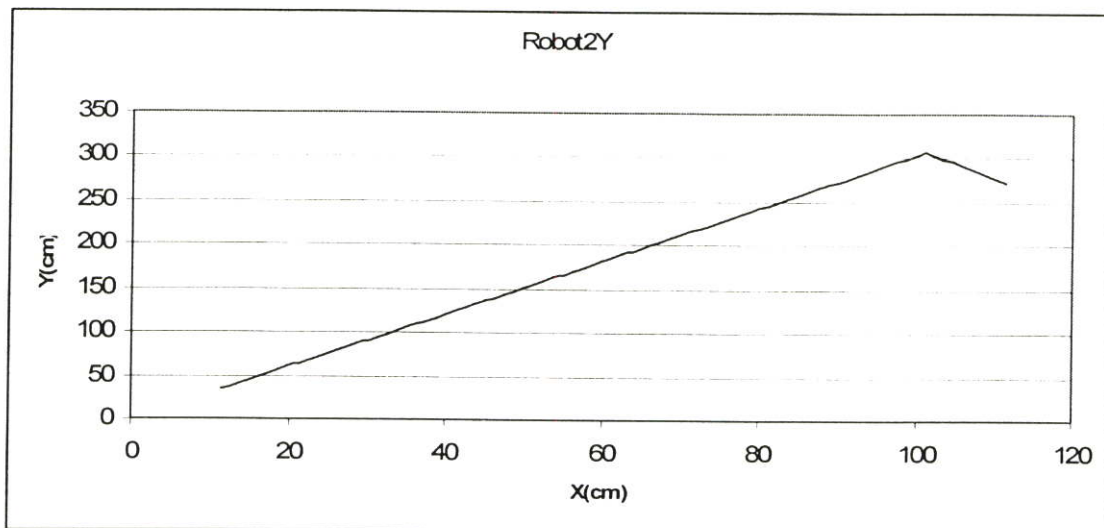
จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (204, 98) ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่โซน 8-1 หรือโซน 8 รับตามการกำหนดขอบเขตพื้นที่ จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาตามแผนภาพบล็อกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกแผนการรับแบบที่ 3 หรือ Def_3 เนื่องจากการถูกฝ่ายตรงข้ามทำการการรุกรมาจากโซน 8-1 หรือโซน 8 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการตั้งรับแบบที่ 3 เป็นไปตามรูปที่ 4.31 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.32 ถึง 4.36 หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยิงเข้าประตูใช้เวลา 8 วินาที



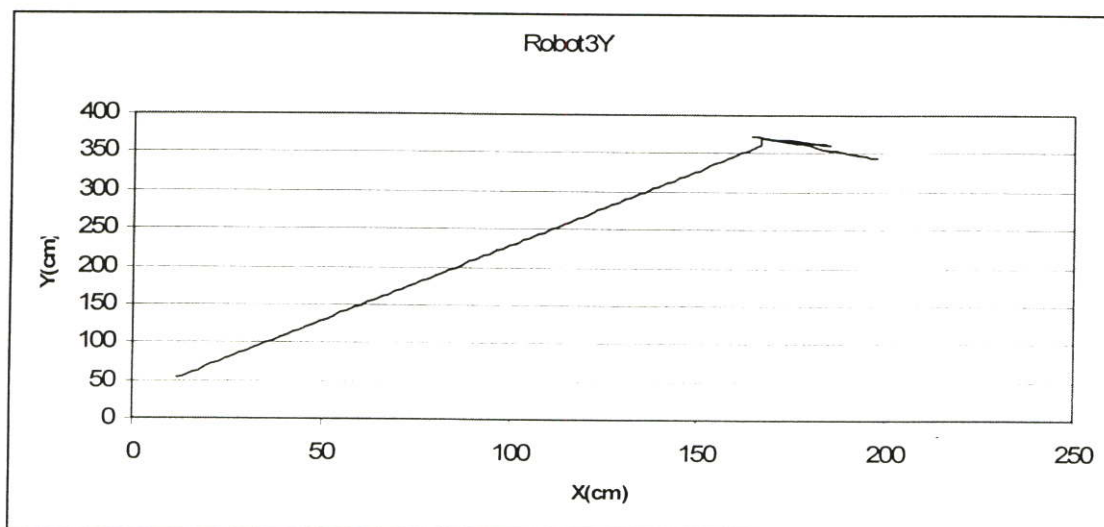
รูปที่ 4.32 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะวิ่งเข้าหาบอลและทำประตูตามแผนรับที่ 3 หรือ Def₃



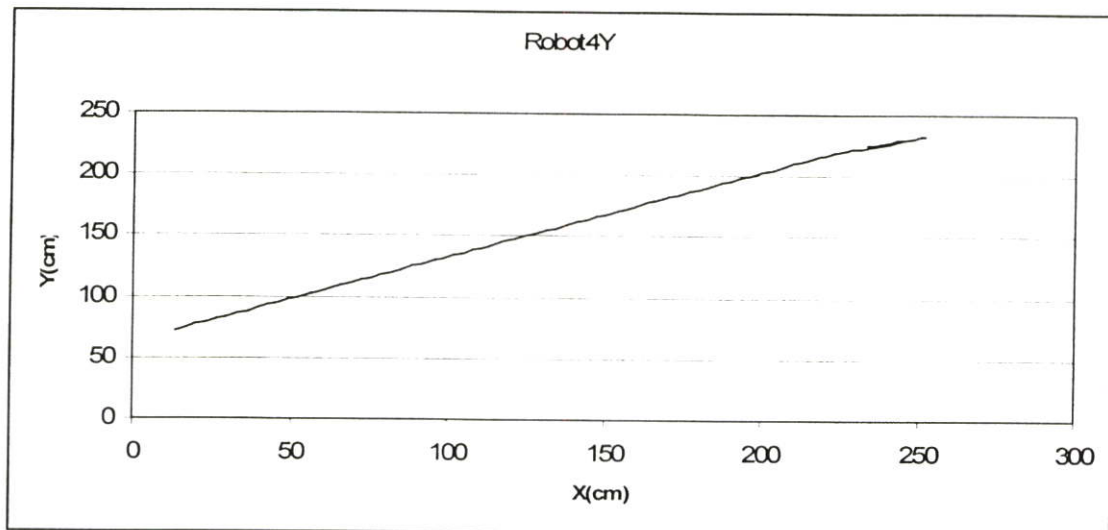
รูปที่ 4.33 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการรับที่ 3 หรือ Def₃



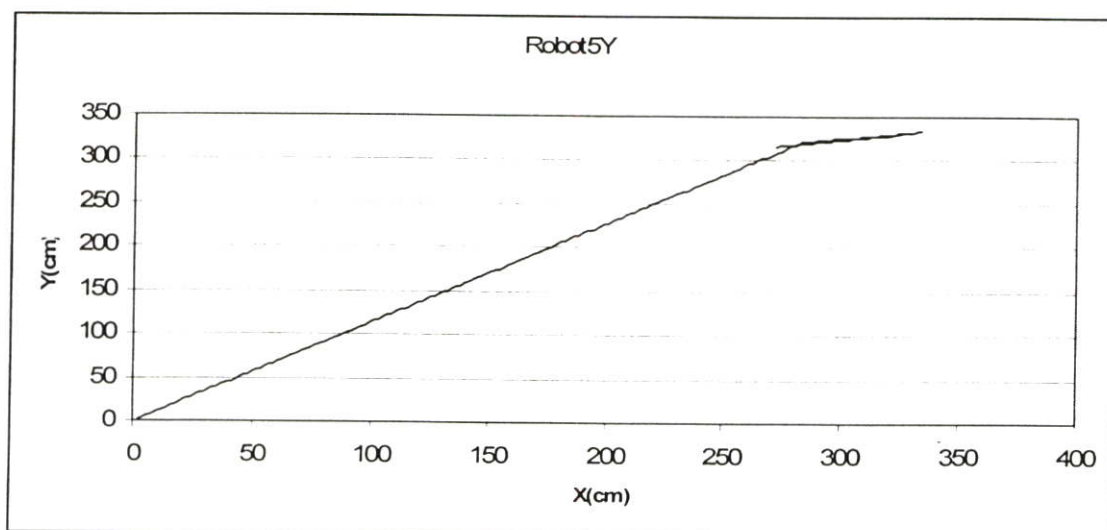
รูปที่ 4.34 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการรับที่ 3 หรือ Def₃



รูปที่ 4.35 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการรับที่ 3 หรือ Def₃



รูปที่ 4.36 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการรับที่ 3 หรือ Def₃



รูปที่ 4.37 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการรับที่ 3 หรือ Def₃

4.3 การจำลองแผนการล่อหลอก

การจำลองแผนการล่อหลอกจากการออกแบบในบทที่ 3 จะจำลองแผนตามที่ได้ โดยแบ่งเป็นการจำลองแผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1 การจำลองแผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo_2 และการจำลองแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo_3 โดยมีรายละเอียดการจำลองและผลการทดลอง ดังนี้

4.3.1 การจำลองแผนการล่อหลอกที่ 1

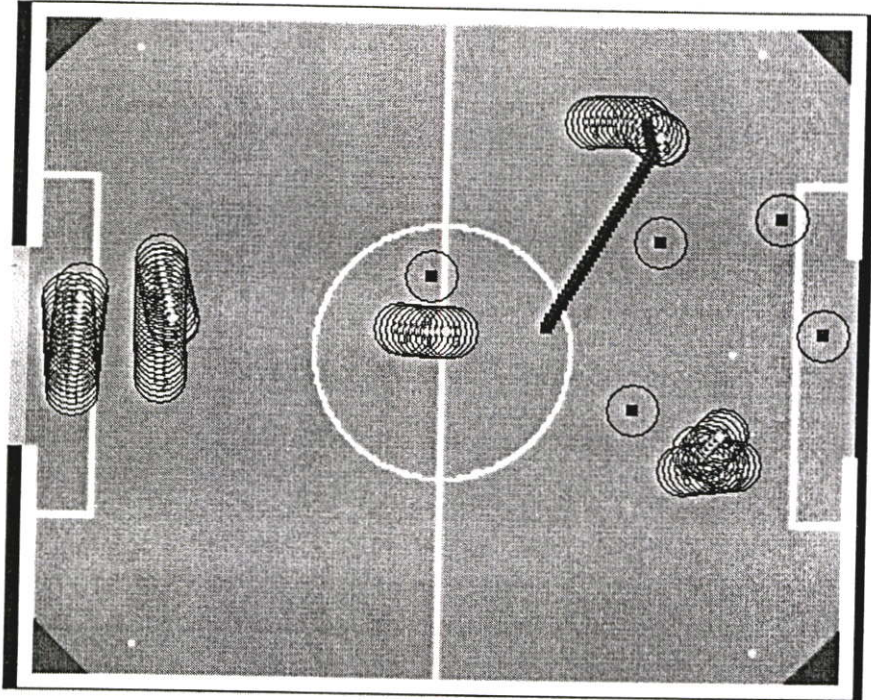
ในการจำลองแผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1 เป็นแผนการล่อหลอกที่จะปฏิบัติก็ต่อเมื่อโหมดการรุกแบบที่ 1 ไม่สามารถทำประตูฝ่ายตรงข้ามได้ และตำแหน่งของลูกบอลอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแผนการล่อหลอกแบบที่ 1 กำหนดค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.7 คือ

ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.37 และ 4.38

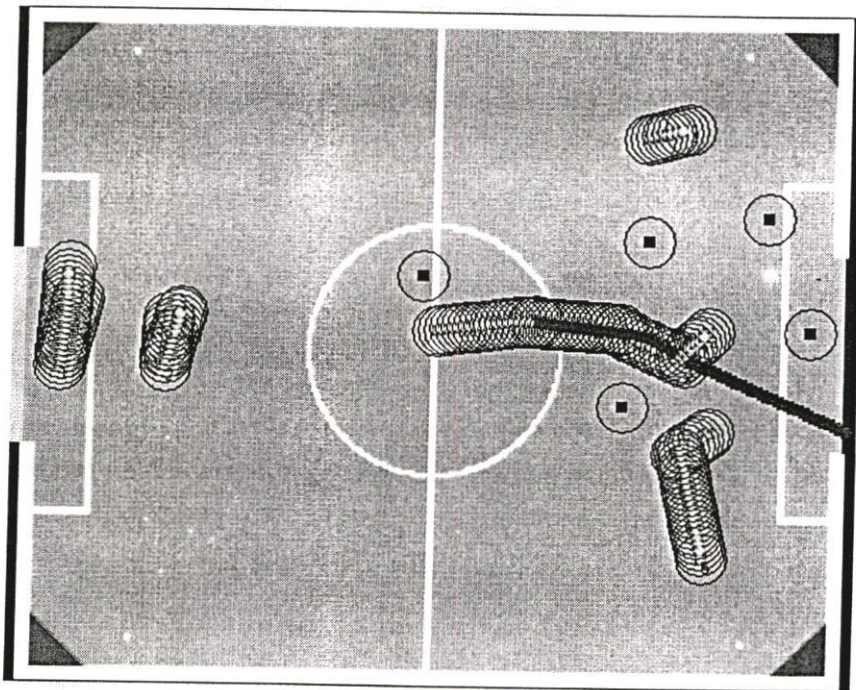
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	52	206
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	113	159
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	279	223
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	409	76
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	471	319
ตำแหน่งของลูกบอล	449	378

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (449, 378) ซึ่งยังคงอยู่ในพื้นที่โซน 3. ในขณะเดียวกันก็ผ่านโหมดการรุกแบบที่ 1 แต่ไม่สามารถเข้าทำประตูได้ เมื่อพิจารณาตามแผนภาพบล็อกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกโหมดเป็นแผนการล่อหลอกแบบที่ 1 หรือ Fo_1 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 1 เป็นไปตามรูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38 โดยจะพบว่าเมื่อหุ่นยนต์ตัวที่ 4 เคลื่อนที่เข้าทำประตูแต่ไม่สามารถทำประตูได้ ระบบควบคุมแผนการเล่นก็จะตัดสินใจเลือกแผนล่อหลอกที่ 1 และส่งบอลกลับมาให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 เป็นตัวทำประตูจากตรงกลางประตู หรือในพื้นที่โซน 6 ในขณะที่หุ่นยนต์ตัวที่ 5 เคลื่อนที่ล่อหลอกไปที่โซน 9 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.39 ถึง 4.43

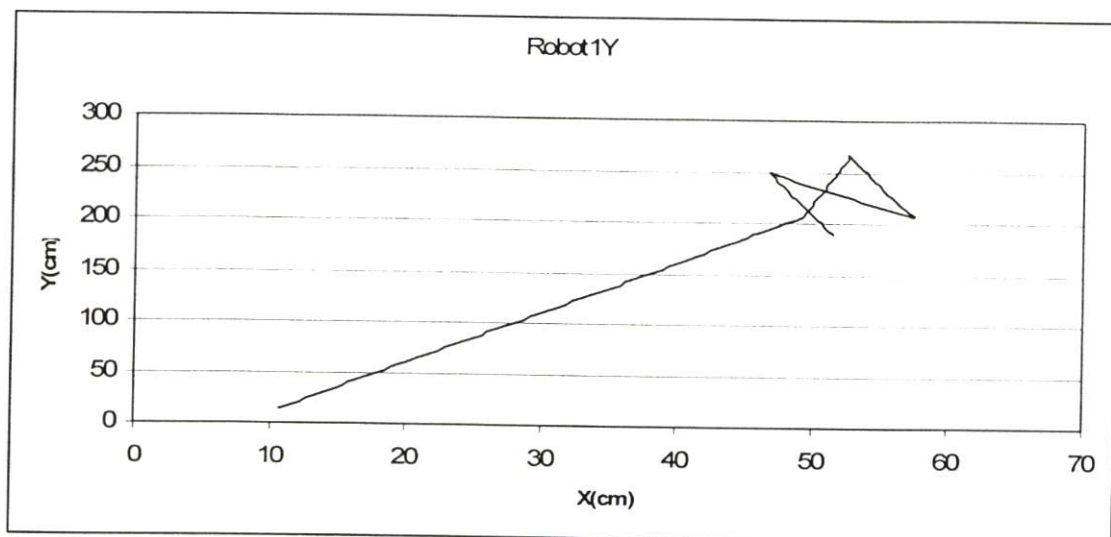
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยิงเข้าประตูใช้เวลา 16 วินาที



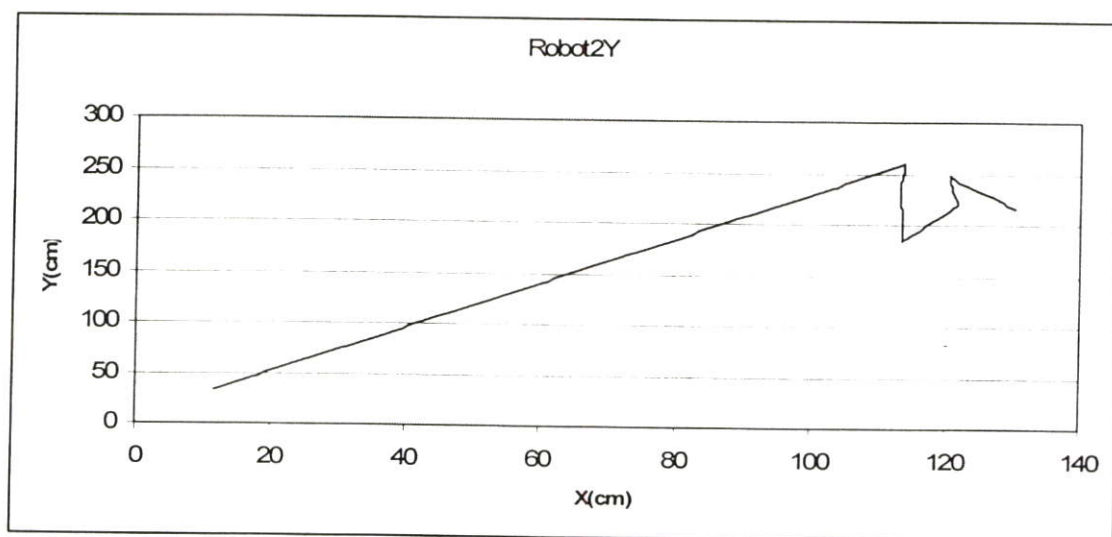
รูปที่ 4.38 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะพบบอลเคลื่อนที่ตามแผนล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1



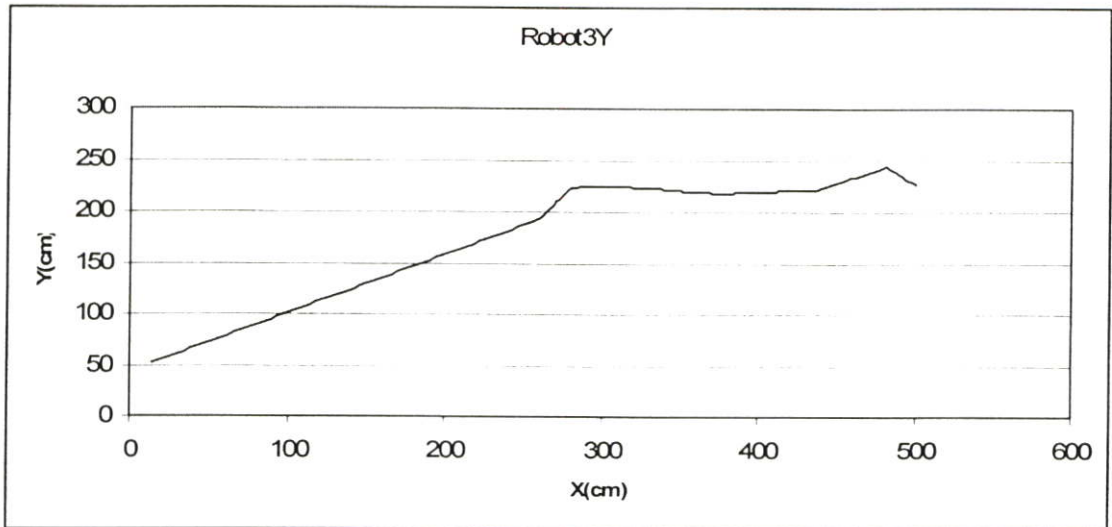
รูปที่ 4.39 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะส่งบอลให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 สอดขึ้นมาทำประตูตามแผน



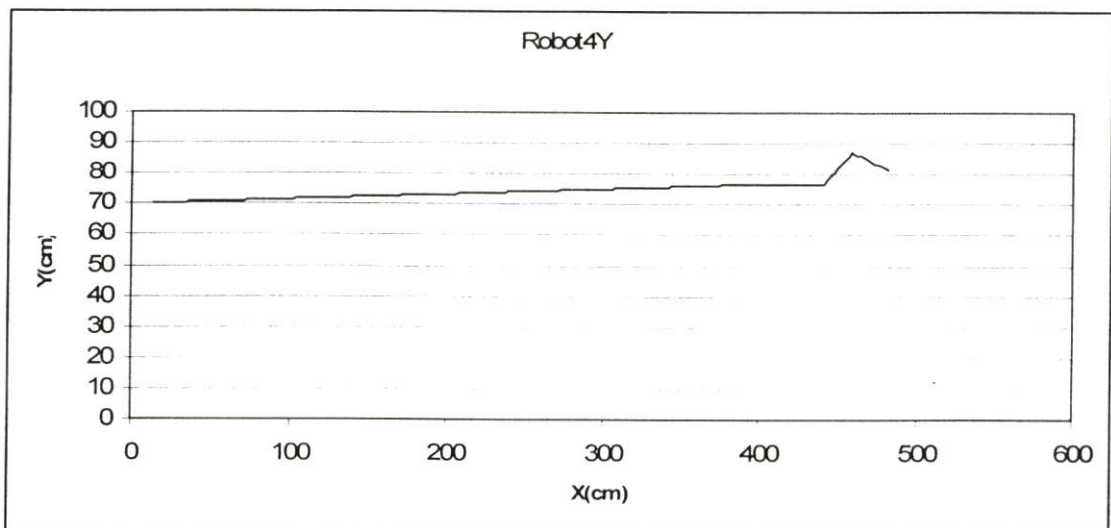
รูปที่ 4.40 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1



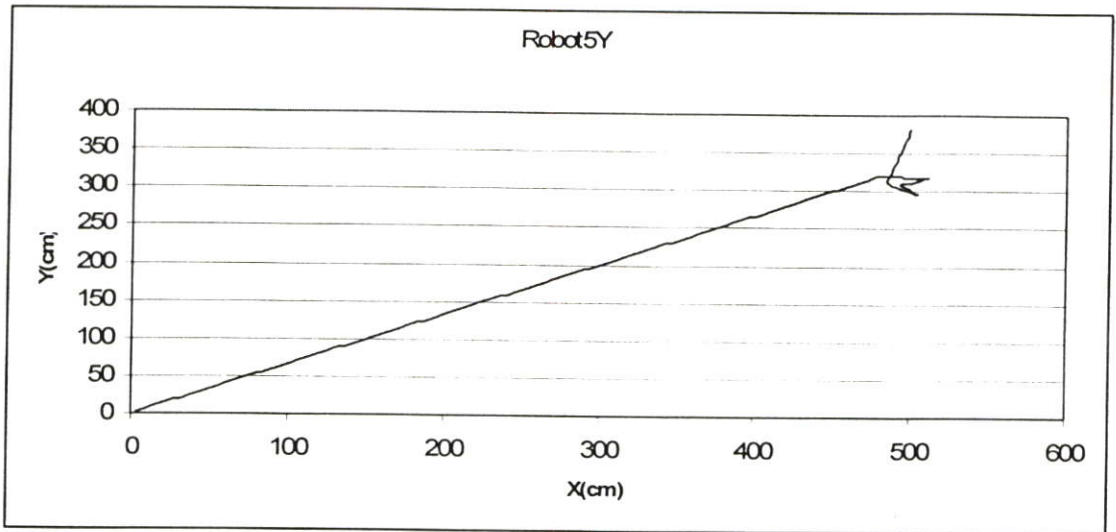
รูปที่ 4.41 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1



รูปที่ 4.42 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1



รูปที่ 4.43 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1



รูปที่ 4.44 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการล่อหลอกที่ 1 หรือ Fo_1

4.3.2 การจำลองแผนการล่อหลอกที่ 2

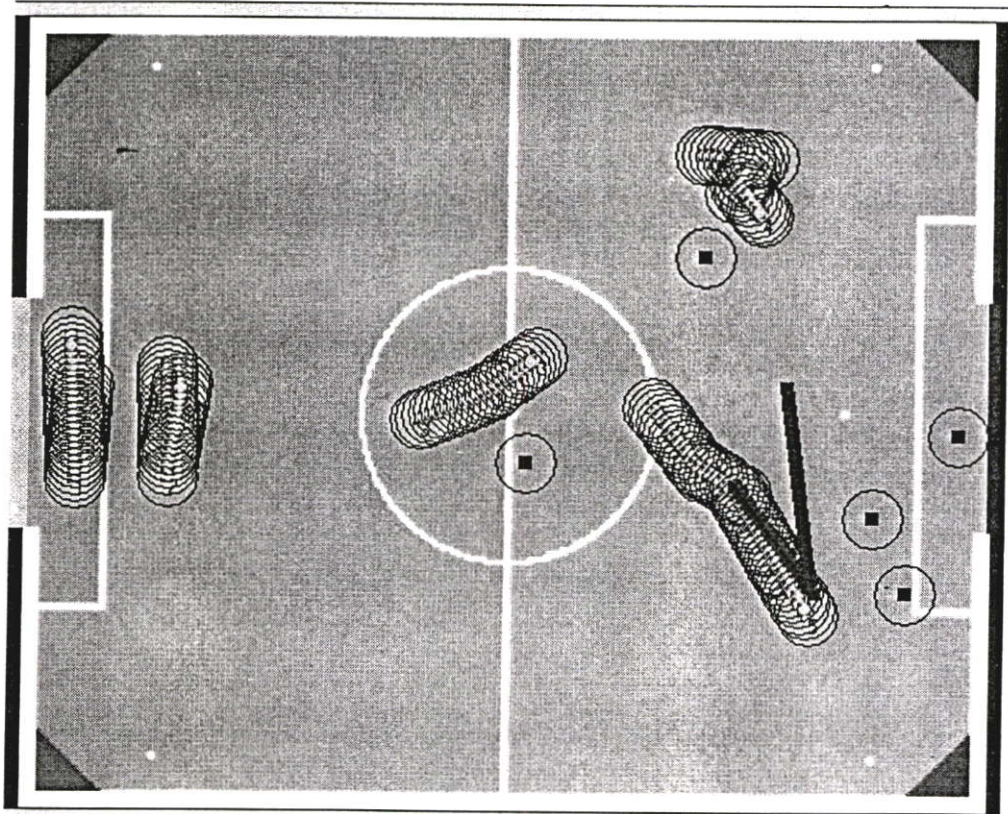
ในการจำลองแผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo_2 เป็นแผนการล่อหลอกที่จะปฏิบัติก็ต่อเมื่อโหมดการรุกแบบที่ 2 ไม่สามารถทำประตูฝ่ายตรงข้ามได้ และตำแหน่งของลูกบอลอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแผนการล่อหลอกแบบที่ 2 กำหนดค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.8 คือ

ตารางที่ 4.8 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.44 และ 4.45

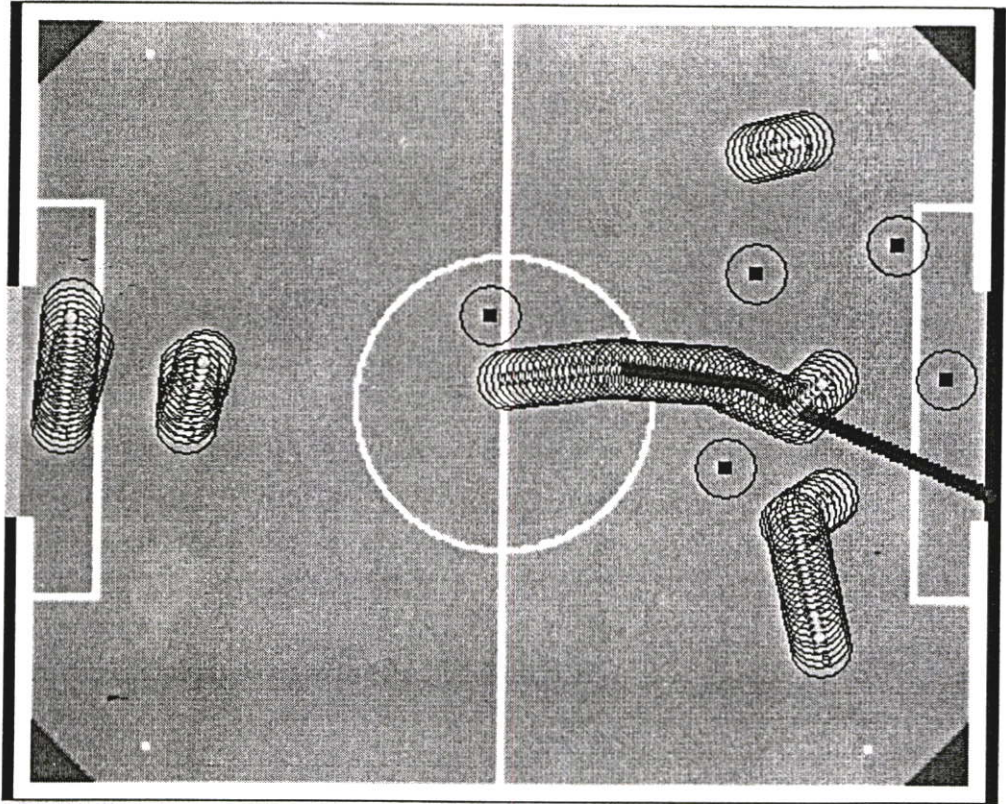
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	53	222
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	104	210
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	255	242
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	425	80
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	396	233
ตำแหน่งของลูกบอล	446	281

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (446, 281) ซึ่งยังคงอยู่ภายในพื้นที่โซน 6 ในขณะเดียวกันก็ผ่านโหมดการรุกแบบที่ 2 แต่ไม่สามารถเข้าทำประตูได้ เมื่อพิจารณาตามแผนภาพลือกการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกโหมดเป็นแผนการล่อหลอกแบบที่ 2 หรือ Fo_2 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 2 เป็นไปตามรูปที่ 4.44 และรูปที่ 4.45 โดยจะพบว่าเมื่อหุ่นยนต์ตัวที่ 5 เคลื่อนที่เข้าทำประตูแต่ไม่สามารถทำประตูได้ ระบบควบคุมแผนการเล่นก็จะตัดสินใจเลือกแผนล่อหลอกที่ 2 และส่งบอลกลับมาให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 เป็นตัวทำประตูจากตรงกลางประตู หรือในพื้นที่โซน 6 ในขณะที่หุ่นยนต์ตัวที่ 4 เคลื่อนที่ล่อหลอกไปที่โซน 3 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.46 ถึง 4.50

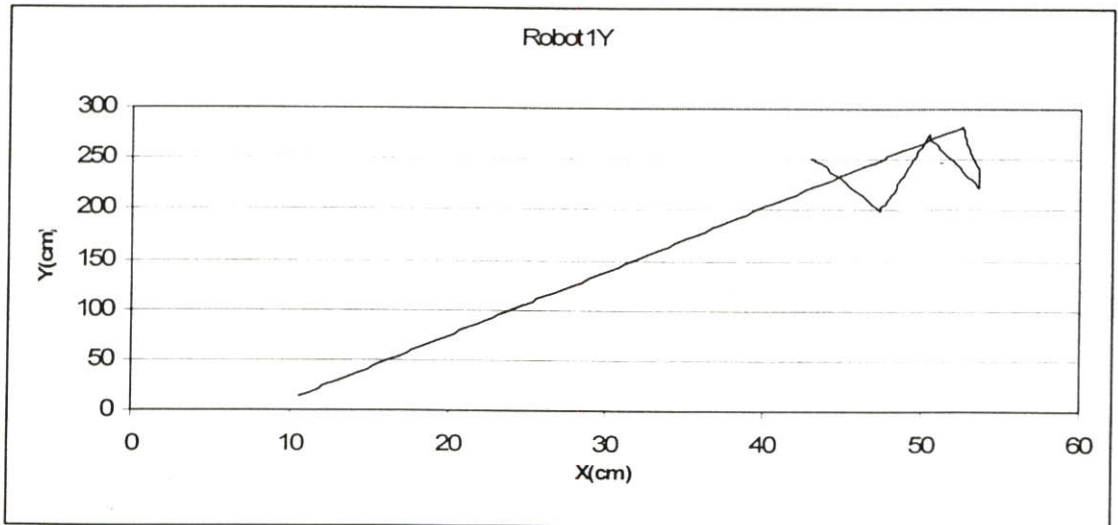
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยิงเข้าประตูใช้เวลา 15 วินาที



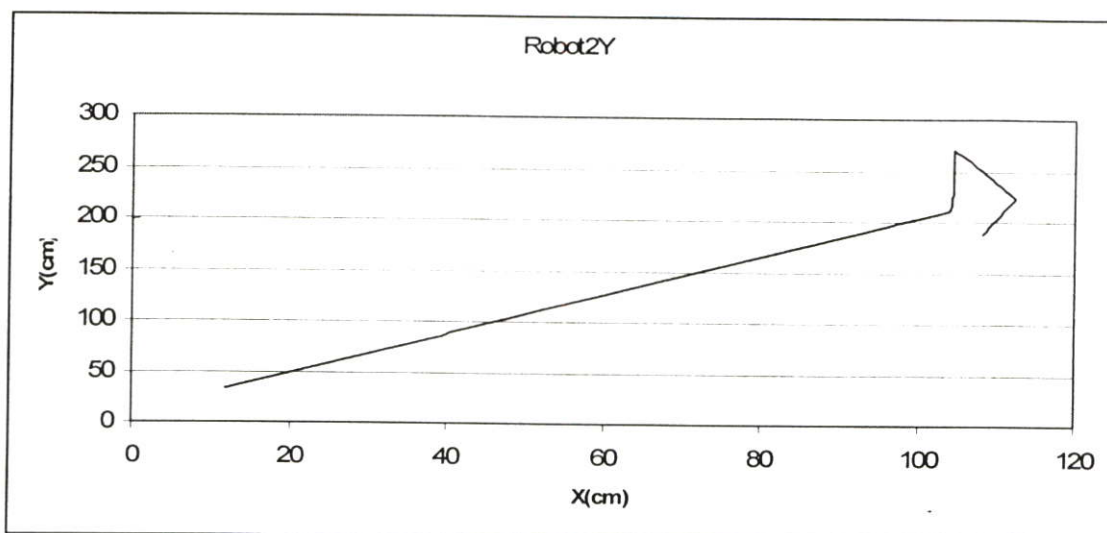
รูปที่ 4.45 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะพาลูกบอลเคลื่อนที่ตามแผนล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo_2



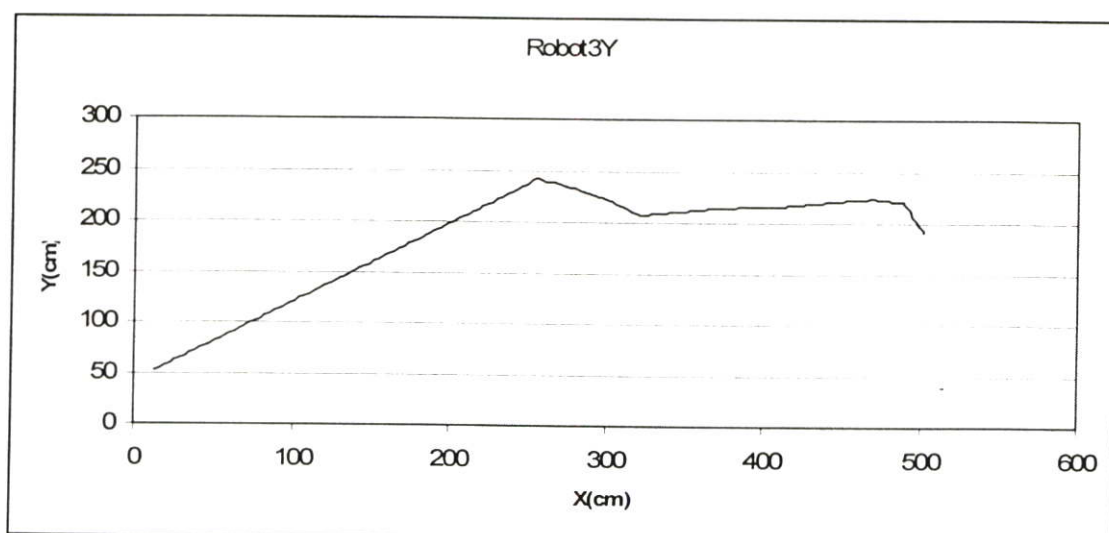
รูปที่ 4.46 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะส่งบอลให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 สอดขึ้นมาทำประตูตามแผน



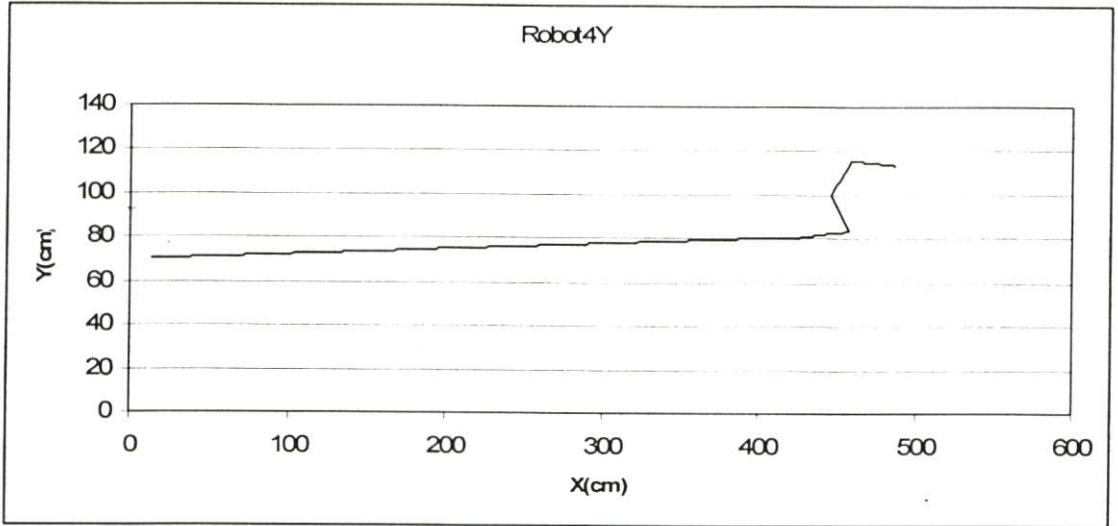
รูปที่ 4.47 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo₂



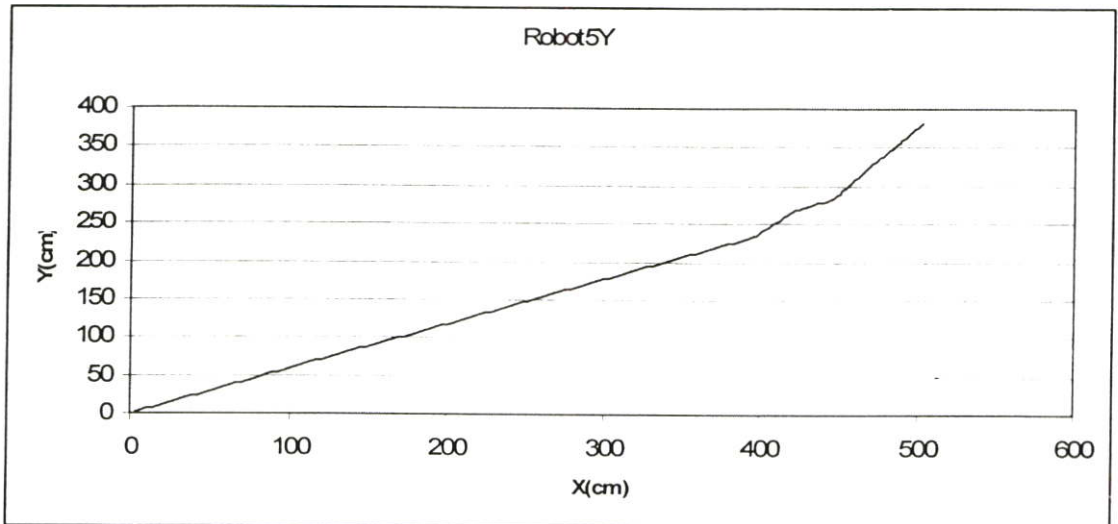
รูปที่ 4.48 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo₂



รูปที่ 4.49 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo₂



รูปที่ 4.50 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo₂



รูปที่ 4.51 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการล่อหลอกที่ 2 หรือ Fo₂

4.3.3 การจำลองแผนการล่อหลอกที่ 3

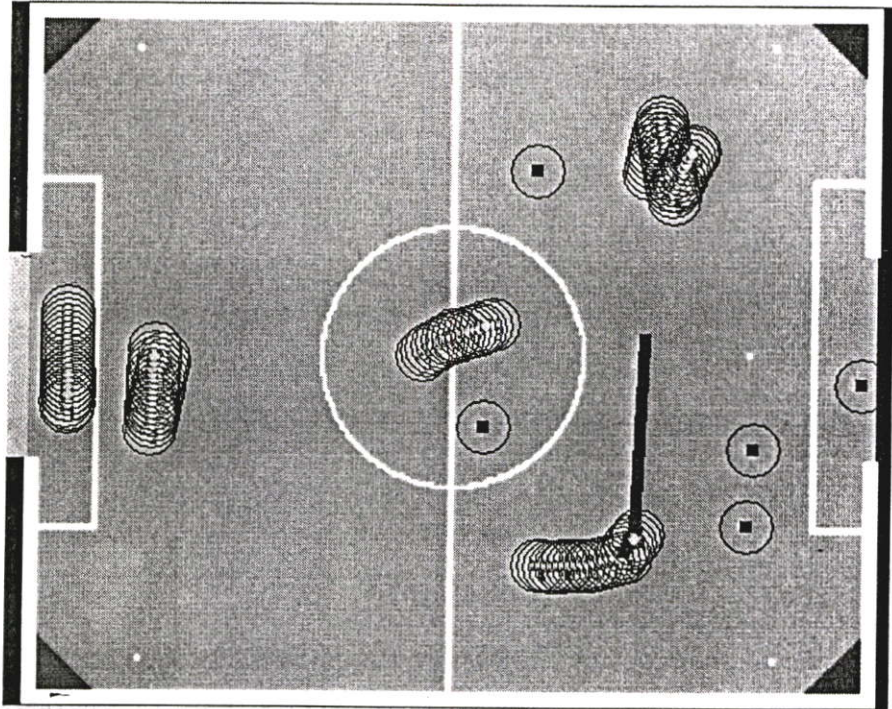
ในการจำลองแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo_3 เป็นแผนการล่อหลอกที่จะปฏิบัติต่อเมื่อโหมดการรุกแบบที่ 3 ไม่สามารถทำประตูฝ่ายตรงข้ามได้ และตำแหน่งของลูกบอลอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแผนการล่อหลอกแบบที่ 2 กำหนดค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์ และลูกบอล ตามตารางที่ 4.8 คือ

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่งหุ่นยนต์และลูกบอลในการทดลองการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.51 และ 4.52

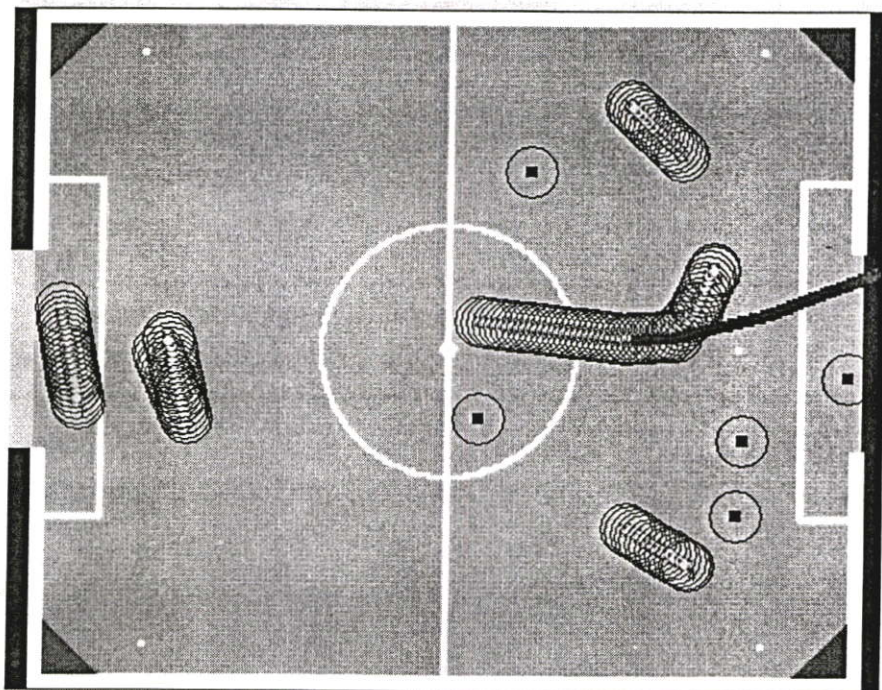
ตำแหน่งของ	ระนาบแกน x (cm.)	ระนาบแกน y (cm.)
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 (Y1)	47	275
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 (Y2)	113	242
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 (Y3)	288	237
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 (Y4)	369	382
ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 (Y5)	441	112
ตำแหน่งของลูกบอล	428	73

จากตำแหน่งของลูกบอลที่อยู่ ณ พิกัด (428, 73) ซึ่งยังคงอยู่ในพื้นที่โซน 9 ในขณะเดียวกันก็ผ่านโหมดการรุกแบบที่ 3 แต่ไม่สามารถเข้าทำประตูได้ เมื่อพิจารณาตามแผนภาพลือการตัดสินใจในรูปที่ 3.4 จะทำให้โปรแกรมควบคุมการตัดสินใจทำการเลือกโหมดเป็นแผนการล่อหลอกแบบที่ 1 หรือ Fo_3 และผลที่ได้จากการจำลองแผนการล่อหลอกแบบที่ 1 เป็นไปตามรูปที่ 4.51 และรูปที่ 4.52 โดยจะพบว่าเมื่อหุ่นยนต์ตัวที่ 4 เคลื่อนที่เข้าทำประตูแต่ไม่สามารถทำประตูได้ ระบบควบคุมแผนการเล่นก็จะตัดสินใจเลือกแผนล่อหลอกที่ 3 และส่งบอลกลับมาให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 เป็นตัวทำประตูจากตรงกลางประตู หรือในพื้นที่โซน 6 ในขณะที่หุ่นยนต์ตัวที่ 5 เคลื่อนที่ล่อหลอกไปที่โซน 3 และกราฟแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ถึง 5 เป็นไปตามรูปที่ 4.53 ถึง 4.57

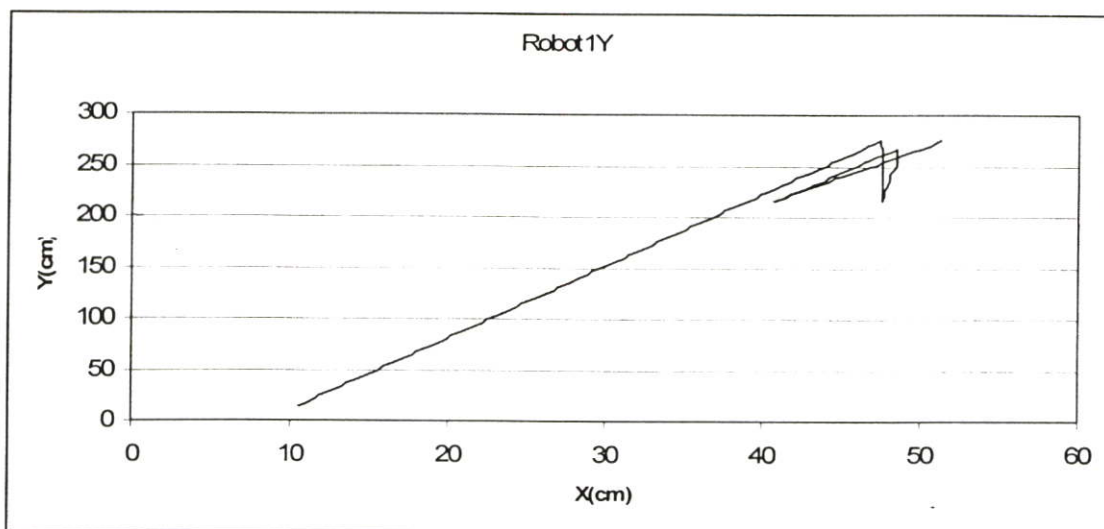
หมายเหตุ การจำลองผลในรูปดังกล่าวใช้เวลาเริ่มต้นจนถึงยิงเข้าประตูใช้เวลา 17 วินาที



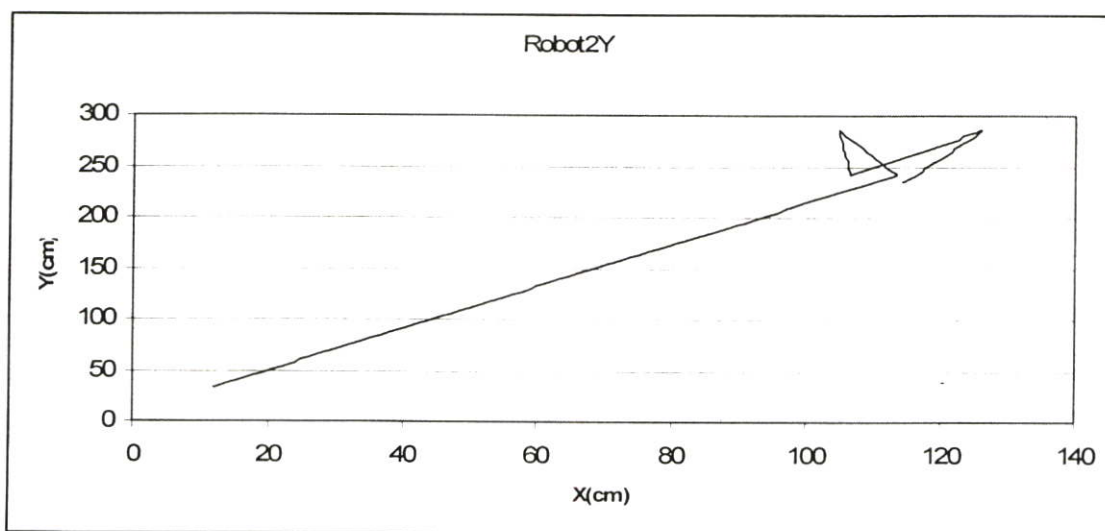
รูปที่ 4.52 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะพาลบอลเคลื่อนที่ตามแผนล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo₃



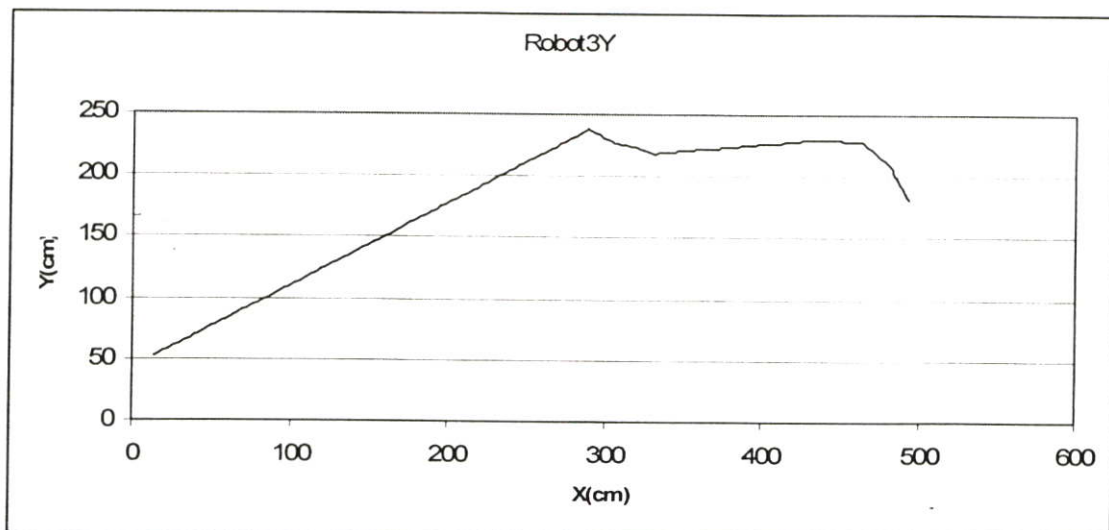
รูปที่ 4.53 การจำลองหุ่นยนต์เตะฟุตบอลขณะส่งบอลให้หุ่นยนต์ตัวที่ 3 สอดขึ้นมาทำประตูตามแผน



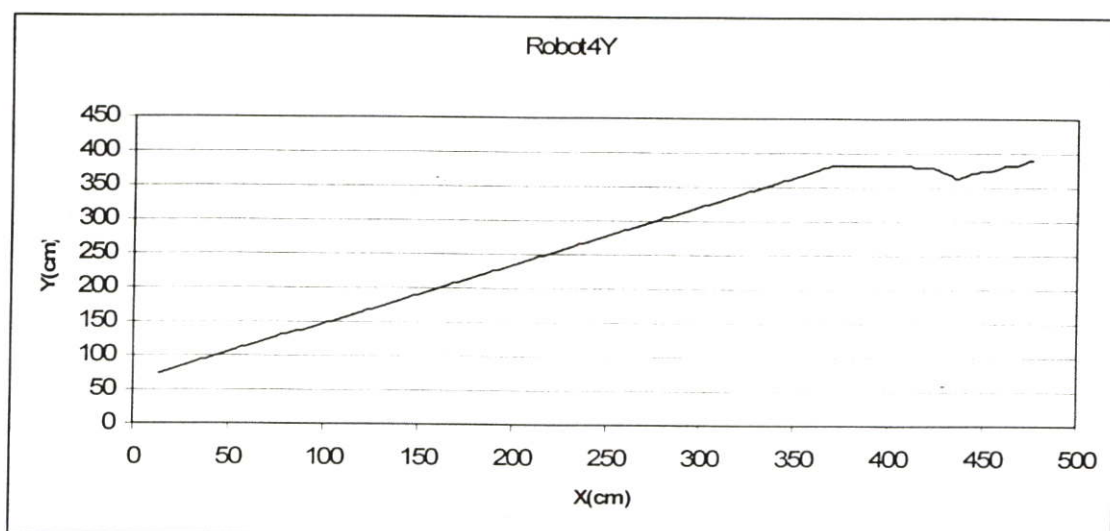
รูปที่ 4.54 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 1 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo_3



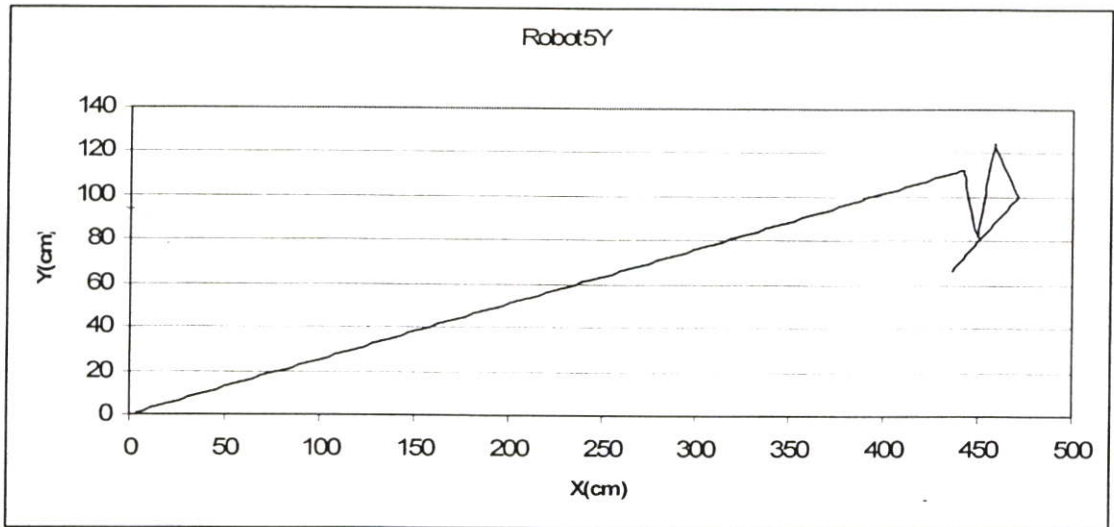
รูปที่ 4.55 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 2 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo_3



รูปที่ 4.56 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 3 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo₃



รูปที่ 4.57 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 4 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo₃



รูปที่ 4.58 กราฟการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตัวที่ 5 ในแผนการล่อหลอกที่ 3 หรือ Fo₃

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมด จะเห็นว่าสามารถควบคุมโหมดแผนการเล่น และพาลูกบอลเข้าไปรุกทำประตูได้ ขณะเดียวกันก็ควบคุมการป้องกันประตู และแบ่งพื้นที่ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ประกบ ตัวหุ่นยนต์ฝั่งตรงข้ามได้

สำหรับบทต่อไปจะเป็นการสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ จึงนำเสนอวิธีการควบคุมหุ่นยนต์เตะฟุตบอลแบบมัลติโหมด (Multi-Mode Control for Soccer Robots) ซึ่งได้รวมเอาวิธีการเคลื่อนที่ การทำประตู การป้องกัน และการล่อหลอกหลายวิธีเข้ามามีใช้รวมกัน โดยมีส่วนควบคุมการตัดสินใจส่วนกลางทำหน้าที่ตัดสินใจเลือกแผนการดำเนินการ เพื่อให้เหมาะสมในสถานการณ์นั้น ๆ โดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือที่แยกแยะรับมือกับสถานการณ์นั้นๆ ให้ครอบคลุมทุกกรณีหลัก

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบโหมดการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นในบทที่ 3 เมื่อทำการจำลองการทำงานดังกล่าวในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการทดลองได้ตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

5.1.1 การตัดสินใจเลือกแผนการเล่น

การออกแบบการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้พิกัดตำแหน่งของลูกบอลเป็นหลักกล่าวคือ ถ้าลูกบอลอยู่ในพื้นที่ฝ่ายตรงข้ามและมีทิศทางเป็นบวกระบบการตัดสินใจจะตัดสินใจเลือกเล่นแผนการรุก และถ้าอยู่ในพื้นที่แดนรับก็จะเลือกเป็นแผนตั้งรับสำหรับการตัดสินใจว่าจะเลือกเป็นแผนรุก แผนรับ และแผนล่อหลอก แบบใดนั้นดูจากโซนที่ลูกบอลอยู่อีก ครั้ง

จากการทดลองทั้งหมดในบทที่ 4 จะพบว่าไม่ว่าลูกบอลจะอยู่ที่พิกัดใดๆ บนสนามก็จะสามารถเลือกแผนการเล่นที่สอดคล้องกันสถานการณ์ในขณะนั้นได้

5.1.2 แผนการรุกทำประตู

ในการกำหนดแผนการรุกเข้าทำประตู หลักที่นิยมใช้กำหนดแผนการรุกในการแข่งขันฟุตบอลจริง คือ การแบ่งพื้นที่รุกเข้าทำประตู และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็อาศัยหลักการดังกล่าวมาใช้โดยการแบ่งแผนการรุก ออกเป็นสามแบบตามพื้นที่เข้าทำประตู คือ การรุกเข้าทำประตูแบบที่ 1 การรุกเข้าทำประตูแบบที่ 2 และการรุกเข้าทำประตูแบบที่ 3 และทำการจำลองแผนการรุกในหัวข้อที่ 4.1 และ

ใช้เทคนิคการยิง โดยอาศัยรังสีเวกเตอร์ที่ลากจากบอลไปสู่ที่ว่างในประตูฝ่ายตรงข้าม โดยอาศัยกฎการเลือกเวกเตอร์รังสีที่ครองพื้นที่ว่างที่สุด

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า แผนการรุกเข้าทำประตูแบบต่างๆ สามารถทำประตูจาก โชน 3 โชน 6 และ โชน 9 ได้ แต่อาจมีบางกรณี ถ้าหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามสามารถปิดมุมยิงประตูได้อันเป็นสาเหตุของความจำเป็นที่ต้องกำหนดแผนล่อหลอกเพื่อช่วยในการสร้าง โอกาสเข้าทำประตู โดยจะกล่าวถึงต่อไป

5.1.3 แผนการรับ

จากการที่เมื่อถูกฝ่ายตรงข้ามรุกทำประตูจากพื้น โหมคการตัดสินใจจะทำการเลือกให้หุ่นยนต์อยู่ในโหมคแผนการตั้งรับ ซึ่งขึ้นอยู่กับฝ่ายตรงข้ามว่าจะรุกรมาจากโชนไหน และจากการออกแบบที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดทำให้หุ่นยนต์สามารถเลือกแผนรับที่เหมาะสม โดยหุ่นยนต์ตัวที่ 1 และ 2 คอยป้องกันประตู หุ่นยนต์ตัวที่ 3 ตัวที่ 4 และ ตัวที่ 5 เคลื่อนที่ไปตามแผนรับต่างๆ ดังผลการทดลองที่ 4.2 โอกาสที่ฝ่ายตรงข้ามจะทำประตูได้จะมีน้อยลง

5.1.4 แผนการล่อหลอก

จากการดำเนินแผนการรุกถ้าหุ่นยนต์ไม่มีโอกาสยิงลูกบอลเข้าทำประตูเนื่องจากถูกปิดมุมยิงระบบการตัดสินใจจะเลือกแผนการล่อหลอกที่สอดคล้องกับแผนรุก คือแผนล่อหลอกแบบที่ 1 เมื่อไม่สามารถทำประตูจากแผนรุกที่ 1 แผนล่อหลอกแบบที่ 2 เมื่อไม่สามารถทำประตูจากแผนรุกที่ 2 และ แผนล่อหลอกแบบที่ 3 เมื่อไม่สามารถทำประตูจากแผนรุกที่ 3

แผนล่อหลอกทั้งหมดเป็นการเคลื่อนที่หลอกแล้วส่งบอลกลับมาให้หุ่นยนต์ในแถวสองเข้าทำประตู และดังผลการทดลองที่ 4.3 สรุปได้ว่าสามารถเข้าทำประตูจากแผนล่อหลอกที่ออกแบบไว้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ถ้าต้องการสร้างแผนการเล่นที่หลากหลายรูปแบบมากกว่าที่ได้กำหนดไว้จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ของสนามมากกว่าที่ได้กำหนดในวิทยานิพนธ์นี้ แล้วกำหนดอัลกอริทึมการตัดสินใจใหม่ให้ละเอียดขึ้น โดยอาศัยแนวทางที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
- ควรมีการกำหนดวิธีการรุกในแต่ละแบบเพิ่มขึ้น เพื่อความหลากหลายของแผนการเล่น เช่น อาจจะมีการต่อบอลเพื่อหลบหลีกหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามก่อนเข้าทำประตู เป็นต้น

- ถ้าสามารถออกแบบระบบควบคุมที่คาดเดาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามได้ ก็จะเพิ่มประสิทธิภาพได้ดียิ่งขึ้น โดยใช้ตัวกรอง Kalman (Kalman Filter) ซึ่งเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่น่าศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.royin.co.th/>
- [2] <http://www.robocup.org/>
- [3] <http://robocup.mae.cornell.edu/>
- [4] <http://www.fifa.com/>
- [5] <http://www.fira.net/>
- [6] <http://www.robocup2006.org/>
- [7] <http://www.robocup1997.org/>
- [8] Messom, C., "Genetic Algorithms for Auto-tuning Mobile Robot Motion Control" **Res. Lett. Inf. Math. Sci.**, 2002, pp. 129-134.
- [9] Marques, C. F., and Lima, P. U., "Vision-based self - localization for soccer robots, Intelligent Robots and Systems," **Proceedings 2000 IEEE/RSJ International Conference**, vol. 2, 2000, pp. 1193 -1198.
- [10] Brian C., Matt G., Mike D., Jae L., Robert L., and Paolo G., "Mechanical Design and Modeling of an Omni-directional RoboCup Player," **Proceedings RoboCup 2001 International Symposium Ohio University**, 2001.
- [11] Jung M.-J., Kim H.-S., Shim H.-S. and Kim J.-H. "Fuzzy rule extraction for shooting action controller of soccer robot" **Fuzzy Systems International Conference Proceedings**, vol. 1, 1999, pp. 556-561.
- [12] ก้องเกียรติ เอนกพงศ์พันธ์, 2548. "การสร้างระบบหลบหลีกสิ่งกีดขวางและติดตามเป้าหมายสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- [13] Wong, C. C., Chou, M. F., Hwang, C. P., Tsai C. H., and Shyu, S. R., "A method for obstacle avoidance and shooting action of the robot soccer," **Robotics and Automation 2001. Proceedings 2001 ICRA IEEE International Conference**, vol. 4, 2001, pp. 3778 – 3782.
- [14] Kim, J. H., Shim, H. S., Kim, H. S., Jung, M. J., Choi, I. H., and Kim, J. O., "A cooperative multi-agent system and its real time application to robot soccer," **Robotics and**

- Automation 1997. Proceedings 1997 IEEE International Conference**, vol. 1, 1997, pp. 638 -643.
- [15] Wook, M., and Kopacek, H., "Neural networks for the control of soccer robots, *Industrial Electronics*," **ISIE 2000 Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium**, vol. 2, 2000 , pp. 571 -575.
- [16] Tang, P., Zhang, Q., and Yang, Y. M., "Studying on path planning and dynamic obstacle avoiding of soccer robot," **Intelligent Control and Automation, 2000 Proceedings of the 3rd World Congress**, vol. 2 , 2000, pp. 1244 -1247.
- [17] Qingchun, M., Xiaodong, Z., Changjin, Z., Jianshe, X., Yulin, W., Tao, W., and Bo, Y., "Game strategy based on fuzzy logic for soccer robots, *Systems, Man, and Cybernetics*," **2000 IEEE International Conference**, vol. 5, 2000, pp. 3758 -3763.
- [18] Shim, H., Sung, Y., Kim S., and Kim, J., "Design of action level in a hybrid control structure for vision based soccer robot system," **Intelligent Robots and Systems 1999 IROS '99 Proceedings 1999 IEEE/RSJ International Conference**, vol. 3, 1999, pp 1406 -1411.
- [19] Staugaard, A. C., "Robotics and AI: an introduction to applied machine intelligence," **Prentice Hall**, 1987.
- [20] Phillip C. Y., and Sheu, Q. X., "Intelligent robotic planning systems," **Singapore World Scientific**, 1993.
- [21] Dean A. P., "Neural network perception for mobile robot guidance" **Boston Kluwer Academic**, 1993.
- [22] Vijitanasarn, A., Purahong, B., Sooraksa, P., and Chen, G., "Fuzzy control for soccer robots," **2002 FIRA Robot World Congress**, Seoul Korea, 2002, pp. 255-257.
- [23] อภิวิชญ์ แก้วนพรัตน์, 2547. "ปัญหาการติดตามเป้าหมายและการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมแบบฟัซซีอย่างง่าย, "วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [24] จตุรวิทย์ จันทร์พูนุลย์, 2548. "การมองแบบเวลาจริงสำหรับหุ่นยนต์เตะฟุตบอล, "วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- [25] Hibino, S., Kodama Y., and Nagasaka, Y., "Fast Image Processing and Flexible Path Generation System for RoboCup Small Size League" **RoboCup 2002 Book**, pp 53-64.

- [26] Russell, K., "Wireless Communications for the Robot Soccer," Department of Information Technology and Electrical Engineering, University of Queensland, 2001.
- [27] Asensio, J. R., and Montano, L., "A kinematic and dynamic model-based motion controller for mobile robots," **IFAC 15th Triennial World Congress**, Barcelona, Spain, 2002.
- [28] Lance, W., Craig, W., Justin, Y., Jae, L., Robert L. W., and Paolo, G., "Design and Modeling of a Redundant Omni-directional RoboCup Goalie," **Proceedings RoboCup 2001**, 2001.
- [29] Klir, G.J., "Fuzzy Set and Fuzzy Logic: Theory and Application," Prentice Hall, 1995.
- [30] Hsu, Y.C., and Chen. G., "Fuzzy dynamical modeling and control techniques for nonlinear processes with applications to multi-input systems," In *Fuzzy Theory: Systems Technology and Applications*, Academic Press, vol.1, 1999, pp. 47-86.
- [31] Allen, H., Elliot, C., Gregory, P., Wajih, E., Shantini, S., Aaron, N., Emmy, L., Carlo, S., Tolu, O., and Shing, Y., "Robocup 2003 A System Engineering Project" Cornell University, 2003.
- [32] <http://www.radiometrix.com/>

ภาคผนวก ก

พื้นฐานของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นแนวทางคณิตศาสตร์ที่คิดขึ้นโดย ศาสตราจารย์ L.A. Zadeh ในปี 1965 แนวคิดนี้ช่วยปรับปรุงและขยายผลทางทฤษฎีเซตดั้งเดิม ในภาคผนวกนี้จะทบทวนความคิดพื้นฐานของทฤษฎีเซตคลุมเครือเพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ ในแต่ละขั้นตอนในการสร้างตัวควบคุมตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ โดยตรรกศาสตร์คลุมเครือ [1, 29, 30] เป็นตรรกศาสตร์ที่ให้ความจริงในช่วง $[0, 1]$ ซึ่งต่างจากตรรกศาสตร์แบบดั้งเดิมที่มีค่าความจริงเพียงสองค่า คือ ถูกหรือผิด ใช่หรือไม่ใช่ และ ได้หรือไม่ได้ เป็นต้น

ในการคำนวณแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ มีวิธีที่ใช้กันอยู่มาก ขึ้นอยู่กับนิยามการสร้างระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ เช่น จะอ้างการคำนวณโดยอาศัยบรรทัดฐานสามเหลี่ยม (T-norms) และบรรทัดฐานร่วม (S-norms) ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในการสร้างตรรกศาสตร์คลุมเครือแอนด์ (and) และ ออ (or) เป็นต้น ในบางครั้งผู้ออกแบบระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ อาจจะสับสนในทางเลือกการออกแบบที่มีมาก ตามที่ทฤษฎีเซตคลุมเครือที่ได้นิยามไว้ ดังนั้นการเปรียบเทียบขั้นมูลฐานและนิยามอ้างอิงที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ก.1 นิยามของเซตคลุมเครือ

กำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ แสดงไว้ด้วย $\{u\}$ ซึ่งเป็นเซตต่อเนื่อง U เรียกว่าเอกภพสากล และ u แสดงถึงส่วนทั่วไปของ U เซต F ในเอกภพสากล U อธิบายลักษณะได้ด้วยฟังก์ชันการเป็นสมาชิก μ_F ซึ่งมีค่าในช่วง $[0, 1]$ เซตคลุมเครืออาจถูกมองเป็นหลักทั่วไปของแนวคิดเซตธรรมดาที่ค่าการเป็นสมาชิกมีเพียงสองค่าคือ $\{0, 1\}$ ดังนั้น เซตคลุมเครือ F ใน U อาจจะเป็นเซตคู่ลำดับของส่วนทั่วไป U และชั้นของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเซตคลุมเครือ F สามารถเขียนได้ดังนี้

$$F = \{(U, \mu_F(U)) \mid U \in U\}$$

$$F = \int_U \mu_F(U) / U \quad (ก.1)$$

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_F(U_i) / U_i$$

ก.2 การปฏิบัติการทางทฤษฎีเซตคลุมเครือ

การปฏิบัติการทางเซตคลุมเครือที่เหมือนกันสามารถประยุกต์ไปสู่เซตคริสป์ ซึ่งเป็นเซตของเซตคลุมเครือ ให้ A และ B เป็นเซตคลุมเครือ สองตัวใน U ที่มีฟังก์ชัน μ_A และ μ_B ตามลำดับ การปฏิบัติการทางทฤษฎีเซตของยูเนียน (Union) อินเตอร์เซกชัน (Intersection) คอมพลิเมนต์ (Complement) โดยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจะกำหนดความสัมพันธ์ตัวอื่นๆของเซตคลุมเครือ ยูเนียน (Union): ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_{A \cup B}$ ของยูเนียน $A \cup B$ ไปตามจุดที่กำหนดไว้ทุกๆ $u \in U$ โดยที่

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (\text{ก.2})$$

อินเตอร์เซกชัน : ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_{A \cap B}$ ของอินเตอร์เซกชัน $A \cap B$ ไปตามจุดที่กำหนดไว้ทุกๆ $u \in U$ โดยที่

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (\text{ก.3})$$

คอมพลิเมนต์: ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของคอมพลิเมนต์ของเซตคลุมเครือ A ไปตามจุดที่กำหนดไว้ทุกๆ $u \in U$ โดยที่

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (\text{ก.4})$$

ผลคูณคาร์ทีเซียน (Cartesian Product) : ถ้า A_1, \dots, A_n เป็นเซตคลุมเครือใน U_1, \dots, U_n ตามลำดับ ผลคูณคาร์ทีเซียน A_1, \dots, A_n คือเซตคลุมเครือในช่องว่างผลคูณ $U_1 \times \dots \times U_n$ กับฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$$\mu_{A_1, \dots, A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min\{\mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n)\}$$

หรือ

(ก.5)

$$\mu_{A_1, \dots, A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \mu_{A_1}(u_1) \cdot \mu_{A_2}(u_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}(u_n)$$

ฟัซซีรีเรชัน (Fuzzy Relation): ความสัมพันธ์คลุมเครือ n-ray เป็นเซตคลุมเครือใน $U_1 \times \dots \times U_n$ และแสดงได้ว่า

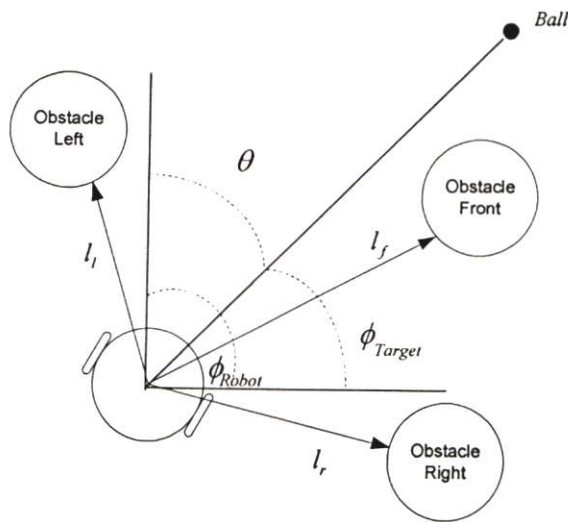
$$R_{U_1, \dots, U_n} = \{(u_1, \dots, u_n), \mu_R(u_1, \dots, u_n) \mid (u_1, \dots, u_n) \in U_1 \times \dots \times U_n\} \quad (\text{ก.6})$$

ภาคผนวก ข

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เข้าหาลูกบอล

สำหรับภาคผนวกนี้จะเป็นหลักการประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ของ อภิวิทย์ และ ก้องเกียรติ [12, 23] มาปรับใช้กับวิทยานิพนธ์มีรายละเอียดดังนี้

ก่อนทำการออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะต้องทำการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เมื่อหุ่นยนต์อยู่ในสนาม ในขณะที่มีสิ่งกีดขวางหรือหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้ามอยู่ใกล้เคียงกับจุดหมายหรือลูกบอล โดยกำหนดให้ θ คือ ทิศทางของเป้าหมาย ϕ_{Robot} คือ มุมของหุ่นยนต์ ϕ_{Target} คือ มุมของเป้าหมาย l_l คือ ระยะระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางซ้าย l_r คือ ระยะระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางขวา และ l_f คือ ระยะระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางด้านหน้า ดังรูปที่ 3.1

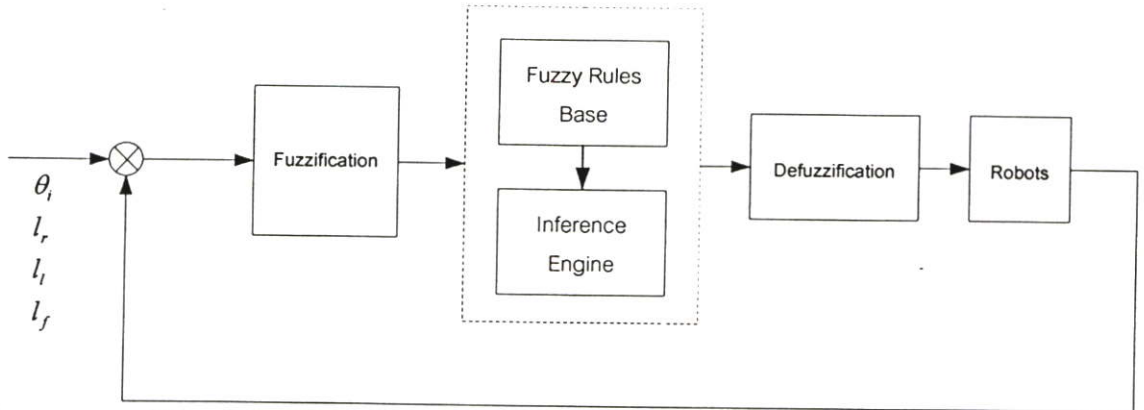


รูปที่ ข.1 ทิศทางการเคลื่อนที่และตัวแปรต่างๆ

สามารถเขียนสมการทิศทางของหุ่นยนต์ได้ตามสมการที่ ข.1 และ θ มีค่าเป็นบวกเมื่อลูกบอลทางด้านขวาของหุ่นยนต์ และมีค่าเป็นลบเมื่อลูกบอลทางด้านซ้ายของหุ่นยนต์

$$\theta = \phi_{Robot} - \phi_{Target} \quad (ข.1)$$

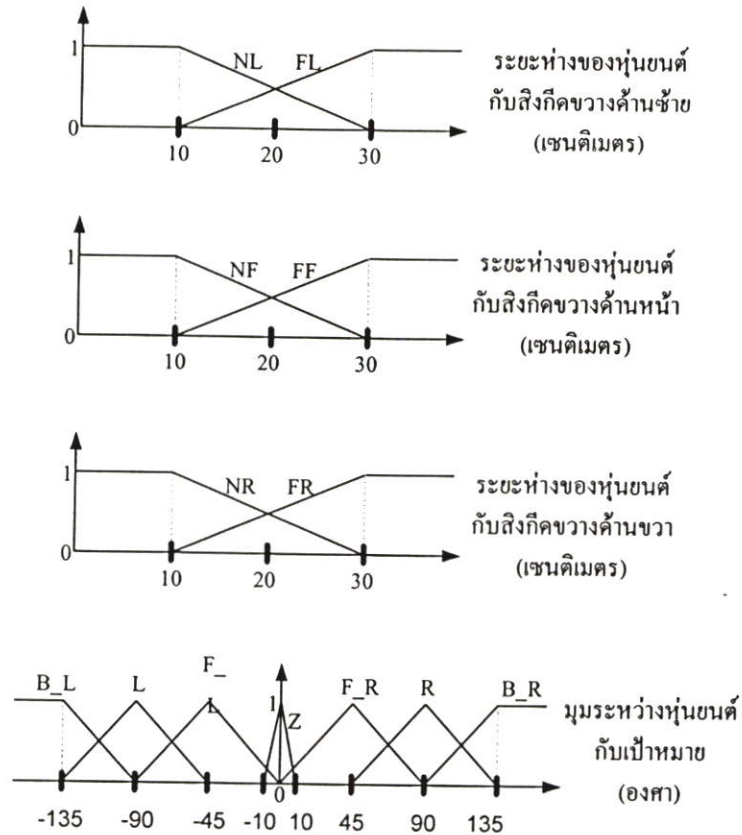
จากรูปที่ ข.1 และ สมการที่ ข.1 สามารถออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อวิ่งเข้าหาลูกบอลโดยใช้แนวคิดแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นพื้นฐาน ได้ดังรูปที่ ข.2 และจากบล็อกไดอะแกรมดังกล่าวจะแบ่งเป็น การฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) กฎการควบคุมฟัซซี (Fuzzy Rules Base) การวินิจฉัยกฎ (Inference Engine) และ การดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ ข.2 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมการเคลื่อนที่

ข.1 การฟัซซีฟิเคชัน

การฟัซซีฟิเคชัน เป็นขั้นตอนการแปลงค่าตัวแปรอินพุต (Input Variables) และค่าตัวแปรเอาต์พุต (Output Variables) ให้อยู่ในรูปค่าความเป็นสมาชิกในระบบฟัซซีโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Functions) และ ตัวแปรทางภาษา (Linguistic Variables) สำหรับตัวแปรอินพุตที่ใช้ในการฟัซซีฟิเคชันมีด้วยกัน 4 ตัว คือ θ l_l l_r และ l_f



รูปที่ ข.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต

โดยที่	NL: Near Left	คือ เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางซ้าย
	FL: Far Left	คือ ไกลจากสิ่งกีดขวางทางซ้าย
	NF: Near Front	คือ เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางหน้า
	FF: Far Front	คือ ไกลจากสิ่งกีดขวางทางหน้า
	NR: Near Right	คือ เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางขวา
	FR: Far Right	คือ ไกลจากสิ่งกีดขวางทางขวา
	B_L (Back Left):	คือ เป้าหมายอยู่ด้านหลังทางซ้าย
	L (Left):	คือ เป้าหมายอยู่ด้านซ้าย
	F_L (Front Left):	คือ เป้าหมายอยู่ด้านหน้าทางซ้าย
	Z (Zero):	คือ เป้าหมายอยู่ด้านหน้า
	F_R (Front Left):	คือ เป้าหมายอยู่ด้านหน้าทางขวา
	R (Right):	คือ เป้าหมายอยู่ด้านขวา
	B_R (Back Left):	คือ เป้าหมายอยู่ด้านหลังทางซ้าย ขวา

จากรูปที่ 3.3 สามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตของตัวแปร l_1 ตัวแปร และ l_f ตัวแปร l_r ได้ดังสมการที่ ข.2 สมการที่ ข.3 สมการที่ ข.4 ตามลำดับ

$$\mu_{NL}(l_1) = \begin{cases} 1 & ; l_1 < 10 \\ \frac{30-l_1}{20} & ; 10 < l_1 < 30 \\ 0 & ; l_1 > 30 \end{cases} \quad (\text{ข.2})$$

$$\mu_{FL}(l_1) = \begin{cases} 0 & ; l_1 < 10 \\ \frac{l_1-10}{20} & ; 10 < l_1 < 30 \\ 1 & ; l_1 > 30 \end{cases}$$

$$\mu_{NF}(l_f) = \begin{cases} 1 & ; l_f < 10 \\ \frac{30-l_f}{20} & ; 10 < l_f < 30 \\ 0 & ; l_f > 30 \end{cases} \quad (\text{ข.3})$$

$$\mu_{FF}(l_f) = \begin{cases} 0 & ; l_f < 10 \\ \frac{l_f-10}{20} & ; 10 < l_f < 30 \\ 1 & ; l_f > 30 \end{cases}$$

$$\mu_{NR}(l_r) = \begin{cases} 1 & ; l_r < 10 \\ \frac{30-l_r}{20} & ; 10 < l_r < 30 \\ 0 & ; l_r > 30 \end{cases} \quad (\text{ข.4})$$

$$\mu_{FR}(l_r) = \begin{cases} 0 & ; l_r < 10 \\ \frac{l_r-10}{20} & ; 10 < l_r < 30 \\ 1 & ; l_r > 30 \end{cases}$$

และเขียนสมการคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร θ ได้ดังสมการที่ ข.5 ก และ ข.5ข

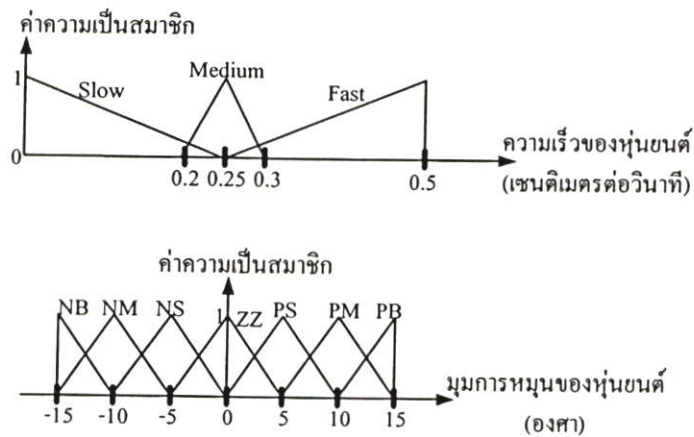
$$\begin{aligned}
\mu_{B_L}(\theta) &= \begin{cases} 1 & ; \theta \leq -3\pi/4 \\ \frac{-\pi/2 - \theta}{\pi/4} & ; -3\pi/4 < \theta < -\pi/2 \\ 0 & ; -\pi/2 \leq \theta \end{cases} \\
\mu_L(\theta) &= \begin{cases} \frac{\theta + 3\pi/4}{\pi/4} & ; -3\pi/4 < \theta \leq -\pi/2 \\ \frac{-\pi/4 - \theta}{\pi/4} & ; -\pi/2 < \theta < -\pi/4 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{F_L}(\theta) &= \begin{cases} \frac{\theta + \pi/2}{\pi/4} & ; -\pi/4 < \theta \leq -\pi/4 \\ \frac{-\theta}{\pi/4} & ; -\pi/4 < \theta < 0 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_z(\theta) &= \begin{cases} \frac{\theta - (-\pi/18)}{\pi/18} & ; -\pi/18 < \theta \leq 0 \\ \frac{\pi/18 - \theta}{\pi/18} & ; 0 < \theta < \pi/18 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{F_R}(\theta) &= \begin{cases} \frac{\theta}{\pi/4} & ; 0 < \theta \leq \pi/4 \\ \frac{\pi/2 - \theta}{\pi/4} & ; \pi/4 < \theta < \pi/2 \\ 0 & \end{cases}
\end{aligned} \tag{4.5n}$$

แสดงสมการที่ ข.5ข

$$\mu_R(\theta) = \begin{cases} \frac{\theta - \pi/4}{\pi/4} & ; \pi/4 < \theta \leq \pi/2 \\ \frac{3\pi/4 - \theta}{\pi/4} & ; \pi/2 < \theta < 3\pi/4 \\ 0 & \end{cases} \tag{ข.5ข}$$

$$\mu_{B_R}(\theta) = \begin{cases} 0 & ; \theta \leq \pi/2 \\ \frac{\theta - \pi/2}{\pi/4} & ; \pi/2 < \theta < 3\pi/4 \\ 1 & ; 3\pi/4 \leq \theta \end{cases}$$

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต ของระบบควบคุมฟัซซีแสดงดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต

- | | | |
|--------|------------------|---------------------------------------|
| โดยที่ | Slow | คือ กำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ช้า |
| | Medium | คือ กำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ปานกลาง |
| | Fast | คือ กำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เร็ว |
| | NB: Negative Big | คือ กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางซ้ายมาก |

NM: Negative Medium	คือ กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางซ้ายปานกลาง
NS: Negative Small	คือ กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางซ้ายเล็กน้อย
ZZ: Zero	คือ กำหนดให้หุ่นยนต์ตรงไปข้างหน้า
PS: Positive Small	คือ กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวาเล็กน้อย
PM: Positive Medium	คือ กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวาปานกลาง
PB: Positive Big	คือ กำหนดให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวามากๆ

จากรูปที่ 3.3 สามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตของตัวความเร็วของหุ่นยนต์ หรือ v_{Robot} ได้ดังสมการที่ 3.6

$$\begin{aligned}
 \mu_{Slow}(v_{Robot}) &= \begin{cases} 1 & ; v_{Robot} = 0 \\ \frac{0.25 - v_{Robot}}{0.25} & ; 0 < v_{Robot} < 0.25 \\ 0 & ; v_{Robot} \geq 0.25 \end{cases} \\
 \mu_{Medium}(v_{Robot}) &= \begin{cases} \frac{v_{Robot} - 0.2}{0.05} & ; 0.2 < v_{Robot} < 0.25 \\ \frac{0.3 - v_{Robot}}{0.05} & ; 0.25 < v_{Robot} < 0.35 \\ 0 & \end{cases} \quad (ข.6) \\
 \mu_{Fast}(v_{Robot}) &= \begin{cases} 0 & ; v_{Robot} \leq 0.25 \\ \frac{v_{Robot} - 0.25}{0.25} & ; 0.25 < v_{Robot} < 0.3 \\ 1 & ; v_{Robot} = 0.3 \end{cases}
 \end{aligned}$$

สามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตมุมการหมุนของหุ่นยนต์ หรือ ϕ_{Robot} ได้ดังสมการที่ ข.7

$$\begin{aligned}
\mu_{NB}(\phi_{\text{Robot}}) &= \begin{cases} 1 & ; \phi_{\text{Robot}} = -15 \\ -10 - \phi_{\text{Robot}}/5 & ; -15 < \phi_{\text{Robot}} < -10 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{NM}(\phi_{\text{Robot}}) &= \begin{cases} \phi_{\text{Robot}} + 15/5 & ; -15 < \phi_{\text{Robot}} \leq -10 \\ -5 - \phi_{\text{Robot}}/5 & ; -10 < \phi_{\text{Robot}} < -5 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{NS}(\phi_{\text{Robot}}) &= \begin{cases} \phi_{\text{Robot}} + 10/5 & ; -10 < \phi_{\text{Robot}} \leq -5 \\ -\phi_{\text{Robot}}/5 & ; -5 < \phi_{\text{Robot}} < 0 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{ZZ}(\phi_{\text{Robot}}) &= \begin{cases} \phi_{\text{Robot}} + 5/5 & ; -5 < \phi_{\text{Robot}} \leq -0 \\ 5 - \phi_{\text{Robot}}/5 & ; 0 < \phi_{\text{Robot}} < 5 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{PS}(\phi_{\text{Robot}}) &= \begin{cases} \phi_{\text{Robot}}/5 & ; 0 < \phi_{\text{Robot}} < 5 \\ 10 - \phi_{\text{Robot}}/5 & ; 5 < \phi_{\text{Robot}} < 10 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{PM}(\phi_{\text{Robot}}) &= \begin{cases} \phi_{\text{Robot}} - 5/5 & ; 5 < \phi_{\text{Robot}} < 10 \\ 15 - \phi_{\text{Robot}}/5 & ; 10 < \phi_{\text{Robot}} < 15 \\ 0 & \end{cases} \\
\mu_{PB}(\phi_{\text{Robot}}) &= \begin{cases} 1 & ; \phi_{\text{Robot}} = 15 \\ \phi_{\text{Robot}} - 10/5 & ; 10 < \phi_{\text{Robot}} < 15 \\ 0 & \end{cases}
\end{aligned} \tag{v.7}$$

ข.2 กฎการควบคุมฟิซซี

กฎการควบคุมแบบฟิซซีถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ If-Then Rules ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุตและเอาต์พุต จากการออกแบบที่ผ่านมาสามารถนำมาเขียนกฎการควบคุม ดังตารางกฎการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ตามตารางที่ ข.1 และสามารถเขียนในรูปแบบของ If-Then Rules ได้ดังนี้

กฎข้อที่ 8 If $l_f = NF$, $l_l = NL$, $l_r = FR$ and $\theta = B_L$ Then $\phi_{Robot} = PS$, $v_{Robot} = Medium$
 หรือ ถ้า ระยะห่างด้านหน้า เป็น NF และ ระยะห่างด้านซ้าย เป็น NL ระยะห่างด้านขวา เป็น FR และ ทิศทางของเป้าหมาย เป็น B_L แล้ว มุมการหมุน เป็น PS, ความเร็ว เป็น Medium

ตารางที่ ข.1 กฎการควบคุมการเคลื่อนที่หุ่นยนต์

การเคลื่อนที่เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง						
กฎข้อที่	ระยะห่างด้านหน้า	ระยะห่างด้านซ้าย	ระยะห่างด้านขวา	ทิศทางของเป้าหมาย	มุมการหมุน	ความเร็ว
1	NF	NL	NR	B_L	NB	Slow
2	NF	NL	NR	L	NB	Slow
3	NF	NL	NR	F_L	NB	Slow
4	NF	NL	NR	Z	NM	Slow
5	NF	NL	NR	F_R	PB	Slow
6	NF	NL	NR	R	PB	Slow
7	NF	NL	NR	B_R	PB	Slow
8	NF	NL	FR	B_L	PS	Medium
9	NF	NL	FR	L	PS	Medium
10	NF	NL	FR	F_L	PS	Medium
11	NF	NL	FR	Z	PS	Medium
12	NF	NL	FR	F_R	PS	Fast
13	NF	NL	FR	R	PM	Fast
14	NF	NL	FR	B_R	PB	Fast
15	NF	FL	NR	B_L	NB	Fast

ตารางที่ ข.1 กฎการควบคุมการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ (ต่อ)

การเคลื่อนที่เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง						
กฎข้อที่	ระยะห่าง ด้านหน้า	ระยะห่าง ด้านซ้าย	ระยะห่างด้านขวา	ทิศทางของเป้าหมาย	มุมการหมุน	ความเร็ว
16	NF	FL	NR	L	NM	Fast
17	NF	FL	NR	F_L	NS	Fast
18	NF	FL	NR	Z	NS	Medium
19	NF	FL	NR	F_R	NS	Medium
20	NF	FL	NR	R	NS	Medium
21	NF	FL	NR	B_R	NS	Medium
22	NF	FL	FR	B_L	NB	Fast
23	NF	FL	FR	L	NM	Fast
24	NF	FL	FR	F_L	PS	Slow
25	NF	FL	FR	Z	ZZ	Slow
26	NF	FL	FR	F_R	NS	Slow
27	NF	FL	FR	R	PM	Fast
28	NF	FL	FR	B_R	PB	Fast
29	FF	NL	NR	B_L	ZZ	Medium
30	FF	NL	NR	L	ZZ	Medium
31	FF	NL	NR	F_L	ZZ	Medium
32	FF	NL	NR	Z	ZZ	Fast
33	FF	NL	NR	F_R	ZZ	Medium
34	FF	NL	NR	R	ZZ	Medium
35	FF	NL	NR	B_R	ZZ	Medium
36	FF	NL	FR	B_L	ZZ	Fast
37	FF	NL	FR	L	ZZ	Fast
38	FF	NL	FR	F_L	ZZ	Fast
39	FF	NL	FR	Z	ZZ	Fast
40	FF	NL	FR	F_R	PS	Fast

ตารางที่ ข.1 กฎการควบคุมการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ (ต่อ)

การเคลื่อนที่เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง						
กฎข้อที่	ระยะห่าง ด้านหน้า	ระยะห่าง ด้านซ้าย	ระยะห่างด้านขวา	ทิศทางของเป้าหมาย	มุมการหมุน	ความเร็ว
41	FF	NL	FR	R	PS	Fast
42	FF	NL	FR	B_R	NS	Fast
43	FF	FL	NR	B_L	NS	Fast
44	FF	FL	NR	L	NS	Fast
45	FF	FL	NR	F_L	NS	Fast
46	FF	FL	NR	Z	ZZ	Fast
47	FF	FL	NR	F_R	ZZ	Fast
48	FF	FL	NR	R	ZZ	Fast
49	FF	FL	NR	B_R	ZZ	Fast
50	FF	FL	FR	B_L	NS	Fast
51	FF	FL	FR	L	NS	Fast
52	FF	FL	FR	F_L	NS	Fast
53	FF	FL	FR	Z	ZZ	Fast
54	FF	FL	FR	F_R	PS	Fast
55	FF	FL	FR	R	PS	Fast
56	FF	FL	FR	B_R	PS	Fast

ข.3 การวินิจฉัยกฎ

การวินิจฉัยกฎ คือ การนำค่าความเป็นสมาชิกที่ได้รับจากอินพุตเข้ามาไปประมวลผลตามกฎที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อหาเอาต์พุต นั่นคือ การใส่ ตัวแปร θ , I_1 , I_r และ I_f เพื่อหาค่า v_{Robot} และ ϕ_{Robot} นั้นเอง

ข.4 การดีฟัซซิฟิเคชัน

การดีฟัซซิฟิเคชัน คือการแปลงผลจากค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากขั้นตอนของการวินิจฉัยกฎการควบคุมให้อยู่ในรูปของค่าเอาต์พุต ซึ่งจะเป็นจำนวนจริงที่อยู่ในโดเมนของตัวแปรเอาต์พุต เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์

การดีฟัซซิฟิเคชัน ใช้วิธีการหาค่าศูนย์กลาง (Center Of Area: COA) คือ การประมาณค่าของตัวแปรเอาต์พุต โดยหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ และวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้มากในกระบวนการควบคุม เนื่องจากใช้ข้อมูลของค่าความเป็นสมาชิกของทุกกฎที่เป็นจริง ทำให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมกว่าวิธีอื่นๆ สามารถคำนวณความเร็วของหุ่นยนต์ จากการดีฟัซซิฟิเคชันได้จากสมการที่ ข.8

$$v_{Robot}^* = \frac{\sum_{j=1}^N \mu(v_j) \cdot v_j}{\sum_{j=1}^N \mu(v_j)} \quad (ข.8)$$

โดยที่	v_{Robot}^*	คือ ความเร็วของหุ่นยนต์จากการดีฟัซซิฟิเคชัน
	v_j	คือ ค่าเอาต์พุตของตัวแปรความเร็วของหุ่นยนต์ตัวที่ j
	$\mu(v_j)$	คือ ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร v_j ตัวที่ j
	N	คือ จำนวนข้อมูลที่สุ่มตัวอย่างทั้งหมด

และสามารถคำนวณมุมการหมุนของหุ่นยนต์ ได้จากการตีฟูซซิฟิเคชั่น ดังสมการที่ 3.9

$$\theta_{Robot}^* = \frac{\sum_{j=1}^N \mu(\theta_j) \cdot \theta_j}{\sum_{j=1}^N \mu(\theta_j)} \quad (ข.9)$$

โดยที่

θ_{Robot}^* คือ มุมการหมุนจากการตีฟูซซิฟิเคชั่น

θ_j คือ ค่าเอาต์พุตของตัวแปรมุมการหมุนตัวที่ j

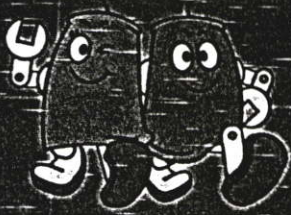
$\mu(\theta_j)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของ θ_j ตัวที่ j

N คือ จำนวนข้อมูลที่สุ่มตัวอย่างทั้งหมด

ภาคผนวก ข

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Vijitanasarn, A., Purahong, B., Sooraksa, P., and Chen, G., "Fuzzy control for soccer robots,"
2002 FIRA Robot World Congress, Seoul Korea, 2002, pp. 255-257.



Proceedings

2002

FIRA

Robot

World Congress

May 26-29, 2002 / COEX, Seoul, KOREA



ORGANIZED BY Korea Robot Soccer Association (KRSA)

SUPPORTED BY - Robotics Society of Japan (RSJ)

- Chinese Association of Artificial Intelligence (CAAI)
- Korean Society of Precision Engineering (KSPE)
- The Institute of Control, Automation and Systems Engineers (ICAS)
- Ministry of Science and Technology (MOST)
- Ministry of Commerce, Industry and Energy (MOCIE)
- Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF)
- Korea Science Foundation (KSF)
- Micro-Robot Design Education Center (MRDEC)
- Yujin Robotics Co., Ltd.
- Robotech Co., Ltd.
- Woori Technology Inc.
- Hanwool Robotics Co., Ltd.

Fuzzy Control for Soccer Robots

Alongkorn Vijitanasarn*, Boonchana Purahong*, Pitikhate Sooraksa*, Guanrong Chen**

* Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Ladkrabang, 10520 Thailand

(Tel : 66-0-2326-9084; Fax : 66-0-2326-9084 ; E-mail: kspitikh@kmitl.ac.th, ku_no9@yahoo.com)

** Department of Electronic Engineering, City University of Hong Kong

83 Tat Chee Avenue Kowloon, Hong Kong, P. R. China

(E-mail: gchen@ee.cityu.edu.hk)

Abstract: For a decade, many researchers around the world have implemented fuzzy logic and control to embed human decision making into soccer robot systems. However, the rule base constructed for each system depends upon the experience of the designers in soccer robot games. Sometimes the rules and robots' movement algorithms have not been updated after the designer changed the focus on the strategies for planning and communication issues rather than performing routine kinematics and dynamics on the robot platforms. This paper describes an off-line path planning in order to update the rule base so as to achieve optimal objectives of simultaneously using minimum time and traveling shortest path. This work focuses on real implementation of a fuzzy control scheme for path planning upon goal shooting. Experimental results have shown satisfactory design and implementation.

Keywords: Soccer Robots, Fuzzy Control, Path Planning

1. Introduction

The most important performance for each member in a soccer robot team is perhaps the ability in shooting the ball to make scores. This task may not be easy since another team may have a good defense plan. To achieve this ability, a tactic of collision avoidance together with a good plan for carrying a ball without losing it to the others is a prerequisite. Hence, a good strategy and plan need to be cooperated into a team functionality for each individual member of the team. Examples of research in this category may be found in [1,2, and 5].

This paper describes an implementation of an enhanced version of a fuzzy control algorithm to serve for the aforementioned objectives. This research is an extended version of [1]. In [1], a fuzzy control algorithm for collision avoidance is proposed along with its simulation to verify the effectiveness of the design. Unlike [1], however, two different points should be addressed: First, our modified version is using the generalized angles instead of specific angles to determine the path planning; second, a real implementation instead of computer simulation is completed.

The next section describes the hardware and software used in our robot soccer team. Section 3 describes our fuzzy control method employed in this implementation. Experiment is described in Section 4. Section 5 gives conclusions.

2. A Robot Soccer System

Similar to [3,4], our soccer robot team has wireless communication using IR-LED instead of RF communication. This is because the implementation is focused on low-cost in

the implementation. It is witness by our experience in sourcing parts and components by both system that the IR-LED is a bit ten times cheaper than the RF counter parts. With economic reasoning and avoiding redundancy, we install only an IR transmitter at 2.5 meters above the soccer field at right angle to the field plane. The same location is used to install a camera. For receiving the IR signals, each robot has an IR receiver on the top of it. Hardware description can be found in Subsection 2.1. Subsection 2.2 briefly describes software feature of our robotic control system.

2.1. Hardware Description

Listed below are major hardware components assembled to be a soccer player robot:

Body and Receiver:

- 1 MCS-51 Microcontroller
- 2 motors with a 200:1 motor gear block
- 7.2 V 120 mA and 4.8 V 600 mA Batteries
- L293D Motor Drive

Transmitter and Vision System:

- IR LED with 600 b/s Data Rate
- 4mm Camera

Processing Unit and Data Storage:

- 900 MHz AMD Processor
- 256 MB RAM
- 10 GB HD with 7200 rpm
- NVIDIA 16 MB VGA Card
- 40x CD-ROM
- Monitor with resolution of 1024x768.

For more detail about the hardware description, the reader is referred to [6]. A player of the soccer robot team implemented in this research is shown in Fig. 1.

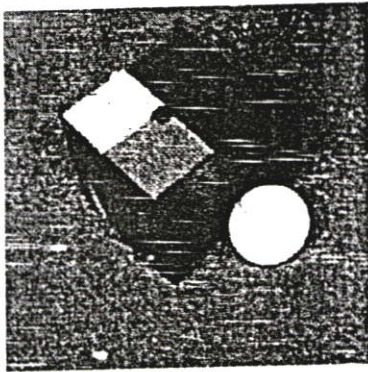


Fig. 1. A player of the soccer robot team.

2.2 Software Description

As an initial step of the implementation of the authors, the current state of software design process is on version 1.0. The software for driving the robots, planning for the path, etc., is written in Visual Basic V. 6.0. Fuzzy control algorithm is embedded as a path planing into this software. Like [3], a special feature of our software is that the program can control robot motion in the manual mode. Console panel and its features of the software is illustrated in Fig. 2.

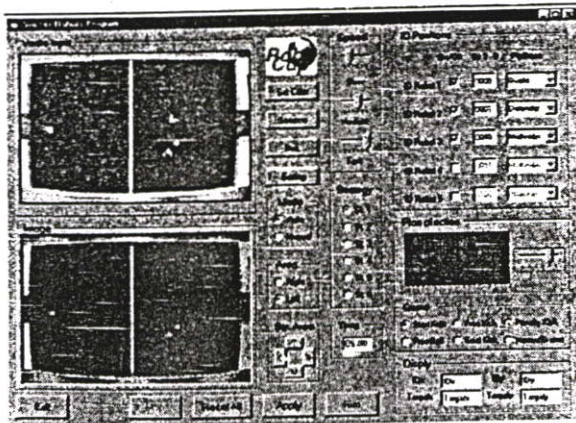


Fig. 2. Software for controlling the system.

3. Fuzzy Control for Soccer Robots

Strategic planning for collision avoidance for shooting method is implemented as suggested in [1]. Unlike [1], our design provides a generalized set of rules for choosing action according to robots' position and orientation including obstacles. We will see later in the next section in the experiment when a robot is facing two situations, which are one-on-one obstacle (see Fig. 3) or two-by-one obstacle situation (see Fig. 4). Input parameters to determine the

optimal path are distance between the robot and the obstacles, the angle among relative angles of the robot and obstacles, and relative velocity of them. Intuitively, the basic rules for the minimum time and the shortest path to get the ball, as can be seen in Fig. 3, is to move in a straight line direction toward the ball. No matter the position and orientation is, the rules for the robot can be summarized as follows:

- Rule 1; IF β is PL, Then α is L2
- Rule 2; IF β is PS, Then α is L1
- Rule 3; IF β is Z, Then α is 0
- Rule 4; IF β is NS, Then α is -L1
- Rule 5; IF β is NL, Then α is -L2

where L1 and L2 are parameters to be designed by the designer, PS, PL, Z, NS, and NL stand for positive large, positive small, zero, negative small, and negative large, respectively. One has free choices to choose for the membership functions as desired and can calibrate the shape of the membership functions to meet criteria. Note also that α is tangential velocity of the robot for rotation motion and β is an angle for translation of the robot in forwarding direction.

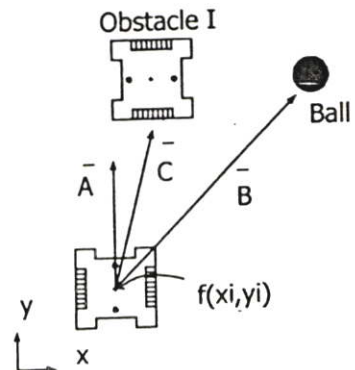


Fig. 3 A one-on-one obstacle situation.

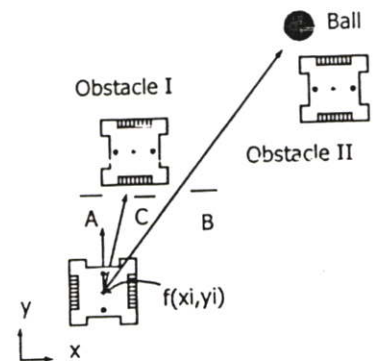


Fig. 4. A two-by-one obstacle situation.

4. Experimental Results

Experiment set up is shown in Fig. 5. Figs. 6, 7 and 8 show successful results of the implementation for the cases corresponding to no obstacle and for those in Figs. 3 and 4. In the experiment, we choose $L1 = \pm 25$, $L2 = \pm 50$. We use $\alpha = 10$ cm/s and $\beta = 25$ degrees for case 2 and use $\alpha = 10$ cm/s and $\beta = 30$ degrees, respectively.

According to the Figs. below, the satisfactory results are achieved as shown by the Figs that the robot can shoot the ball effectively under the suggestion control law for obstacle avoidance. Result in Fig. 5 is, no surprisingly, similar to [1,2] because the approach to push the ball into a goal has not much combination. Results in Figs. 6 and 7 show promising implementation in the real competition.

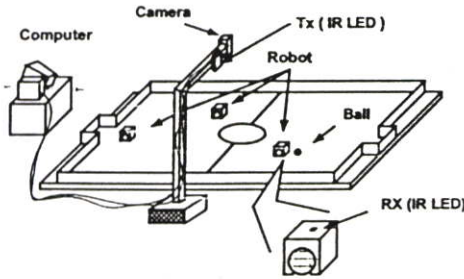
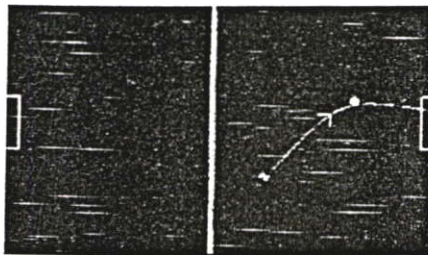
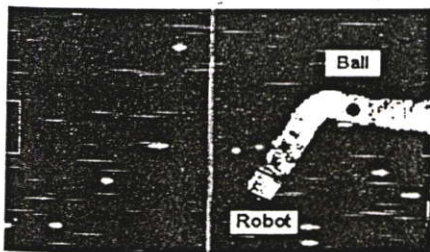


Fig. 5 Experimental set up.

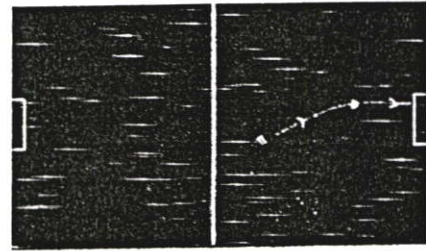


(a) Suggested path planing.

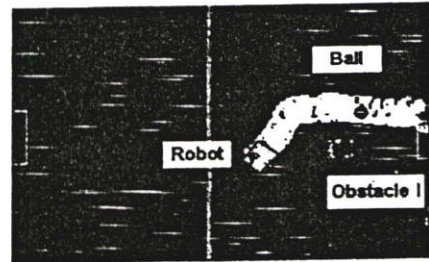


(b) Actual path in the experiment.

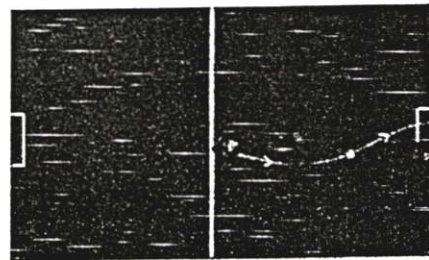
Fig. 6. Case of no obstacle.



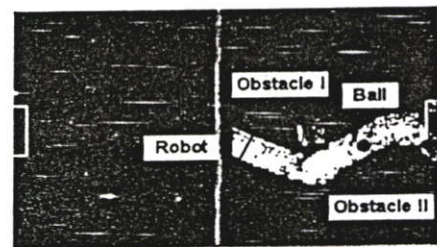
(a) Suggested path planing.



(b) Actual path in the experiment.
Fig. 7. Case of one-on-one obstacle situation.



(a) Suggested path planing.



(b) Actual path in the experiment.
Fig. 8. Case of Two-by-one of obstacle situation.

5. Conclusions

In this paper, a fuzzy logic control algorithm is implemented for soccer robots shooting via a collision-avoidance scheme. Three cases are conducted in the experiment: no obstacle, one-on-one obstacle, and two-by-one obstacle sit. Experimental results show the effectiveness of the control mechanism.

However, the design for choosing the control parameters is based on intuition of the designer rather than a systematic method. It should be more effective to have an advanced design method such as the genetic algorithm that can be cooperated to tune the control rules to suit the shortest distance and minimum time criteria. This will be the next research topic for further study.

Reference

- [1] C. C. Wong, M. F. Chou, C. P. Hwang, C. H. Tsai and S. R. Shyu, "A method for obstacle avoidance and shooting action of the robot soccer," *Robotics and Automation 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference*, vol. 4, pp. 3778-3782, 2001
- [2] M. J. Jung, H. S. Kim, H. S. Shim H.-S and J. H. Kim, "Fuzzy rule extraction for shooting action controller of soccer robot," *Fuzzy Systems Conference Proceedings, 1999. FUZZ - IEEE '99. 1999 IEEE International conference*, vol. 1, pp. 556-561, 1999
- [3] D. S. Kwon, J. H. Oh, Y. K. Kwak, J. J. Lee, J. H. Hwang, H. R. Kim, J. W. Lee, S. K. Hong and S. G. Hong, "A novel interactive robot soccer system," *Advanced Intelligent Mechatronics, 2001. Proceedings of 2001 IEEE/ASME International Conference*, vol. 2, pp. 1082-1086, 2001
- [4] C. F. Marques and P. U. Lima, "Vision-based self-localization for soccer robots," *Intelligent Robots and Systems 2000. (IROS 2000). Proceedings. 2000 IEEE/RSJ International Conference*, vol. 2, pp. 1193-1198, 2000
- [5] J. H. Kim, H. S. Shim, H. S. Kim, M. J. Jung, I. H. Choi and J. O. Kim, "A cooperative multi-agent system and its real time application to robot soccer," *Robotics and Automation 1997. Proceedings 1997 IEEE International Conference*, vol. 1, pp. 638-643, 1997.
- [6] J. Janpaiboon, B. Purahong, P. Sooraksa, and G. Chen, "A low-cost soccer robots for education," 2002 FIRA Robot World Congress, 2002

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นายอลงกรณ์ วิจิตรธนสาร
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2520 ที่ กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	41/52 หมู่ 3 หมู่บ้านขวัญนคร ถนนบางกรวย-ไทรน้อย ตำบลบางกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000
ประวัติการศึกษา	2540 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จาก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ 2543 อดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) หุ่นยนต์ 2.) ระบบควบคุมและประมวลผลข้อมูล (SCADA System) 3.) โปรแกรม SINAUT Spectrum สำหรับระบบขนส่ง
ประสบการณ์	
พ.ศ.2544-2546	- ผู้ช่วยสอนในวิชา คณิตศาสตร์วิศวกรรม 1 และ 2 ณ ที่ พระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง - ทำงานวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์แบบต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์แมลง หุ่นยนต์เตะ ฟุตบอล และเข้าร่วมการแข่งขัน Robocup ประจำปีประเทศไทย - เข้าร่วมการสัมมนาเรื่องหุ่นยนต์เตะฟุตบอล ของสมาพันธ์ FIRA ณ กรุง โซ ประเทศเกาหลีใต้
พ.ศ.2547	- อบรมและฝึกงานเรื่องการพัฒนาโปรแกรม SINAUT Spectrum ที่บริษัท ซีเมน เอจี (Siemens AG) ณ เมือง Nuremberg ประเทศเยอรมัน - อบรมเรื่องการดูแลและซ่อมบำรุง โปรแกรม SINAUT Spectrum ที่ บริษัท ซีเมน (ประเทศไทย) จำกัด
ปัจจุบัน	- วิศวกรโครงการ ประจำปีแผนก สกาดา (SCADA) กลุ่มระบบขนส่ง (Transportation System) บริษัท ซีเมน (ประเทศไทย) จำกัด - ติดตั้งอุปกรณ์ประจำสถานีรถไฟฟ้และศูนย์ซ่อมบำรุง (Depot) - ติดตั้งโครงข่ายคอมพิวเตอร์ (SUN) และ โปรแกรม SINAUT Spectrum สำหรับควบคุมในระบบควบคุมและประมวลผลข้อมูล - ทดสอบระบบจ่ายไฟฟ้า ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบบริหารอาคารสถานี ระบบระบายอากาศภายในสถานี และอุโมงค์ใต้ดิน