หุ่นยนต์เลียนแบบพฤติกรรมนำทางของมด

GUIDING PATH BEHAVIORS FOR ARTIFICIAL ANT ROBOTS

บุญย์ชนะ ภู่รหงษ์
BOONCHANA PURAHONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2654 7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์เลียนแบบพฤติกรรมนำทางของมด

GUIDING PATH BEHAVIORS FOR ARTIFICIAL ANT ROBOTS

บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์

BOONCHANA PURAHONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 63646
วัน,เดือน,ปี 30 ส.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2654-7

GUIDING PATH BEHAVIORS FOR ARTIFICIAL ANT ROBOTS

BOONCHANA PURAHONG

A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION TECHNOLOGY ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2654-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	หุ่นยนต์เลียนแบบพฤติกรรมนำทางของมด
นักศึกษา	นายบุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์
รหัสประจำตัว	44061828
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ปิติเขต สู้รักษา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการสร้างหุ่นเคลื่อนที่ขนาดเล็กแบบไร้สาย ควบคุมโดยใช้วิธีการควบคุมแบบอาศัยฐานความรู้ ร่วมกับเทคนิคการประมวลผลจากคอมพิวเตอร์ เพื่อเลียนแบบและจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของมด เช่น การหาตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการเคลื่อนย้ายจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง เปรียบเสมือนการที่หุ่นยนต์มดนำสิ่งของกลับรัง โดยจำลองและทดลองในบริเวณพื้นที่ที่จำกัดของมดตัวเดียวหรือกลุ่มมดด้วยเทคนิคการประยุกต์การหาเส้นทางการเดินที่สั้นที่สุดระหว่างรังและอาหาร ผลการทดลองให้ผลสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

Thesis Title	Guiding Path Behaviors for Artificial Ant Robots
Student	Mr. Boonchana Purahong
Student ID.	44061828
Degree	Master of Engineering
Program	Information Technology Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Pitikhate Sooraksa

ABSTRACT

This thesis presents a study of small mobile robots controlled via wireless communication. The technique used here is knowledge – based control imitating ant's behaviors for delivering objects to the specific location or the assigned terminal. The behaviors include emulating motion of an ant and also group behaviors. The shortest path algorithm is applied for motion of ant robots commuting between the nest and the food sources. The experiment agrees with the computer simulation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้รับความเมตตาจาก รศ. ดร. ปิติเขต สู้รักษา ที่กรุณาให้คำชี้แนะและเป็นที่ปรึกษาแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมกันนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาตลอด

และท้ายสุดคือ กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นรักยิ่ง ที่คอยอบรมเลี้ยงดูตั้งแต่เล็กจนสำเร็จในสิ่งที่มุ่งหวังไว้ ฉะนั้นคุณงามความดีใด ๆ ก็ตามที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ทุก ๆ ท่านที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

1.5 สมมุติฐานการศึกษา.....3

1.6 ขั้นตอนการทำวิจัย.....3

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ทฤษฎีพฤติกรรมของมด.....4

2.2 ทฤษฎีแบบจำลองแสงและสี 5

2.2.1 แบบจำลองแสงสีแบบ RGB (RGB Color Model).....5

2.2.2 แบบจำลองแสงสีแบบ CMY (CMY color model).....7

2.2.3 แบบจำลองแสงสีแบบ CMYK (CMYK Color Model).....7

2.2.4 แบบจำลองแสงสีแบบ YIQ (YIQ Color Model).....8

2.2.5 แบบจำลองแสงสีแบบ CIB Lab (CIE lab Color Model).....9

2.3. การค้นหาเส้นทาง (Path finding).....9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานและหุ่นยนต์.....11

3.1 ระบบควบคุมหุ่นยนต์.....11

3.2 รูปแบบการทำงานของหุ่นยนต์.....14

3.2.1 การใช้หุ่นยนต์เพียงตัวเดียวเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย.....14

3.2.2 การใช้หุ่นยนต์ 3 ตัว เคลื่อนที่แบบเดินตามกันระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย.....16

3.2.3 การเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ 3 ตัวระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย.....18

3.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานและหุ่นยนต์.....19

3.3.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์.....20

3.3.2 การหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มด... 22

บทที่ 4 การทดสอบการปฏิบัติงานและผลการทดสอบ.....25

4.1 รูปแบบพื้นที่ทดสอบการทำงาน.....25

4.2 การทดสอบการปฏิบัติงาน.....26

4.2.1 การใช้หุ่นยนต์เพียงตัวเดียวเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย.....26

4.2.2 การใช้หุ่นยนต์ 3 ตัว เคลื่อนที่แบบเดินตามกันระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย.....34

4.2.3 การใช้กลุ่มหุ่นยนต์ 3 ตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย.....39

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....42

5.1 สรุปผลการทดลอง.....42

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงาน.....42

เอกสารอ้างอิง.....44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก.....46

ภาคผนวก ข.....60

ภาคผนวก ค.....68

ภาคผนวก ง.....90

ภาคผนวก จ.....184

ประวัติผู้เขียน.....189

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 วิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มมด....5
2.2 ค่าที่แถบสเปกตรัมของแม่สีทางแสงแบบ RGB....6
2.3 เวกเตอร์แบบจำลองแสงสีของ RGB....6
2.4 เวกเตอร์แบบจำลองแสงสีของ CMY....7
2.5 รูปแบบการผสมสีจากแบบจำลองสี RGB เป็นแบบจำลองสี CMYK....8
3.1 โครงสร้างของระบบควบคุม....11
3.2 ระบบจำลองการทำงาน....12
3.3 แบบจำลองพื้นที่ปฏิบัติงาน....13
3.4 การค้นหาเป้าหมายของหุ่นยนต์และเส้นทางที่เหมาะสม....14
3.5 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น....15
3.6 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้น....15
3.7 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้นอีก....15
3.8 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมายที่ต้องการที่ปรับแต่งเส้นทางสมบูรณ์แล้ว....16
3.9 การหาเป้าหมายของกลุ่มหุ่นยนต์ และทิศทางของการเคลื่อนเพื่อเข้าสู่จุดท้ายสุดที่เหมาะสม....16
3.10 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น....17
3.11 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้น....17
3.12 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้นอีก....18
3.13 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมายที่ต้องการเมื่อปรับแต่งเส้นทางสมบูรณ์แล้ว....18
3.14 การเคลื่อนแบบระยะขจัดของหุ่นยนต์ทั้งสามตัวระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น....19
3.15 หุ่นยนต์ทั้งสามตัวเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานที่เป้าหมายที่ต้องการ....19
3.16 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมการประมวลผลภาพ....20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.17 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ....21
3.18 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบเดินตามอัตโนมัติ.....22
3.19 เรขาคณิตของแนวคิดเส้นทางการเดินของมด.....23
3.20 เรขาคณิตของแนวคิดเส้นทางการเดินตามกันของมด.....23
4.1 รูปแบบพื้นที่ทดลอง.....25
4.2 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมาย.....26
4.3 ผลการจำลองเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมาย.....27
4.4 ผลการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดแรกถึงเป้าหมาย.....27
4.5 เส้นการเดินของหุ่นยนต์มดเป็นเส้นตรง เอียง ประมาณ 45 องศา.....28
4.6 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดเดินเป็นเส้นตรงเอียง ประมาณ 45 องศา.....29
4.7 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดเดินเป็นเส้นตรงเอียง 45 องศา.....29
4.8 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก.....30
4.9 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก.....31
4.10 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก.....32
4.11 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบมุมฉาก.....32
4.12 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดแบบมุมฉาก.....33
4.13 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดแบบมุมฉาก.....33
4.14 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน.....35
4.15 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน.....35
4.16 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน.....36
4.17 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง.....37
4.18 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง.....37
4.19 ผลการปฏิบัติงานการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง.....38
4.20 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวแบบกระจาย.....39
4.21 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวแบบกระจาย.....39
4.22 ผลปฏิบัติงานการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวแบบกระจายเข้าหาเป้าหมาย.....40

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ธรรมชาตินั้นประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตมากมาย ซึ่งสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เหล่านั้น ได้มีวิวัฒนาการมาแล้วเป็นเวลาหลายร้อยล้านปี ทำให้มีลักษณะและพฤติกรรมการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นการปรับตัวให้สามารถรักษาชีวิตรอดและดำรงเผ่าพันธุ์สืบต่อไปได้

แนวความคิดในการศึกษาพฤติกรรมการดำเนินชีวิตของสัตว์ต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์สร้างและควบคุมหุ่นยนต์ ได้รับการพัฒนามาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว [1-6] แต่ยังคงมีแง่มุมอีกมากมายที่รอคอยการค้นพบ ข้อดีของการประยุกต์นำพฤติกรรมการดำเนินชีวิตของสัตว์ตามธรรมชาติมาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ก็คือ พฤติกรรมการดำเนินชีวิตของสัตว์ต่าง ๆ นั้นได้ถูกปรับแต่งมาเป็นอย่างดีแล้วตามธรรมชาติ หากนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ จะทำให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้หลากหลายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น งานบางประเภทนั้นถ้าให้มนุษย์เป็นผู้ปฏิบัติงานเองอาจไม่เหมาะสม หรือไม่สะดวกในการทำงาน ยกตัวอย่างเช่น การปฏิบัติงานในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตราย เช่นพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง หรือพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นช่องขนาดเล็ก พื้นที่แคบ ๆ เป็นต้น อีกทั้งในอดีตนั้นหุ่นยนต์มีหน้าที่เพียงแค่ทำงานในพื้นที่ที่กำหนดไว้ตายตัว หากพื้นที่ในการทำงานเปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดไว้เพียงเล็กน้อย หุ่นยนต์จะไม่สามารถปฏิบัติงานได้ เพราะหุ่นยนต์ไม่มีความสามารถในการตัดสินใจได้เอง ต้องอาศัยการควบคุมจากมนุษย์เพียงอย่างเดียว การนำพฤติกรรมของสัตว์มาจำลองในหุ่นยนต์จะทำให้หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้ดีขึ้น

ตัวอย่างของแนวคิดดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น มีดังต่อไปนี้

ปี ค.ศ.1999 FUKUDA, MIZOGUCHI, SEKIYAMA และ ARAI [1] ได้ออกแบบหุ่นขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่า Micro Autonomous Robotic System (MARS) ขึ้น หุ่นแต่ละตัวเป็นหุ่นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดประมาณสิบเซนติเมตร สามารถเลียนแบบพฤติกรรมรูปแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มสัตว์ได้ ในปีเดียวกันที่ออสเตรเลีย Russell [2] ศึกษาการเดินตามกันของมดที่ใช้ฟีโรโมนและออกแบบหุ่นยนต์หกขามีขนาดประมาณสามสิบเซนติเมตรให้เดินตามเส้นทางโดยพัฒนาเซนเซอร์รับกลิ่นเป็นตัวตรวจจับเส้นทาง

ปี ค.ศ.2001 Siegel [3] ศึกษาวิเคราะห์ตัวตรวจจับที่เหมาะกับหุ่นแต่ละแบบให้เหมาะสม

ปี ค.ศ. 2005 Schneider และ Rosa [4] ได้ศึกษาชีววิทยาเกี่ยวกับมดแล้วจำลองบนคอมพิวเตอร์ชีววิทยาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมของมด

จากงานดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นแรงจูงใจสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในการศึกษาและสร้างเลียนแบบพฤติกรรมนำทางของมด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อสร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ใช้พลังงานและต้นทุนต่ำ มีพฤติกรรมการทำงานเลียนแบบการทำงานของมดได้
2) เพื่อพัฒนากระบวนการของระบบการจัดการการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายของขบวนหุ่นยนต์ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น
3) เพื่อเป็นแนวทางให้นักวิจัย สามารถพัฒนาหุ่นยนต์ที่ฉลาดและมีความสามารถมากขึ้นได้ในอนาคต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการสร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่จำลองพฤติกรรมขั้นพื้นฐานของสัตว์ขึ้นมา โดยสัตว์ประเภทดังกล่าวคือมดงาน ซึ่งหุ่นยนต์ขนาดเล็กนี้ หุ่นยนต์แต่ละตัวสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ สามารถแยกกันทำงานเพียงตัวเดียวหรือทำงานร่วมกันได้ ซึ่งเปรียบเสมือนพฤติกรรมการดำรงชีวิตของมด ที่มดแต่ละตัวสามารถหาอาหารและนำกลับมายังรังได้ หากว่าอาหารชิ้นนั้นมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป แต่หากว่าอาหารชิ้นนั้นมีขนาดใหญ่มาก จำเป็นจะต้องให้มดงานหลาย ๆ ตัว เข้าช่วยกันเคลื่อนย้าย หรือร่วมกันป้องกันศัตรูที่เข้ามาทำอันตรายรัง โดยหุ่นยนต์ดังกล่าวออกแบบให้มีขนาดเล็ก (กว้างxยาวxสูง = 2x2x2 เซนติเมตร) เพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ใช้พลังงานและต้นทุนต่ำ สามารถปฏิบัติงานในพื้นที่เล็ก ๆ หรือแคบ ๆ เช่น ตามช่องลมในอาคาร หรือตามเศษซากปรักหักพังที่ยากแก่การเข้าถึงได้

ในระหว่างการทำงานหุ่นยนต์จะมีการค้นหาเส้นทางจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย โดยใช้เวลาน้อยกว่าตอนเริ่มต้น ซึ่งหมายความว่าเส้นทางดังกล่าวเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มไปยังเป้าหมาย เหมือนกับพฤติกรรมของมดตามธรรมชาติในการเข้าถึงแหล่งอาหาร

1.3 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

1) ทฤษฎีการดำรงชีวิตของมด
2) ทฤษฎีของแสงและสี
3) ทฤษฎีการค้นหาเส้นทาง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1) สร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สามารถเลียนแบบการทำงานของมดงานได้
2) หุ่นยนต์ตัวหลักสามารถเข้าถึงเป้าหมายได้
3) หุ่นยนต์ตัวอื่น ๆ สามารถติดตามหุ่นยนต์ตัวหลักเพื่อเข้าถึงเป้าหมายได้

1.5 สมมุติฐานการศึกษา

1) การออกแบบหุ่นยนต์โดยเลียนแบบพฤติกรรมของมดงาน ทำให้หุ่นยนต์มีความสามารถมากขึ้น และทำงานได้หลากหลายขึ้น
2) หุ่นยนต์สามารถแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้ดี สามารถเข้าถึงเป้าหมายได้รวดเร็วขึ้น
3) หุ่นยนต์มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปปฏิบัติงานตามช่องหรือรูเล็ก ๆ ได้ดี

1.6 ขั้นตอนการทำวิจัย

1) ค้นคว้าเอกสารและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่รวบรวมได้
3) ออกแบบหุ่นยนต์ และเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ
4) ทำการทดลองระบบที่ออกแบบ
5) ทดสอบและปรับปรุง
6) สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการทำงาน และโครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปวิเคราะห์ผลการทดลองและแนวทางในการวิจัยต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการหาเส้นทางการเดินของมดหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีพฤติกรรมของมด ใช้ในการออกแบบพฤติกรรมการทำงานของหุ่นยนต์ ทฤษฎีทางแสงและสี เพื่อใช้ในการตัดสินใจเคลื่อนที่ และทฤษฎีการเลือกเส้นทางเดิน เพื่อทำให้หุ่นยนต์สามารถเข้าสู่เป้าหมายได้โดยใช้เวลาไม่นานนัก

2.1 ทฤษฎีพฤติกรรมของมด

มดและแมลงต่าง ๆ เช่น ผึ้งหรือตัวต่อ เป็นสัตว์ที่มีพฤติกรรมการอยู่ร่วมกันเป็นสังคม มีการสื่อสารกัน ทำให้มีการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ [5-10]

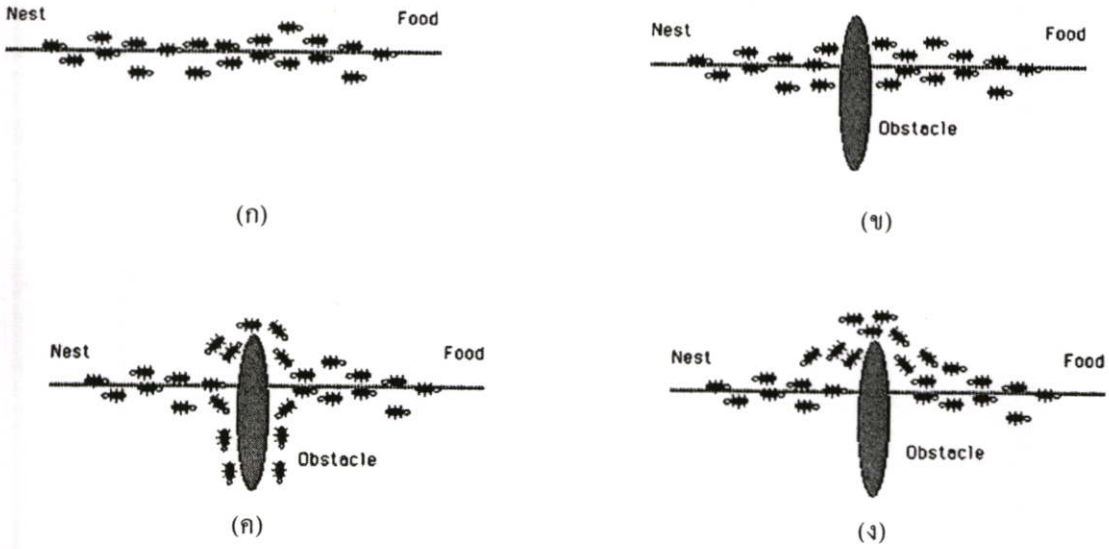
เมื่อมดต้องการหาอาหาร มดแต่ละตัวจะกระจายกันออกจากรังไปทุกทิศทุกทาง เมื่อมดตัวใดตัวหนึ่งค้นพบแหล่งอาหารและกลับมายังรังแล้ว สังเกตได้ว่ามดตัวอื่น ๆ มีการติดตามไปยังแหล่งอาหารดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว และระยะทางดังกล่าวมักเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดจากรัง เบื้องหลังการทำงานนี้อยู่ที่การสื่อสารกันอย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้เส้นทางกลิ่น คือในระหว่างที่มดเคลื่อนที่จะมีการปล่อยสารชนิดหนึ่งที่เรียกว่าฟีโรโมน (pheromone) ซึ่งสัตว์ต่าง ๆ มีการใช้สารฟีโรโมนนี้ในด้านที่แตกต่างกัน เช่น การสื่อสาร การบ่งบอกเขตแดน การหาคู่ และการบ่งบอกเส้นทางหาอาหาร แต่ฟีโรโมนนี้จะมีการจางหายได้ภายในเวลาไม่นานนัก

เมื่อมดตัวแรกที่ได้อาหารและกลับมาถึงรัง มันจะสร้างเส้นทางกลิ่นโดยฟีโรโมนไว้ระหว่างทางที่มันไปดังรูปที่ 2.1ก เป็นการดึงดูดให้มดตัวอื่นพากันเดินตามไปบนเส้นทางนี้ หากมีการนำสิ่งกีดขวางไปวางบนเส้นทางกลิ่นดังภาพที่ 2.1ข. มดจะพยายามเลี่ยงออกจากสิ่งกีดขวางดังภาพที่ 2.1ค. โดยพยายามค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้น เมื่อผ่านสิ่งกีดขวางแล้วจึงกลับเข้าสู่เส้นทางเดิมเพื่อเข้าสู่แหล่งอาหารต่อไปดังภาพที่ 2.1ง.

การที่มดตัวอื่นพากันเดินไปบนเส้นทางที่ฟีโรโมนมีความเข้มข้นสูง เป็นการเสริมความคงทนของเส้นทางไปในตัว

มดบางชนิด มีพฤติกรรมการร่วมกันทำงาน เช่น ถ้าหากมดตัวหนึ่งเดินทางไปพบอาหารแต่อาหารนั้นมีขนาดใหญ่มาก ไม่สามารถเคลื่อนย้ายด้วยตัวคนเดียวได้ มดจะมีการสื่อสารให้มดตัวอื่นมาช่วย ในระยะแรกอาจกินเวลานานหลายนาที โดยมดจะเปลี่ยนตำแหน่งและเคลื่อนย้ายตัวเองไปรอบเหยื่อ จนสามารถขนย้ายเหยื่อไปยังรังได้ ซึ่งงานวิจัยของ Kube และ Zhang แห่งมหาวิทยาลัย Alberta ได้นำพฤติกรรมเหล่านี้ไปใช้กับหุ่นยนต์เช่นกัน

จากพฤติกรรมต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเอาข้อดีของพฤติกรรมของมดมาใช้งานเพื่อทำให้หุ่นยนต์สามารถค้นหาเส้นทางไปยังเป้าหมายได้โดยใช้เวลาไม่นานนัก และยังมีการทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอีกด้วย



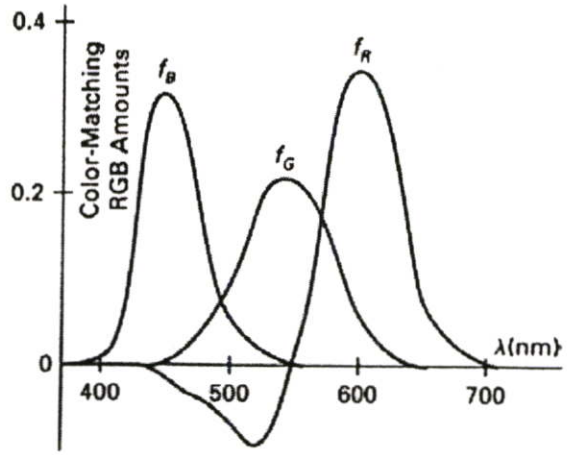
รูปที่ 2.1 วิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มมด

2.2 ทฤษฎีแบบจำลองแสงและสี

ในวิทยานิพนธ์นี้ เหนือพื้นที่ปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดนั้นมีการติดตั้งกล้องวิดีโอไว้เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางของหุ่นยนต์ การทำงานเริ่มขึ้นเมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับสัญญาณภาพจากกล้อง ซึ่งภาพที่ได้เป็นภาพที่มีองค์ประกอบของแสงและสี ดังนั้นการนำภาพที่ได้ไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมพฤติกรรมของหุ่น จำเป็นต้องนำภาพเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ภาพโดยใช้การคำนวณหาค่าสี จากแบบจำลองของสีที่มีหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

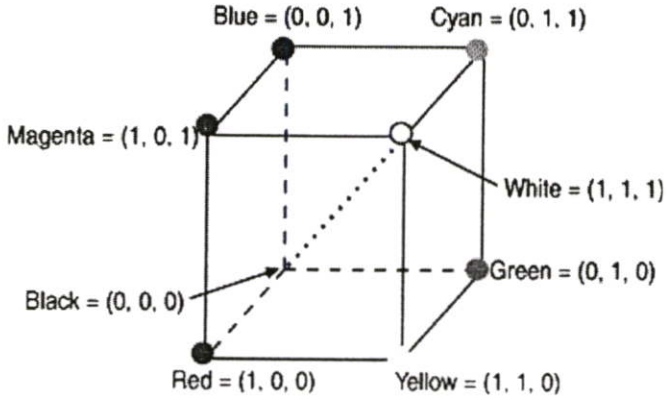
2.2.1 แบบจำลองแสงสีแบบ RGB (RGB Color Model)

แบบจำลองแสงสีแบบ RGB เป็นรูปแบบแบบจำลองการจัดแสงสีพื้นฐาน โดยมาจากแหล่งกำเนิดแสงสีหลัก 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) แบบจำลองนี้เหมาะสำหรับการใช้งานกับจอภาพทั่วไป เนื่องจากมีความซับซ้อนไม่มากนัก ดังจะเห็นได้จากแถบสเปกตรัมของแสงสี แดง เขียว น้ำเงิน มีการแยกย่านกันอย่างเห็นได้ชัดแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แถบสเปกตรัมของแม่สีทางแสงแบบ RGB [13]

จากรูปเห็นได้ว่าในแบบจำลองสีแบบ RGB สามารถทำการกำหนดค่าของแสงสี ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ ทำให้สะดวกต่อการคำนวณสำหรับการประมวลผลในการผสมแสงสีได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เวกเตอร์แบบจำลองแสงสีของ RGB [14]

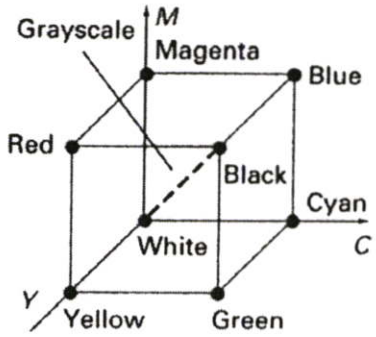
จากรูปที่ 2.3 เมื่อทำการแทนค่าแต่ละแสงสีในแนวตามแกน x , y , z โดยกำหนดให้ แสงสีดำมีค่าเป็น 0 ทั้งหมด แสงสีขาวมีค่าสีเป็น 1 ทั้งหมด ส่วนที่ใช้เป็นแสงแม่สี 3 สี ได้แก่ แสงสีแดง (R) แสงสีเขียว (G) แสงสีน้ำเงิน (B) อยู่ในระนาบ แกน x , y , z สามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1

$$C_\lambda = R(\lambda) + G(\lambda) + B(\lambda) \qquad (2.1)$$

โดย แลมด้า เป็นฟังก์ชันของความเข้มแสง ผลจากการคำนวณ ทำให้ได้แสงสีที่เกิดจากการผสมในแบบจำลองแสงสีของ RGB ตามที่ต้องการ

2.2.2 แบบจำลองแสงสีแบบ CMY (CMY Color Model)

แบบจำลองแสงสีของ CMY กำหนดให้แต่ละแสงสี ซึ่งอยู่ในลำดับรองจากแสงแม่สี RGB ได้แก่ สีน้ำเงินแกมเขียว (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) สามารถนำมาใช้คำนวณได้โดยกลับแกนของแสงแม่สี RGB แล้วเอา CMY มาใส่ในแนวแกน x, y, z แทน ได้เป็นเวกเตอร์ของแกนแสงสีดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เวกเตอร์แบบจำลองแสงสีของ CMY [14]

จากรูปที่ 2.4 สามารถหาความสัมพันธ์ของแบบจำลองแสงสี CMY กับ RGB ได้ดังสมการที่ 2.2

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

สำหรับแบบจำลองแสงสีแบบ CMY สามารถทำการวิเคราะห์ได้จากแบบจำลองแสงสีของ RGB โดยทำการเปลี่ยนแปลงจากตารางเมตริก รูปแบบแบบจำลองแสงสีแบบ CMY ได้รับความนิยมไม่มากนักในการนำมาใช้งาน

2.2.3 แบบจำลองสีแบบ CMYK (CMYK Color Model)

เป็นการพัฒนาต่อจากแบบจำลองก่อนหน้านี้คือ CMY โดยได้เพิ่มเติมในส่วนของสีดำ (black) เข้ามา แบบจำลองนี้ใช้มากในด้านงานพิมพ์ภาพ

การเปลี่ยนจาก CMY เป็น CMYK พบว่าสีดำที่เพิ่มเข้ามา สามารถประมาณค่าได้จากค่าของ C, M, Y ตามสมการที่ 2.3

$$K = \min(C, M, Y) \tag{2.3}$$

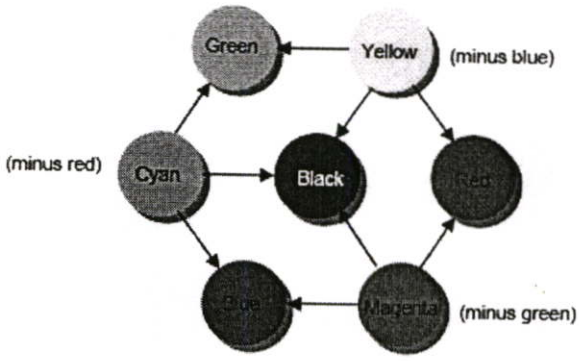
โดยที่

$$C = C - K$$

$$M = M - K$$

$$Y = Y - K$$

สามารถแสดงการแปลงสีจาก RGB เป็น CMYK ได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 รูปแบบการผสมสีจากแบบจำลองสี RGB เป็นแบบจำลองสี CMYK [15]

2.2.4 แบบจำลองสีแบบ YIQ (YIQ Color Model)

ใช้การแทนค่าของส่วนประกอบ เป็นระดับความเข้มของแสง (luminance) หนึ่งค่า กำหนดเป็นค่า Y และระดับความเข้มของสี (chrominance) อีกสองค่า โดยกำหนดให้เป็นค่า I (inphase) และค่า Q (quadrature)

จากสมการของแบบจำลองแสงสีแบบ YIQ มีความสัมพันธ์กับแบบจำลองแสงสีแบบ RGB ดังสมการที่ 2.4

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

แบบจำลองแสงสีแบบ YIQ นี้ ใช้ในระบบการแพร่ภาพโทรทัศน์ของสหรัฐอเมริกา (NTSC system)

2.2.5 แบบจำลองแสงสีแบบ CIB Lab (CIE Lab Color Model)

แบบจำลองแสงสีแบบ CIE Lab เริ่มใช้ในปี 1976 [7] ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

L^* เป็น luminosity

a^* เป็น red/green axis

b^* เป็น yellow/blue axis

ซึ่งการคำนวณหาค่าของ L, A, B สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5 โดยกำหนดให้ สีขาว = (Xn, Yn, Zn)

$$
\begin{aligned}
L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 && \text{เมื่อ } Y/Y_n > 0.008856 \\
L^* &= 903.292(Y/Y_n) && \text{เมื่อ } Y/Y_n \le 0.008856 \\
a^* &= 500\big(f(X/X_n) - f(Z/Z_n)\big) \\
b^* &= 200\big(f(X/X_n) - f(Z/Z_n)\big) && (2.5) \\
\text{โดย} \quad & f(t) = t^{1/3} && \text{เมื่อ } Y/Y_n > 0.008856 \\
\text{หรือ} \quad & f(t) = 7.787t + 16/116
\end{aligned}
$$

จากแบบจำลองสีทั้งหมดที่กล่าวมาซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน เห็นได้ว่ารูปแบบส่วนใหญ่ของแบบจำลองแสงสี มีการพัฒนามาจากแบบจำลองแสงสีแบบ RBG ทั้งสิ้นโดยดูได้จากความสัมพันธ์ของเมตริกดังกล่าวข้างต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้แบบจำลองสีแบบ RGB เนื่องจากมีความซับซ้อนไม่มาก เหมาะสำหรับการนำไปใช้ควบคุมหุ่นยนต์ให้ทำงานในเวลาจริงได้ดี

2.3 การค้นหาเส้นทาง (Path finding)

โดยการทำงานปกติเมื่อหุ่นยนต์ค้นพบเป้าหมายแล้ว หากไม่มีสิ่งกีดขวางบนเส้นทางเดินจะกำหนดให้หุ่นยนต์เดินทางเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายเลย แต่ในสภาพพื้นที่ปฏิบัติงานจริง มักมีสิ่งกีดขวางเส้นทางการเดินอยู่เสมอ ทำให้เวลาในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายนั้นใช้เวลามาก ดังนั้นการคำนวณหาเส้นทางการเดินจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจึงเป็นสิ่งสำคัญ วิธีที่ใช้ในการหาเส้นทาง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ออกแบบโดยที่ผู้วิจัย เริ่มจากการกำหนดเส้นทางตามลักษณะของการทดลอง หากเป็นการค้นหาเป้าหมายโดยถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางจะใช้สมการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของมด เนื่องจากเส้นทางเริ่มต้นไปจนถึงจุดท้ายสุดเป็นระยะ

ขจัดจากจุดเริ่มต้นถึงเป้าหมายซึ่งเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดอยู่แล้ว แต่หากมีสิ่งกีดขวางทางอยู่ จะต้องพิจารณาว่าสิ่งกีดขวางนั้นอยู่ในเส้นทางหรือไม่ ถ้าไม่จะพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีแรก นอกจากวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ยังมีวิธีการเคลื่อนที่อื่นๆ เช่น วิธีการค้นหาเส้นทาง[16]แบบ Dijkstra หรือ Breadth-First ซึ่งแสดงในภาคผนวก ก

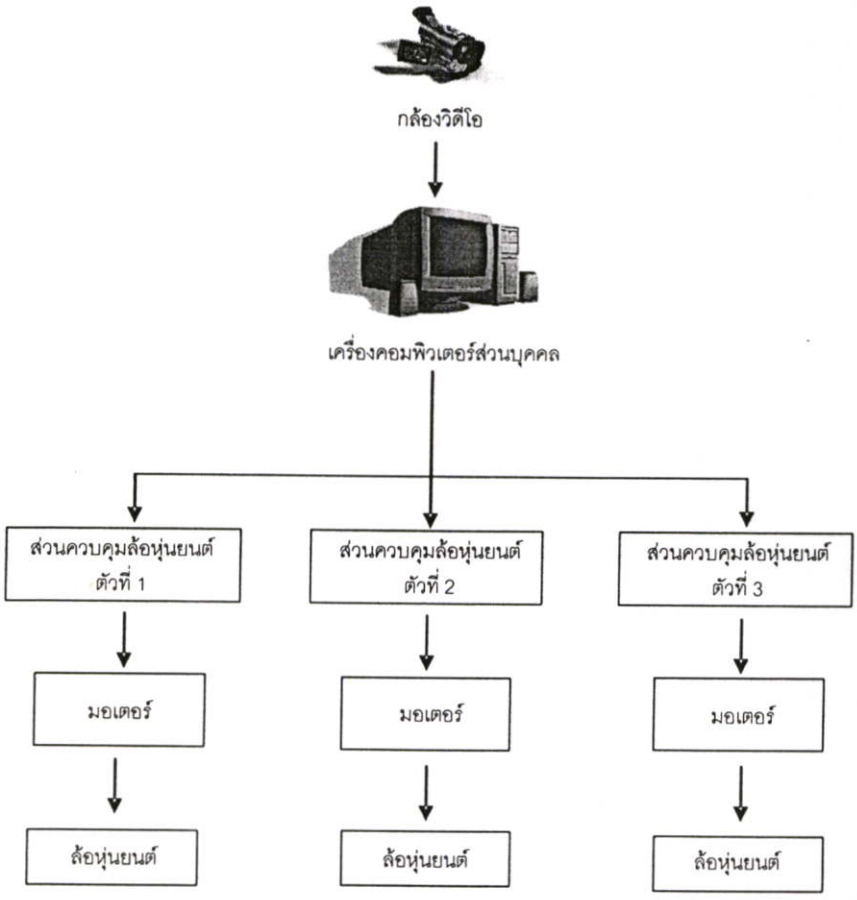
ในบทต่อไปเป็นการกล่าวถึงการออกแบบและการควบคุมหุ่นยนต์มด โดยนำทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้นไปใช้ในการควบคุม เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้

บทที่ 3
การออกแบบหุ่นยนต์และโปรแกรมควบคุมการทำงาน

จากที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้งานในบทที่แล้ว บทนี้จึงกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างและหลักการทำงานของหุ่นยนต์มด การออกแบบวงจรอิเล็คทรอนิคส์ ซึ่งประกอบด้วย ส่วนการรับส่งข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล วงจรขับมอเตอร์ และส่วนประกอบอื่น ๆ รวมถึงการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ควบคุม

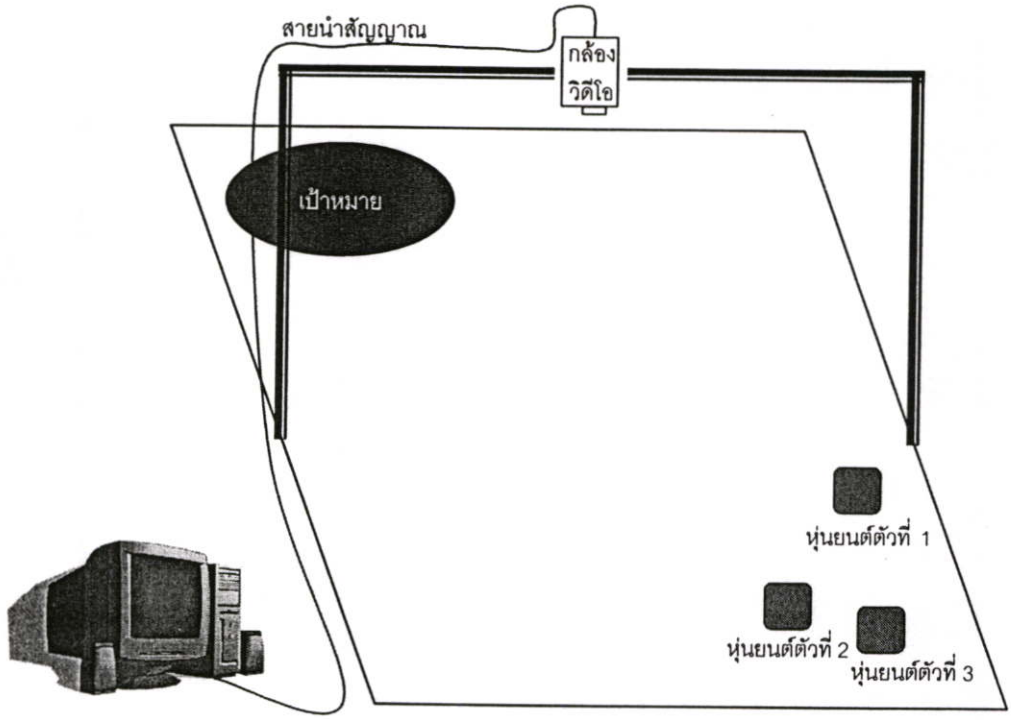
3.1 ระบบการควบคุมหุ่นยนต์

ระบบการควบคุมหุ่นยนต์ในพื้นที่ปฏิบัติงาน ใช้การควบคุมหุ่นยนต์โดยรับสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอแล้วนำไปเข้าโปรแกรมประมวลผลภาพโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แล้วส่งให้หุ่นยนต์ปฏิบัติงานผ่านทางชุดส่งและรับสัญญาณที่ติดตั้งไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์และตัวหุ่นยนต์ตามลำดับ ระบบการควบคุมหุ่นยนต์แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบควบคุม

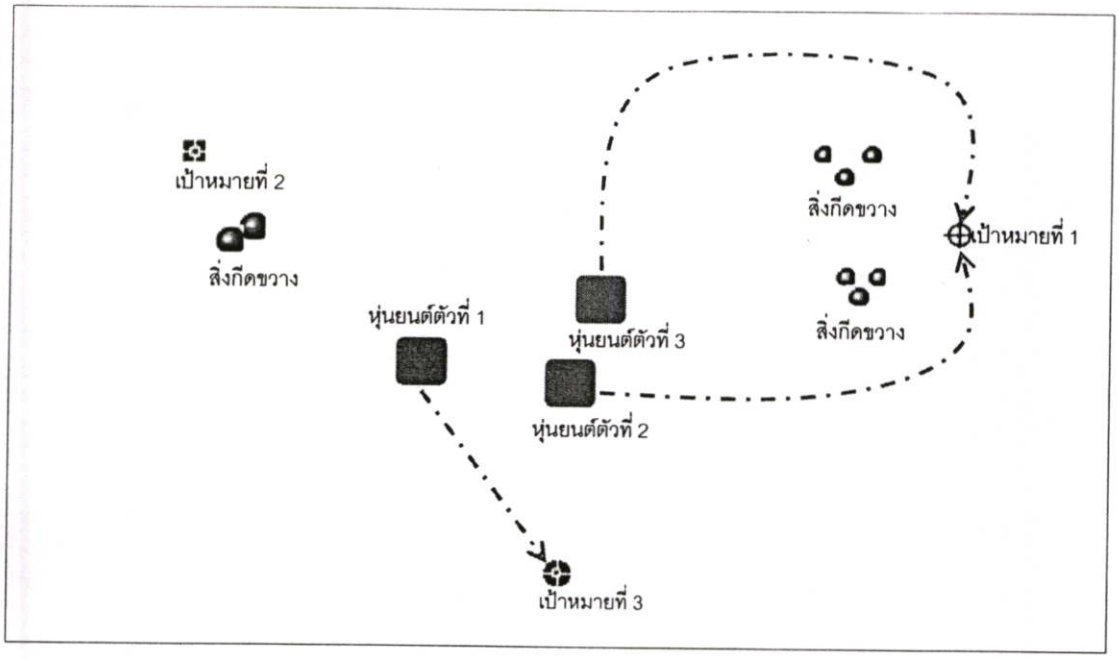
จากรูปที่ 3.2 เป็นระบบจำลองที่ใช้ในการทำงาน มีกล้องติดตั้งเหนือตรงตำแหน่งกึ่งกลางสนามเพื่อจับภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ควบคุมในลักษณะมองตั้งฉากกับพื้นที่สนาม แล้วส่งสัญญาณภาพนั้นไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์หลัก ซึ่งมีหน้าที่แยกแยะชนิดของตัวหุ่น พื้นที่เริ่มต้น พื้นที่เป้าหมาย และควบคุมหุ่นยนต์ โดยสื่อสารผ่านสัญญาณอินฟราเรด



รูปที่ 3.2 ระบบจำลองการทำงาน

จากนั้นชุดวงจรรับสัญญาณที่ถูกติดตั้งไว้ที่ตัวหุ่น จะส่งสัญญาณต่อไปยังหน่วยประมวลผลของหุ่นยนต์ ที่ทำงานเป็นตัวเชื่อมต่อการทำงานระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามคำสั่งต่อไป

บนพื้นที่ปฏิบัติงานนั้นมีหุ่นยนต์อย่างน้อย 3 ตัว คอยรับคำสั่งที่ได้รับการประมวลผลอยู่ที่จุดเริ่มต้นซึ่งเปรียบเสมือนรังของมด หุ่นยนต์แต่ละตัวอาจได้รับคำสั่งจากหน่วยประมวลผลเพื่อให้ทำงานที่เหมาะสมแตกต่างกัน



รูปที่ 3.3 แบบจำลองพื้นที่ปฏิบัติงาน

รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งประกอบด้วยเป้าหมาย 3 แห่ง และสิ่งกีดขวาง วางอยู่บนตำแหน่งต่าง ๆ มีหุ่นยนต์ 3 ตัวที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ในการทำงานนั้นหุ่นยนต์จะเคลื่อนไหวผ่านการตัดสินใจทำงานโดยโปรแกรมแบบมัลติเอเยนต์ ซึ่งอาจสั่งให้หุ่นยนต์เพียงตัวเดียวเข้าไปจัดการกับเป้าหมาย 1 แห่ง หรือ หุ่นยนต์หลายตัวเข้าไปจัดการกับเป้าหมาย 1 แห่งก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้หุ่นยนต์ทำงานในลักษณะใด และมีความยากเท่าใดในการเข้าถึงเป้าหมาย

จากรูปสังเกตได้ว่าเป้าหมายที่ 1 เป็นเป้าหมายที่เข้าถึงได้ยากที่สุด เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางอยู่มาก ส่วนเป้าหมายที่ 3 เข้าถึงได้ง่ายที่สุด การตัดสินใจทำงานในที่นี้ให้เริ่มจากงานที่ยากและง่ายที่สุดก่อน นั่นคือการเข้าหาเป้าหมายที่ 1 และเป้าหมายที่ 3 ก่อน จากนั้นจึงไปจัดการกับเป้าหมายที่ 2 ซึ่งเป็นตัวอย่างรูปแบบที่หุ่นยนต์ใช้ปฏิบัติงาน

ส่วนของการประมวลผลจะรับข้อมูลจากกล้องวีดีโอที่ติดไว้ด้านบนพื้นที่ปฏิบัติงาน และส่งข้อมูลภาพมาประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งและลักษณะของวัตถุ เมื่อได้รับตำแหน่งและลักษณะของวัตถุแล้ว จึงทำการจัดแยกวัตถุที่มีลักษณะแตกต่างกันออกจากกัน โดยที่รวมเอาวัตถุที่มีลักษณะเดียวกันไว้ประเภทเดียวกัน โดยแยกเป็นจุดเริ่มต้นที่เปรียบเสมือนรังของหุ่นยนต์มด สิ่งกีดขวาง และเป้าหมายที่เปรียบเสมือนอาหารในพื้นที่ทดสอบ

3.2 รูปแบบการทำงานของหุ่นยนต์

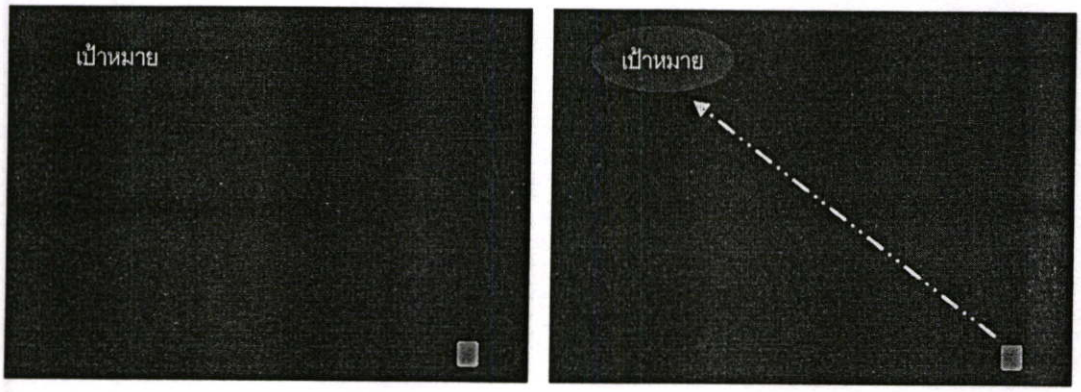
การทำงานของหุ่นยนต์มีรูปแบบการทำงาน 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1. การใช้หุ่นยนต์เพียงตัวเดียวเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย
2. การใช้หุ่นยนต์ 3 ตัว เคลื่อนที่แบบเดินตามกันระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย
3. การเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ 3 ตัวระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย

3.2.1 การใช้หุ่นยนต์เพียงตัวเดียวเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย

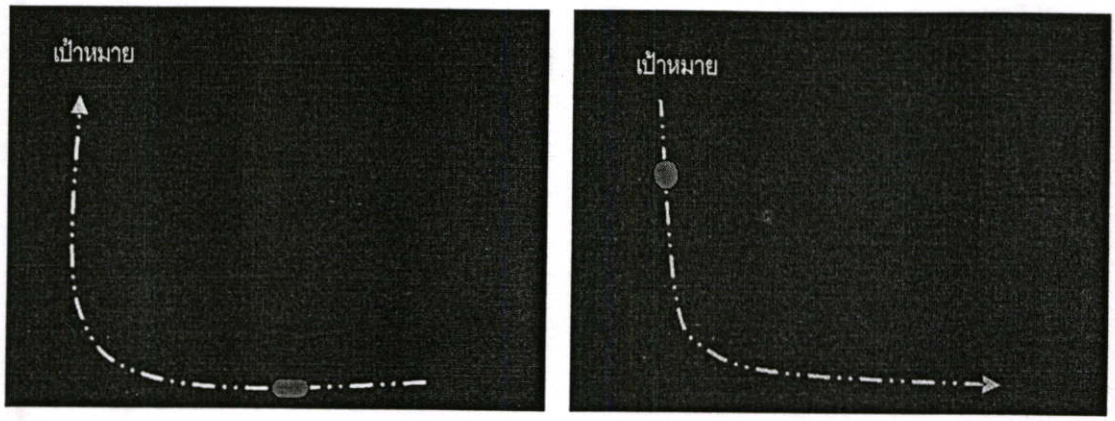
รูปแบบนี้เป็นรูปแบบอย่างง่ายในการปฏิบัติงาน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. เมื่อหุ่นยนต์รับค่าตำแหน่งจากล้องวิดีโอเรียบร้อยแล้ว จึงทำการค้นหาเส้นทางจากหุ่นยนต์เพื่อไปยังวัตถุเป้าหมาย โดยเปรียบเทียบจากทิศทางระหว่างหุ่นยนต์กับวัตถุเป้าหมายดังรูปที่ 3.4 ด้านซ้าย

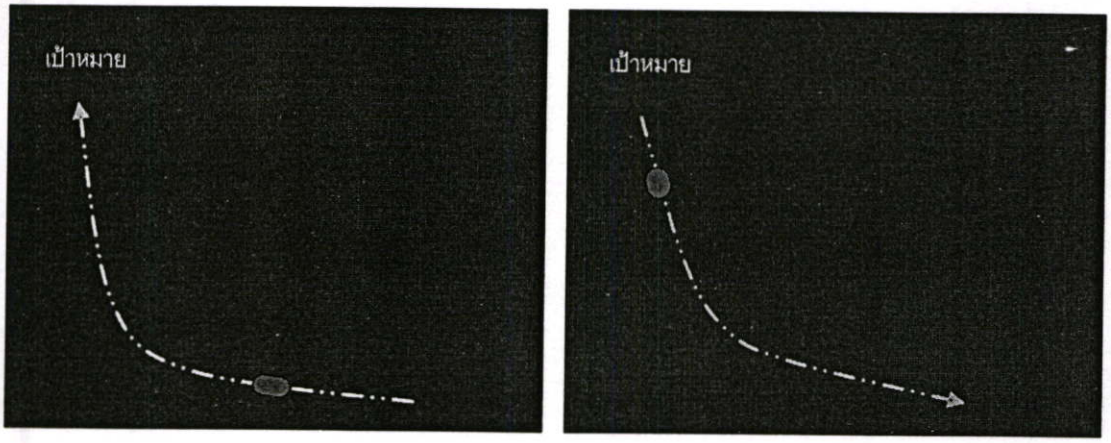


รูปที่ 3.4 การค้นหาเป้าหมายของหุ่นยนต์และเส้นทางที่เหมาะสม

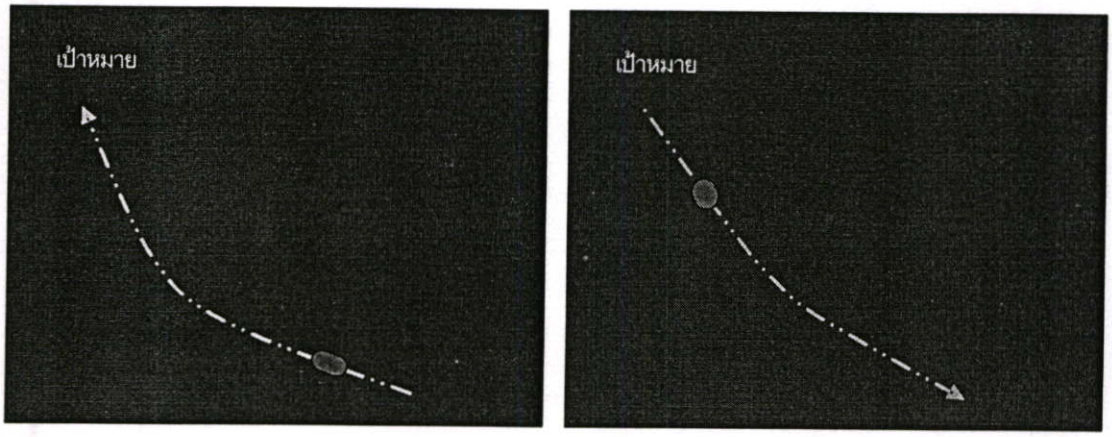
2. หุ่นยนต์เริ่มวิ่งเข้าหาเป้าหมาย ดังรูปที่ 3.4 ด้านขวา
3. หากว่าเส้นทางดังกล่าวมีระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมายมาก ระบบจะทำการปรับแต่งให้น้อยลง โดยนำค่าพิกัดเดิมมาคำนวณใหม่ แล้วปรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใหม่ โดยหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ตัดส่วนโค้งจากเป้าหมายที่ต้องการกับจุดเริ่มต้น จนได้ระยะทางที่สั้นที่สุดดังรูปที่ 3.5 ถึง 3.7



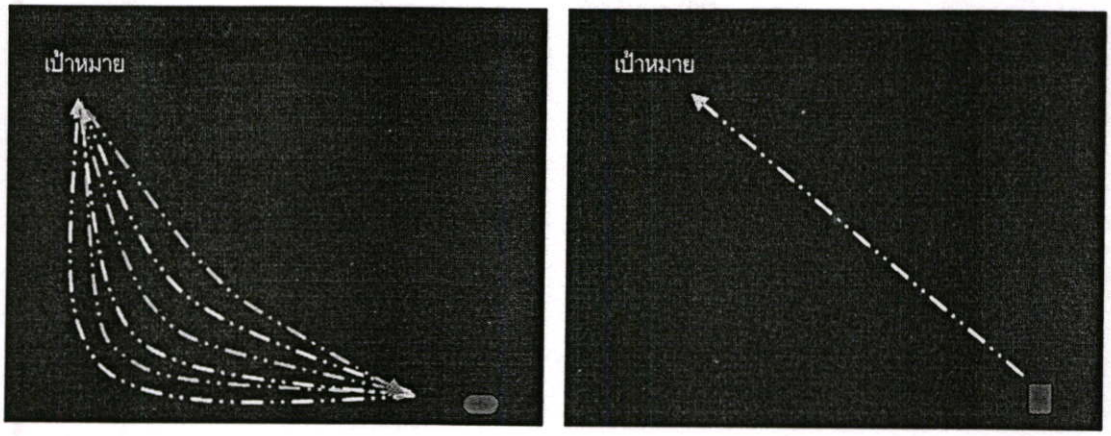
รูปที่ 3.5 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น



รูปที่ 3.6 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น เมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้นกว่ารูปที่ 3.5



รูปที่ 3.7 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น เมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้นกว่ารูปที่ 3.6

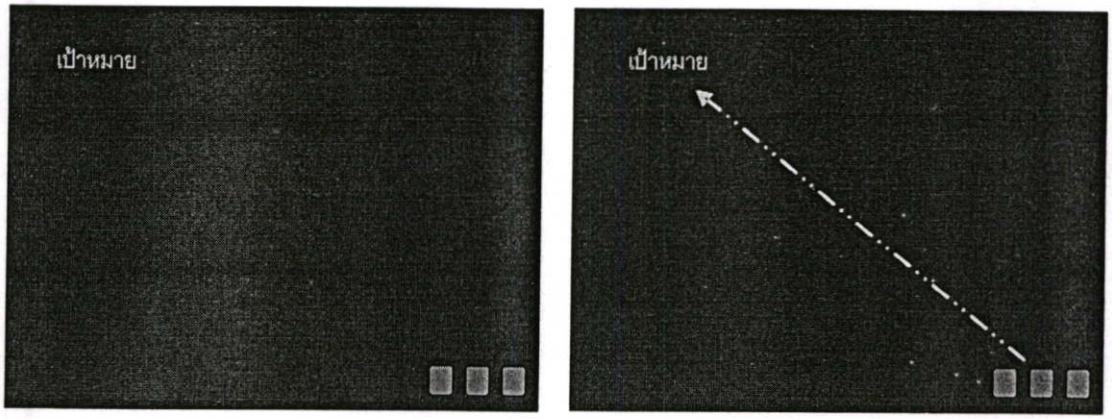


รูปที่ 3.8 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมายที่ต้องการที่ปรับแต่งเส้นทางสมบูรณ์แล้ว

3.2.2 การใช้หุ่นยนต์ 3 ตัว เคลื่อนที่แบบเดินตามกันระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย

รูปแบบนี้เป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของมดในการติดตามกันเพื่อไปยังแหล่งอาหาร เมื่อมีมดตัวใดตัวหนึ่งค้นพบแหล่งอาหารแล้ว มดตัวอื่นจะมีการติดตามเส้นทางกลิ่นไปเพื่อเข้าสู่แหล่งอาหาร โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

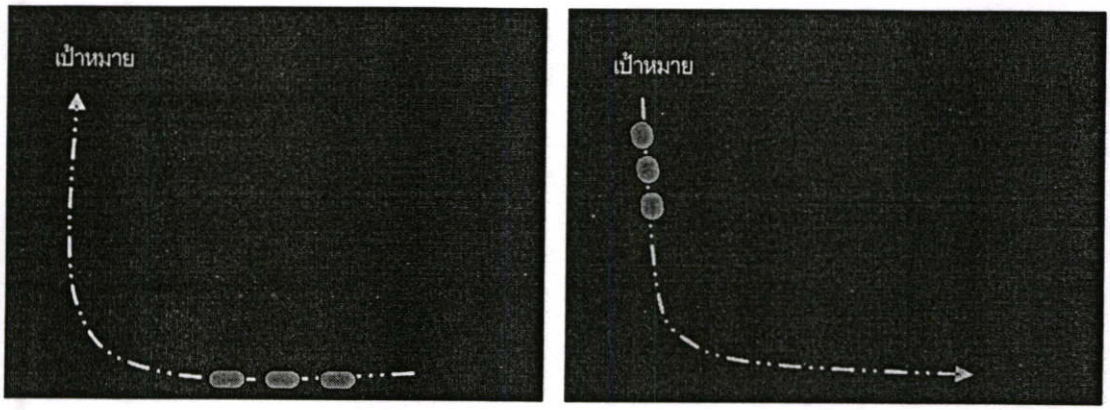
1. เมื่อหุ่นยนต์ทำการรับค่าตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมเริ่มค้นหาทิศทางจากหุ่นยนต์เพื่อไปยังวัตถุที่ต้องการค้นหา โดยเทียบกับทิศทางของหุ่นยนต์กับวัตถุเป้าหมาย
2. หุ่นยนต์แต่ละตัวเริ่มวิ่งตามกันเข้าหาเป้าหมาย ดังรูปที่ 3.9 ด้านขวา



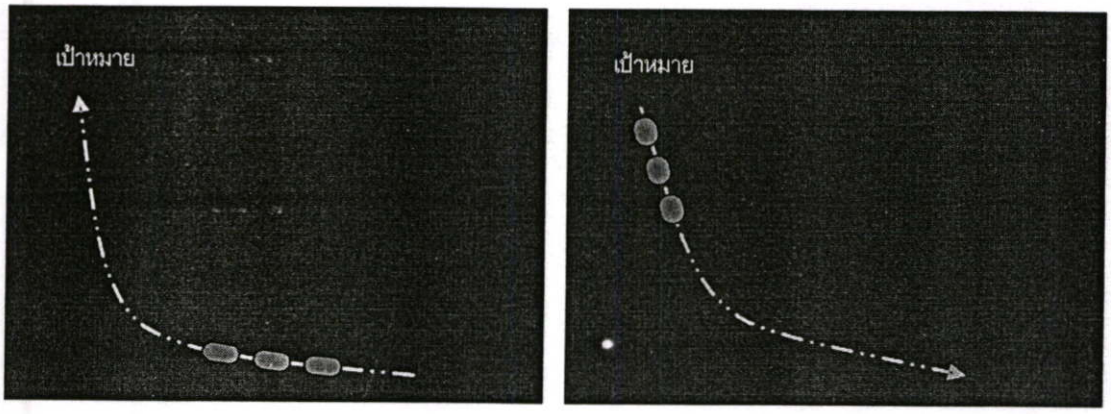
รูปที่ 3.9 การหาเป้าหมายของกลุ่มหุ่นยนต์ และทิศทางของการเคลื่อนเพื่อเข้าสู่จุดท้ายสุดที่เหมาะสม

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3. หากว่าเส้นทางดังกล่าวมีระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมายมาก ระบบจะทำการปรับแต่งให้น้อยลง โดยนำค่าพิกัดเดิมมาคำนวณใหม่ แล้วปรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใหม่ โดยหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ตัดส่วนโค้งจากเป้าหมายที่ต้องการกับจุดเริ่มต้น จนได้ระยะทางที่สั้นที่สุดดังรูปที่ 3.10 ถึง 3.12

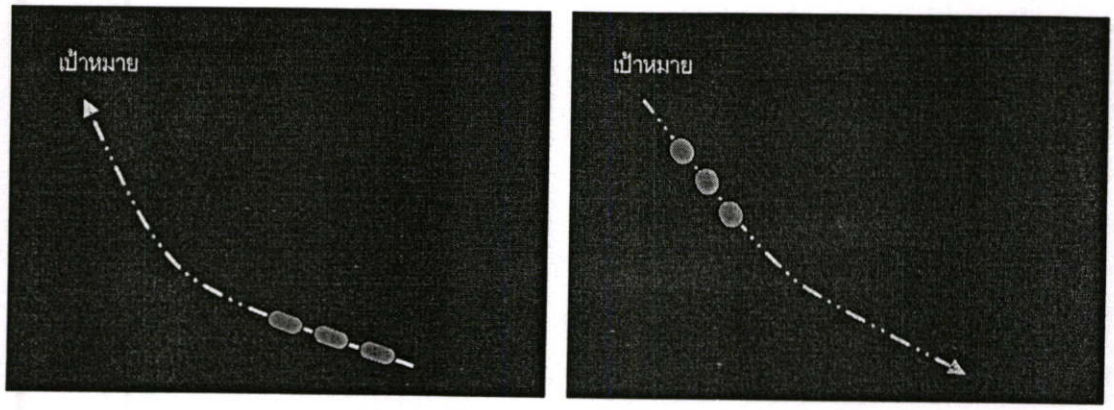


รูปที่ 3.10 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น

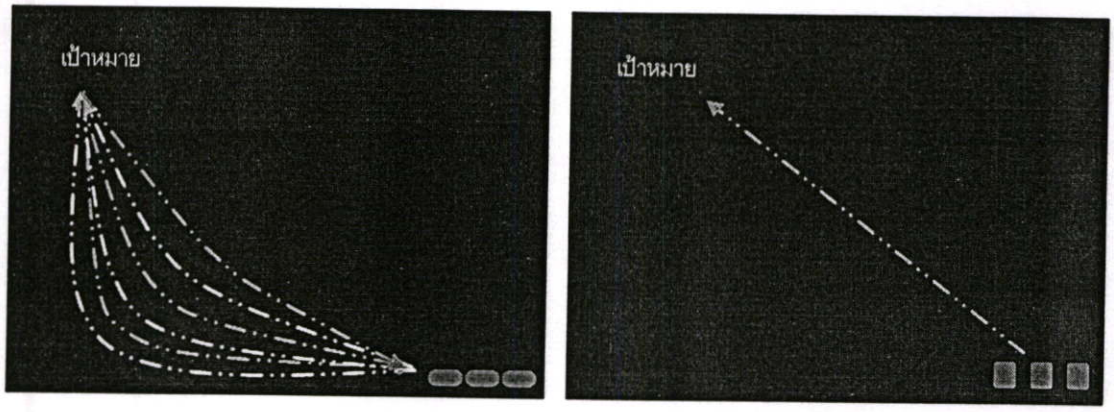


รูปที่ 3.11 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น เมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้น

63646



รูปที่ 3.12 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น เมื่อเข้าสู่ระยะขจัดมากขึ้นอีก

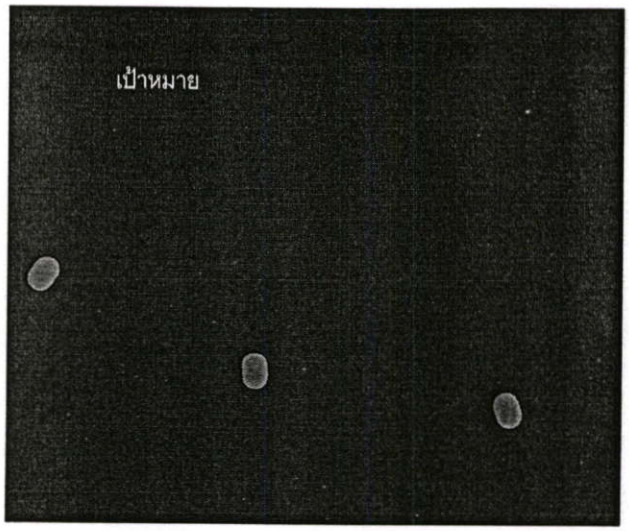


รูปที่ 3.13 เส้นทางของการเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมายที่ต้องการเมื่อปรับแต่งเส้นทางสมบูรณ์แล้ว

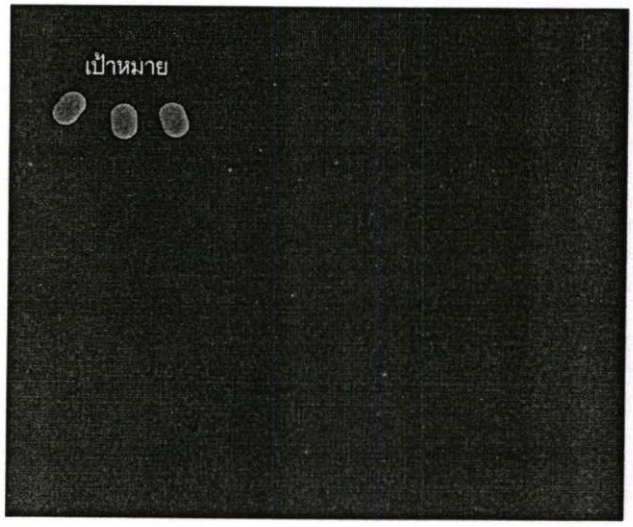
3.3.3 การเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นยนต์ 3 ตัวระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย

รูปแบบนี้เป็นการเคลื่อนของหุ่นทีละตัว ที่อยู่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อเข้าหาเป้าหมายที่ต้องการ เปรียบเสมือนการเข้าหาเป้าหมายเพื่อร่วมกันทำงานของมดนั่นเอง ซึ่งมีรูปแบบการทำงานดังนี้

1. เมื่อหุ่นยนต์แต่ละตัวถูกระบุค่าตำแหน่งเรียบร้อย ก็จะทำการค้นหาทิศทางจากหุ่นยนต์แต่ละตัวเพื่อไปยังวัตถุที่ต้องการ โดยเทียบกับทิศทางของหุ่นยนต์กับวัตถุ ดังรูปที่ 3.14
2. หุ่นยนต์แต่ละตัวเริ่มวิ่งเข้าหาเป้าหมาย
3. หุ่นยนต์ทั้ง 3 ไปรอที่เป้าหมายเพื่อรอคำสั่งให้ปฏิบัติงานต่อไป ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 การเคลื่อนแบบระยะขจัดของหุ่นยนต์ทั้งสามตัวระหว่างเป้าหมายที่ต้องการและจุดเริ่มต้น



รูปที่ 3.15 หุ่นยนต์ทั้งสามตัวเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานที่เป้าหมายที่ต้องการ

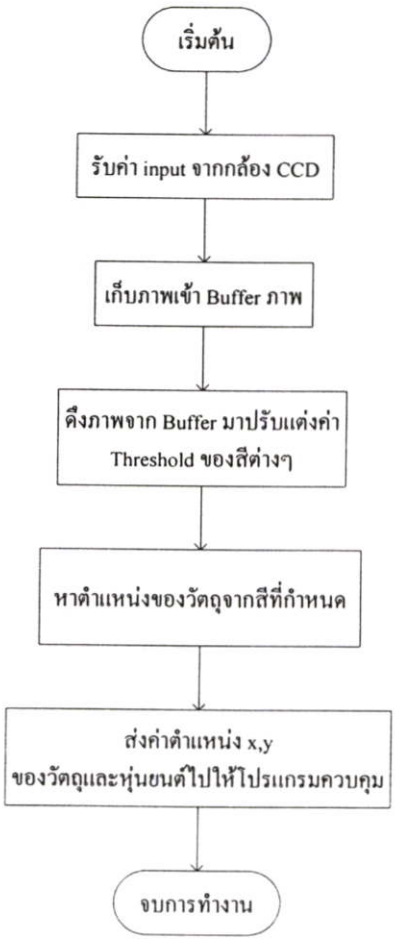
3.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานและหุ่นยนต์

การควบคุมหุ่นยนต์นั้น เมื่อรับสัญญาณภาพมาจากกล้องวิดีโอแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อแยกแยะวัตถุต่าง ๆ ในภาพว่าหุ่นยนต์อยู่ตำแหน่งใด เป้าหมายอยู่ตำแหน่งใด เมื่อผู้ใช้กำหนดเส้นทางให้หุ่นยนต์เดินในตอนต้นแล้ว โปรแกรมควบคุมทำการจำลองผลเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมาย แล้วจึงส่งให้ชุดควบคุมรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์

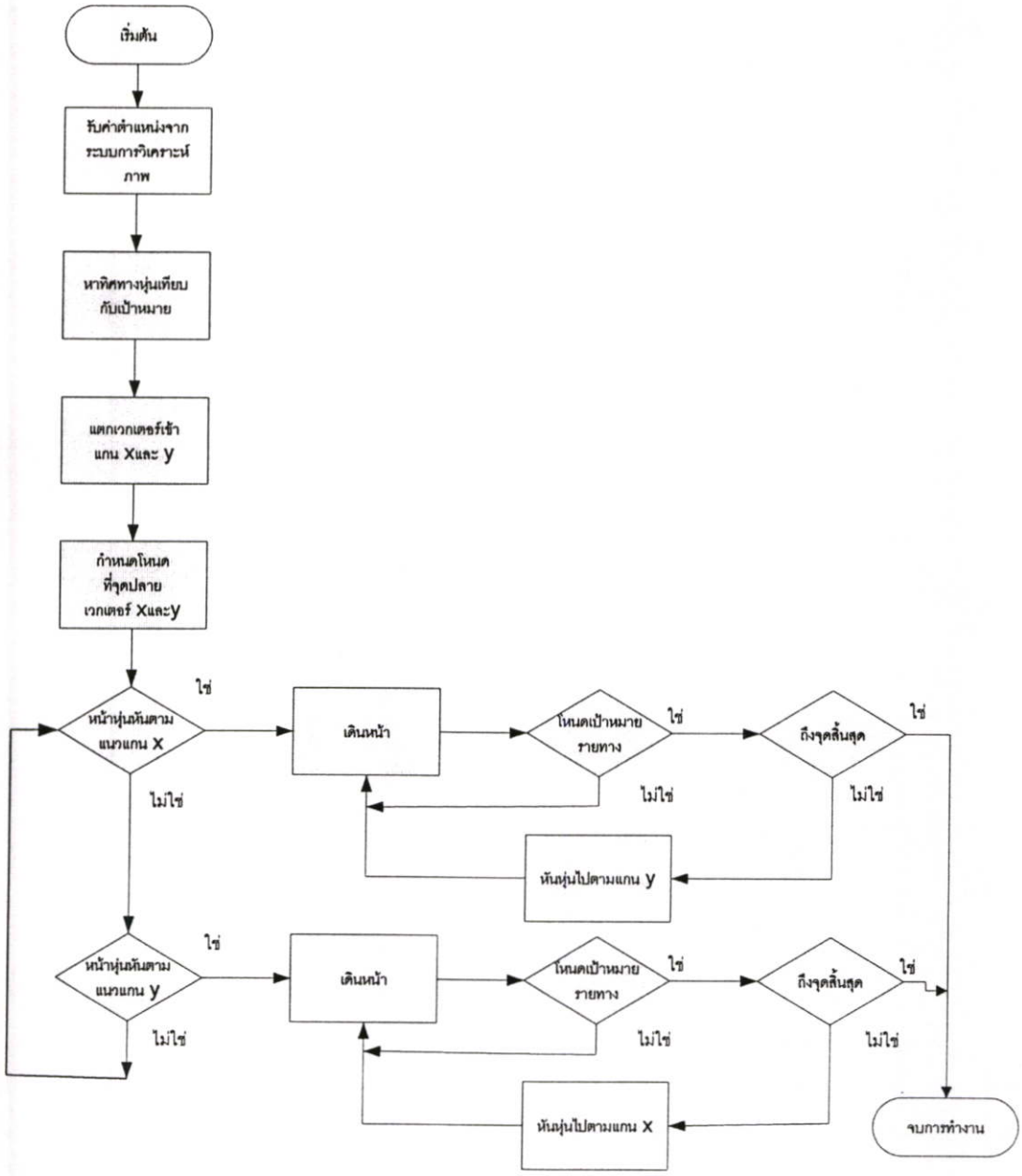
ผ่านชุดส่งสัญญาณแสงอินฟราเรดไปยังชุดรับสัญญาณที่ติดตั้งอยู่บนตัวหุ่นยนต์ เพื่อให้หุ่นยนต์ปฏิบัติงานตามรูปแบบที่กำหนดต่อไป

3.3.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

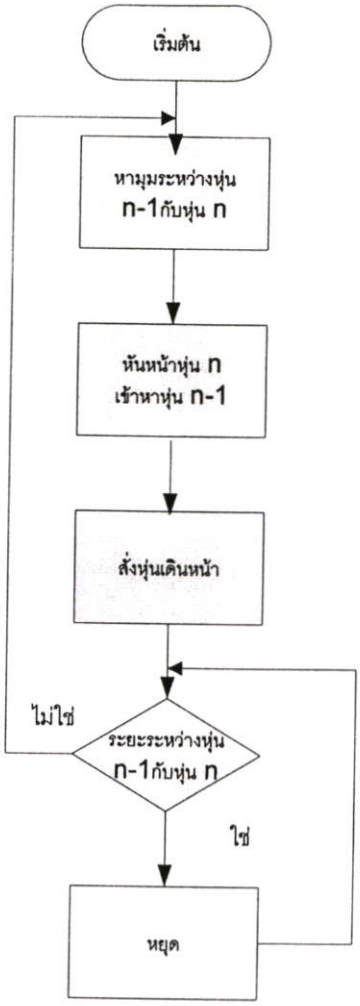
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.16 และ 3.17



รูปที่ 3.16 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมการประมวลผลภาพ



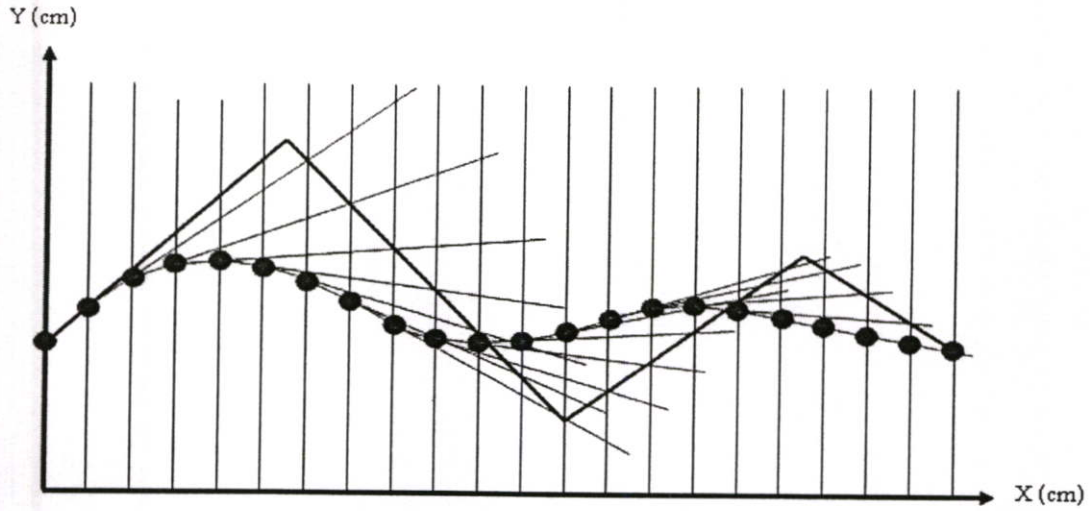
รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ



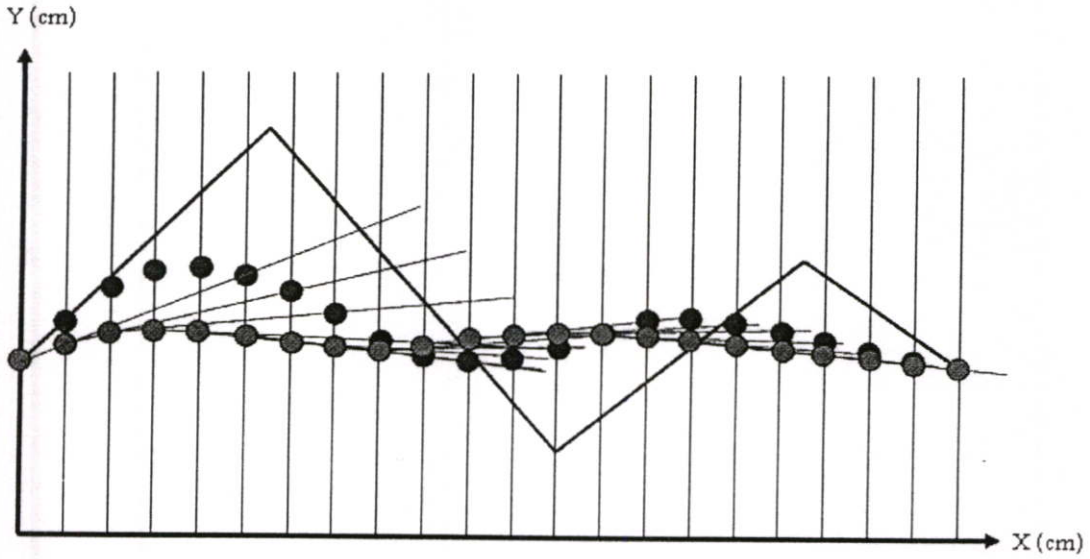
รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบเดินตามอัตโนมัติ

3.3.1 การหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มด

สมการเดินตามกันของมดซึ่งนำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้พัฒนามาจากการประยุกต์วิธีการค่าจากสมการตามแบบของ Newton Ralphson มาใช้ในการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มดดังรูปที่ 3.19 และ 3.20 โดยจุดแต่ละจุดเป็นมดแต่ละตัวที่เดินตามกันไป อาศัยการตามกลิ่นฟีโรโมนของตัวก่อนหน้าหากฟีโรโมนนั้นไม่มีกระการระเหยสมการการเคลื่อนที่ของมดจะสามารถเขียนได้เป็น



รูปที่ 3.19 เรขาคณิตของแนวคิดเส้นทางการเดินของมด



รูปที่ 3.20 เรขาคณิตของแนวคิดเส้นทางการเดินตามกันของมด

$$f_N[n] = \{ [f_N[n-1 + s+1] - f_N[n-1]] / s+1 \} + f_N(n-1) \qquad (3.1)$$

โดยที่ $f_N[n]$ = เป็นฟังก์ชั่นของตำแหน่งของมดในเวลาสุ่มที่ n ของมดตัวที่ N

s = ระยะห่างระหว่างมดแต่ละตัวในที่นี้กำหนดให้เท่ากัน

โดยรายละเอียดในการเขียนโปรแกรมให้ไว้ตามภาคผนวก ค.1 และโดยอาศัยสมการนี้ผลการจำลองจะให้กราฟที่ใช้ระยะระหว่างอาหารกับรังที่สั้นที่สุดซึ่งก็คือกราฟเส้นตรง เมื่อมีการปรับค่าการวนรอบการคำนวณจำนวนรอบที่สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย [9]

หากฟีโรโมนมีการระเหย ในที่นี้สมมติว่าให้ δ เป็นอัตราการระเหย โดยกำหนดให้ ε [0,1] ดังนั้น 1-δ ก็จะหมายถึงอัตราการอยู่ของฟีโรโมนดังกล่าว สมการที่(3.1)จะสามารถดัดแปลงได้เป็น

$$f_N[n+1] = (1-\delta) f_N[n] + \delta f_N(n-1) \qquad (3.2)$$

ซึ่งสมการ (3.2) นี้จะเป็นสมการที่ได้ปรับการคำนวณในแต่ละรอบ หากเทียบสัมประสิทธิของสมการ (3.1) และ (3.2) จะเห็นได้ว่าค่าของระยะห่างระหว่างมดแต่ละตัวที่กำหนดในสมการที่ (3.1) มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นกับอัตราการระเหยและคงอยู่ของฟีโรโมน ซึ่งการคำนวณโดยวิธีนี้จะสอดคล้องกับงานของ Dorrigo และคณะ [12]

แต่เมื่อความสะดวกในการสร้างจริง(Implementation)งานวิจัยนี้จะใช้สมการ(3.1) ในการเขียนซอฟท์แวร์ ดังปรากฏในภาคผนวก ค.2 โดยแนวทางการสร้างจริงสำหรับสมการ(3.2) ดูได้จาก psuedocode ในภาคผนวก ค.3 สำหรับการทดลองโดยอาศัยสมการ(3.1) นี้จะนำเสนอในบทหน้า

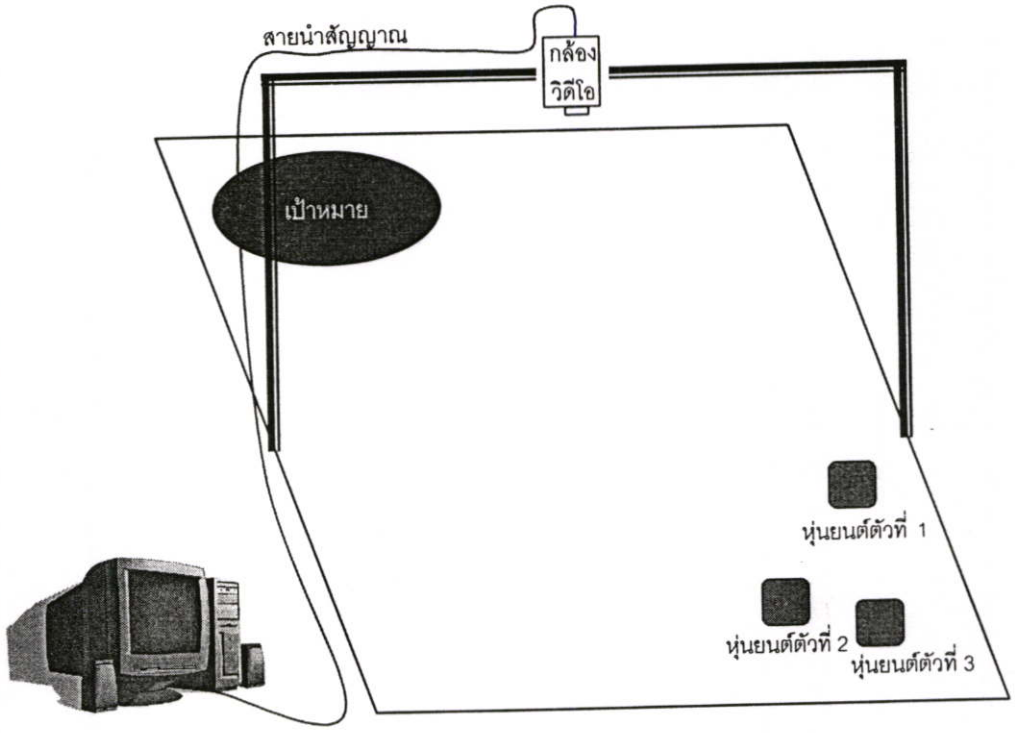
บทที่ 4

การทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดสอบการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด เพื่อดูว่าหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นสามารถปฏิบัติงานได้ตามที่จุดมุ่งหมายที่วางไว้หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบผลระหว่างโปรแกรมจำลองด้วยคอมพิวเตอร์และผลที่ได้จากการทดลองจริง

4.1 รูปแบบพื้นที่ทดสอบการทำงาน

รูปแบบพื้นที่การปฏิบัติงานแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 โดยมีการติดตั้งกล้องวิดีโอไว้ด้านบนของสนามเพื่อนำเอาสัญญาณภาพไปเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อใช้ในการตัดสินใจให้หุ่นยนต์ทำงาน



รูปที่ 4.1 รูปแบบพื้นที่ทดลอง

4.2 การทดสอบการปฏิบัติงาน

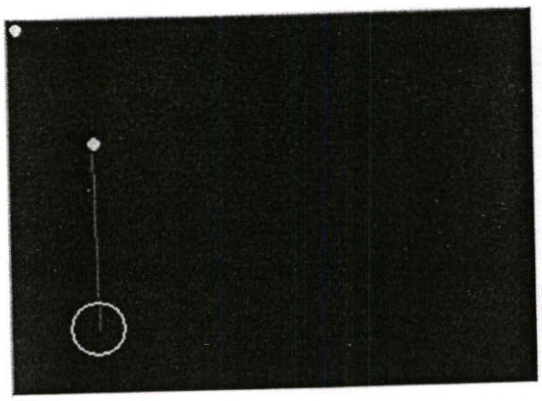
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. หุ่นยนต์มด ขนาด 2 x2 x 2 เซนติเมตร
3. หุ่นยนต์มดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 0.25 เซนติเมตร ต่อ 1 วินาที
4. กล้องเวปแคม ยี่ห้อ V-Gear รุ่น talkcam 1.1 ติดตั้งสูงจากพื้นสนาม 38 เซนติเมตร
5. พื้นที่ทดสอบ ขนาด 24x32 เซนติเมตร

ในการทดสอบทำโดยการลากเส้นทางที่หุ่นยนต์เดินเปรียบเสมือนเส้นทางกลิ่นจากมดตัวแรกที่ไปถึงอาหาร หลังจากสั่งให้จำลองผลการเดินของหุ่นยนต์แล้ว หากเส้นทางที่กำหนดในตอนต้นไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรัง(จุดเริ่มต้น)และแหล่งอาหาร(เป้าหมาย) โปรแกรมต้องทำการค้นหาเส้นทางที่สั้นกว่าหรือเหมาะสมกว่า จนได้เส้นทางที่ดีที่สุดแล้วจึงสั่งให้หุ่นยนต์ปฏิบัติงาน

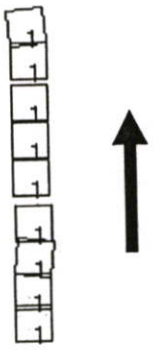
4.2.1การใช้หุ่นยนต์เพียงตัวเดียวเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย

เริ่มทดสอบด้วยรูปแบบการทำงานแบบเคลื่อนที่เส้นทางตรงอยู่ระนาบแกน X หรือ Y เป็นระยะทางประมาณ 12 เซนติเมตร การกำหนดโดยวงกลมสีเหลืองเป็นเป้าหมายที่ต้องการทดลอง วงกลมเส้นสีขาวแทนรังหุ่นยนต์มดเป็นจุดเริ่มต้น วงกลมสีเหลืองแทนหุ่นยนต์มด ผลที่ได้เป็นเส้นสีแดงแสดงการเดินทางเสมือนของมดระหว่างวงกลมเส้นสีขาวแทนรังหุ่นยนต์มดเป็นจุดเริ่มต้นไปสู่เป้าหมายที่กำหนดเป็นเส้นทางท้ายสุดจะแสดงผลตามการกำหนดเส้นทางเดินเป็นเส้นสีแดงไปยังเป้าหมายใช้หุ่นยนต์ตัวเดียวในการปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 4.2 เป็นการทดลองระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมายไม่มีสิ่งกีดขวาง กำหนดให้เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางซ้ายข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการไปถึง



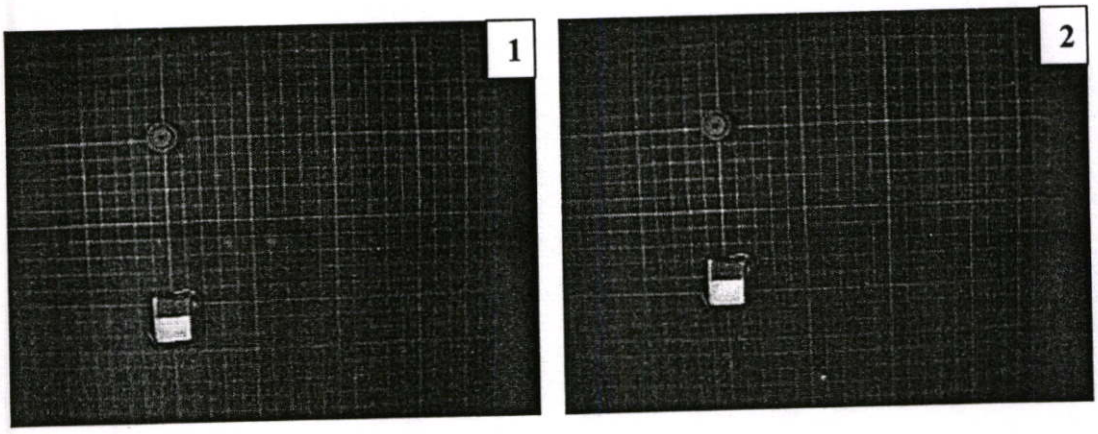
รูปที่ 4.2 เส้นการเดินของหุ่นยนต์มดเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมาย

จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน แสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่แทนตัวมด ผลที่ได้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางซ้ายข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.3



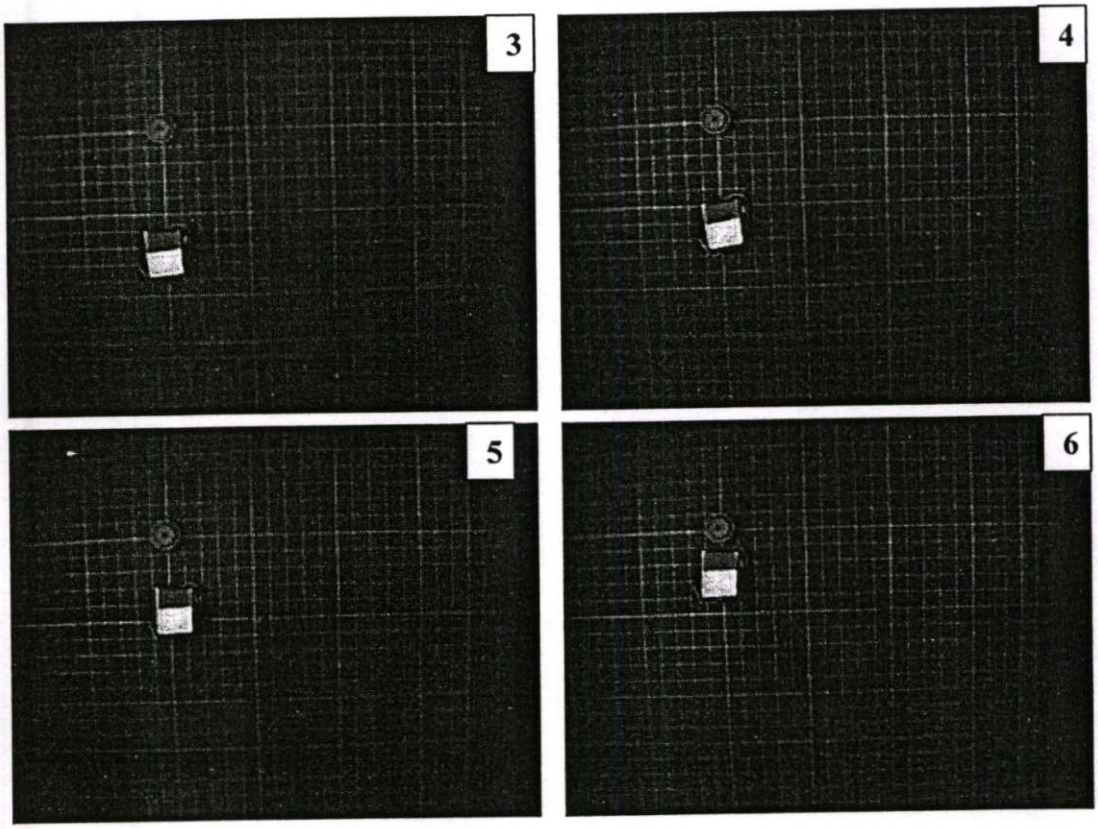
รูปที่ 4.3 ผลการจำลองเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์เป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมาย

จากผลการจำลองเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์เป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมายที่ได้ถูกส่งให้ประมวลผลสั่งให้ตัวหุ่นยนต์มดเคลื่อนที่สู่เป้าหมายตามผลที่ได้รับจากการจำลองจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางซ้ายข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร เรียงลำดับผลการทดลองตามรูปที่ 4.4(1) ถึง 4.4(6)



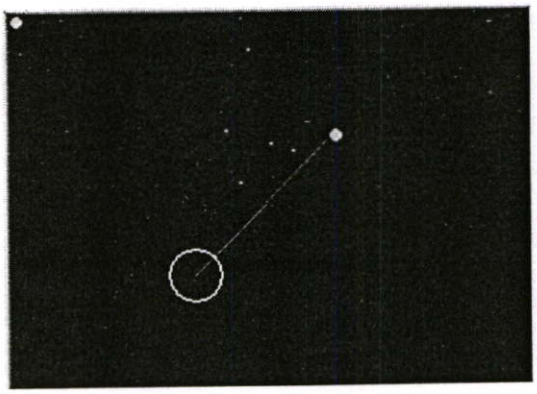
รูปที่ 4.4 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดแรกถึงเป้าหมาย

ต่อ



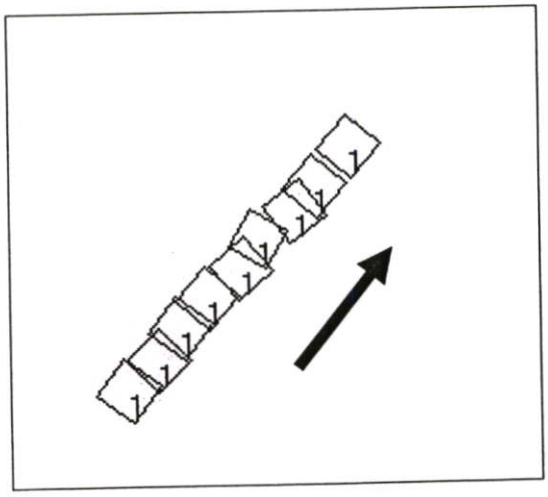
รูปที่ 4.4 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดแรกถึงเป้าหมาย

การทดสอบให้หุ่นยนต์มดเคลื่อนที่เส้นทางตรง อยู่นอกระนาบแกนX และY เป็นระยะทางประมาณ 12 เซนติเมตรกำหนดการเคลื่อนที่เดินเป็นเส้นตรงเอียงประมาณ 45 องศา กับระนาบ เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างเคลื่อนที่สู่เป้าหมายที่กำหนดทางขวามือข้างบน ดังรูปที่ 4.5



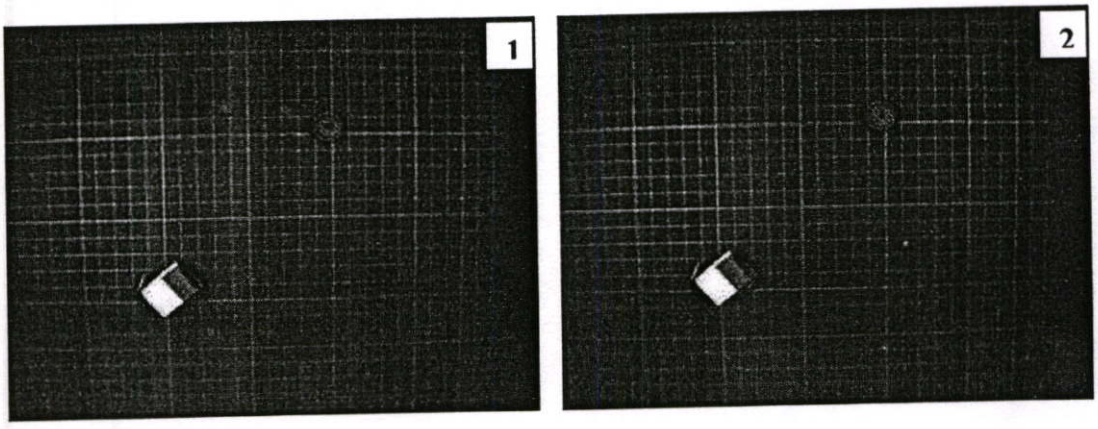
รูปที่ 4.5 เส้นการเดินของหุ่นยนต์มดเป็นเส้นตรง เอียง ประมาณ 45 องศา

จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน แสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่แทนตัวมด ผลที่ได้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.6



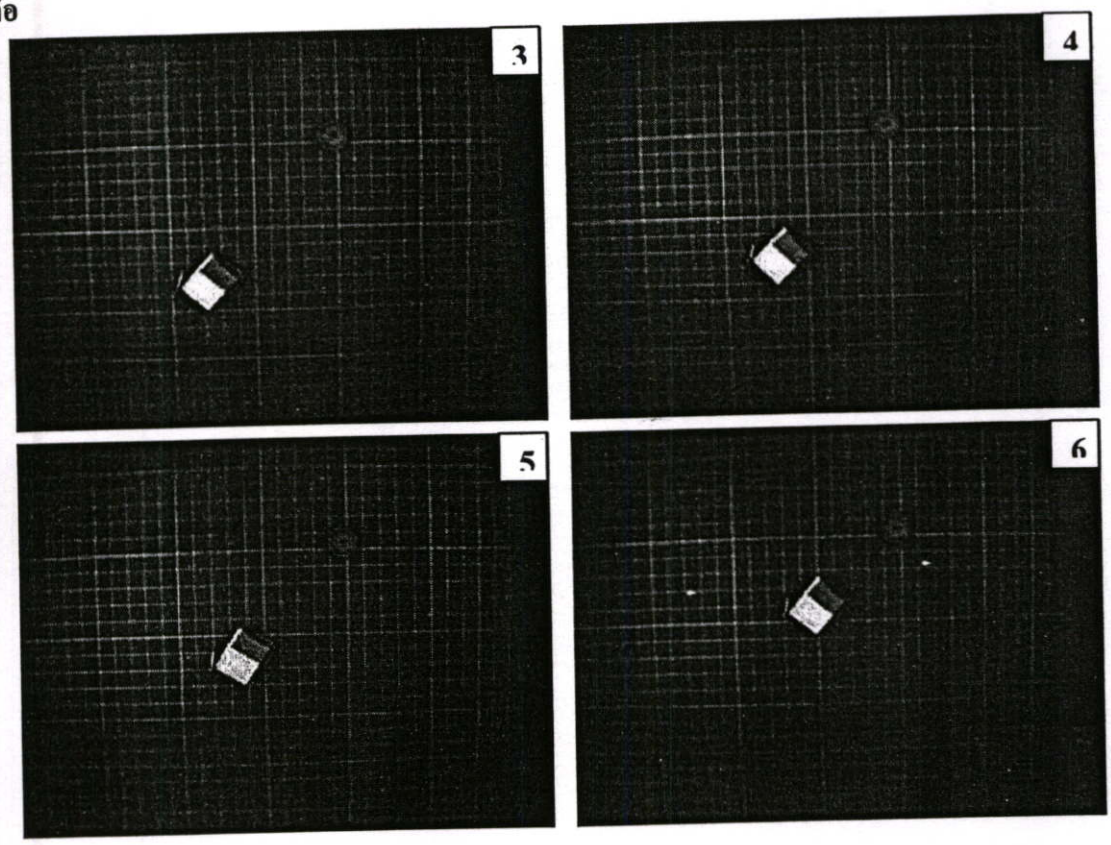
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดเดินเป็นเส้นตรงเอียง ประมาณ 45 องศา

จากผลการจำลองเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์เป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมายที่ได้ถูกส่งให้ประมวลผลสั่งให้ตัวหุ่นยนต์มดเคลื่อนที่สู่เป้าหมายตามผลที่ได้รับจากการจำลองจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร เรียงลำดับผลการทดลองตามรูปที่ 4.7(1) ถึง 4.7(6)



รูปที่ 4.7 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดเดินเป็นเส้นตรงเอียง 45 องศา

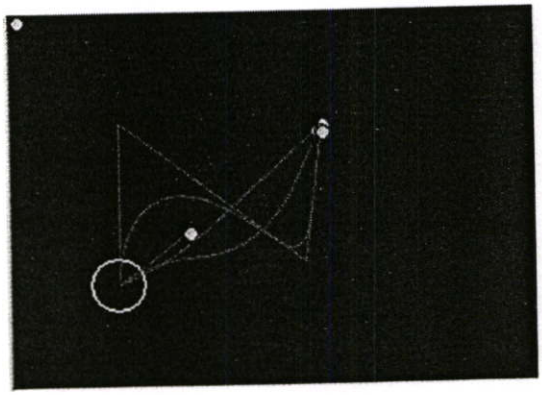
ต่อ



รูปที่ 4.7 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดเดินเป็นเส้นตรงเอียง 45 องศา

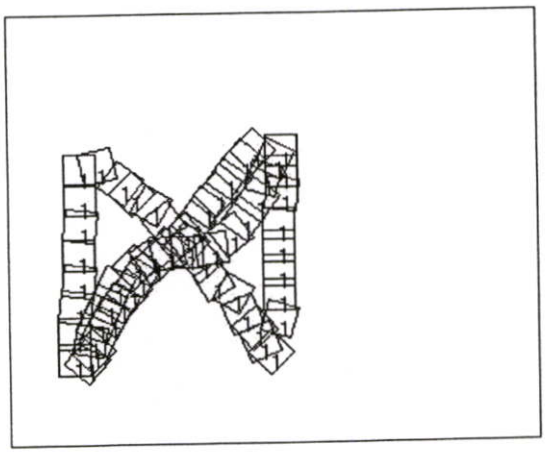
การทดสอบให้หุ่นยนต์มดเดินซิกแซก ดังรูปที่ 4.8

เป็นการทดลองระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมายไม่มีสิ่งกีดขวาง กำหนดให้เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดไปทางซ้ายข้างบนต่อไปที่ขวาข้างล่างสุดท้ายกำหนดทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการไปถึงจากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน ได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.8



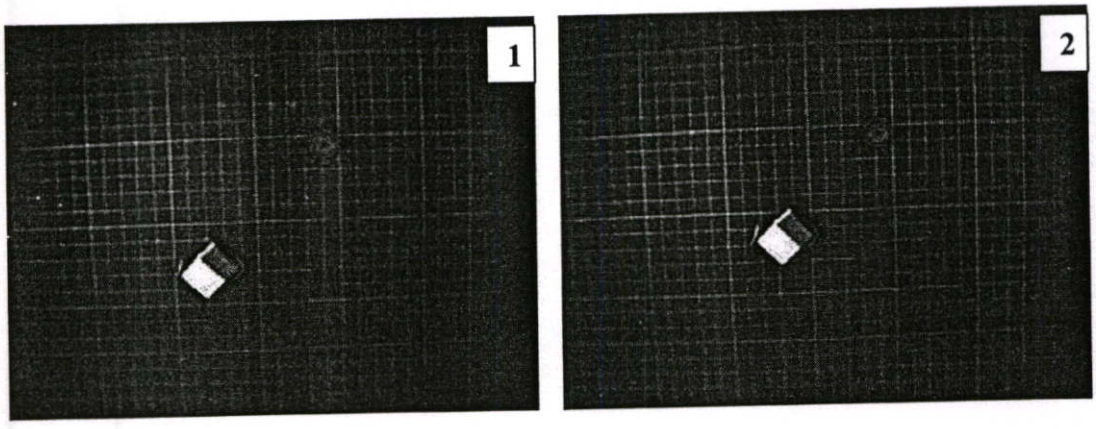
รูปที่ 4.8 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก

จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน แสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่แทนตัวมด ผลที่ได้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร แต่มีทางแบบ ซิกแซกเส้นทางท้ายที่สุดจะเป็นเส้นตรงจากทางซ้ายข้างล่างตรงสู่ทางขวาข้างบนที่มดต้องการได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.9



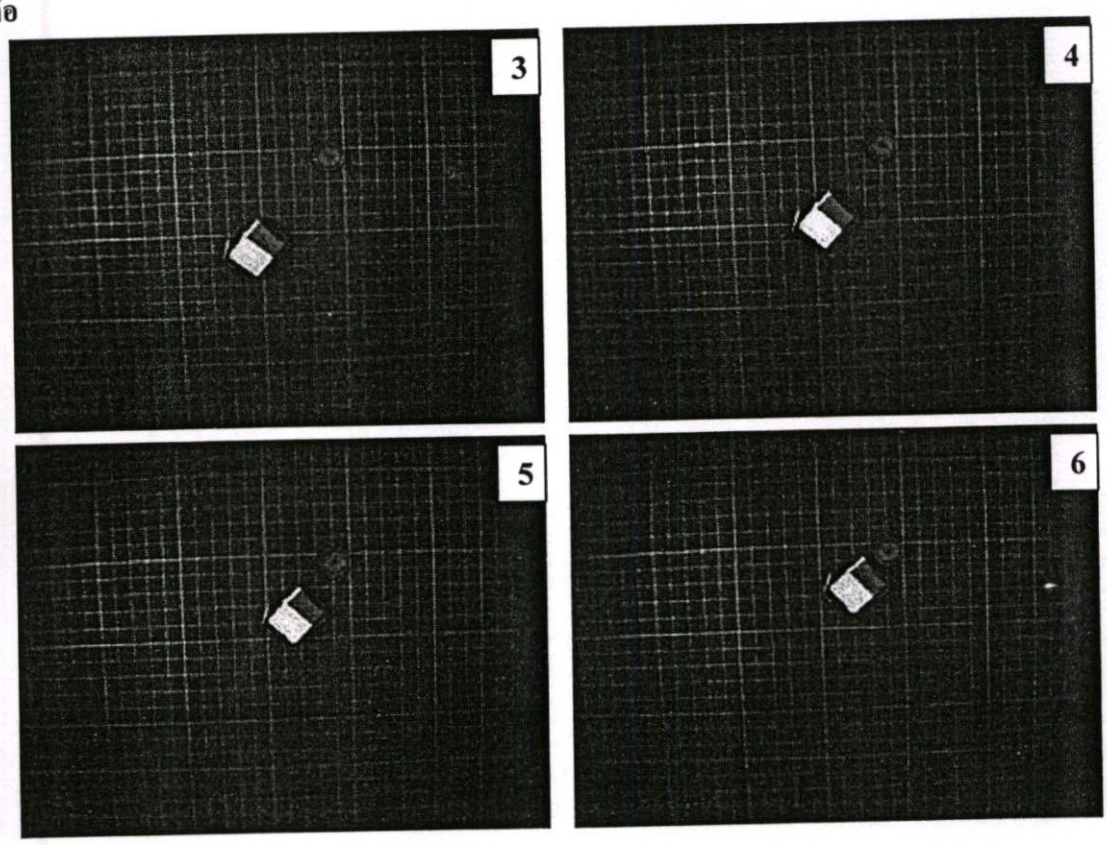
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก

จากผลเส้นทางสุดท้ายของการจำลองการเดินของหุ่นยนต์เป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมายที่ได้ถูกส่งให้ประมวลผลสั่งให้ตัวหุ่นยนต์มดเคลื่อนที่สู่เป้าหมายตามผลที่ได้รับจากการจำลองจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร เรียงลำดับผลการทดลองตามรูปที่ 4.10(1) ถึง 4.10(6)



รูปที่ 4.10 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก

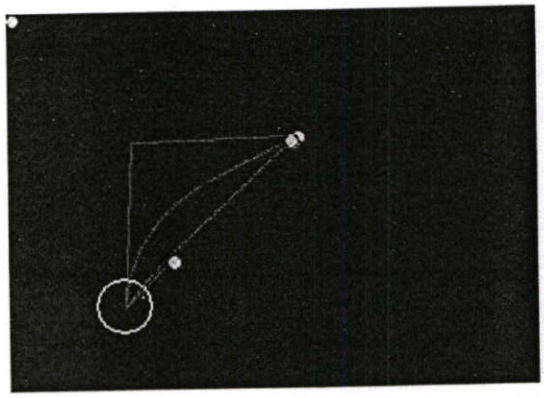
ต่อ



รูปที่ 4.10 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก

การทดสอบให้หุ่นยนต์มดเดินตามเส้นทางที่เป็นมุมฉาก ดังรูปที่ 4.11

เป็นการทดลองระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมายไม่มีสิ่งกีดขวาง กำหนดให้เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดไปทางซ้ายข้างบนต่อไปที่ขวาข้างบนเป็นจุดสุดท้ายเป็นป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการไปถึงจากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน ได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.8

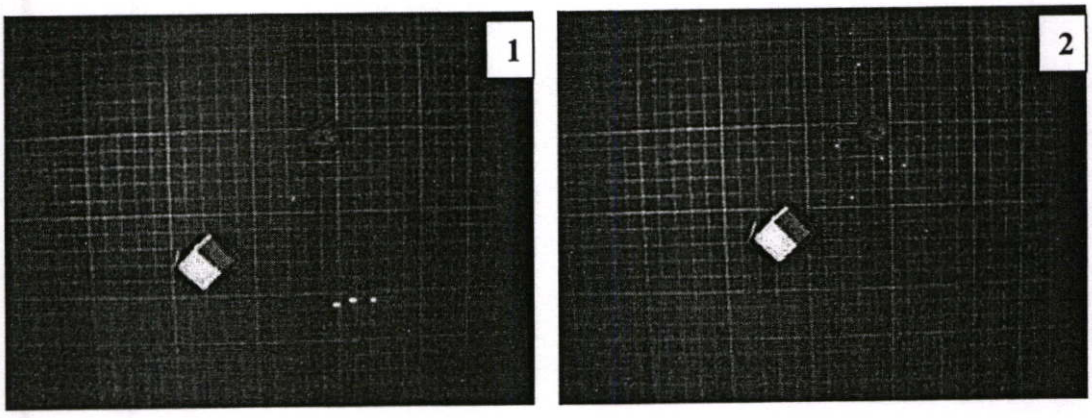


รูปที่ 4.11 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบมุมฉาก

โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน แสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่แทนตัวมด ผลที่ได้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร แต่มีทางแบบมุมฉากระหว่างจุดเริ่มต้นกับเป้าหมายที่กำหนด เส้นทางท้ายที่สุดจะเป็นเส้นตรงเริ่มจากทางซ้ายข้างล่างตรงสู่ทางขวาข้างบนที่มดต้องการได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.12

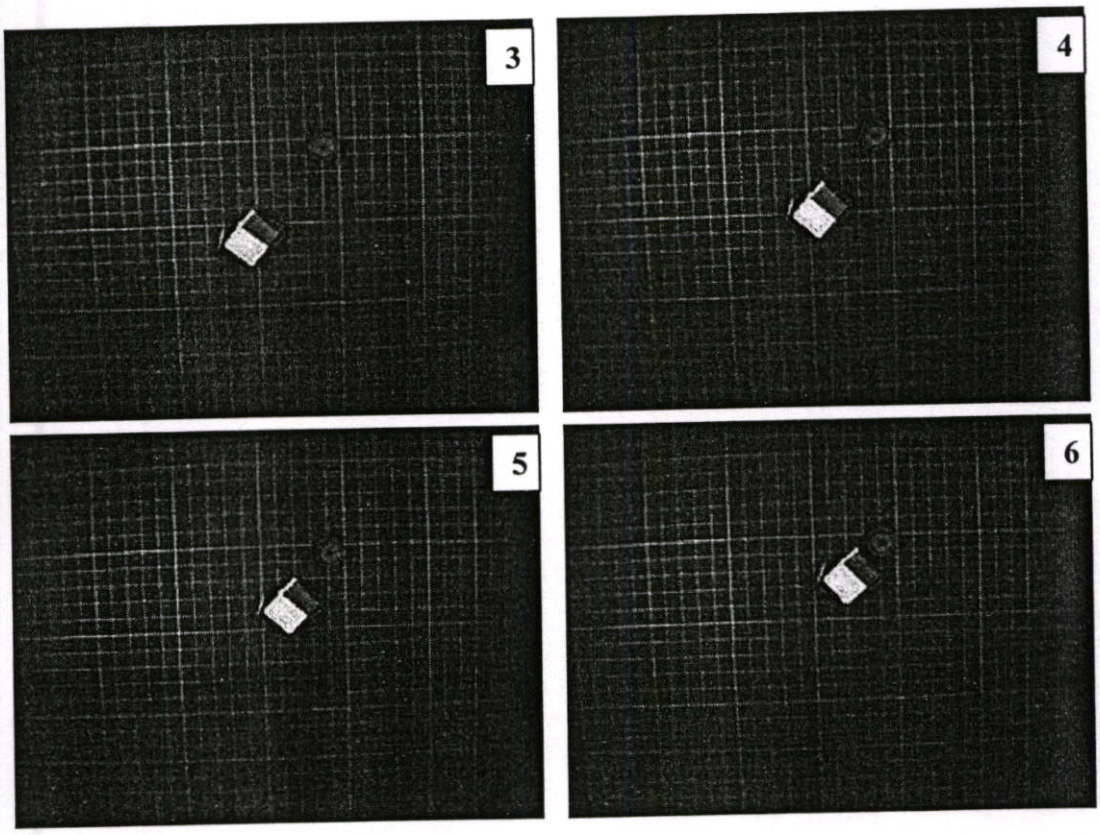
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดแบบมุมฉาก

จากผลเส้นทางสุดท้ายของการจำลองการเดินของหุ่นยนต์เป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมายที่ได้ถูกส่งให้ประมวลผลสั่งให้ตัวหุ่นยนต์มดเคลื่อนที่สู่เป้าหมายตามผลสุดท้ายที่ได้รับจากการจำลองจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร เรียงลำดับผลการทดลองตามรูปที่ 4.13(1) ถึง 4.13(6)



รูปที่ 4.13 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดแบบมุมฉาก

ต่อ



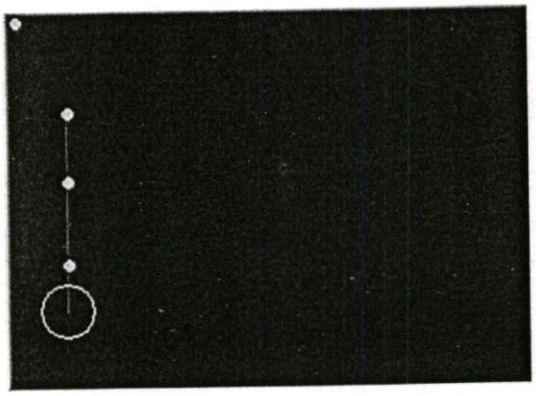
รูปที่ 4.13 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดแบบมุมฉาก

สำหรับผลการทดลองที่เทียบกับเวลาและการทดลองยืนยันของผลการทดลองนี้นำเสนอดูได้ในภาคผนวก ง

4.2.2 การใช้หุ่นยนต์สามตัวเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมาย

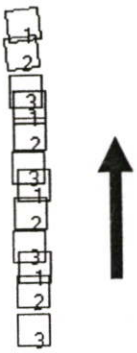
การทดสอบให้หุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ดังรูปที่ 4.14

การกำหนดเส้นทางเดินเป็นเส้นสีแดงไปยังเป้าหมายโดยใช้หุ่นยนต์สามตัวเป็นขบวนเดินตามกันในการปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 4.15 เป็นการทดลองระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมายไม่มีสิ่งกีดขวาง กำหนดให้เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางซ้ายข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการไปถึง



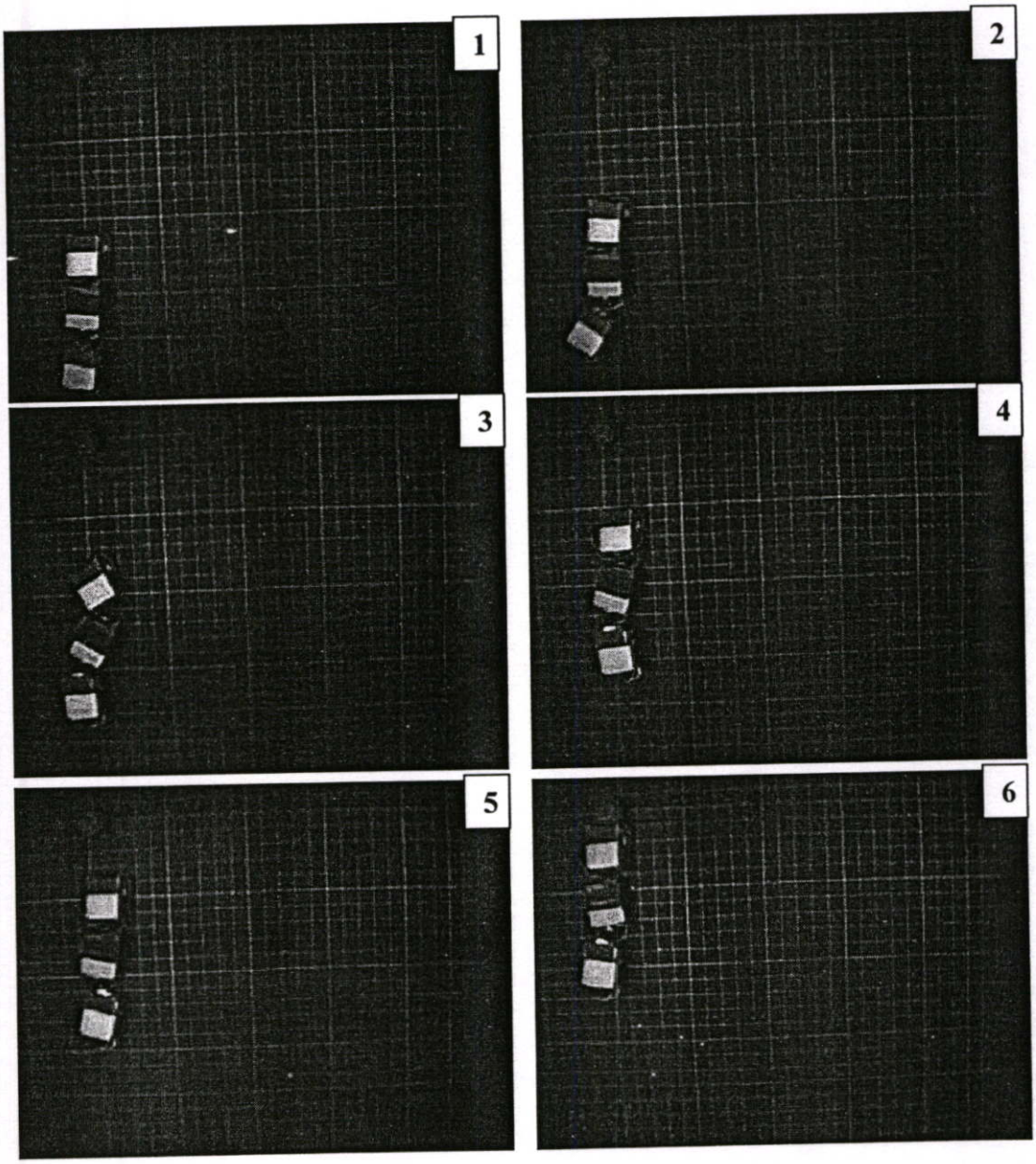
รูปที่ 4.14 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน

จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน แสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่แทนตัวมด ผลที่ได้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.15



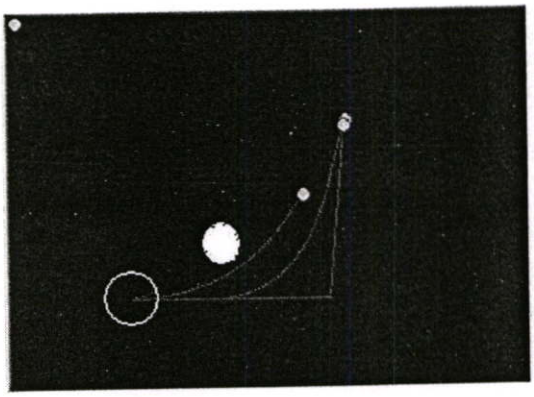
รูปที่ 4.15 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน

จากผลการจำลองเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์เป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมายที่ได้ถูกส่งให้ประมวลผลสั่งให้ตัวหุ่นยนต์มดเคลื่อนที่สู่เป้าหมายตามผลที่ได้รับจากการจำลองจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางซ้ายข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร หุ่นยนต์มดทั้งสามตัวจะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่เรียงลำดับเป็นขบวนตามกันจนหุ่นยนต์มดตัวแรกถึงเป้าหมายที่กำหนด เรียงลำดับผลการทดลองตามรูปที่ 4.16(1) ถึง 4.16(6)



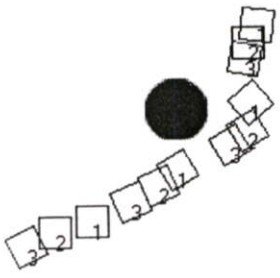
รูปที่ 4.16 ผลปฏิบัติงาน การเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน

การทดสอบให้หุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันโดยเส้นทางมีสิ่งกีดขวาง เป็นการทดลองระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมาย กำหนดให้เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดมีสิ่งกีดขวาง อยู่ตรงกลางระหว่างจุดเริ่มต้นกับสุดสิ้นสุดในระยะขจัดไปทางขวาข้างล่างต่อไปที่ขวาข้างบนเป็นจุดสุดท้ายเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการไปถึงจากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน ได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.17



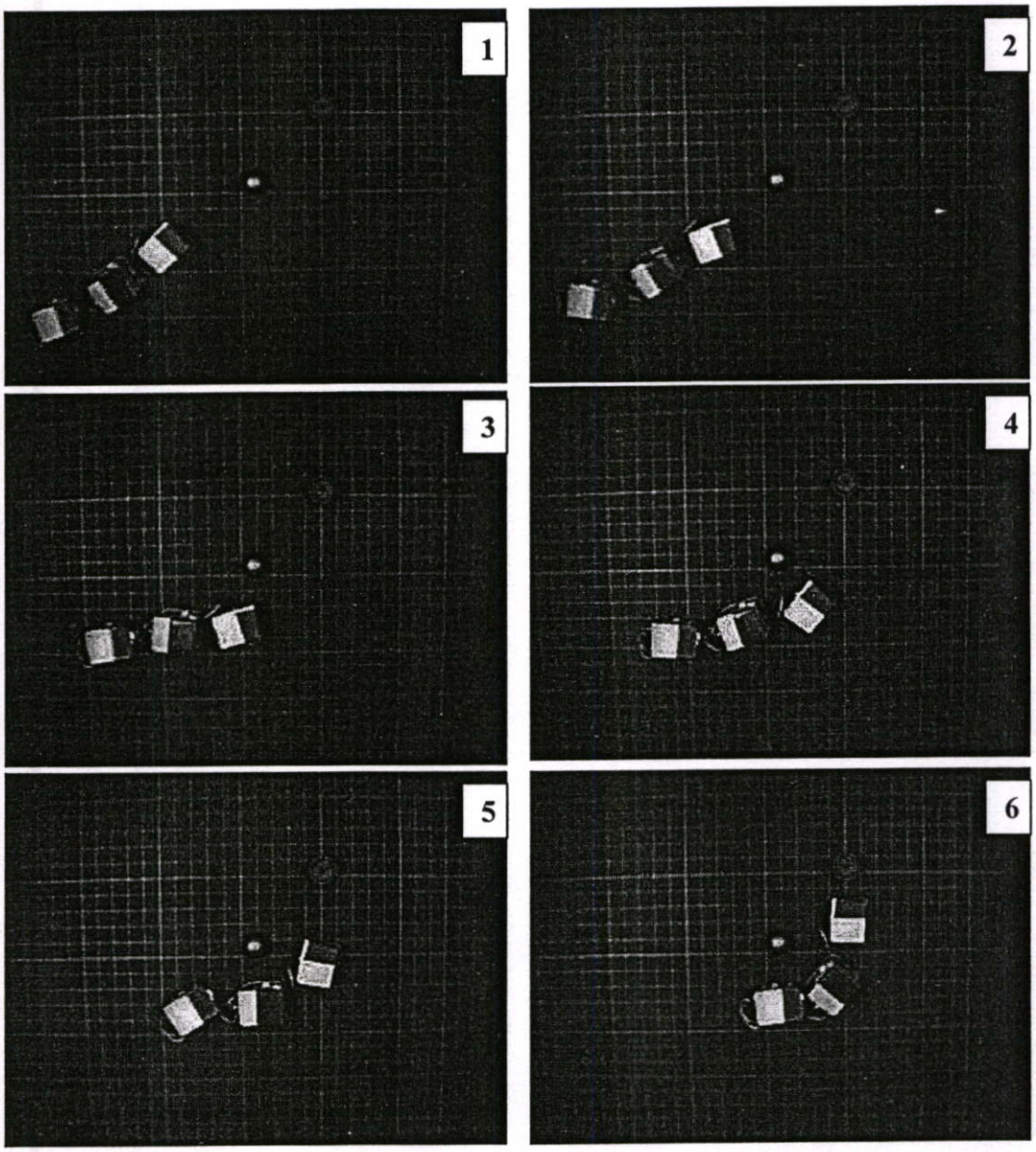
รูปที่ 4.17 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง

จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน แสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่แทนตัวมด ผลที่ได้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารแต่สิ่งกีดขวางระหว่างจุเริ่มต้นกับเป้าหมายที่กำหนด เส้นทางท้ายที่สุดจะเป็นเส้นตรงเริ่มจากทางซ้ายข้างล่างตรงสู่ทางขวาข้างบนที่มดต้องการได้แต่การจำลองได้เคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวาง เป็นการเคลื่อนระยะสู่เป้าหมายที่สั้น ได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง

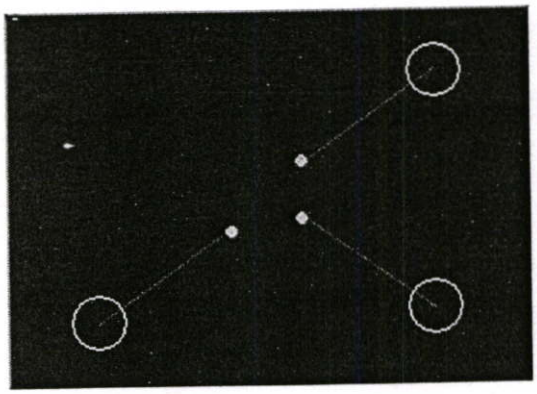
จากผลเส้นทางสุดท้ายของการจำลองการเดินของขบวนหุ่นยนต์มดเป็นเส้นโค้งเตรียมอ้อมสิ่งกีดขวางระหว่างจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมายที่ได้ถูกส่งให้ประมวลผลสั่งให้ตัวหุ่นยนต์มดเคลื่อนที่สู่เป้าหมายตามผลที่ได้รับจากการจำลองจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางขวาข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร เรียงลำดับผลการทดลองตามรูปที่ 4.19(1) ถึง 4.19(6)



รูปที่ 4.19 ผลการปฏิบัติงานการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง

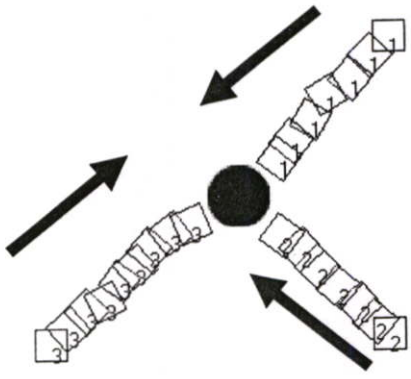
4.2.3 การใช้กลุ่มหุ่นยนต์ 3 ตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย

เป็นการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มดทั้งสามตัวที่อยู่กระจายบนพื้นที่เข้าหาป้าหมาย โดยที่ระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมายไม่มีสิ่งกีดขวาง กำหนดมีการเข้ามาเป้าหมายของหุ่นยนต์มดสามตัวที่อยู่ข้างล่างทางซ้าย ข้างล่างทางขวาและข้างบนทางขวาเข้าสู่ที่เป้าหมายตรงกลางหุ่นยนต์มดทุกตัวมีระยะห่างจากเป้าหมาย 12 เซนติเมตรให้เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ทางซ้ายข้างบนเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหารที่มดต้องการไปถึงการทดสอบให้หุ่นยนต์มดสามตัวแบบกระจาย ดังรูปที่ 4.20



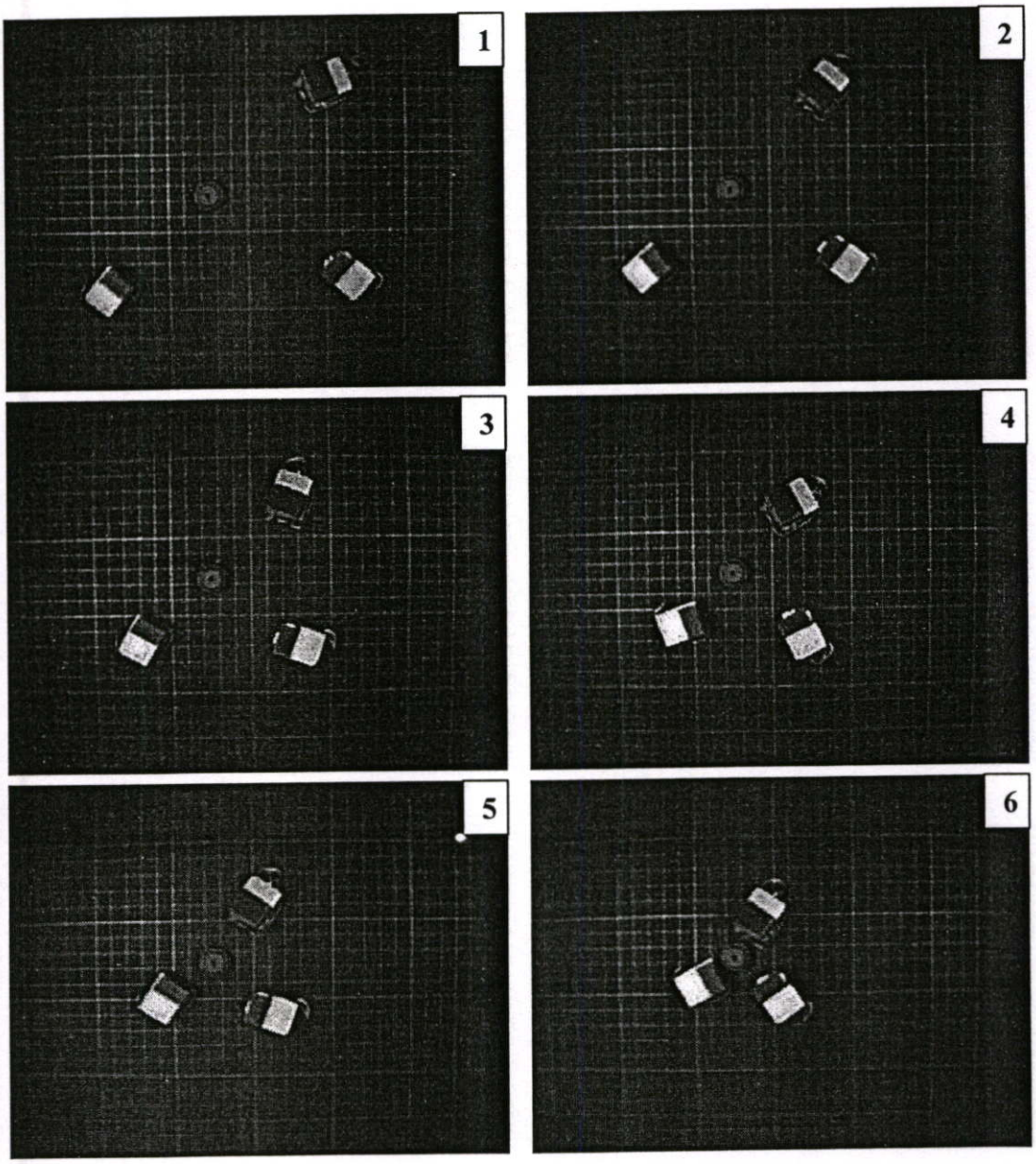
รูปที่ 4.20 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวแบบกระจาย

จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน แสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่แทนตัวมด ผลที่ได้กรอบสี่เหลี่ยมเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดของแต่ละตัวสู่เป้าหมายที่ต้องการ เสมือนเป็นแหล่งอาหารที่อยู่ตรงกลาง เส้นทางท้ายที่สุดจะเป็นเส้นตรง ได้ผลการจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 ผลการจำลองการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวแบบกระจาย

จากผลเส้นทางสุดท้ายของการจำลองการเดินของขบวนหุ่นยนต์มดเป็นเส้นตรงเข้าสู่เป้าหมายที่ได้ถูกส่งให้ประมวลผลสั่งให้ตัวหุ่นยนต์มดเคลื่อนที่สู่เป้าหมายตามผลที่ได้รับจากการจำลองจากทางซ้ายข้างล่าง ล่างขวาบนและขวาข้างบนเป็นจุดเริ่มต้นเสมือนรังมดสู่ตรงกลางเป็นเป้าหมายที่ต้องการเสมือนเป็นแหล่งอาหาร เรียงลำดับผลการทดลองตามรูปที่ 4.22(1) ถึง 4.22(6)



รูปที่ 4.22 ผลปฏิบัติงานการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวแบบกระจายเข้าหาเป้าหมาย

สำหรับผลการทดลองที่เทียบกับเวลาและการทดลองยืนยันของผลการทดลองนี้นำเสนอในภาคผนวก ง. จากผลการทดลองที่ผ่านมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นและโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถปฏิบัติงานร่วมกันได้ผลเป็นที่น่าพอใจระดับหนึ่ง ทำให้หุ่นยนต์ทำงานได้ตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ คือสามารถทำงานได้คล้ายพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมดในธรรมชาติ บทต่อไปจะเป็นการสรุปผลการดำเนินการวิจัยเพื่อสร้างหุ่นยนต์ตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการเลียนแบบพฤติกรรมของมดงาน โดยศึกษาด้วยวิธีสร้างตัวหุ่นยนต์ได้ออกแบบให้ที่มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่ทำได้เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน ใช้อุปกรณ์ที่หาได้และมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดเพื่อให้มีราคาต่ำ หลังจากประกอบเป็นตัวหุ่นยนต์แล้วสามารถควบคุมแบบไร้สายจากคอมพิวเตอร์ได้ดี ตัวหุ่นมีการเคลื่อนที่ได้ทั้งทางซ้าย ทางขวาและตรง ในขณะที่เคลื่อนที่เป็นเส้นทางตรงมีการเคลื่อนที่แบบสลับกันทำงานของมอเตอร์ทั้งสองข้าง

พฤติกรรมมดงานที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้มี 3 แบบด้วยกัน คือ การเคลื่อนที่เกือบเป็นระยะขจัดจากจุดเริ่มต้นสู่เป้าหมาย ไม่ว่าเริ่มต้นตอนแรกหุ่นยนต์มดและเป้าหมายมีทิศทางที่ทำให้เส้นทางการเดินเป็นอย่างไร ท้ายที่สุดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นระยะขจัดเสมอ แต่อยู่ภายใต้เงื่อนไขว่าต้องไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างหุ่นยนต์และเป้าหมาย พฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบที่ 2 คือ การเคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวนเพื่อไปยังเป้าหมาย โดยการกำหนดพิกัดจุดเริ่มต้นเป้าหมายและสิ่งกีดขวางแล้วจำลองพฤติกรรมให้หุ่นยนต์กระทำตาม พฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบสุดท้ายคือการให้หุ่นยนต์แต่ละตัวเคลื่อนที่จากตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นที่ปฏิบัติงานเพื่อไปยังเป้าหมาย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ดี ตามรูปแบบการทำงานที่ได้กำหนดไว้ โปรแกรมควบคุมสามารถตัดสินใจและแก้ไขข้อผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของหุ่นได้ในเวลาจริงซึ่งบ่งนัยเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์ที่เลียนแบบสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติและข้อเสนอแนะเพื่อก่อให้เกิดความเข้าใจและองค์ความรู้ในศาสตร์ไซบอร์ก(Cybernetics)

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงานและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองเกิดจากข้อจำกัดบางประการ ดังนี้คือ

5.2.1 ฮาร์ดแวร์

วัสดุที่นำมาใช้ เนื่องจากหุ่นยนต์มดที่ประดิษฐ์ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 0.25 เซนติเมตร ต่อ 1 วินาที มีขนาดประมาณ กว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตรซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในท้องตลาดนำมาประกอบเป็นตัวหุ่นยนต์ ประกอบทั้งมอเตอร์ขับเคลื่อน วงจรควบคุม ถูกจำกัดให้อยู่ในขนาดที่กำหนด ในบางจังหวะของการ

เคลื่อนที่เกิดเหตุการณ์ล้อเคลื่อนที่ผิดตำแหน่ง เกิดจากมอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นเฟืองพลาสติกทำการทดลองมากครั้งเฟืองมอเตอร์สึกหรอจึงทำให้ตำแหน่งหุ่นยนต์ผิดพลาดจากที่คำนวณไว้ แต่สามารถทำการแก้ไขได้จากโปรแกรมควบคุม

5.2.2 การรบกวนภายนอกต่อการประมวลการบันทึกภาพ

ในระหว่างการทดลองเกิดจากข้อจำกัดบางประการต่อการประมวลผลภาพประกอบด้วยสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อระบบประมวลผลภาพอย่างมาก ในการวิจัยนี้กล้องรับภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด ถ้ากล้องรับภาพประสิทธิภาพสูงผลภาพที่ได้รับจากกล้องจะมีข้อมูลที่ดีสามารถแยกแยะสีที่แตกต่างกันมากๆซึ่งมีราคาแพง แต่ถ้าทำการทดลองกล้องรับภาประสิทธิภาพต่ำราคาถูก ข้อมูลที่รับมาจะมีความคลุมเครือของสี การทดลองนี้เลือกใช้กล้องเวปแคมดังนั้นต้องควบคุมสิ่งที่ควบคุมได้ ควบคุมทางแสงทดลองในที่ปิด การเลือกวัสดุและสีที่ทำหน้าที่บอกว่าเป็นหุ่นยนต์มดหมายเลขตามที่กำหนด เป็นวัสดุที่ไม่สะท้อนแสง การเลือกสีต้องมีความแตกต่างทางสีกันมากๆ เพื่อสะดวกในขั้นตอนการปรับโปรแกรมการประมวลผล

ดังนั้น การทดลองควรอยู่ในบริเวณปิด กำหนดวัสดุและสีเฉพาะเพื่อที่โปรแกรมการประมวลและกล้องรับภาพผลทำงานได้ ในการพัฒนาต่อให้เพิ่มประสิทธิภาพของหุ่นยนต์มดให้สูงขึ้นในเรื่องของชุดขับเคลื่อน การประมวลการภาพขึ้นอยู่ข้อมูลที่รับมาดังนั้นถ้ามีกล้องประสิทธิภาพสูงทำให้การประมวลผลของโปรแกรมง่ายต่อการทดลองและอาจจะมีผลการทดลองที่ดีขึ้น

5.2.3 การเดินตามกันของหุ่นยนต์มดงาน

ในการทดลองนี้อาศัยแนวทางตามสมการที่ (3.1) ซึ่งไม่ได้คิดการระเหยของฟีโรโมนและผลกระทบจากอัตราการจางหายเมื่อเวลาเปลี่ยนไป เพื่อให้เกิดสภาพที่เสมือนกับการจำลองปรากฏการณ์ในธรรมชาติจริง ปัญหาการเดินตามกันโดยอาศัยสมการ สามจุดสอง จึงเป็นปัญหาที่น่าศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Fukuda, T., Mizoguchi, H., Sekiyama, K.,and Arai, F., "Group behavior control for MARS (micro autonomous robotic system)," **IEEE International Conference on Robotics and Automation,** pp.1550-1555, May 1999.

[2] Russell, R.A., "Ant trails - an example for robots to follow?," **IEEE International Conference on Robotics and Automation**, pp.2698-2703, May 1999.

[3] Siegel, M., "Smart sensors and small robots," **IEEE Proceeding on Instrumentation and Measurement Technology,** pp.303 – 308, May 2001.

[4] Schneider, M.O., and Rosa, J.L.G., "BioAnt - biologically plausible computer simulation of an environment with ants," **IEEE International Joint Conference on Neural Networks,** pp.1505-1510, 31 July-4 August 2005.

[5] Bay, J.S., "Design of the "army-ant" cooperative lifting robot," **IEEE Robotics & Automation Magazine**, pp.36-43, March 1995.

[6] Yong-Joo, O., and Watanabe. Y., "Development of small robot for home floor cleaning," **Proceedings of the 41st SICE Annual Conference,** pp.3222-3223, August 2002.

[7] Suzuki, K., Makami, S., Akita, J., and Osawa, E., "Development of cooperative small mowing robots," **IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation,** pp.1498-1502, July 2003.

[8] Nelson, A.L., Grant, E., Barlow, G.J., and Henderson, T.C., "A colony of robots using vision sensing and evolved neural controllers," **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems,** pp.2273–2278, October. 2003.

[9] Conrad, J.M., "Stiquito for robotics and embedded systems," **Education Computer,** vol.38, pp.77-81, May 2005.

[10] Soh, S., and Yoshiki, M., "Streaming behavior generation and measurement error reduction in a super-mechano colony for effective object retrieval," **Proceedings of the 41st SICE Annual Conference,** pp.146-150, August 2002.

[11] Bruckstein,A.M., "Why the ant trails look so straight and nice," **The Mathematical Intelligencer**, vol.15, no.2 ,pp.59-62, 1993.

[12] Dorigo, M.,Maniezzo,V., and Colorni ,A.," **The ant sys : Optimization by a colony of cooperating agents," IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B**, vol. 26 no.1, pp.29-41, 1996.

[13]www.cg.tuwien.ac.at/courses/CG/ slides_2002/15_Color_Models_&_Color_Apps.pdf.

[14] www.eecs.wsu.edu/~cs445/Lecture_15.pdf .

[15] www.userfs.cec.wustl.edu/~cse452/lectures/Color2004.4pp.pdf.

[16] www.rmav.arauc.br/pdf/spf.pdf.

[17] www.cs.technion.ac.il/~tzach/ants/class-list.html.

[18] www.school.net.th/library/snet4/may11/ant.html.

[19] www.ku.ac.th/e-magazine/december45/agri/ant.html.

ภาคผนวก ก.

ส่วนเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์

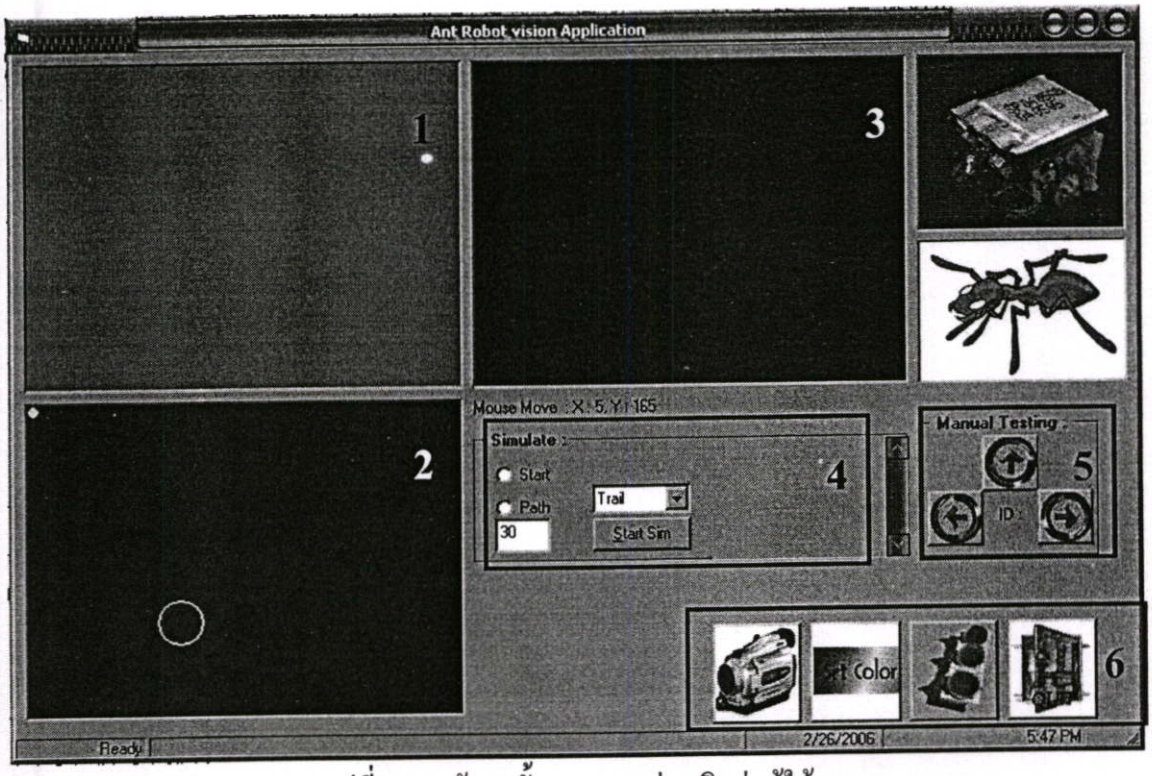
ก.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานโปรแกรม

ส่วนติดต่อผู้ใช้ของโปรแกรมมีองค์ประกอบดังนี้

1. ส่วนแสดงผลสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอ
2. ส่วนกำหนดเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์ตอนเริ่ม
3. ส่วนแสดงผลจากการจำลองเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์
4. ส่วนกำหนดรูปแบบการทำงานของหุ่นยนต์
5. ส่วนควบคุมและทดสอบการทำงานหุ่นยนต์โดยผู้ใช้
6. ส่วนของการตั้งค่าต่าง ๆ

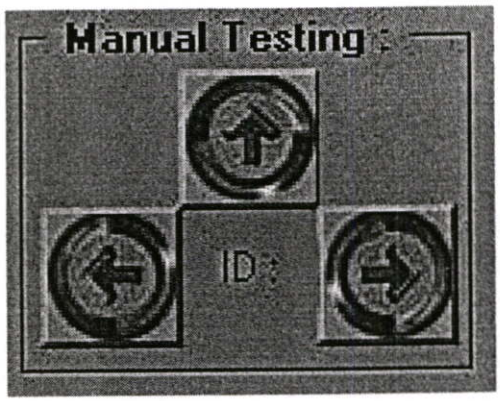
สำหรับฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรม หลัก ๆ มีดังนี้

1. การประมวลผลภาพเพื่อทำการหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย และหุ่นยนต์
2. การตั้งค่าสำหรับการประมวลผลภาพ
3. การทดสอบและควบคุมจากผู้ใช้งาน
4. กำหนดรูปแบบการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยระบบกฎพื้นฐาน
5. กำหนดเส้นทางการเดินตอนเริ่มต้น และแสดงผลจำลองการเดินของหุ่นยนต์



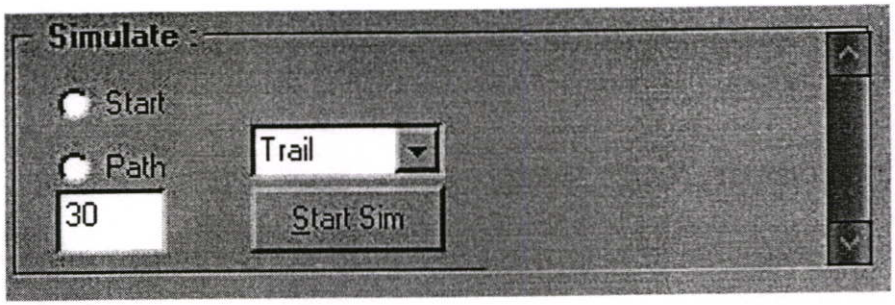
รูปที่ ก.1 หน้าจอทั้งหมดของส่วนติดต่อผู้ใช้

รูปที่ ก.1 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของโปรแกรม ส่วนปุ่มบังคับทิศทางสำหรับทดสอบเพื่อทำการตรวจความพร้อมของหุ่นยนต์ด้วยตนเอง แสดงดังรูปที่ ก.2



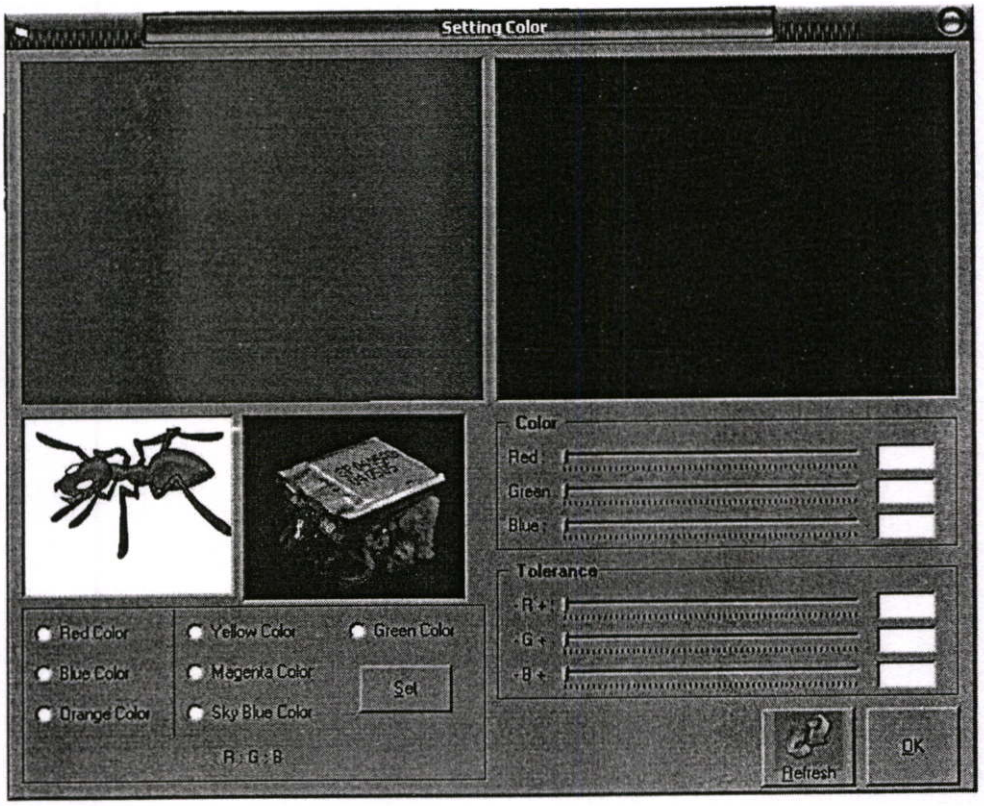
รูปที่ ก.2 ปุ่มสำหรับทดสอบการทำงานการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยตนเอง

รูปที่ ก.3 เป็นหน้าจอสำหรับติดต่อของผู้ใช้สำหรับจำลองการกำหนดรูปแบบพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ รูปแบบของการเคลื่อนที่นี้สามารถกำหนดเส้นทางระหว่างเป้าหมายที่ต้องการกับจุดเริ่มต้นได้ และดูเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ปรากฏที่จอ จะเห็นเส้นทางการเคลื่อนที่จนกระทั่งท้ายสุดได้เป็นระยะขจัดระหว่างเป้าหมายและจุดเริ่มต้น



รูปที่ ก.3 ปุ่มสำหรับจำลองการกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

รูปที่ ก.4 เป็นหน้าจอการปรับแต่งค่าสีเพื่อการประมวลผลภาพ ใช้เพื่อแก้ไขความผิดเพี้ยนทางสีในเบื้องต้น ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อรับสัญญาณภาพจากกล้องเข้ามาแล้ว



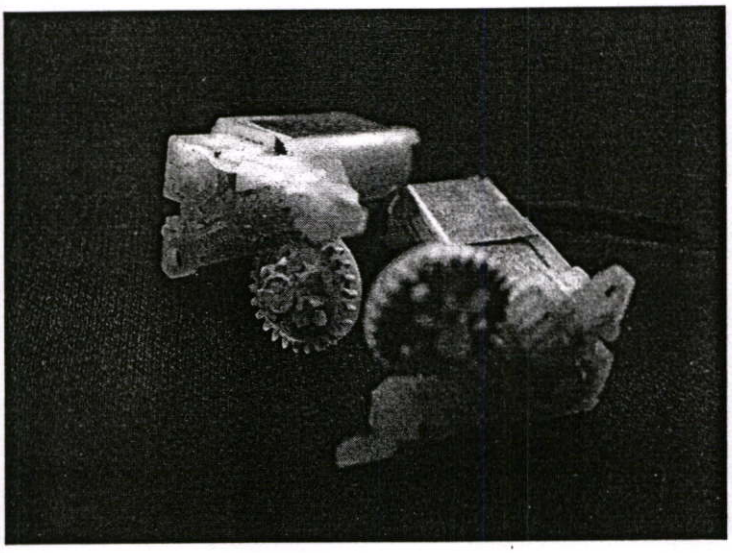
รูปที่ ก.4 หน้าจอการปรับแต่งค่าสีเพื่อการประมวลผลภาพ

ก.2 การออกแบบหุ่นยนต์

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ต้องการหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สามารถปฏิบัติงานได้สะดวก และมีราคาต่ำ เมื่อพิจารณาแล้วขนาดที่เล็กที่สุดเท่าที่สามารถหาอุปกรณ์ได้ไม่ยากนักและตรงตามงบประมาณที่คาดการณ์ไว้ ทำให้ได้หุ่นยนต์ขนาดกว้างสองเซนติเมตร ยาวสองเซนติเมตร และสูงสองเซนติเมตรโดยประมาณ สื่อสารโดยใช้ชุดวงจรสื่อสารอินฟราเรด มีแผงวงจรวงจรควบคุมหุ่นยนต์และวงจรขับมอเตอร์ขนาดเล็ก

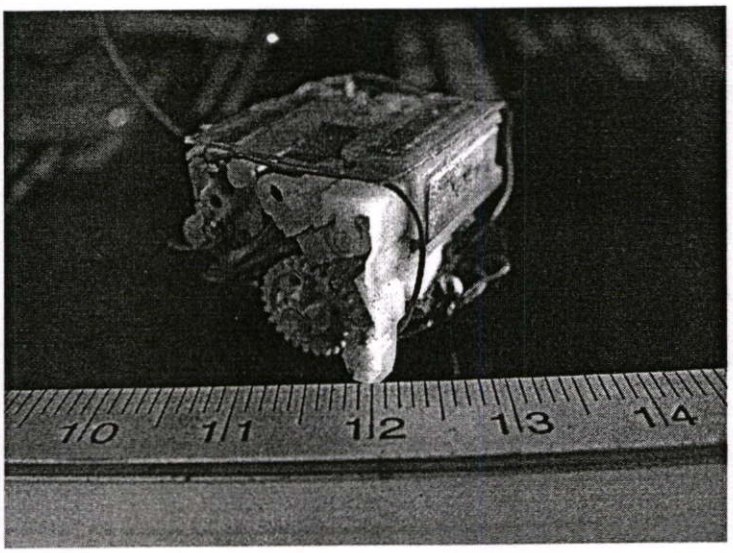
โดยปกติมอเตอร์ชนิดเดียวกันควรมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่เหมือนกัน แต่ในความเป็นจริง การหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพเท่ากันทุกด้านเป็นเรื่องยาก แม้เป็นมอเตอร์ใหม่จากโรงงานก็ตาม หุ่นยนต์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการมอเตอร์ที่มีความเหมาะสม คือ มีขนาดเล็กและมีแรงบิดพอเพียงสามารถขับเคลื่อนตัวหุ่นได้ดี แต่มอเตอร์ขนาดเล็กส่วนใหญ่มีความเร็วรอบสูงแต่ไม่มีแรงบิดพอ จึงแก้ไขโดยการประกอบชุดเฟืองทดเพื่อเพิ่มแรงบิดให้มอเตอร์ เพื่อให้มีแรงขับเคลื่อนตัวหุ่นยนต์ ชุดขับเคลื่อนหุ่นยนต์เลือกใช้มอเตอร์ที่อยู่ในชุดขับเคลื่อนฉากของเครื่องเล่นซีดี เป็นมอเตอร์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อประหยัดต้นทุน โดยพยายามเลือกมอเตอร์ที่มีความเร็ว

รอบใกล้เคียงกันมากที่สุด ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข แต่เนื่องจากมอเตอร์ที่เลือกมาส่วนมากเมื่อจ่ายแรงดันเข้าไปในมอเตอร์ในระดับที่เท่ากัน มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากัน จึงอาจทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปไม่ตรงตำแหน่งตามที่ต้องการ จึงทำการแก้ไขข้อบกพร่องส่วนนี้โดยแก้ไขร่วมกันทั้ง 2 ทางคือทางวงจรและทางโปรแกรมการจัดการ รูปของมอเตอร์ที่ใช้แสดงในรูปที่ ก.5



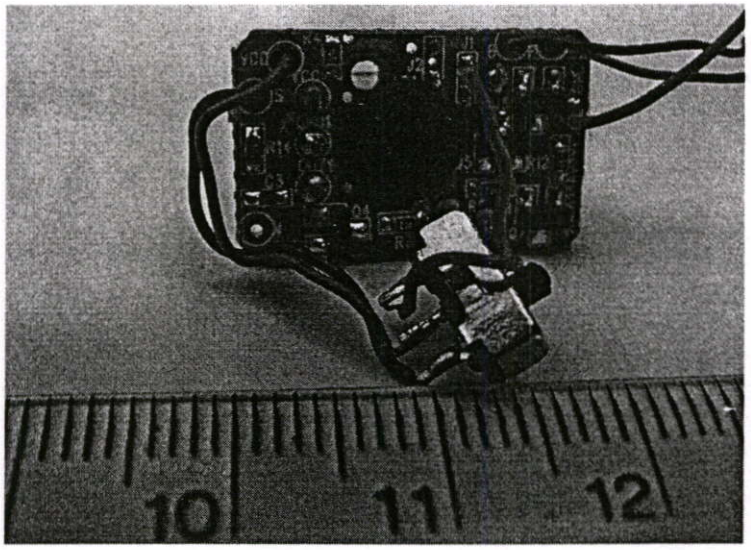
รูปที่ ก.5 มอเตอร์กระแสตรงที่เลือกใช้งาน

เมื่อเลือกมอเตอร์ที่เหมาะสมทั้งขนาด คุณภาพ และราคาได้แล้ว จึงนำมาจัดรูปแบบและประกอบขึ้นเป็นตัวหุ่นเพื่อให้ได้ขนาดของตัวหุ่นตามที่ต้องการ ดังรูปที่ ก.6



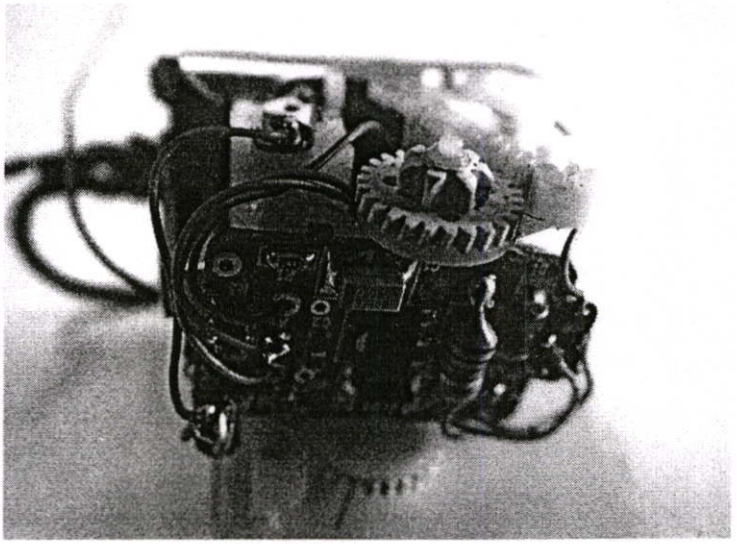
รูปที่ ก.6 หุ่นยนต์หลังจากประกอบมอเตอร์แล้ว

จากชุดวงจรในรูปที่ ก.7 ประกอบด้วยชุดวงจรควบคุมเป็นแบบวงจรรวม มีวงจรขับมอเตอร์จัดวงจรเป็นลักษณะวงจรบริดจ์ ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับ 4 ตัวรวมอยู่ด้วย



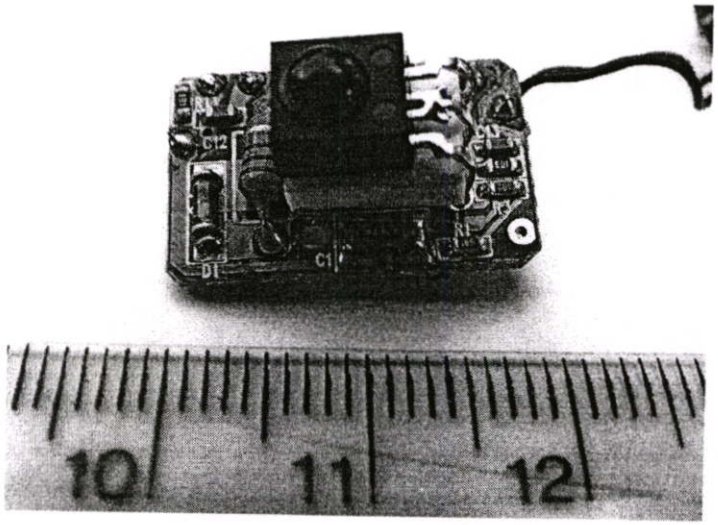
รูปที่ ก.7 แผงวงจรควบคุมและรับส่งสัญญาณ พร้อมวงจรขับมอเตอร์

แผงวงจรควบคุมถูกวางไว้ข้างใต้มอเตอร์เนื่องจากเมื่อทำการจัดตำแหน่งมอเตอร์แล้วมีพื้นที่ว่างพอดี การเคลื่อนที่ใช้มอเตอร์ขับเฟืองตัวหนอนสู่ชุดเฟืองตามให้เป็นล้อขับเคลื่อนตัวหุ่น ทั้งมอเตอร์ข้างซ้ายและข้างขวา ดังรูปที่ ก.8



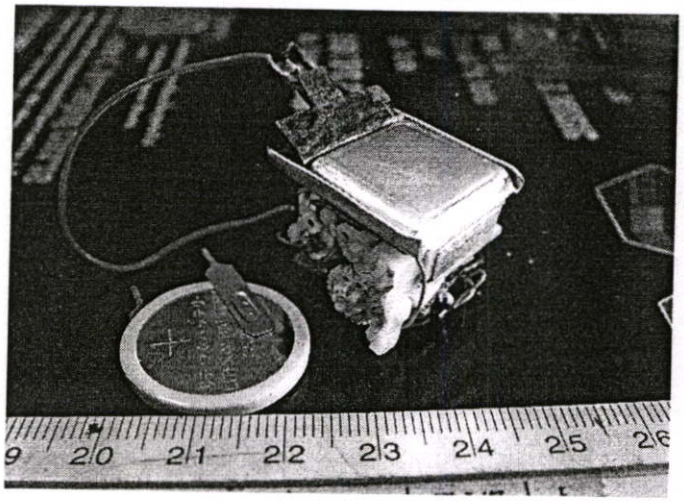
รูปที่ ก.8 แผงวงจรควบคุมหุ่นยนต์หลังจากติดตั้งแล้ว

ชุดวงจรรับสัญญาณควบคุมอินฟราเรดดังรูปที่ ก.9 ใช้สำหรับรับสัญญาณจากชุดส่งสัญญาณขนาดเล็กที่ต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์ มีขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร และยาว 2 เซนติเมตร สามารถติดต่อสื่อสารได้ระยะทางไม่เกินหนึ่งเมตร โดยประมาณ ซึ่งมีความเหมาะสมเนื่องจากมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา



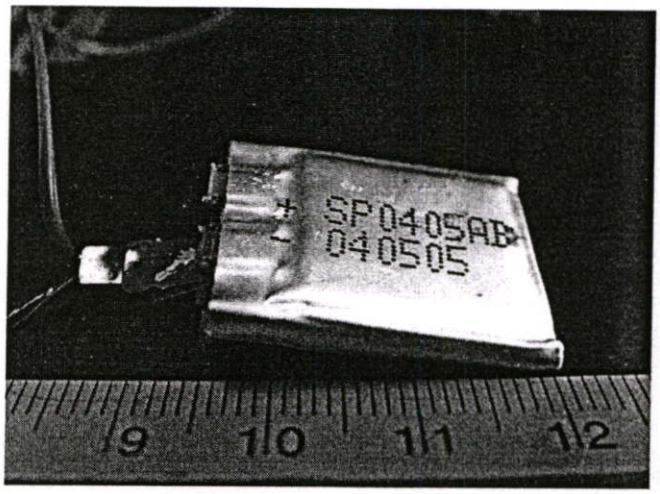
รูปที่ ก.9 ชุดเครื่องรับอินฟราเรด

จากการเลือกแบตเตอรี่โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ พบว่าแบตเตอรี่ที่มีขนาดและพลังงานเพียงพอเหมาะสม มีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดลิเทียม (Li) ซึ่งมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถนำมาประจุใหม่ได้ แต่มีราคาถูก และชนิด ลิเทียมโพลิเมอร์ (Li-Po) ที่สามารถนำกลับมาประจุใหม่ได้ แต่ต้องใช้เครื่องประจุเฉพาะ รูปที่ ก.10 แสดงลักษณะแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภท



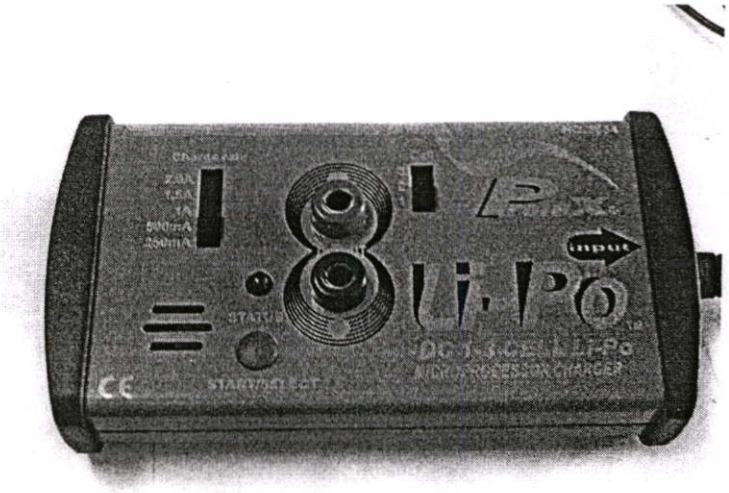
รูปที่ ก.10 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมและลิเทียมโพลิเมอร์

เนื่องจากต้องการให้หุ่นยนต์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา การเลือกใช้แหล่งพลังงานจำเป็นต้องเลือกที่มีขนาดเล็ก จึงเลือกใช้แบตเตอรีชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ ซึ่งมีขนาดกว้างและยาวประมาณสองเซนติเมตร หนาเพียงสามมิลลิเมตรเท่านั้น และยังสามารถนำกลับมาประจุใหม่ได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ ก.11



รูปที่ ก.11 ขนาดของแบตเตอรีชนิดลิเทียมโพลิเมอร์

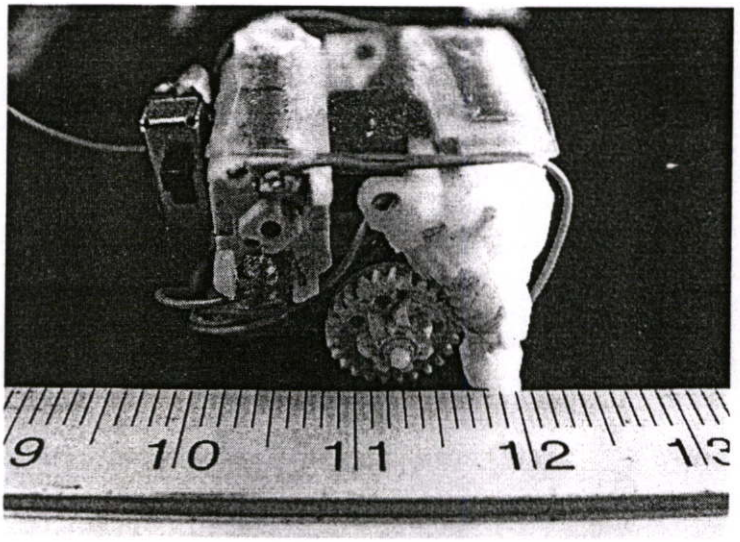
แต่เนื่องจากแบตเตอรี่แบบนี้มีกรรมวิธีการประจุแบตเตอรี่เฉพาะ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องประจุเฉพาะของแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ ก.12



รูปที่ ก.12 เครื่องประจุแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์

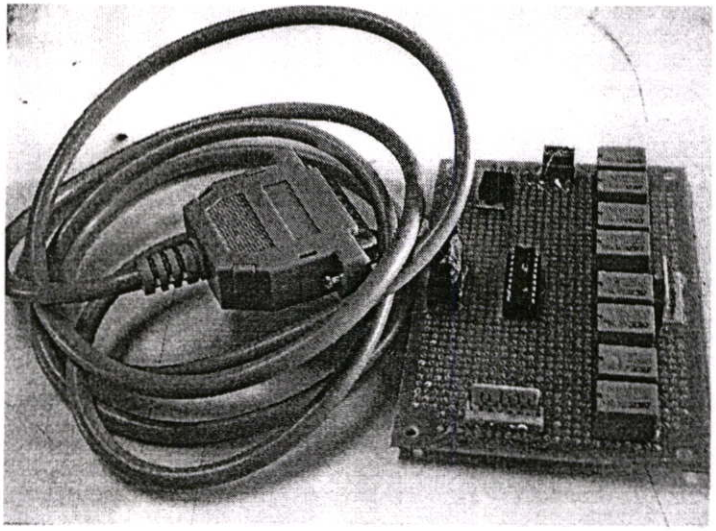
เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้มีแรงบิดไม่มากนัก จึงต้องออกแบบให้หุ่นยนต์มีน้ำหนักไม่มาก การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันจึงไม่ใช้แผ่นโลหะ เพราะทำให้หุ่นยนต์มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้แผ่นพลาสติกซึ่งมีขนาดบางและน้ำหนักเบา ใช้กาวร้อนเป็นตัวประสานให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ติดกัน

รูปที่ ก.13 เป็นรูปหุ่นยนต์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้วด้านข้างจะเห็นมอเตอร์ขับเคลื่อนทั้งสองตัววางประกบกันอยู่และชุดรับสัญญาณอินฟราเรดติดตั้งอยู่ตำแหน่งตรงกลางระหว่างมอเตอร์ทั้งสองตัว



รูปที่ ก.13 โครงสร้างหุ่นยนต์ด้านข้าง

การควบคุมหุ่นยนต์แต่ละตัวจากคอมพิวเตอร์หลัก โดยชุดส่งสัญญาณดังรูปที่ ก.14 รับสัญญาณควบคุมหุ่นยนต์แต่ละตัวจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตแบบขนาน สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้พร้อมกันมากที่สุด 4 ตัว

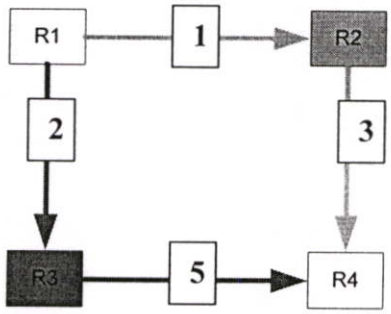


รูปที่ ก.14 ชุดเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และชุดเครื่องส่งสัญญาณ

ก.3 การค้นหาเส้นทาง (Path finding)

ก.3.1 การค้นหาด้วยวิธี Dijkstra

การค้นหาด้วยวิธี Dijkstra [8] เป็นวิธีการคำนวณหาเส้นทางซึ่งใช้รูปแบบเดียวกับวิธีหาเส้นทางแบบ OSPF (Open Shortest Path First) ที่ใช้ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จากรูปที่ ก.15 สมมุติว่าจะทำการหาเส้นทางจาก R1 ไปยัง R4 ซึ่งเห็นได้ว่าสามารถเดินได้ 2 ทาง คือ ผ่าน R2 กับ R3 แต่หลังจากคำนวณแล้ว พบว่าเส้นทางผ่าน R2 เป็นระยะทางที่สั้นกว่าในการเดินทาง ดังจะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ ก.15 เส้นทางการเดินทางจากจุด R1 ไป R2

ขั้นตอนการค้นหาเส้นทางแบบ Dijkstra

ก.3.1.1 สร้างเมตริกเส้นทางของเส้นทางดังรูปที่ ก.15

$$\begin{bmatrix} \infty & 1 & 2 & \infty \\ 1 & \infty & \infty & 3 \\ 2 & \infty & \infty & 5 \\ \infty & 3 & 5 & \infty \end{bmatrix}$$

รูปที่ ก.15 เมตริกของเส้นทาง

ก.3.1.2 กำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาเส้นทาง โดยสมมุติให้เริ่มต้นจาก R1 ก่อน ตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การกำหนดค่าเริ่มต้น

Node	R1	R2	R3	R4
I()	0	∞	∞	∞
Permanent (Y/N)	Yes	No	No	No

จากตารางที่ ก.1 เห็นได้ว่าที่จุด R1 ค่าของเส้นทางเป็น 0 ค่า Permanent ซึ่งแสดงการยืนยันการเดินทาง เป็น yes เมื่อเริ่มนำค่าจากเมตริกในแถวที่ 1 ตำแหน่งที่ R2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 มาบวกกับค่าเริ่มต้นที่เป็นค่า 0 แล้ว ได้ค่าในตำแหน่งที่ R2 เป็น 1 ค่า ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ ถึง R4 สังเกตได้ว่าค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ R2 จึงใส่ ค่า permanent เป็น yes

ก.3.1.3 ทำเหมือนข้อ ก.3.1.2 แต่เปลี่ยนตำแหน่ง เป็น R2, R3, R4 ไปเรื่อย ๆ จนครบ จะได้ค่าตามตารางในรูปที่ ก.2 ดังนี้

ตารางที่ ก.2 ผลลัพธ์เมื่อทำการวิเคราะห์แล้ว

Node	R1	R2	R3	R4
I()	0	1	2	4
Permanent (Y/N)	Yes	Yes	Yes	Yes

จากตารางที่ ก.2 สรุปได้ว่า ระยะทางที่สั้นที่สุดคือจาก R1 ไปทาง R2 ซึ่งมีค่าเป็น 1 จาก R1 ไป R3 มีค่าเป็น 2 และจาก R1 ไป R4 มีค่าเป็น 4

ก.3.2 การค้นหาเส้นทางด้วยวิธี Breadth-First

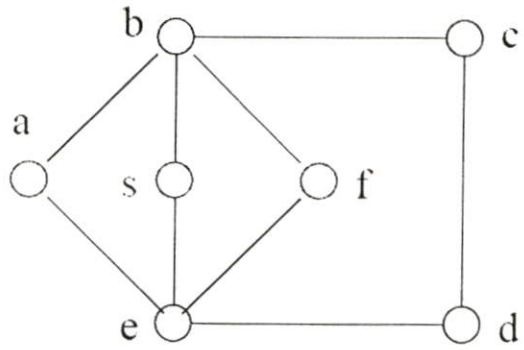
การค้นหาเส้นทางด้วยวิธี Breadth-First [9] เป็นวิธีการค้นหาเส้นทางอีกวิธีหนึ่ง โดยทำการหาจากฟังก์ชันภาพ G = (V;E) ให้ระยะเป็น d[v] จาก S ไป v และฟังก์ชัน pred[v] โดยทำการเก็บค่าไว้ใน 2 อาร์เรย์นี้ และมี อาร์เรย์เพิ่มมาอีก 1 อาร์เรย์ เพื่อเก็บข้อมูลที่เป็นสี กำหนด ให้

White (W, “undiscovered”)

Gray (G, “discovered” but not “processed”)

Black (B, “discovered” and “processed”)

จากนั้นเริ่มทำการหาเส้นทางด้วยกระบวนการต่อไปนี้



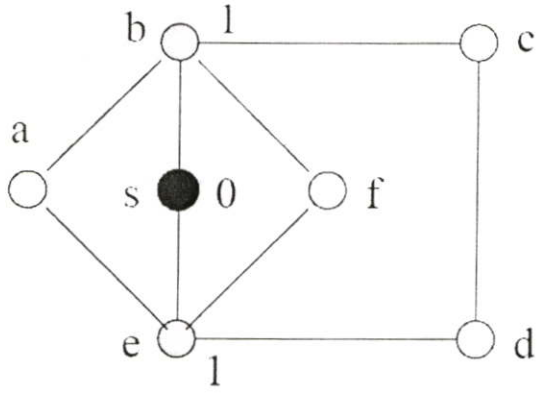
รูปที่ ก.16 เส้นทางที่ต้องการหา

ก.3.2.1สร้างตารางโดยกำหนดค่าเริ่มต้นดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ค่าเริ่มต้นของอาร์เรย์ต่าง ๆ

Vertex (u)	s	a	B	c	d	e	F
color[u]	W	W	W	W	W	W	W
d[u]	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
pred[u]	Null	Null	Null	Null	Null	Null	Null

ก.3.2.2ทำการเปลี่ยนแปลงค่าโดยใช้ค่าจากตำแหน่งใกล้เคียง เริ่มจากตำแหน่ง s ตามรูปที่ ก.17



รูปที่ ก.17 การเปลี่ยนแปลงค่าจากตำแหน่งใกล้เคียง

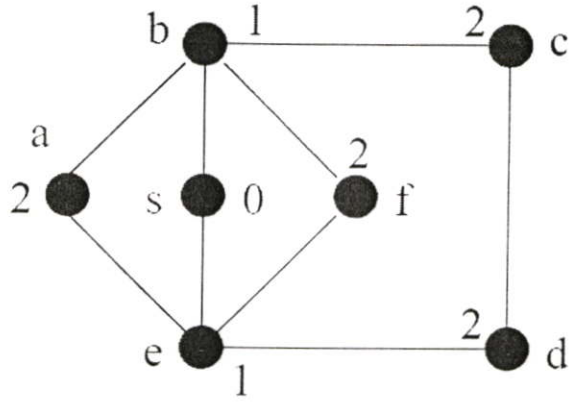
ได้ค่าสี b, e เปลี่ยนเป็นสีเทาหมายความว่า ตำแหน่งได้ถูกพบแล้วแต่ยังไม่ได้ทำการเริ่มกระบวนการในตำแหน่งต่อไป ทำการเก็บค่าระยะทางลงไปในอาร์เรย์ระยะทางตามตารางที่ ก.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก.4 อาร์เรย์ค่าระยะทาง

Vertex (u)	s	a	B	c	d	e	F
color[u]	B	W	G	W	W	G	W
d[u]	0	∞	1	∞	∞	1	∞
pred[u]	Null	Null	S	Null	Null	s	Null

จากตารางที่ 2.4 ได้ค่าของตาราง เปลี่ยนจากตารางที่ ก.3 โดยอาร์เรย์ที่เก็บค่า pred[u] ที่ช่องของ b, e เป็นค่า s แสดงว่าขั้นตอนก่อนหน้า ได้มาจากโหนด s

ก.3.2.3 ทำเหมือนในข้อที่ ก.3.2.2 ต่อเนื่องไปจนสุดท้ายแล้วได้ออกมาดังรูปที่ ก.18 และตารางที่ ก.5



รูปที่ ก.18 ผลที่ได้จากการหาเส้นทาง

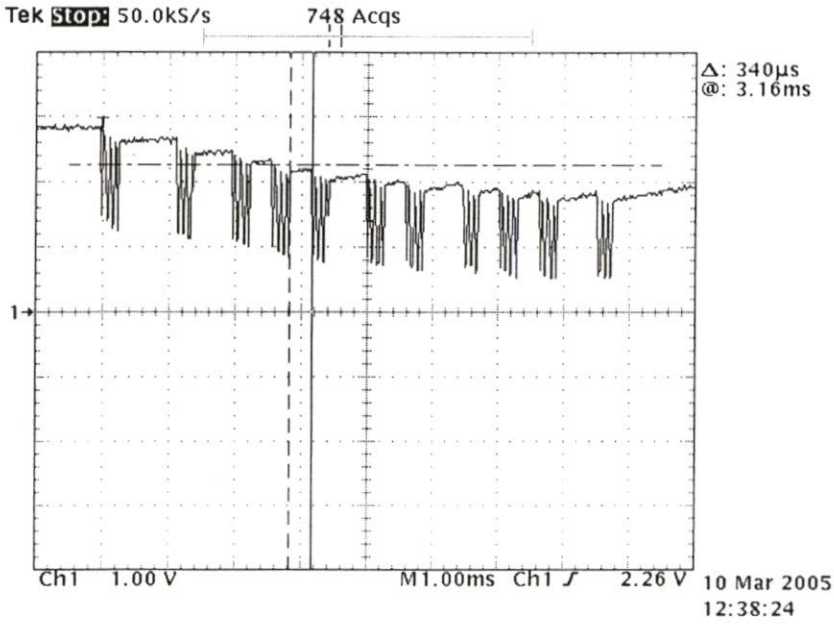
ตารางที่ ก.5 ค่าการเก็บระยะทางขั้นสุดท้าย

Vertex (u)	s	a	B	c	d	e	F
color[u]	B	B	B	B	B	B	B
d[u]	0	2	1	2	2	1	2
pred[u]	Null	b	S	b	e	s	B

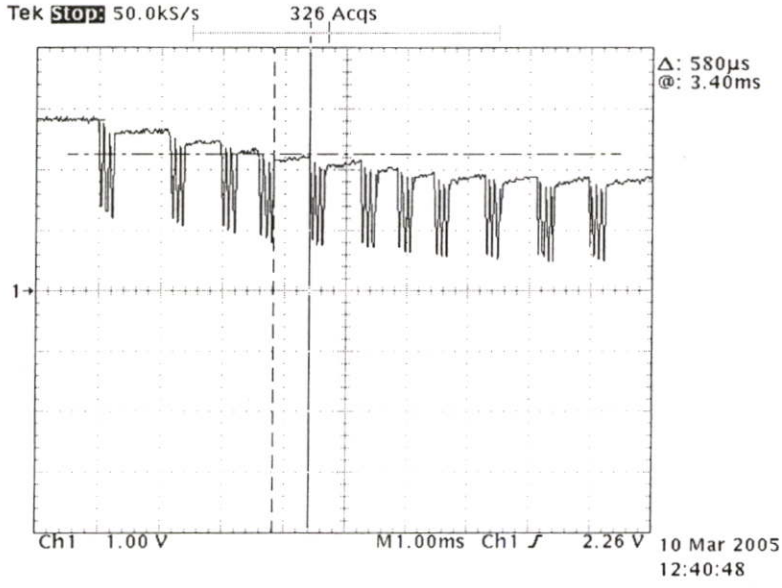
จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น สามารถหาได้เพียงระยะทางที่สั้นที่สุดเท่านั้น จึงจำเป็นต้องหาเวกเตอร์ G = (V;E) เพื่อใช้ทำออกมาเป็นภาพของเส้นทางต่อไป

ภาคผนวก ข.

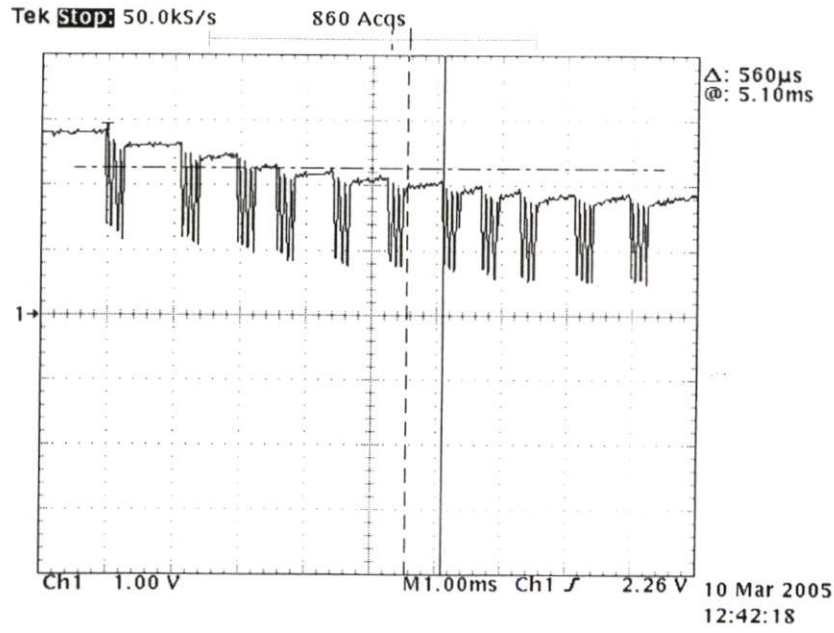
สัญญาณการควบคุมมอเตอร์ด้านซ้ายและขวา วัดจากตัวรับสัญญาณอินฟราเรดที่ช่องสัญญาณต่างกันเพื่อควบคุมหุ่นยนต์แต่ละตัว ทดสอบโดยส่งสัญญาณความคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์จากคอมพิวเตอร์



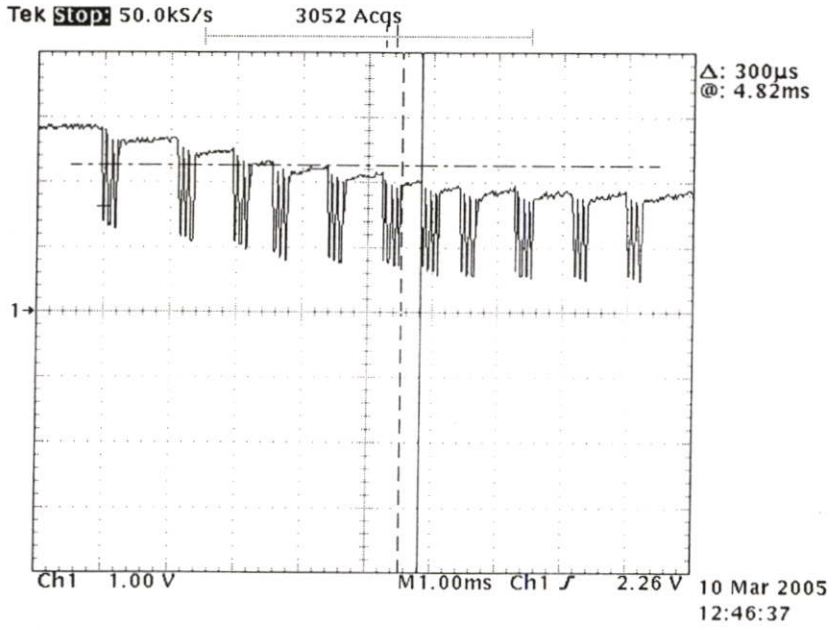
รูปที่ ข.1 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 1



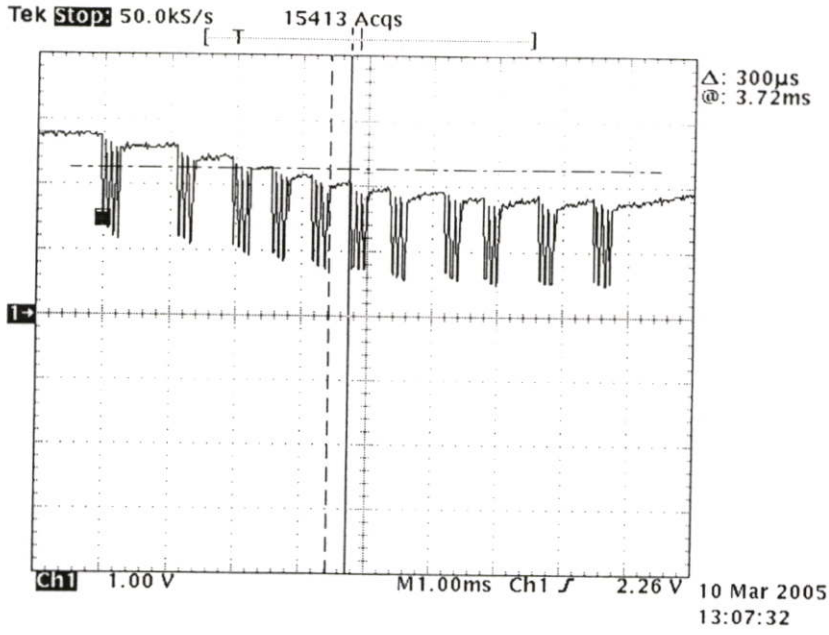
รูปที่ ข.2 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 1



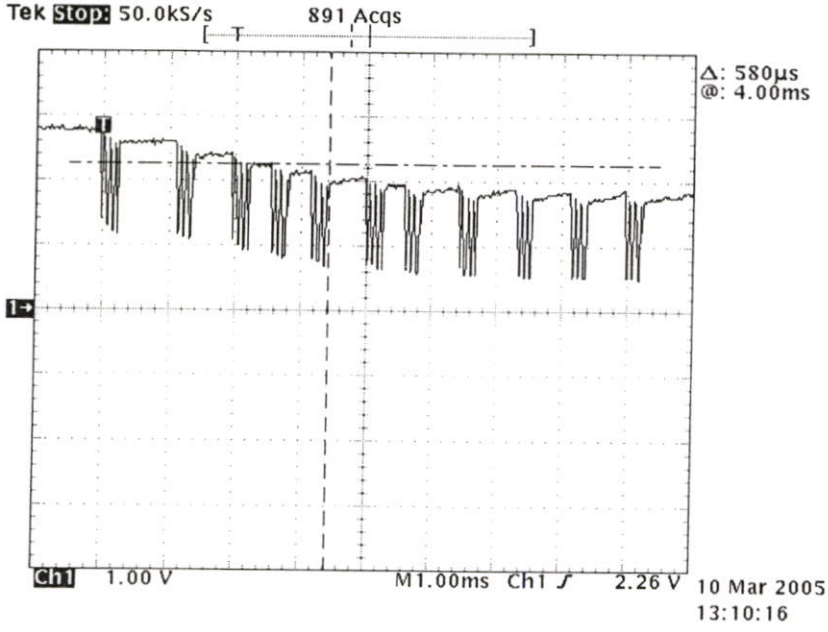
รูปที่ ข.3 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 1



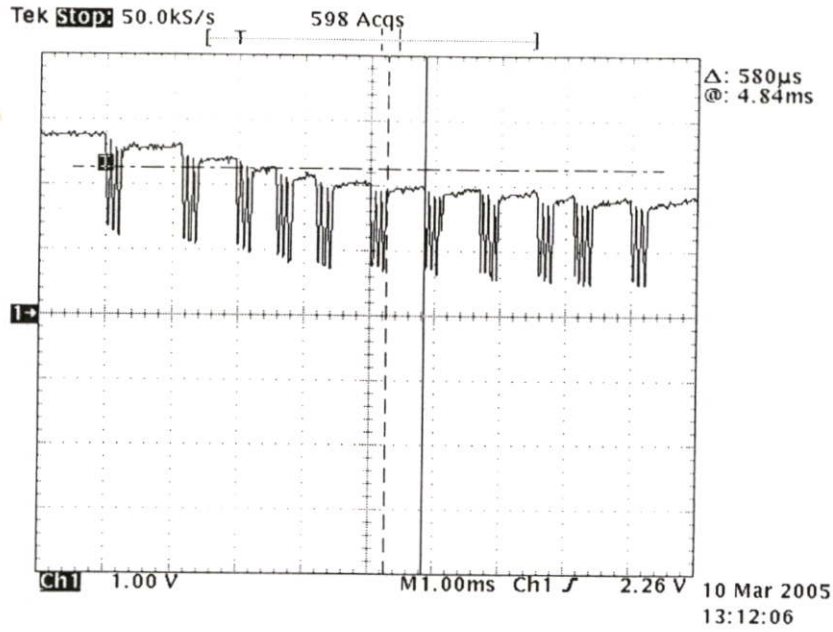
รูปที่ ข.4 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 1



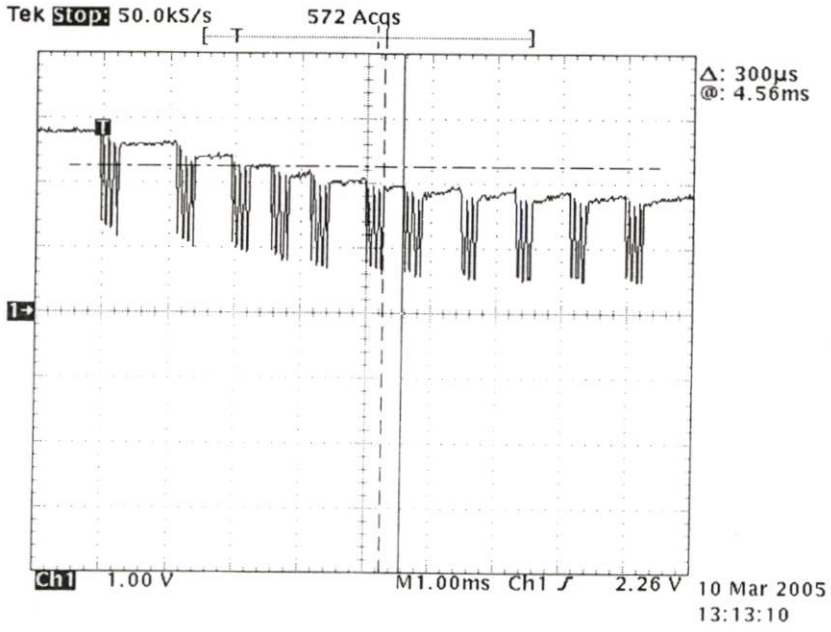
รูปที่ ข.5 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 2



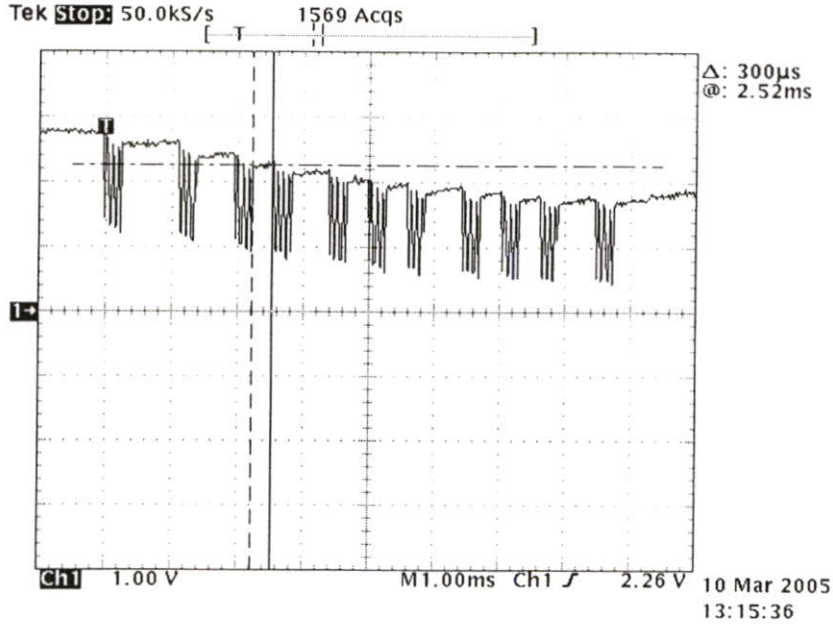
รูปที่ ข.6 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 2



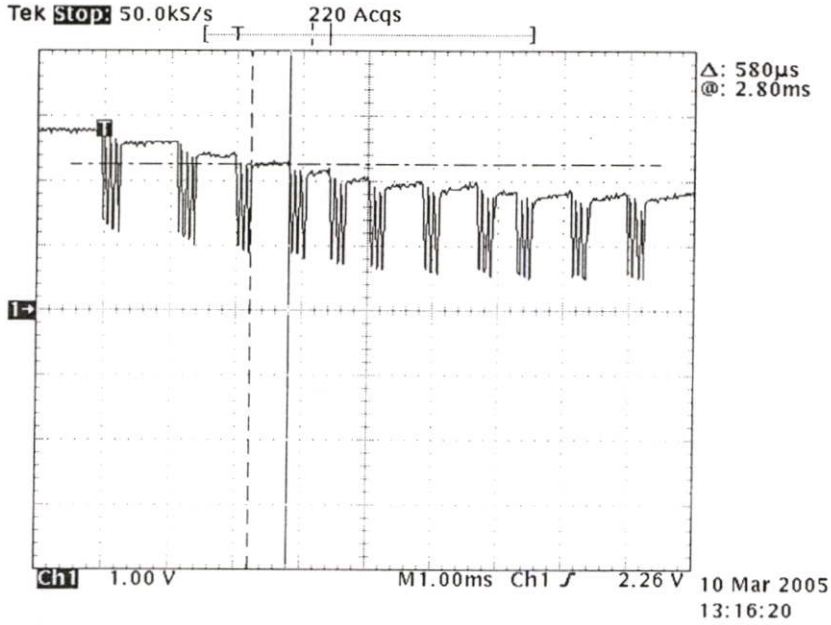
รูปที่ ข.7 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 2



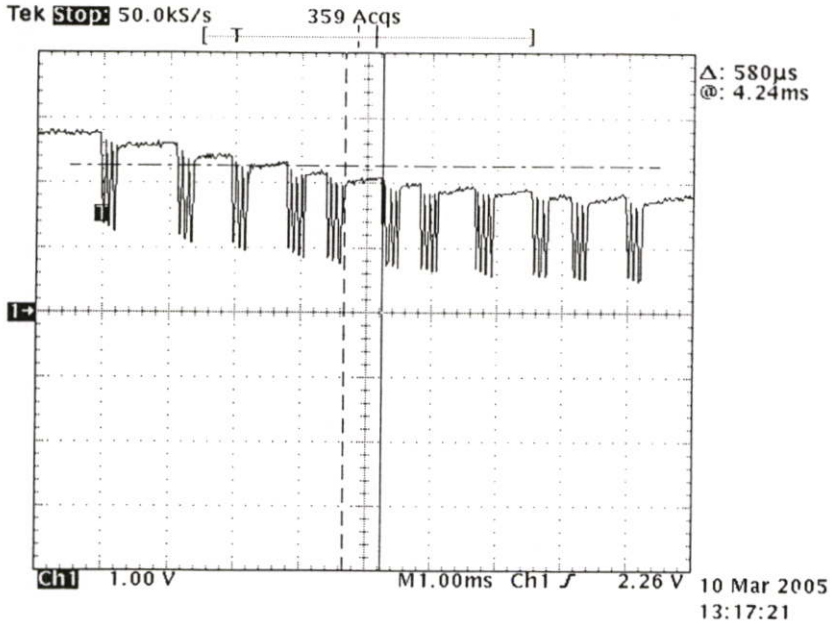
รูปที่ ข.8 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 2



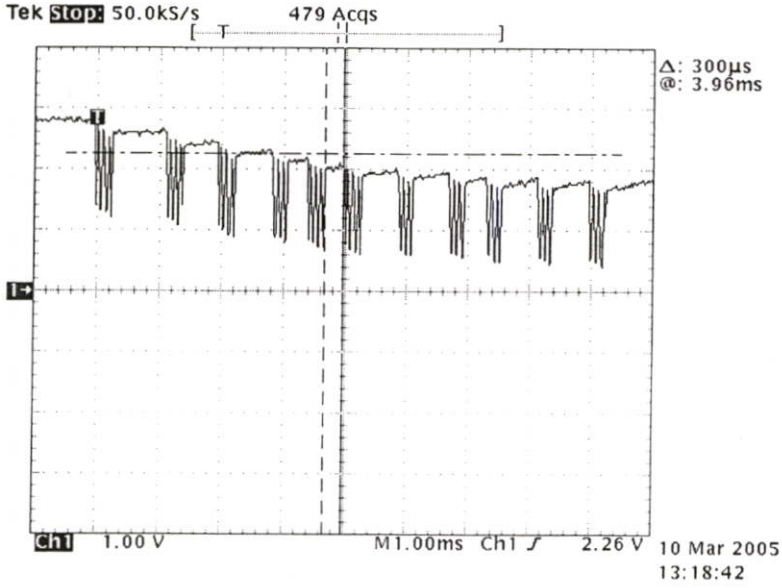
รูปที่ ข.9 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 3



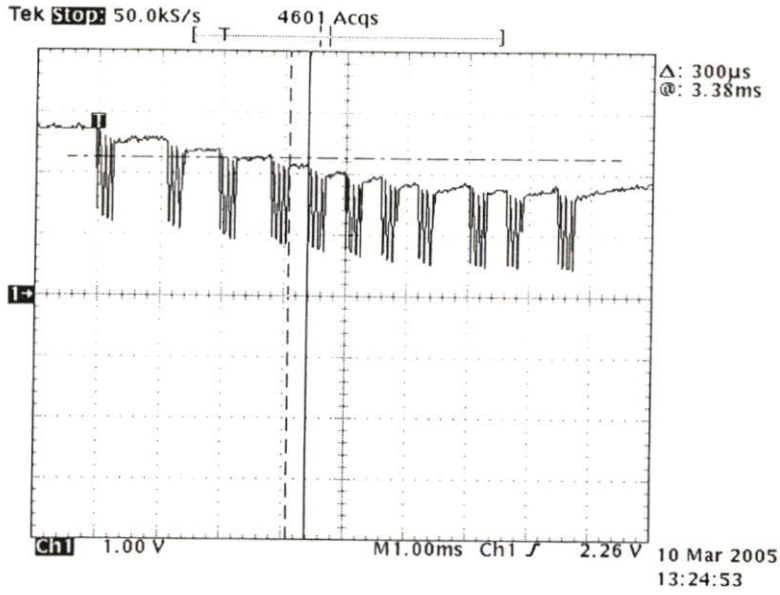
รูปที่ ข.10 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 3



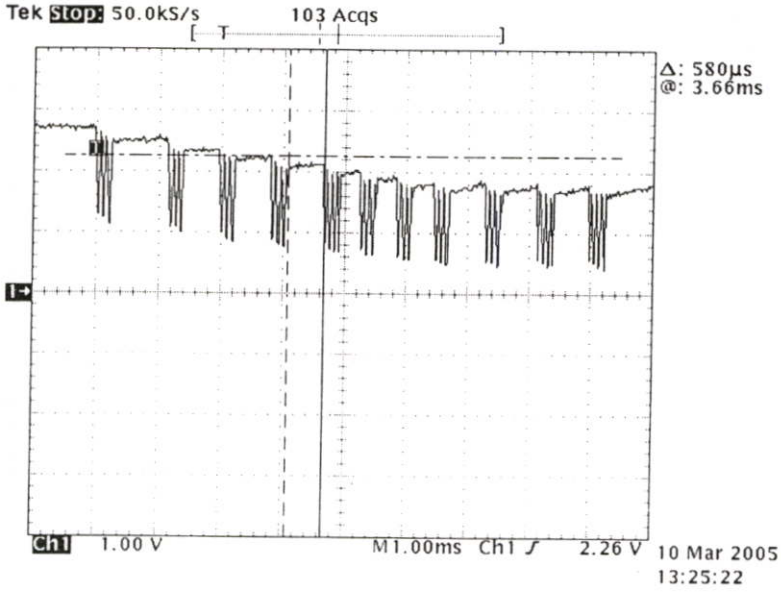
รูปที่ ข.11 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 3



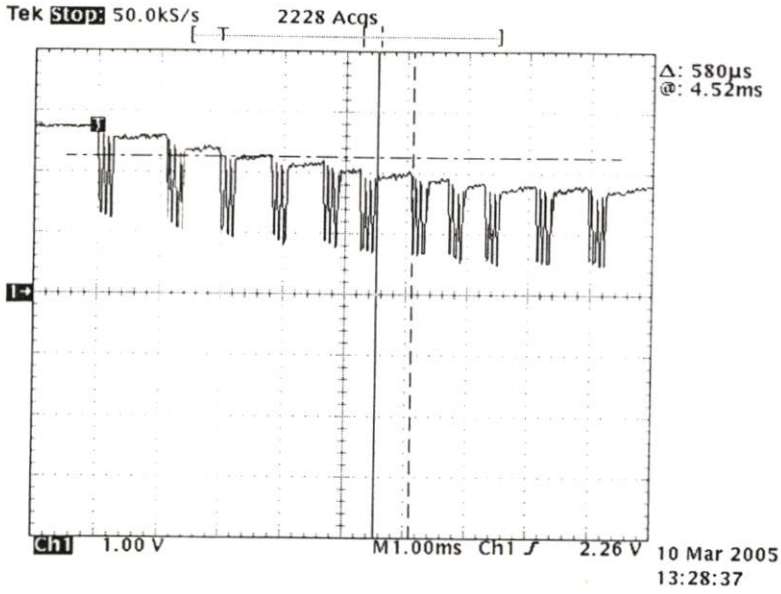
รูปที่ ข.12 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 3



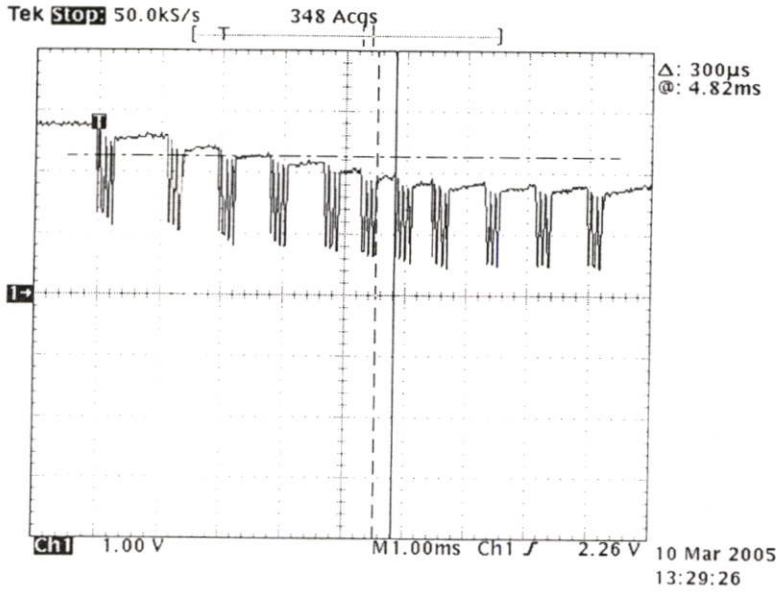
รูปที่ ข.13 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 4



รูปที่ ข.14 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงาน ช่องสัญญาณที่ 4



รูปที่ ข.15 สัญญาณจังหวะที่1ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 4



รูปที่ ข.16 สัญญาณจังหวะที่2ที่ส่งจากชุดควบคุมเพื่อให้มอเตอร์ด้านขวาทำงาน ช่องสัญญาณที่ 4

ภาคผนวก ค.

ค.1 โปรแกรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มด

```
Option Explicit
Dim B_Start As Boolean
Dim TargetX(50) As Long
Dim TargetY(50) As Long
Dim TargetN As Long
Dim TargetEnd As Long
Dim RobotX(50) As Double
Dim RobotY(50) As Double
'Dim RobotX2(50) As Double
'Dim RobotY2(50) As Double
Dim Slop As Double
Dim Dx As Double, Dy As Double
Dim StartSTEP As Long
Dim RobotNUM As Long

Private Sub Combo1_Change()
   If Combo1.ListIndex = 0 Then
      Shape1.Visible = True
   ElseIf Combo1.ListIndex = 1 Then
      Shape1.Visible = False
   End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
   If TargetN <> 0 Then
      StartSTEP = 0
      TargetEnd = TargetN
      TargetN = 0
      RobotX(0) = TargetX(TargetN)
      RobotY(0) = TargetY(TargetN)
      RobotNUM = 0
      TargetN = 1
      Dx = TargetX(TargetN) - TargetX(TargetN - 1)
      Dy = TargetY(TargetN) - TargetY(TargetN - 1)
      Slop = SlopWay(Dx, Dy)
      Timer1.Enabled = True
   End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
Combo1.ListIndex = 0
   B_Start = True
   TargetN = 0
```

```
    With Shape1
      TargetX(TargetN) = .Left + (.Width / 2)
      TargetY(TargetN) = .Top + (.Height / 2)
    End With
End Sub

Private Sub Picture1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single,
Y As Single)
Dim i As Long
    If B_Start = True Then
      Picture1.Cls
      TargetN = 0
      With Shape1
        Timer1.Enabled = False
        TargetX(TargetN) = .Left + (.Width / 2)
        TargetY(TargetN) = .Top + (.Height / 2)
        For i = 0 To 50
          RobotX(i) = TargetX(0)
          RobotY(i) = TargetY(0)
        Next i
      End With
      B_Start = False
    End If
    Picture1.Line (TargetX(TargetN), TargetY(TargetN))-(X, Y), vbRed
    TargetN = TargetN + 1
    TargetX(TargetN) = X
    TargetY(TargetN) = Y
End Sub
Private Function SlopWay(Dx As Double, Dy As Double) As Double
    If Dy >= 0 Then
      If Dx <> 0 Then
        SlopWay = Atn(Dy / Dx)
        If SlopWay < 0 Then SlopWay = 3.14 + SlopWay
      Else
        SlopWay = 1.57
      End If
    Else
      If Dx <> 0 Then
        SlopWay = Atn(Dy / Dx)
        If SlopWay < 0 Then SlopWay = 3.14 + SlopWay
        SlopWay = 3.14 + SlopWay
      Else
        SlopWay = 4.71
      End If
    End If
End Function

Private Sub Timer1_Timer()
  StartSTEP = StartSTEP + 1
    If B_Start = False Then
```

```
        Dx = TargetX(TargetN) - TargetX(TargetN - 1)
        Dy = TargetY(TargetN) - TargetY(TargetN - 1)
        Slop = SlopWay(Dx, Dy)
        If Abs(Cos(Slop)) > 0.5 Then
            RobotX(0) = RobotX(0) + Cos(Slop)
            RobotY(0) = (RobotX(0) - TargetX(TargetN)) * (Dy / Dx) +
TargetY(TargetN)
            'Picture1.PSet (RobotX(0), RobotY(0)), vbGreen
            Shape2(0).Top = RobotY(0) - 3
            Shape2(0).Left = RobotX(0) - 3
        Else
            RobotY(0) = RobotY(0) + Sin(Slop)
            RobotX(0) = (RobotY(0) - TargetY(TargetN)) * (Dx / Dy) +
TargetX(TargetN)
            'Picture1.PSet (RobotX(0), RobotY(0)), vbGreen
            Shape2(0).Top = RobotY(0) - 3
            Shape2(0).Left = RobotX(0) - 3
        End If
        If Abs(RobotX(0) - TargetX(TargetN)) < 1 And Abs(RobotY(0) -
TargetY(TargetN)) < 1 Then
            TargetN = TargetN + 1
            If TargetN > TargetEnd Then
              'Timer1.Enabled = False
              B_Start = True
            End If
        End If
    End If
      '
Dim i As Long
      If StartSTEP > Text1.Text And RobotNUM < 50 Then
        StartSTEP = 0
        RobotNUM = RobotNUM + 1
      End If
      For i = 1 To RobotNUM
        If Abs(RobotX(i) - TargetX(TargetEnd)) < 4 And Abs(RobotY(i) -
TargetY(TargetEnd)) < 4 Then
          RobotX(i) = TargetX(TargetEnd)
          RobotY(i) = TargetY(TargetEnd)
        Else
          Dx = RobotX(i - 1) - RobotX(i)
          Dy = RobotY(i - 1) - RobotY(i)
          Slop = SlopWay(Dx, Dy)
          If Abs(Cos(Slop)) > 0.5 Then
              RobotX(i) = RobotX(i) + Cos(Slop)
              RobotY(i) = (RobotX(i) - RobotX(i - 1)) * (Dy / Dx) + RobotY(i -
1)
              Picture1.PSet (RobotX(i), RobotY(i)), vbRed
              Shape2(i).Top = RobotY(i) - 3
              Shape2(i).Left = RobotX(i) - 3
          Else
```

```
                RobotY(i) = RobotY(i) + Sin(Slop)
                RobotX(i) = (RobotY(i) - RobotY(i - 1)) * (Dx / Dy) + RobotX(i -
1)
                Picture1.PSet (RobotX(i), RobotY(i)), vbRed
                Shape2(i).Top = RobotY(i) - 3
                Shape2(i).Left = RobotX(i) - 3
            End If
        End If
    Next i
End Sub
```

ค.2 โปรแกรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มด

```
VERSION 5.00
Begin VB.Form Form1
  Caption        =  "Form1"
  ClientHeight   =  6315
  ClientLeft     =  60
  ClientTop      =  345
  ClientWidth    =  8520
  LinkTopic      =  "Form1"
  ScaleHeight    =  6315
  ScaleWidth     =  8520
  StartUpPosition =  3  'Windows Default
  Begin VB.ComboBox Combo1
    Height         =  315
    ItemData       =  "Part.frx":0000
    Left           =  6960
    List           =  "Part.frx":000A
    TabIndex       =  4
    Text           =  "1"
    Top            =  1440
    Width          =  1335
  End
  Begin VB.CommandButton Command2
    Caption        =  "Command2"
    Height         =  495
    Left           =  7200
    TabIndex       =  3
    Top            =  2640
    Width          =  1095
  End
  Begin VB.Timer Timer1
    Enabled        =  0  'False
    Interval       =  10
    Left           =  480
    Top            =  5160
  End
  Begin VB.TextBox Text1
    Height         =  375
    Left           =  6960
    TabIndex       =  2
    Text           =  "30"
    Top            =  840
    Width          =  615
  End
  Begin VB.CommandButton Command1
```

```
  Caption       = "Command1"
  Height        = 495
  Left          = 6840
  TabIndex      = 1
  Top           = 120
  Width         = 1455
End
Begin VB.PictureBox Picture1
  AutoRedraw    = -1 'True
  FillColor     = &H0000FFFF&
  Height        = 4815
  Left          = 120
  ScaleHeight   = 317
  ScaleMode     = 3 'Pixel
  ScaleWidth    = 437
  TabIndex      = 0
  Top           = 120
  Width         = 6615
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor   = &H000000FF&
    FillColor     = &H0000FFFF&
    FillStyle     = 0 'Solid
    Height        = 135
    Index         = 50
    Left          = 0
    Shape         = 3 'Circle
    Top           = 0
    Width         = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor   = &H000000FF&
    FillColor     = &H0000FFFF&
    FillStyle     = 0 'Solid
    Height        = 135
    Index         = 49
    Left          = 0
    Shape         = 3 'Circle
    Top           = 0
    Width         = 135
End
Begin VB.Shape Shape2
  BorderColor   = &H000000FF&
  FillColor     = &H0000FFFF&
  FillStyle     = 0 'Solid
  Height        = 135
  Index         = 48
  Left          = 0
  Shape         = 3 'Circle
  Top           = 0
  Width         = 135
```

```
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  47
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  46
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  45
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  44
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
```

```
    Index          = 43
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 42
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 41
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 40
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 39
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
```

```
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  38
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  37
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  36
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  35
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  34
```

```
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  33
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  32
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  31
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  30
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
```

```
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  29
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  28
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  27
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  26
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  25
    Left           =  0
```

```
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  24
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  23
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  22
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  21
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
```

```
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 20
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 19
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 18
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 17
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
    Top            = 0
    Width          = 135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    = &H000000FF&
    FillColor      = &H0000FFFF&
    FillStyle      = 0 'Solid
    Height         = 135
    Index          = 16
    Left           = 0
    Shape          = 3 'Circle
```

```
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  15
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  14
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  13
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
    FillStyle       =  0  'Solid
    Height          =  135
    Index           =  12
    Left            =  0
    Shape           =  3  'Circle
    Top             =  0
    Width           =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor     =  &H000000FF&
    FillColor       =  &H0000FFFF&
```

```
    FillStyle     =  0  'Solid
    Height        =  135
    Index         =  11
    Left          =  0
    Shape         =  3  'Circle
    Top           =  0
    Width         =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor   =  &H000000FF&
    FillColor     =  &H0000FFFF&
    FillStyle     =  0  'Solid
    Height        =  135
    Index         =  10
    Left          =  0
    Shape         =  3  'Circle
    Top           =  0
    Width         =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor   =  &H000000FF&
    FillColor     =  &H0000FFFF&
    FillStyle     =  0  'Solid
    Height        =  135
    Index         =  9
    Left          =  0
    Shape         =  3  'Circle
    Top           =  0
    Width         =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor   =  &H000000FF&
    FillColor     =  &H0000FFFF&
    FillStyle     =  0  'Solid
    Height        =  135
    Index         =  8
    Left          =  0
    Shape         =  3  'Circle
    Top           =  0
    Width         =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor   =  &H000000FF&
    FillColor     =  &H0000FFFF&
    FillStyle     =  0  'Solid
    Height        =  135
    Index         =  7
    Left          =  0
    Shape         =  3  'Circle
    Top           =  0
```

```
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  6
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  5
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  4
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
    Height         =  135
    Index          =  3
    Left           =  0
    Shape          =  3  'Circle
    Top            =  0
    Width          =  135
  End
  Begin VB.Shape Shape2
    BorderColor    =  &H000000FF&
    FillColor      =  &H0000FFFF&
    FillStyle      =  0  'Solid
```

```
      Height        =  135
      Index         =  2
      Left          =  0
      Shape         =  3  'Circle
      Top           =  0
      Width         =  135
    End
    Begin VB.Shape Shape2
      BorderColor   =  &H000000FF&
      FillColor     =  &H0000FFFF&
      FillStyle     =  0  'Solid
      Height        =  135
      Index         =  1
      Left          =  0
      Shape         =  3  'Circle
      Top           =  0
      Width         =  135
    End
    Begin VB.Shape Shape2
      BorderColor   =  &H000000FF&
      FillColor     =  &H0000FFFF&
      FillStyle     =  0  'Solid
      Height        =  135
      Index         =  0
      Left          =  0
      Shape         =  3  'Circle
      Top           =  0
      Width         =  135
    End
    Begin VB.Shape Shape1
      BackColor     =  &H000000FF&
      FillColor     =  &H00FF0000&
      Height        =  495
      Left          =  1440
      Shape         =  2  'Oval
      Top           =  2160
      Width         =  495
    End
  End
End
Attribute VB_Name = "Form1"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
Option Explicit
Dim B_Start As Boolean
Dim TargetX(50) As Long
Dim TargetY(50) As Long
Dim TargetN As Long
```

```
Dim TargetEnd As Long
Dim RobotX(50) As Double
Dim RobotY(50) As Double
'Dim RobotX2(50) As Double
'Dim RobotY2(50) As Double
Dim Slop As Double
Dim Dx As Double, Dy As Double
Dim StartSTEP As Long
Dim RobotNUM As Long

Private Sub Combo1_Change()
   If Combo1.ListIndex = 0 Then
      Shape1.Visible = True
   ElseIf Combo1.ListIndex = 1 Then
      Shape1.Visible = False
   End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
   If TargetN <> 0 Then
      StartSTEP = 0
      TargetEnd = TargetN
      TargetN = 0
      RobotX(0) = TargetX(TargetN)
      RobotY(0) = TargetY(TargetN)
      RobotNUM = 0
      TargetN = 1
      Dx = TargetX(TargetN) - TargetX(TargetN - 1)
      Dy = TargetY(TargetN) - TargetY(TargetN - 1)
      Slop = SlopWay(Dx, Dy)
      Timer1.Enabled = True
   End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
Combo1.ListIndex = 0
   B_Start = True
   TargetN = 0
   With Shape1
      TargetX(TargetN) = .Left + (.Width / 2)
      TargetY(TargetN) = .Top + (.Height / 2)
   End With
End Sub

Private Sub Picture1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single,
Y As Single)
Dim i As Long
      If B_Start = True Then
         Picture1.Cls
         TargetN = 0
```

```
        With Shape1
          Timer1.Enabled = False
          TargetX(TargetN) = .Left + (.Width / 2)
          TargetY(TargetN) = .Top + (.Height / 2)
          For i = 0 To 50
            RobotX(i) = TargetX(0)
            RobotY(i) = TargetY(0)
          Next i
        End With
        B_Start = False
      End If
      Picture1.Line (TargetX(TargetN), TargetY(TargetN))-(X, Y), vbRed
      TargetN = TargetN + 1
      TargetX(TargetN) = X
      TargetY(TargetN) = Y
End Sub
Private Function SlopWay(Dx As Double, Dy As Double) As Double
      If Dy >= 0 Then
        If Dx <> 0 Then
          SlopWay = Atn(Dy / Dx)
          If SlopWay < 0 Then SlopWay = 3.14 + SlopWay
        Else
          SlopWay = 1.57
        End If
      Else
        If Dx <> 0 Then
          SlopWay = Atn(Dy / Dx)
          If SlopWay < 0 Then SlopWay = 3.14 + SlopWay
          SlopWay = 3.14 + SlopWay
        Else
          SlopWay = 4.71
        End If
      End If
End Function

Private Sub Timer1_Timer()
  StartSTEP = StartSTEP + 1
    If B_Start = False Then
      Dx = TargetX(TargetN) - TargetX(TargetN - 1)
      Dy = TargetY(TargetN) - TargetY(TargetN - 1)
      Slop = SlopWay(Dx, Dy)
      If Abs(Cos(Slop)) > 0.5 Then
          RobotX(0) = RobotX(0) + Cos(Slop)
          RobotY(0) = (RobotX(0) - TargetX(TargetN)) * (Dy / Dx) +
TargetY(TargetN)
          'Picture1.PSet (RobotX(0), RobotY(0)), vbGreen
          Shape2(0).Top = RobotY(0) - 3
          Shape2(0).Left = RobotX(0) - 3
      Else
          RobotY(0) = RobotY(0) + Sin(Slop)
```

```
            RobotX(0) = (RobotY(0) - TargetY(TargetN)) * (Dx / Dy) +
TargetX(TargetN)
            'Picture1.PSet (RobotX(0), RobotY(0)), vbGreen
            Shape2(0).Top = RobotY(0) - 3
            Shape2(0).Left = RobotX(0) - 3
        End If
        If Abs(RobotX(0) - TargetX(TargetN)) < 1 And Abs(RobotY(0) -
TargetY(TargetN)) < 1 Then
            TargetN = TargetN + 1
            If TargetN > TargetEnd Then
              'Timer1.Enabled = False
              B_Start = True
            End If
        End If
      End If
        '
Dim i As Long
        If StartSTEP > Text1.Text And RobotNUM < 50 Then
          StartSTEP = 0
          RobotNUM = RobotNUM + 1
        End If
        For i = 1 To RobotNUM
          If Abs(RobotX(i) - TargetX(TargetEnd)) < 4 And Abs(RobotY(i) -
TargetY(TargetEnd)) < 4 Then
            RobotX(i) = TargetX(TargetEnd)
            RobotY(i) = TargetY(TargetEnd)
          Else
            Dx = RobotX(i - 1) - RobotX(i)
            Dy = RobotY(i - 1) - RobotY(i)
            Slop = SlopWay(Dx, Dy)
            If Abs(Cos(Slop)) > 0.5 Then
                RobotX(i) = RobotX(i) + Cos(Slop)
                RobotY(i) = (RobotX(i) - RobotX(i - 1)) * (Dy / Dx) + RobotY(i -
1)
                Picture1.PSet (RobotX(i), RobotY(i)), vbRed
                Shape2(i).Top = RobotY(i) - 3
                Shape2(i).Left = RobotX(i) - 3
            Else
                RobotY(i) = RobotY(i) + Sin(Slop)
                RobotX(i) = (RobotY(i) - RobotY(i - 1)) * (Dx / Dy) + RobotX(i -
1)
                Picture1.PSet (RobotX(i), RobotY(i)), vbRed
                Shape2(i).Top = RobotY(i) - 3
                Shape2(i).Left = RobotX(i) - 3
            End If
          End If
        Next i
End Sub
```

ก.3 Psuedocode

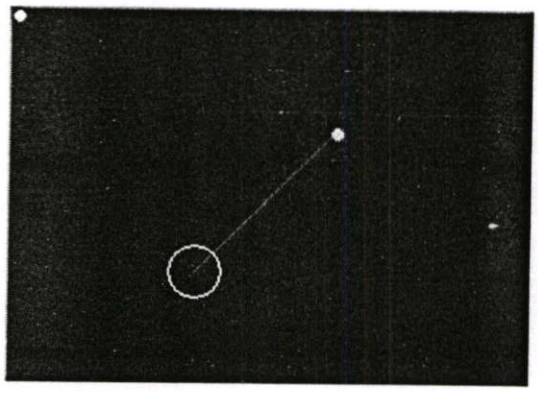
```
1 procedure ACO_Meta_heuristc()
2  while (termination_criterion_not_satisfied)
3   schedule_activities
4     ants_generation_and_activity();
5       pheromone_evaporation();
6         daemon_actions();{optional}
7      end schedule_activities
8   end while
9 end procedure

10 procedure ants_ generation_and_activity()
11  while(available_resources)
12   schedule_the_creation_of_a_new_ant();
13      new_active_ant();
14   end while
15 end procedure

16 procedure new_active_ant(){ant lifecycle}
17  initialize_ant();
18     M = update_ant_memory();
19     whila(current_state ≠ targen_state)
20       A = read_local_ant_routing_table();
21       P  = compute_transition_probilities(A,M,problem_constraints);
22       next_state = apply_ant_decision_policy(P,problem_constraints);
23       move_to_ next_state(next_state);
24       if(online_step_by_step_pheromone_update)
25          deposiy_ pheromone_on_the_visited_arc();
26           update_ant_routing_table();
```

```
27          end if
28          M = update_internal_state();
29      end while
30      if(online_delayed_pheromone_update)
31          evaluate_solution();
32          evaluate_ pheromone_on_all_visited_arcs();
33          update_ant_routing_table();
34      end if
35      die();
36  end procedure
```

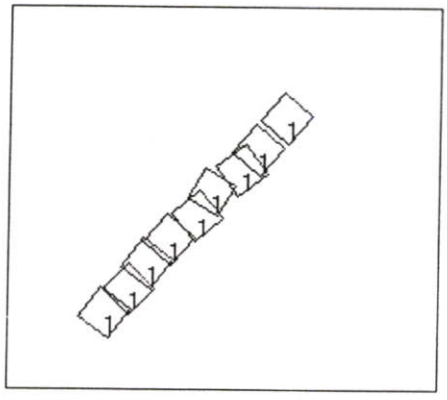
ภาคผนวก ง.

ผลการทดลอง

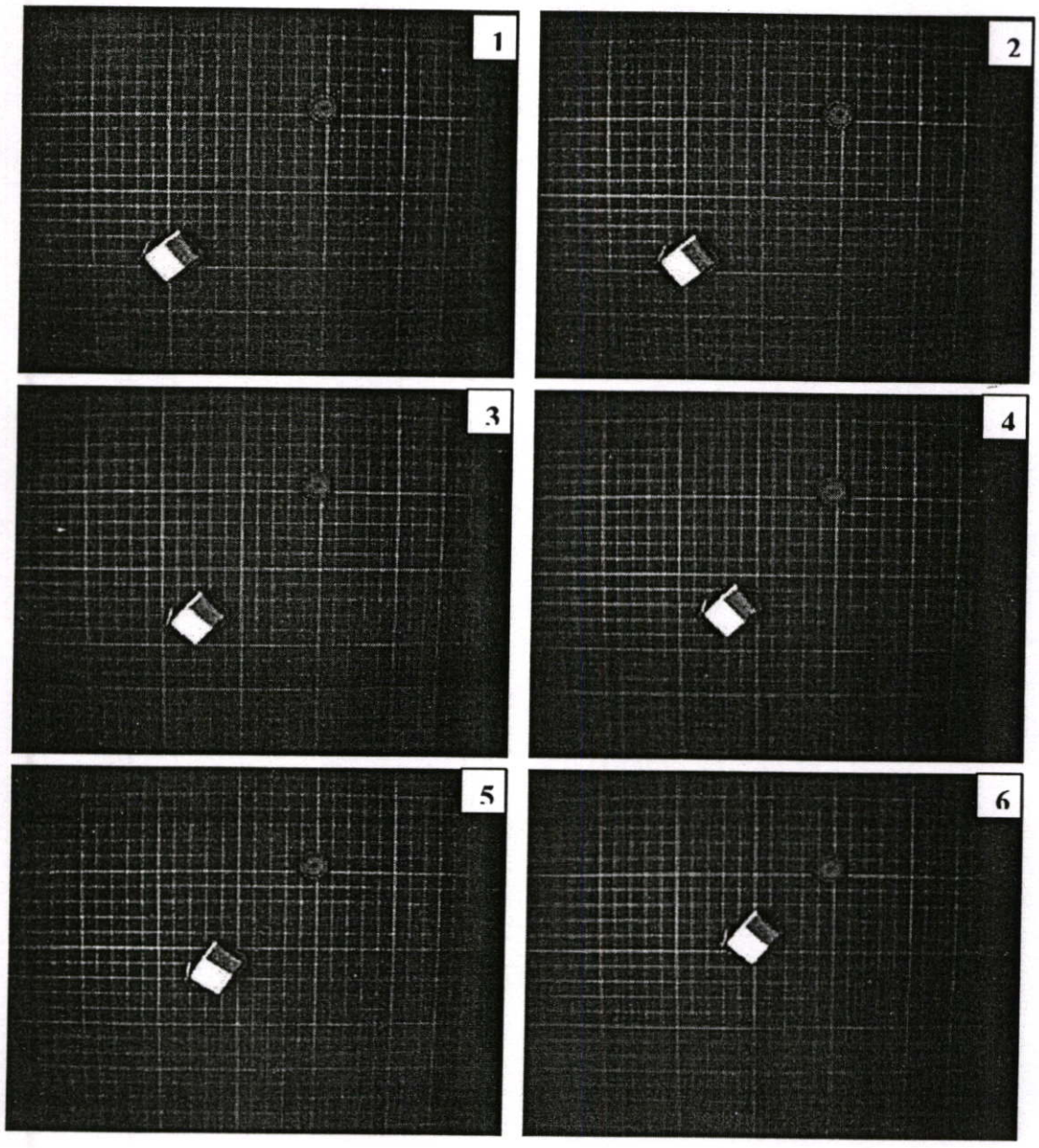
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง สู่ข้างบนทางขวา



รูปที่ ง.1 รูปเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 1



รูปที่ ง.2 จำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 1

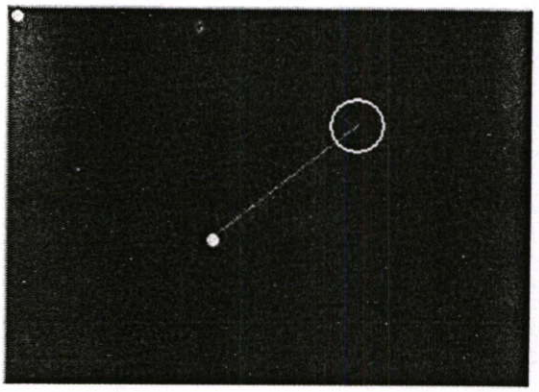


รูปที่ ง.3 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 1

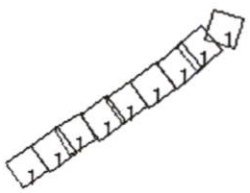
ตารางที่ ง.1 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	60	12	12

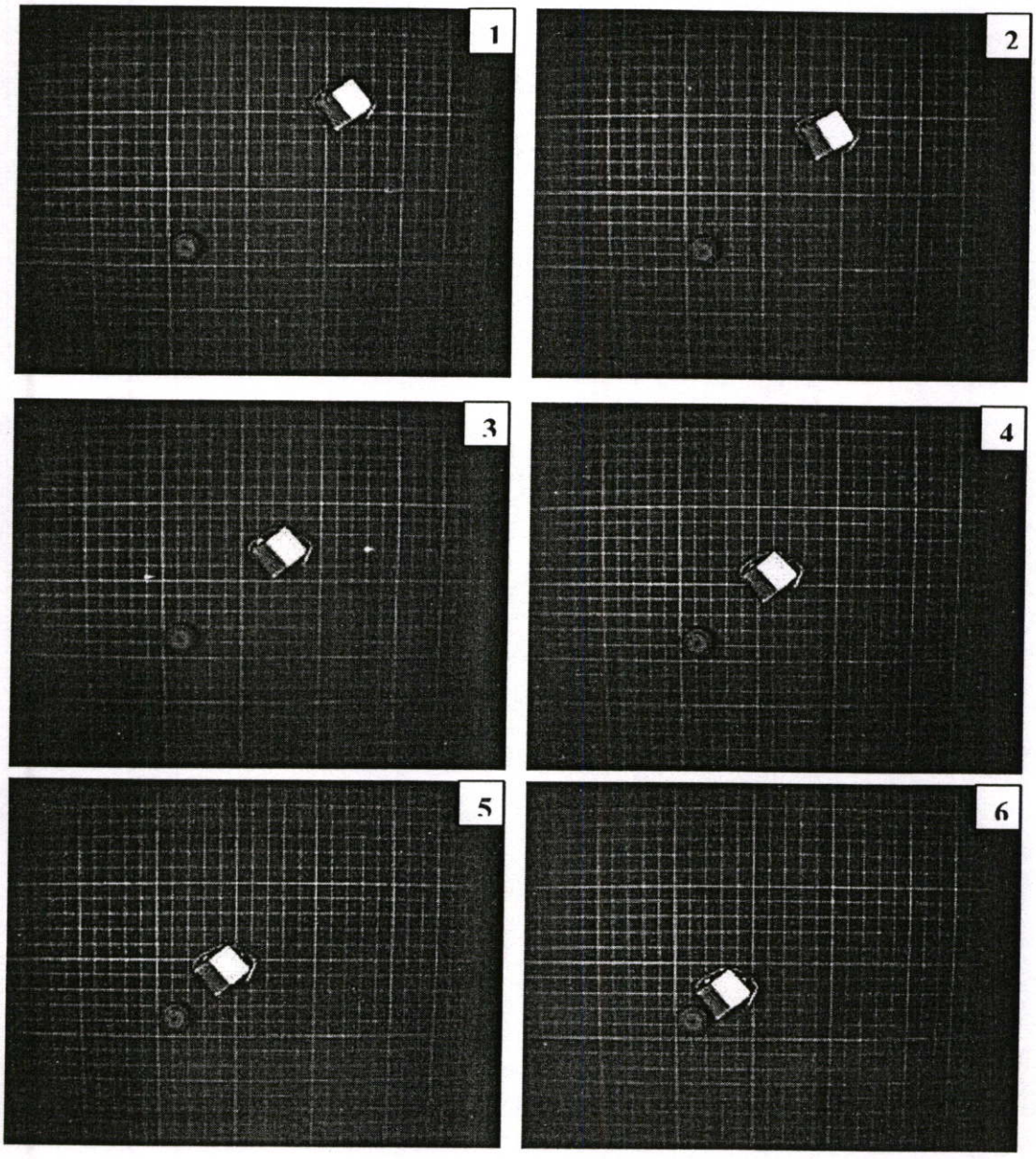
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจาก ข้างบนทางขวา สู่ทางซ้ายข้างล่าง



รูปที่ ง.4 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 2



รูปที่ ง.5 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 2

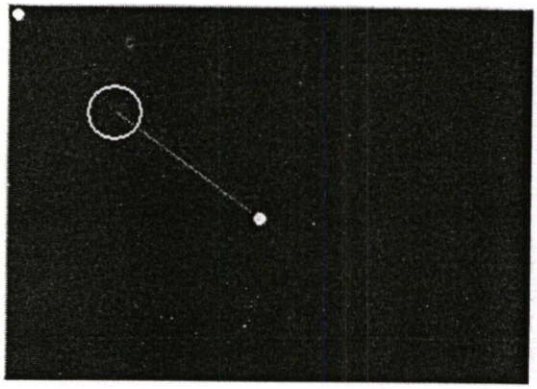


รูปที่ ง.6 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 2

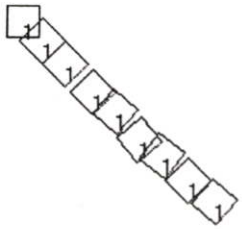
ตารางที่ ง.2 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	60	12	12

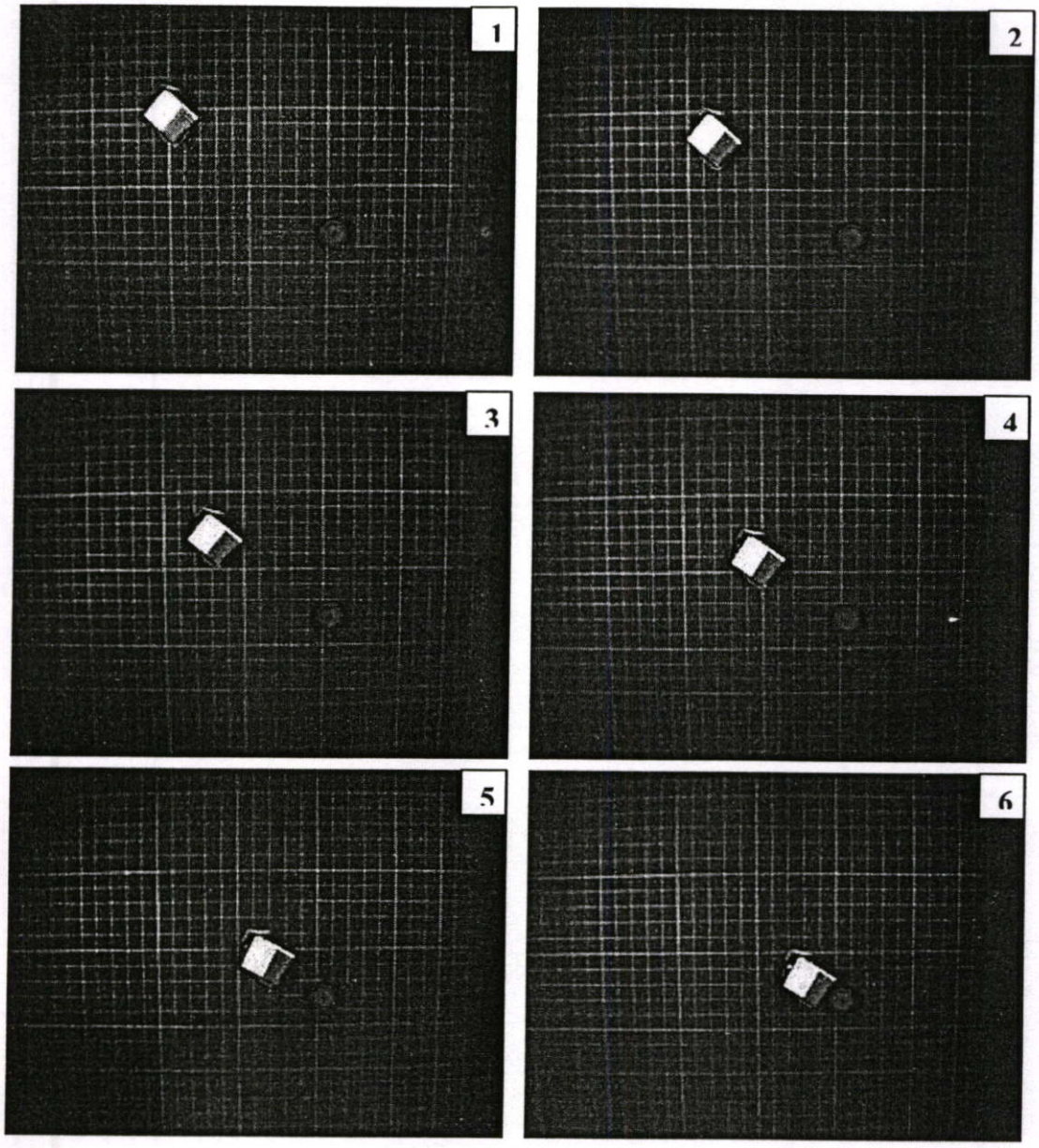
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้าง บนสู่ข้างล่างทางขวา



รูปที่ ง.7 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 3



รูปที่ ง.8 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 3

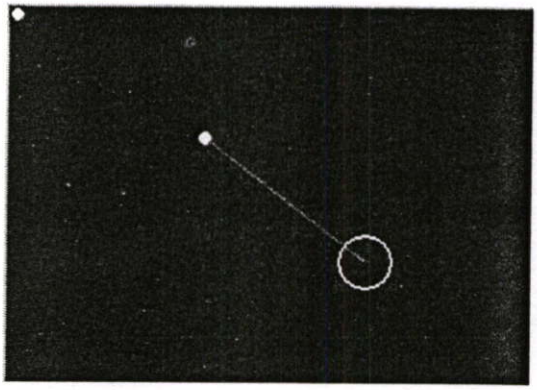


รูปที่ ง.9 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 3

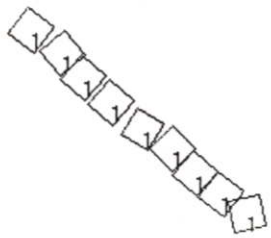
ตารางที่ ง.3 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	61	12	13

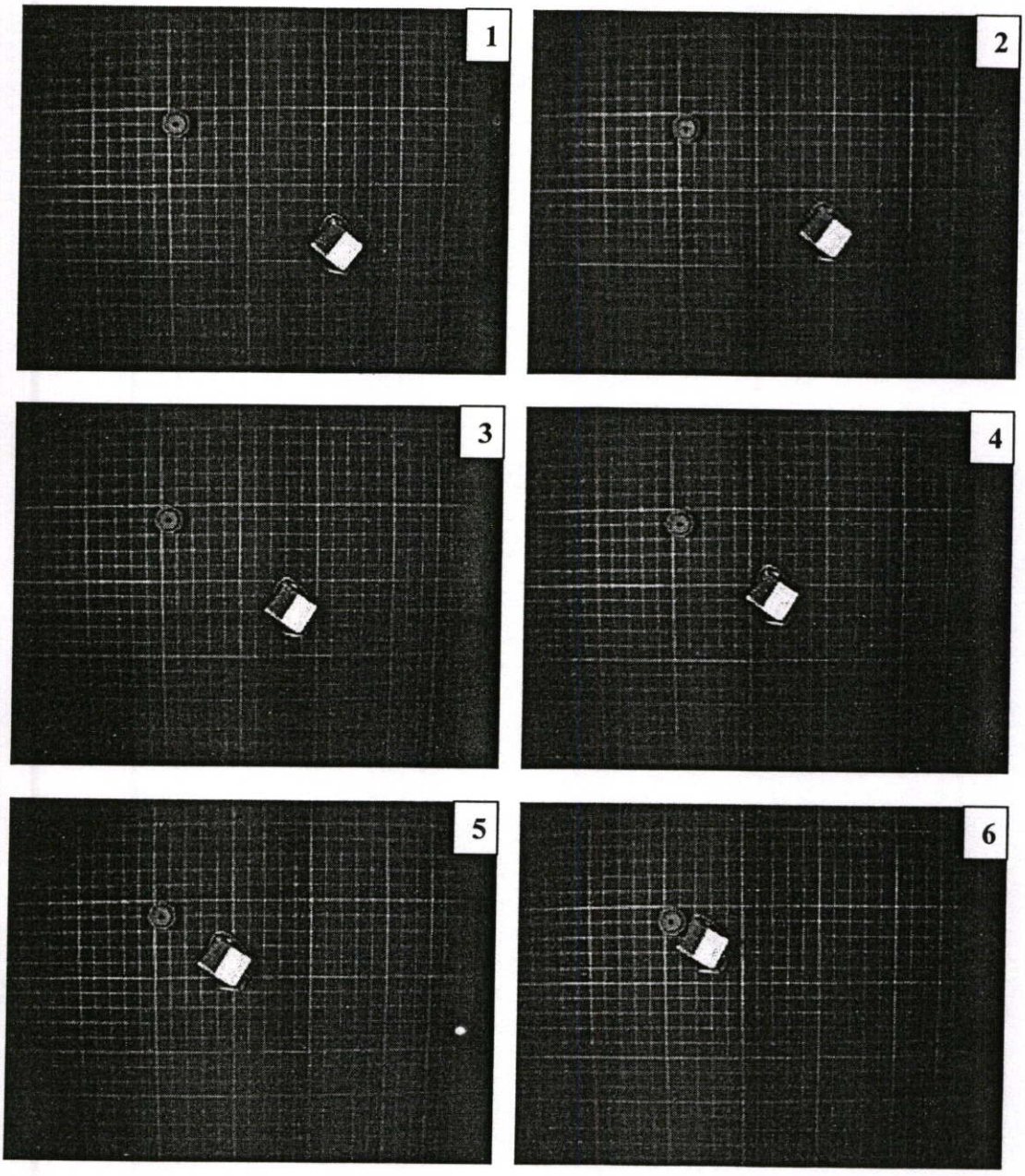
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางขวาข้างล่าง สู่ข้างบนทางซ้าย



รูปที่ ง.10 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 4



รูปที่ ง.11 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 4

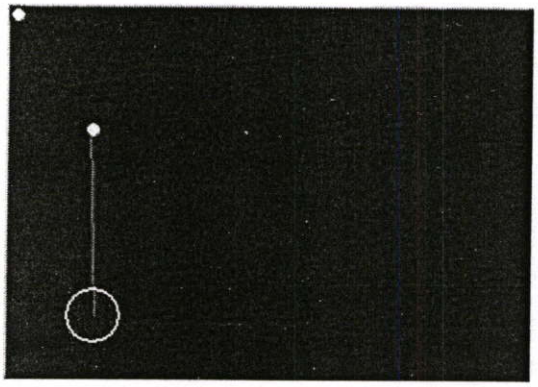


รูปที่ ง.12 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 4

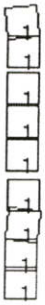
ตารางที่ ง.4 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	62	12	14

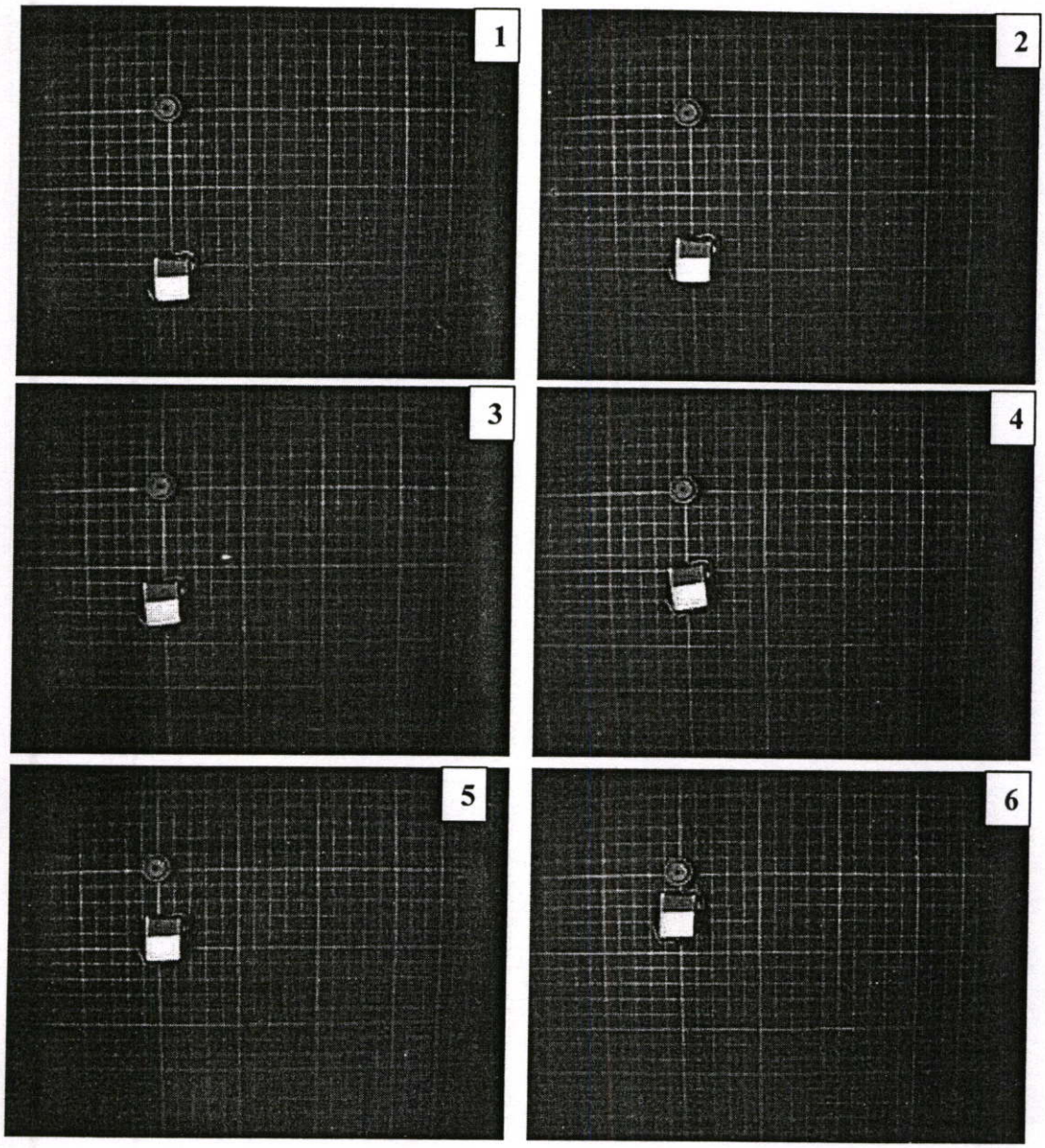
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง สู่ข้างบนทางซ้าย



รูปที่ ง.13 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 5



รูปที่ ง.14 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 5

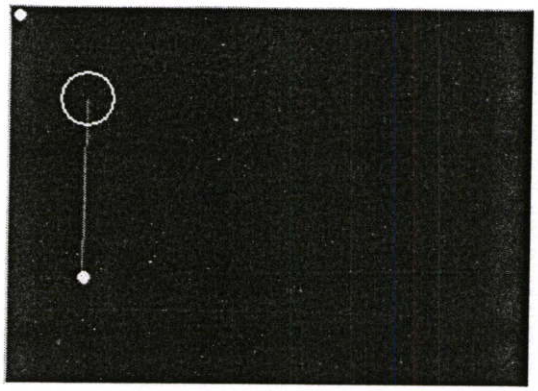


รูปที่ ง.15 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 5

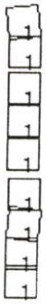
ตารางที่ ง.5 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	52	12	4

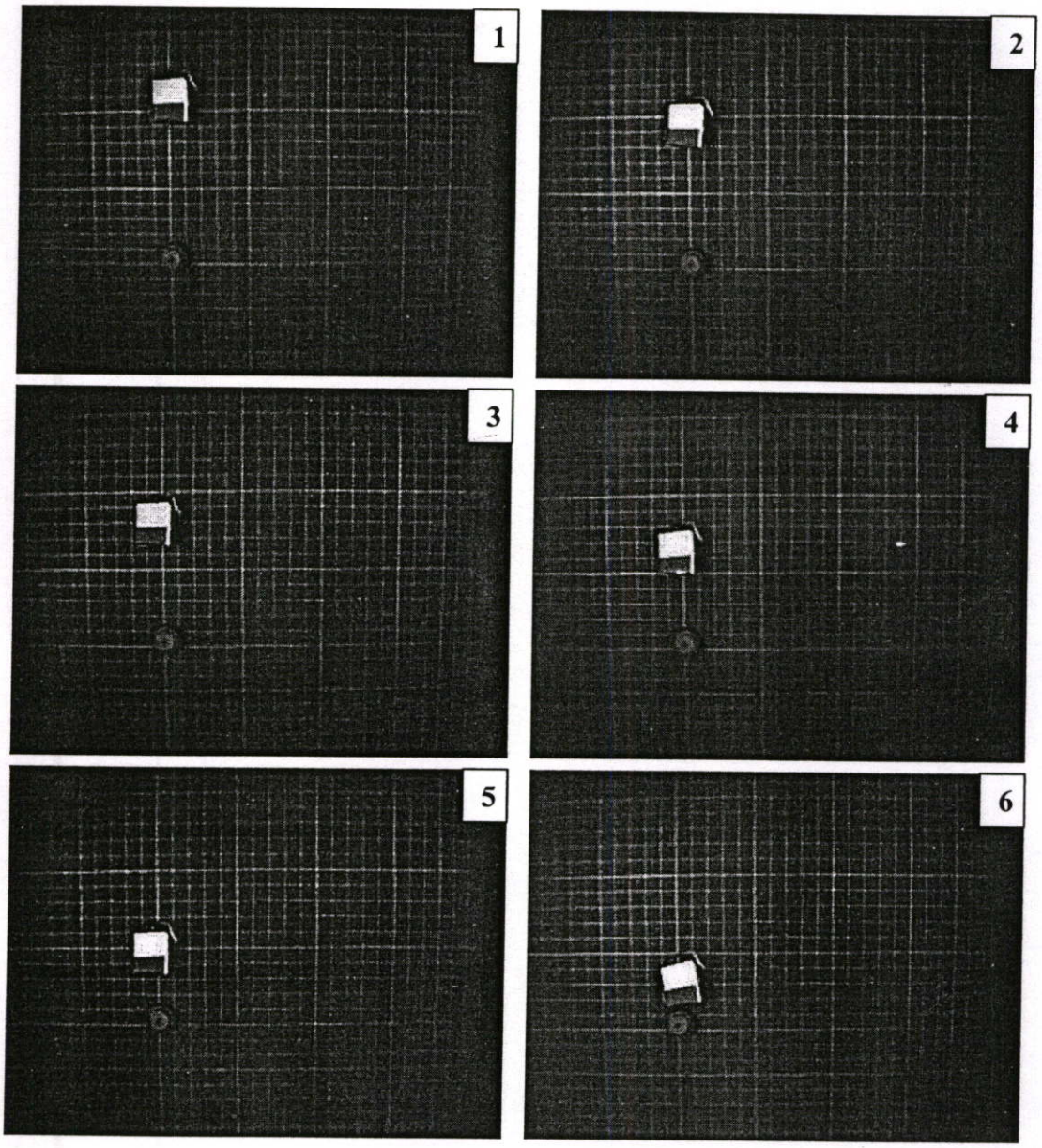
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้าง บนสู่ข้างล่างทางซ้าย



รูปที่ ง.16 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 6



รูปที่ ง.17 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 6

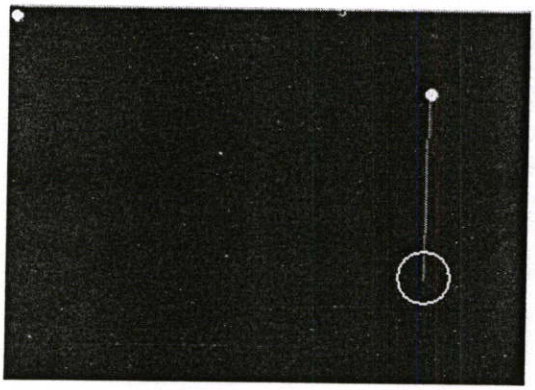


รูปที่ ง.18 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่6

ตารางที่ ง.6 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

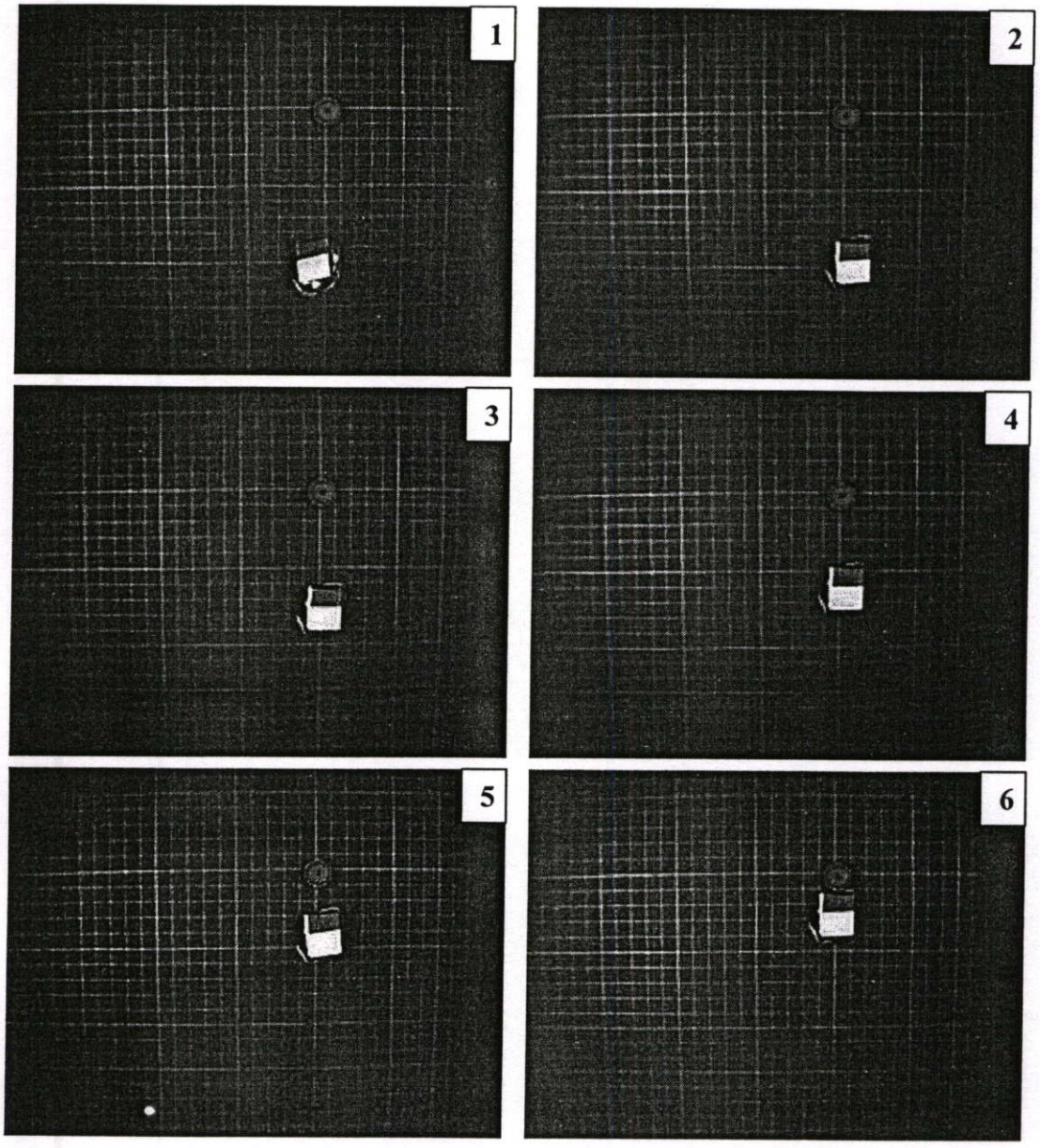
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	53	12	5

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางขวาข้างล่าง สู่ข้างบนทางขวา



รูปที่ ง.19 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 7

รูปที่ ง.20 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 7

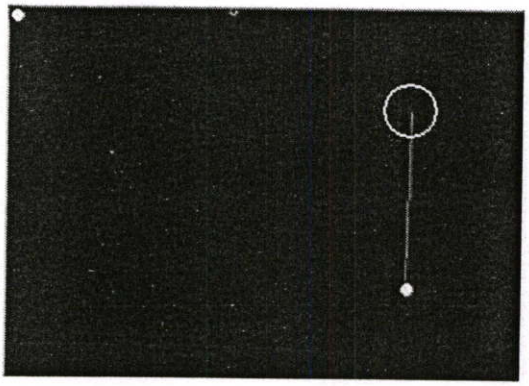


รูปที่ ง.21 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 7

ตารางที่ ง.7 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

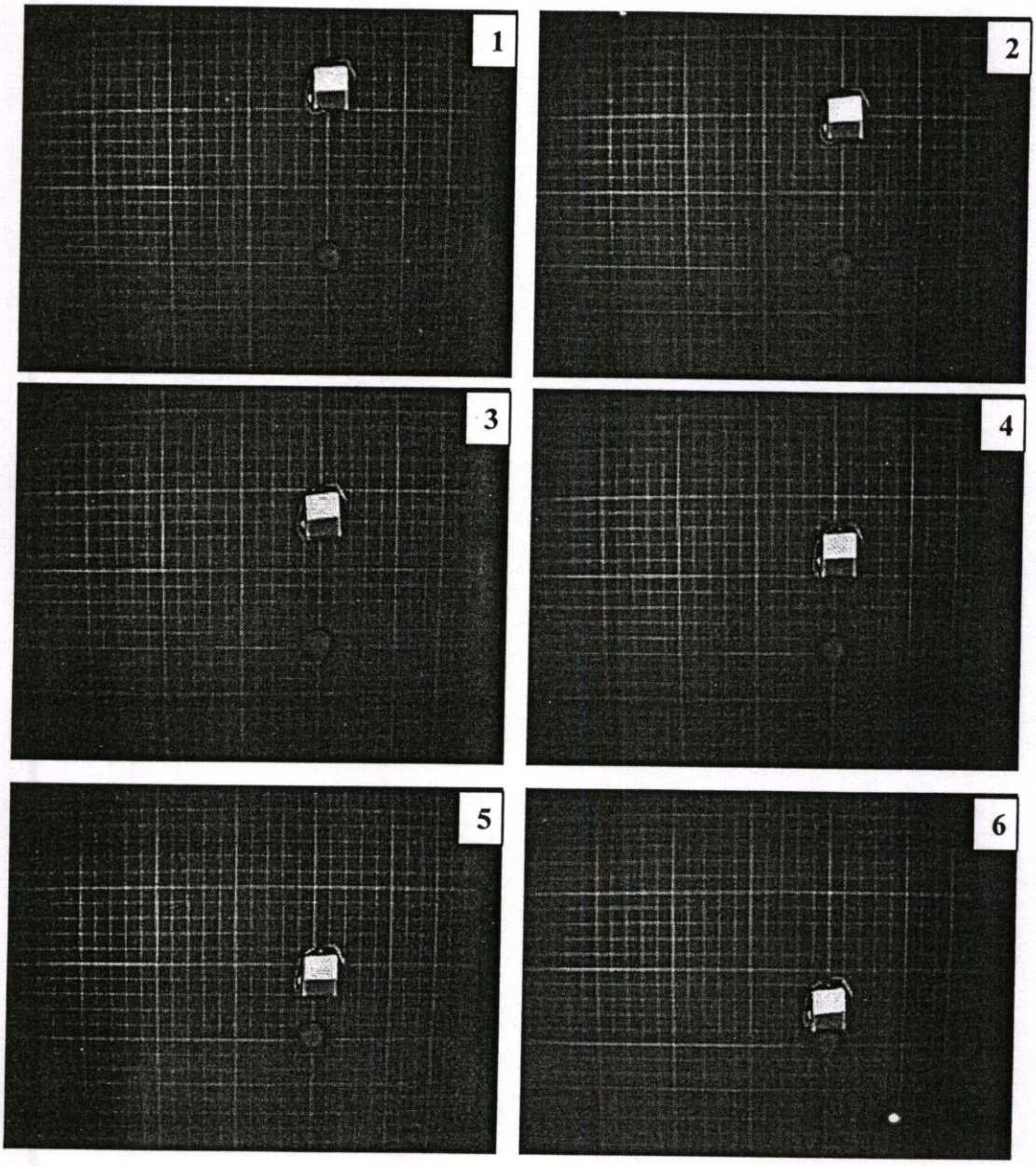
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	53	12	5

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้าง บนสู่ข้างล่างทางซ้าย



รูปที่ ง.22 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 8

รูปที่ ง.23 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 8

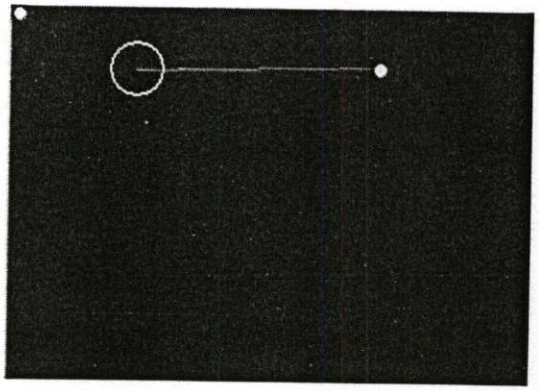


รูปที่ ง.24 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 8

ตารางที่ ง.8 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

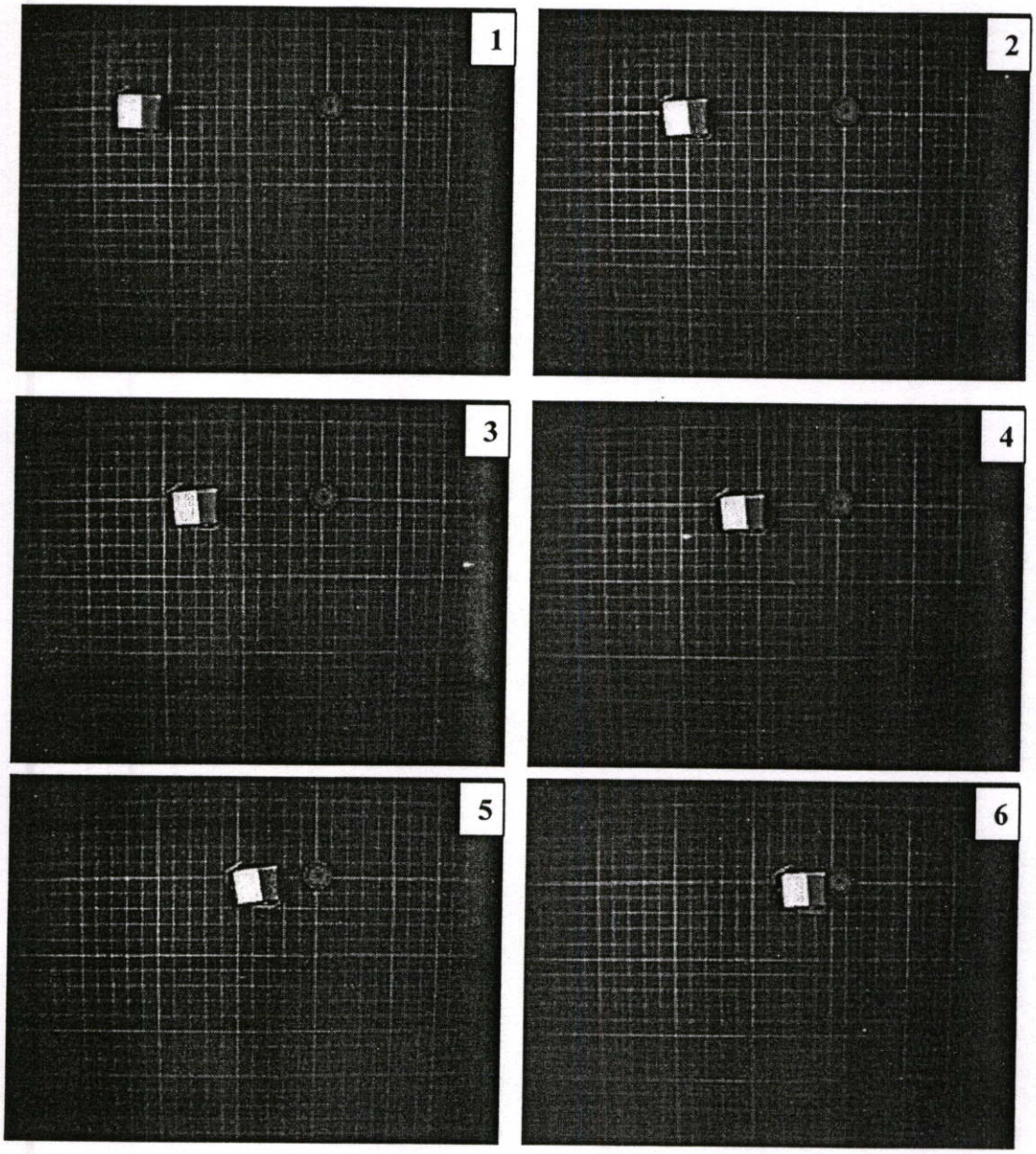
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	52	12	4

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างบน สู่ข้างบนทางซ้าย



รูปที่ ง.25 รูปเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบที่ 9

รูปที่ ง.26 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 9

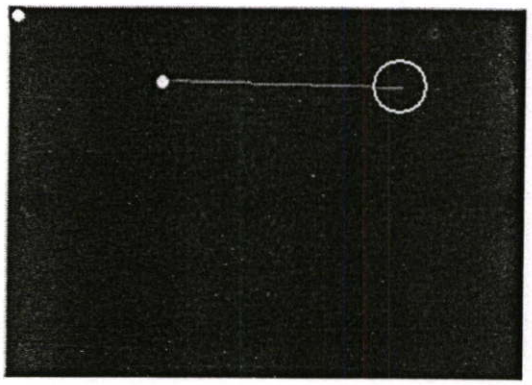


รูปที่ ง.27 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 9

ตารางที่ ง.9 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

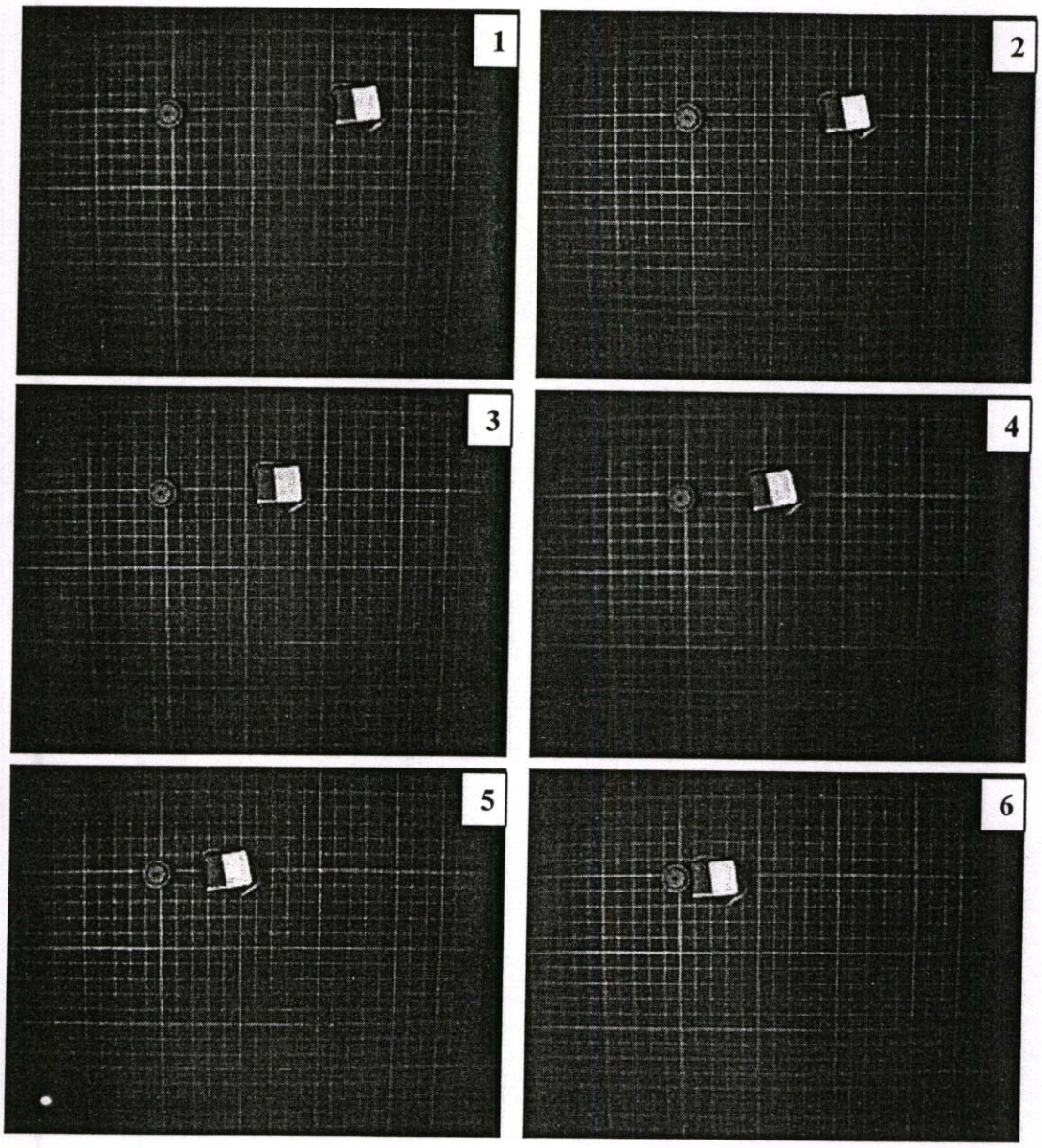
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	53	12	5

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างบนทางซ้ายสู่ซ้ายข้างบน



รูปที่ ง.28 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 10

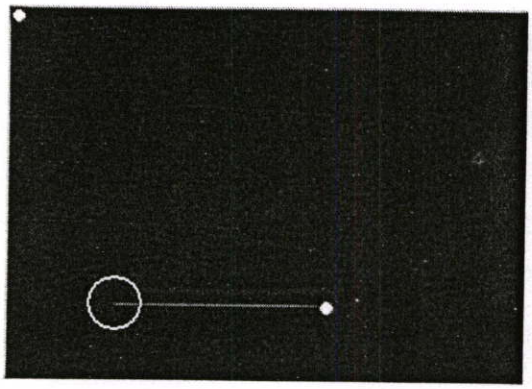
รูปที่ ง.29 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 10



รูปที่ ง.30 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 10

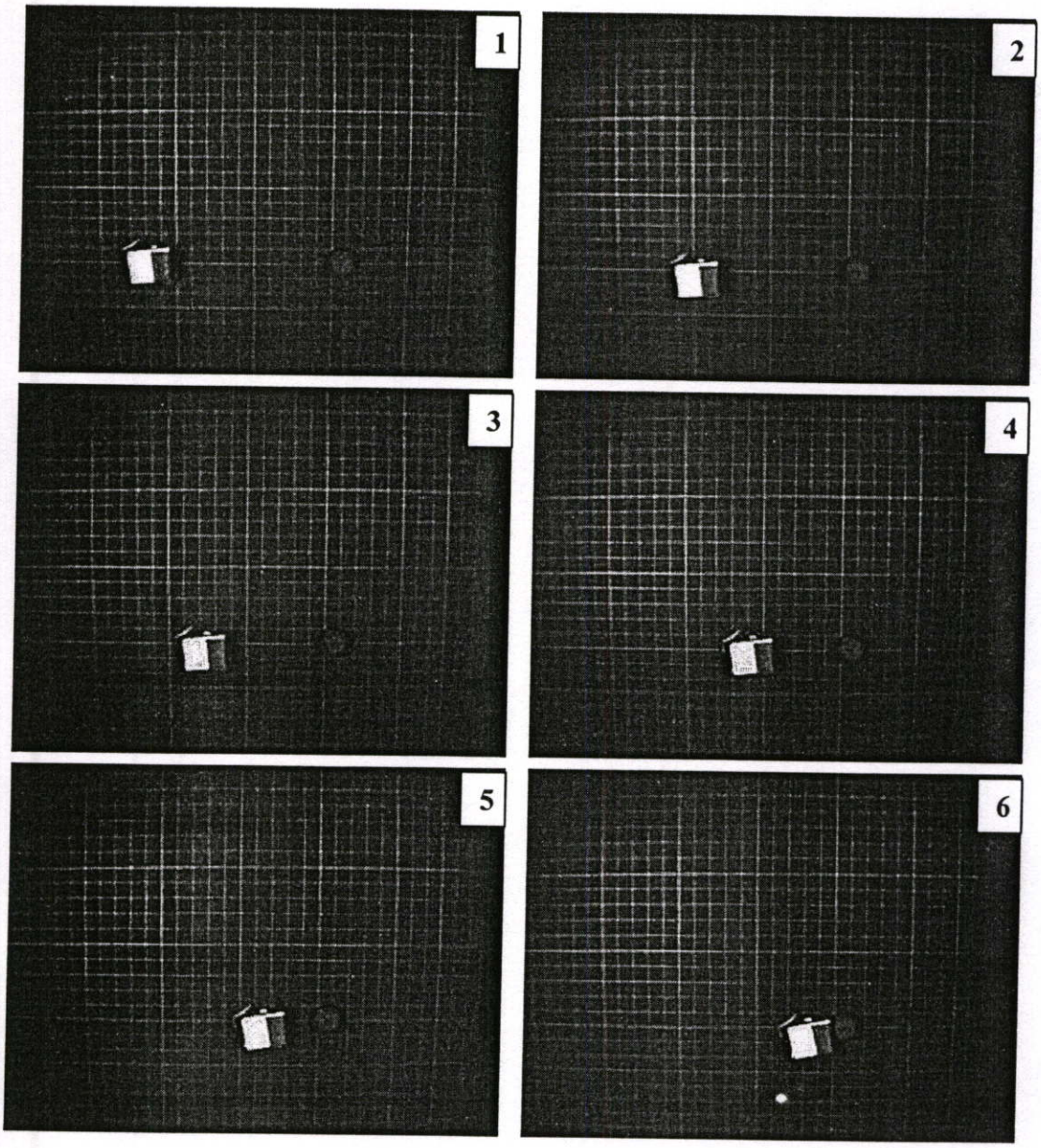
ตารางที่ ง.10 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	54	12	6



รูปที่ ง.31 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบที่ 11

รูปที่ ง.32 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 11

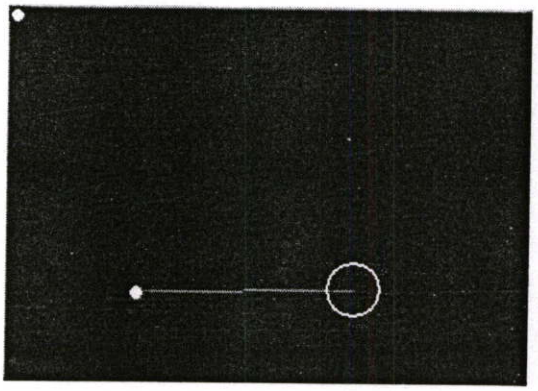


รูปที่ ง.33 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 11

ตารางที่ ง.11 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

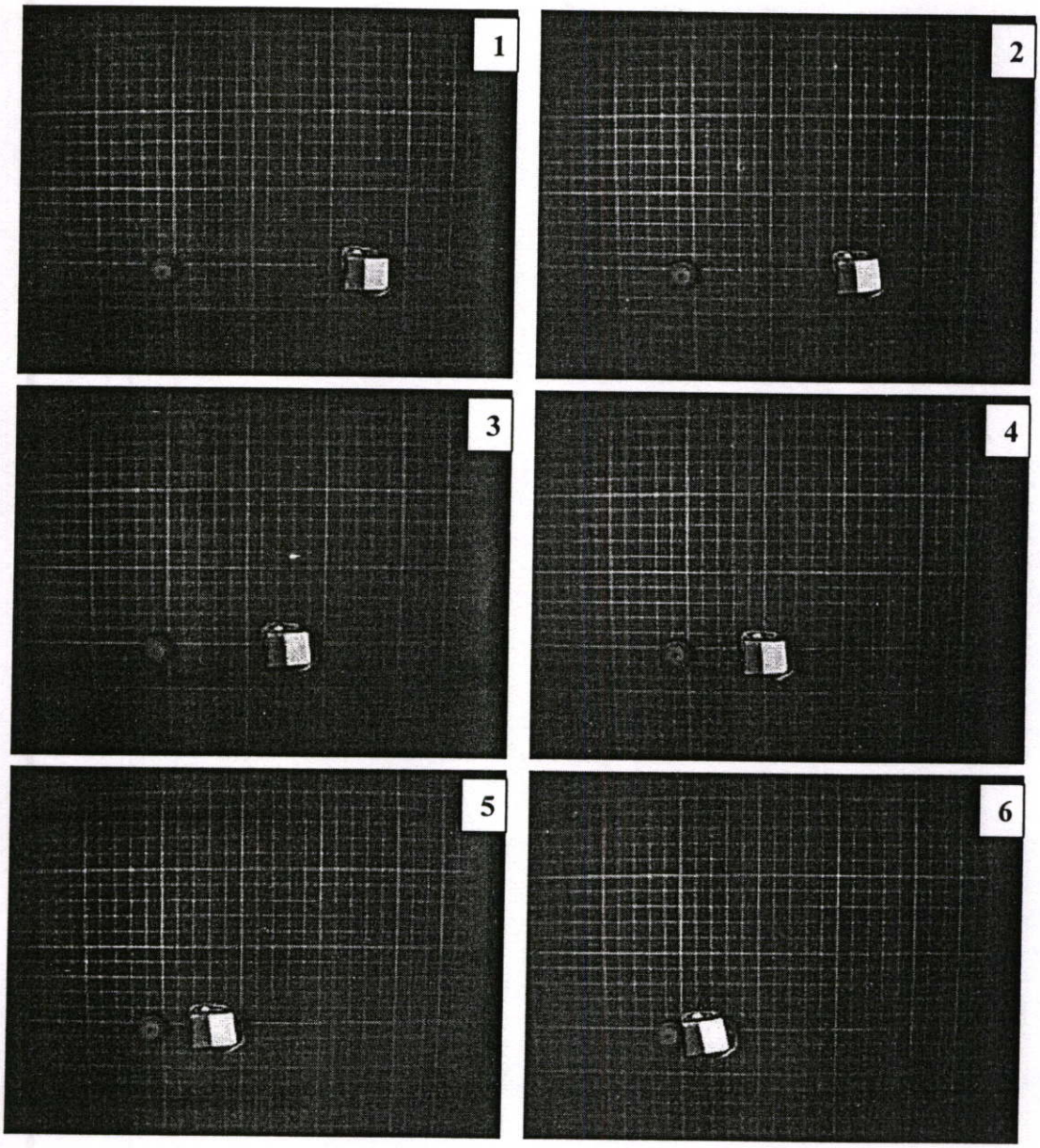
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	53	12	5

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางซ้ายสู่ซ้ายข้างล่าง



รูปที่ ง.34 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มด แบบที่ 12

รูปที่ ง.35 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มด แบบที่ 12

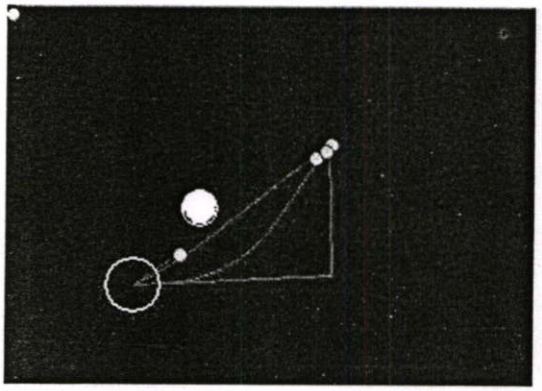


รูปที่ ง.36 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด แบบที่ 12

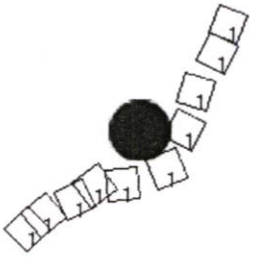
ตารางที่ ง.12 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	52	12	4

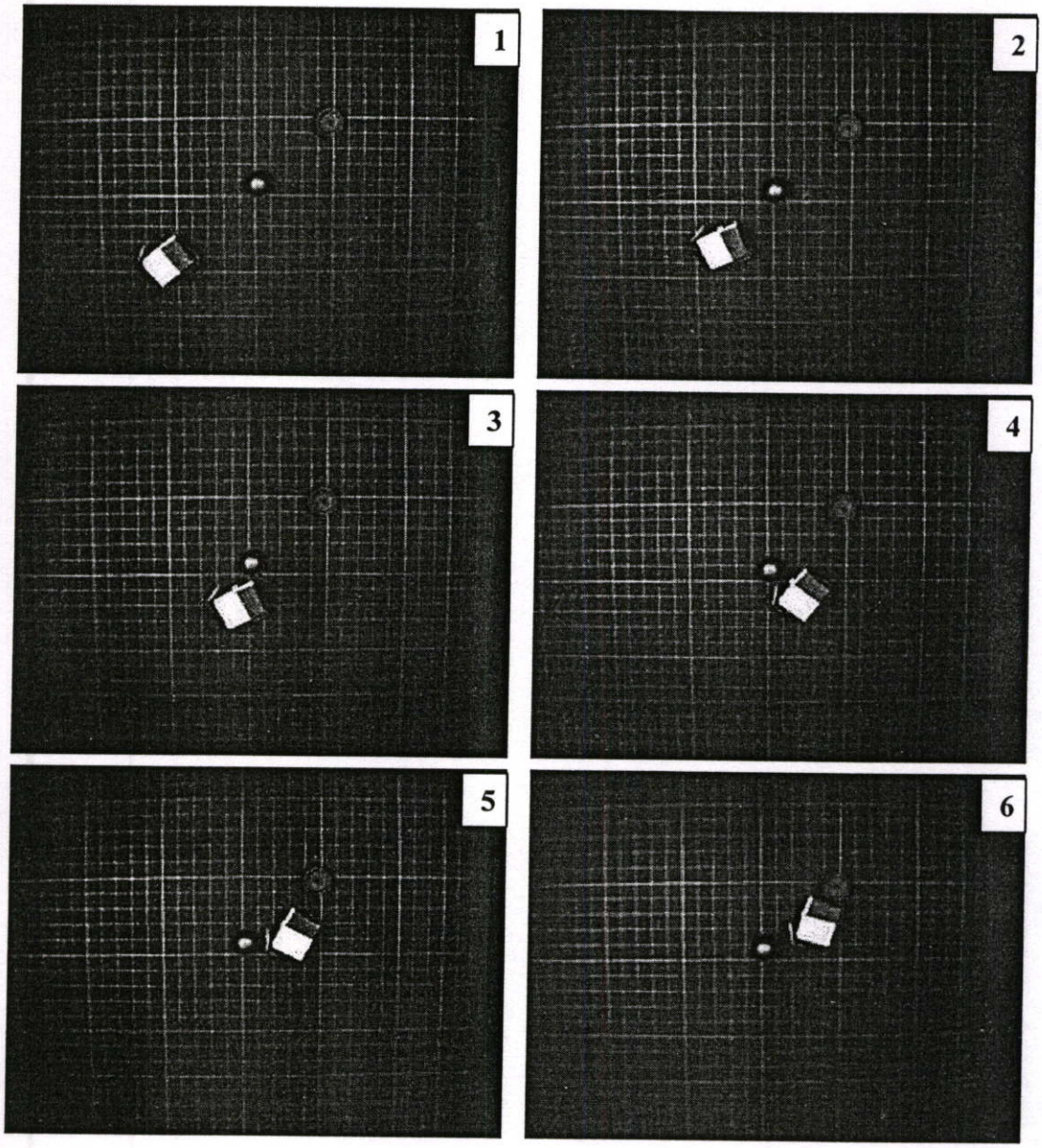
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางซ้ายเคลื่อนไปทางขวาข้างล่างสู่ขวาข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.37 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 1



รูปที่ ง.38 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวางแบบที่ 1

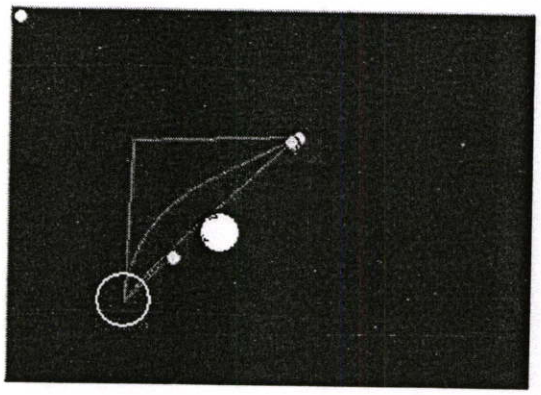


รูปที่ ง.39 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 1

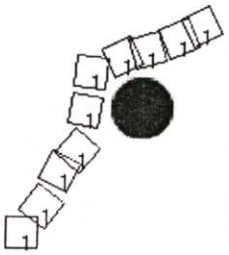
ตารางที่ ง.13 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	75	12	15

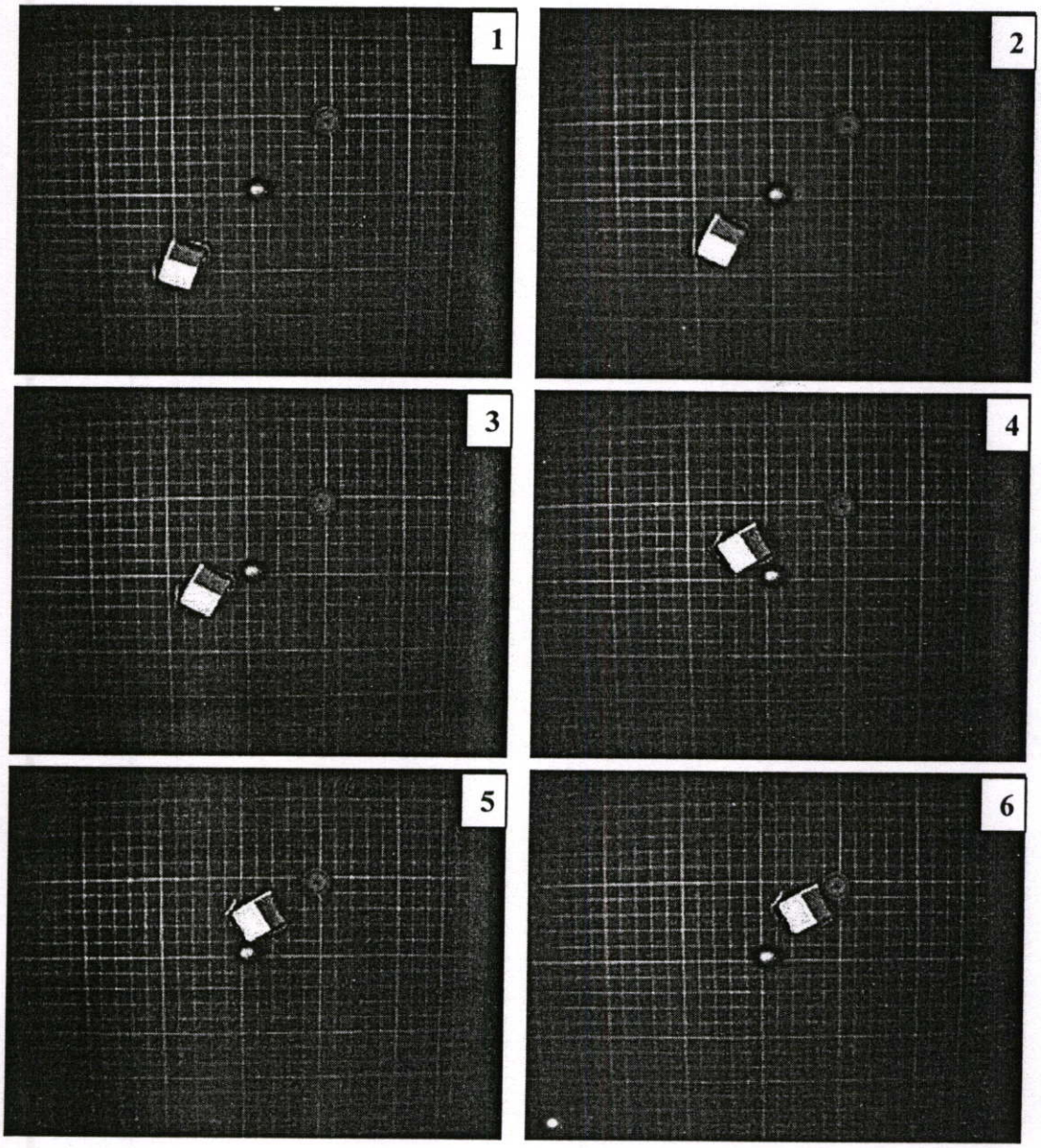
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางซ้ายเคลื่อนไปทางซ้ายข้างบนสู่ขวาข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.40 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 2



รูปที่ ง.41 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 2

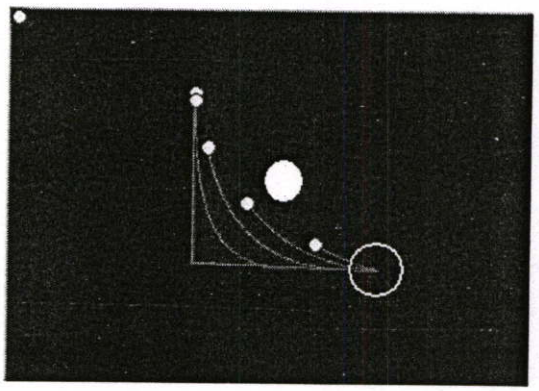


รูปที่ ง.42 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มด มีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 2

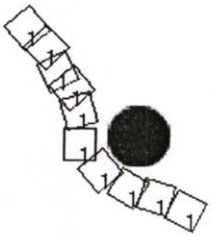
ตารางที่ ง.14 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	73	12	13

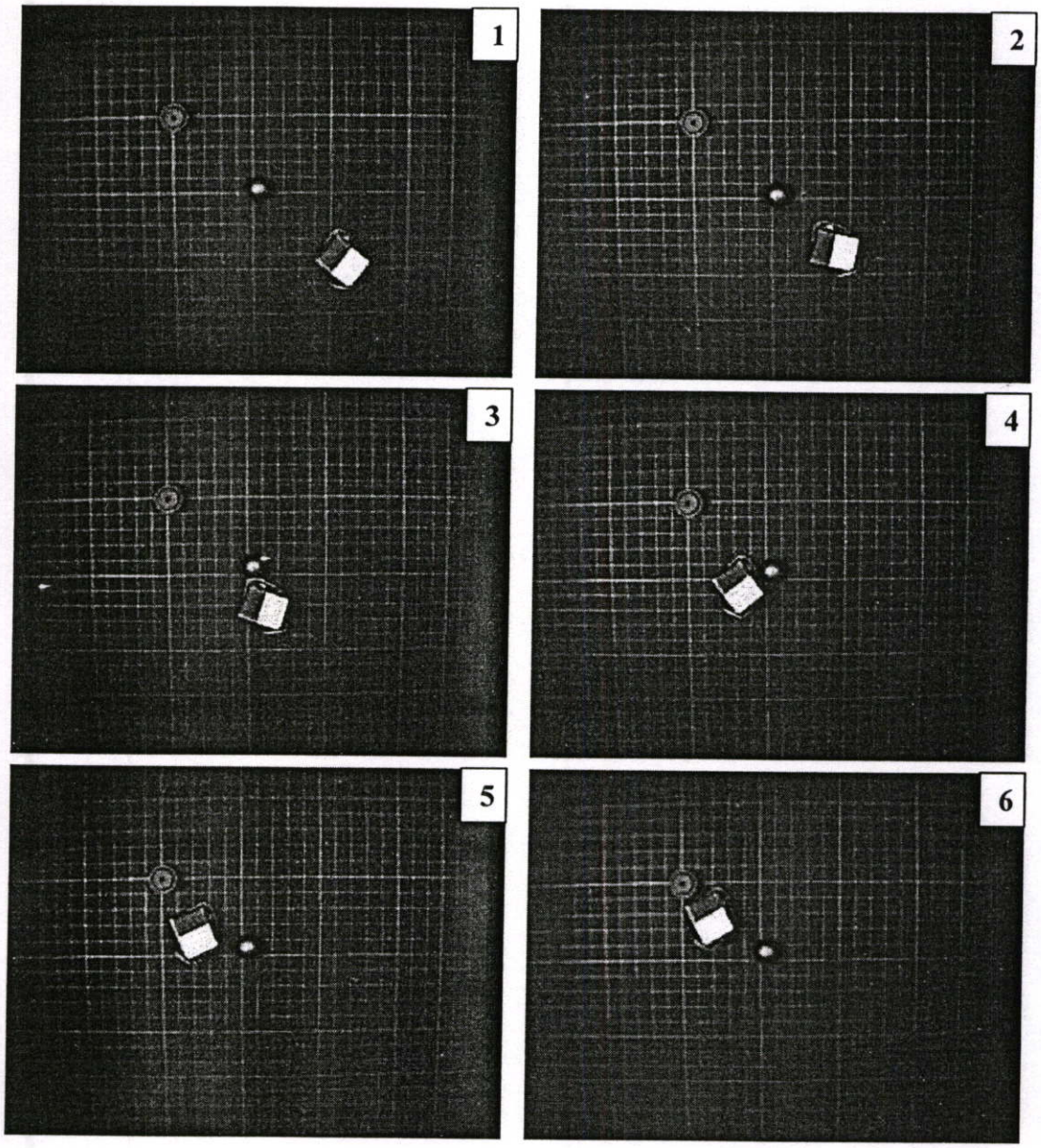
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางขวาเคลื่อนไปทางซ้ายมือข้างล่างสู่ซ้ายข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.43 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 3



รูปที่ ง.44 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 3

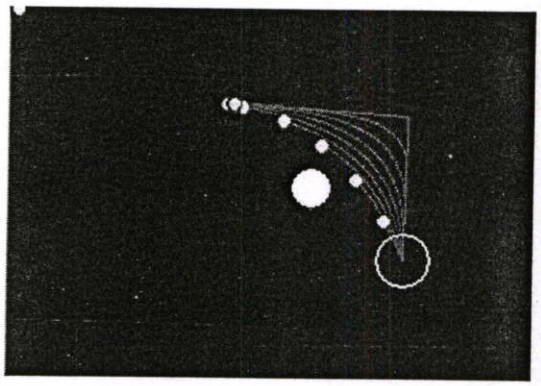


รูปที่ ง.45 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 3

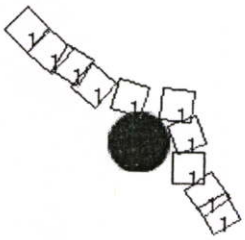
ตารางที่ ง.15 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
62	78	12	16

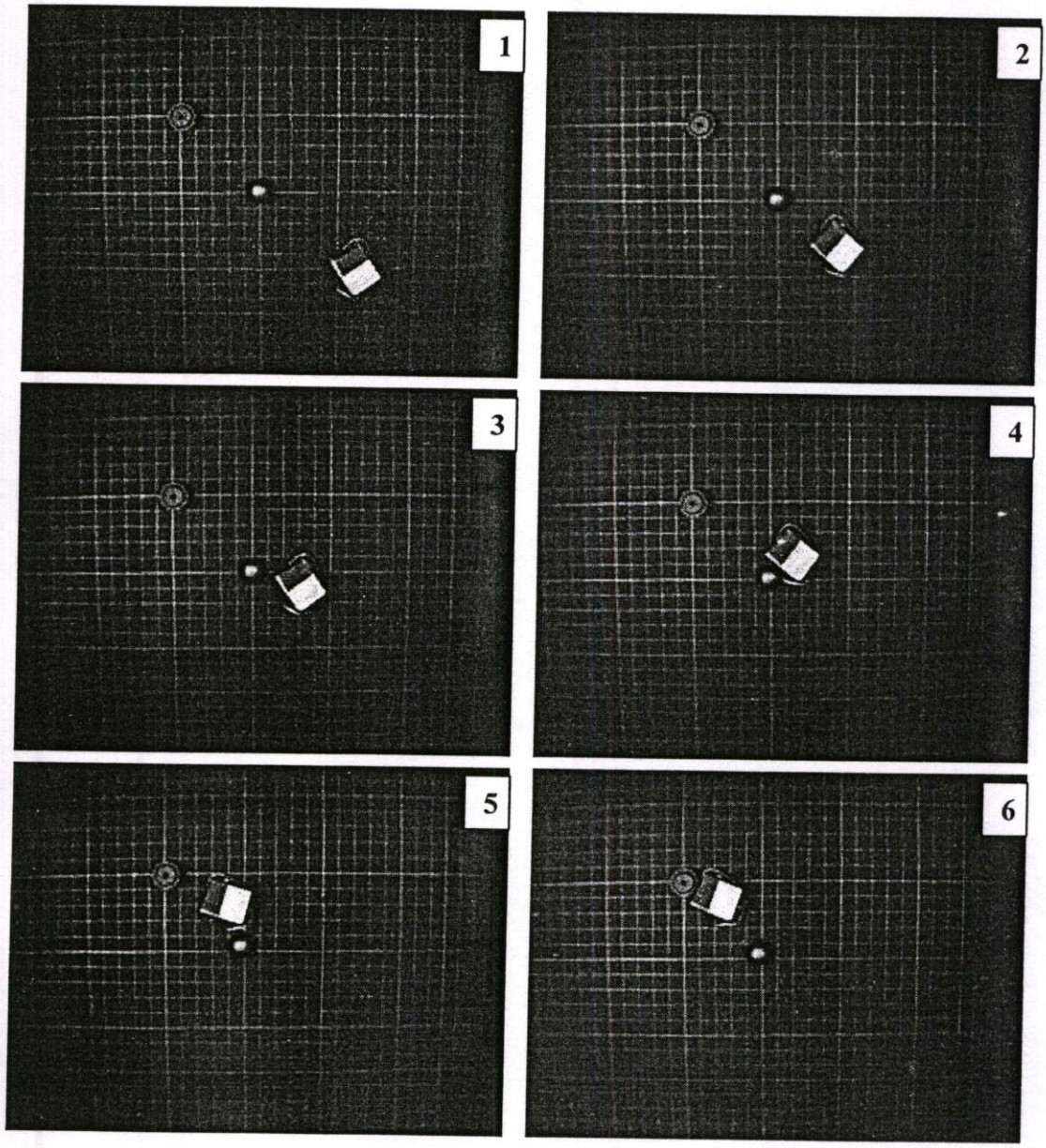
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางขวาเคลื่อนไปทางขวามือข้างล่างสู่ซ้ายข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.46 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 4



รูปที่ ง.47 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 4

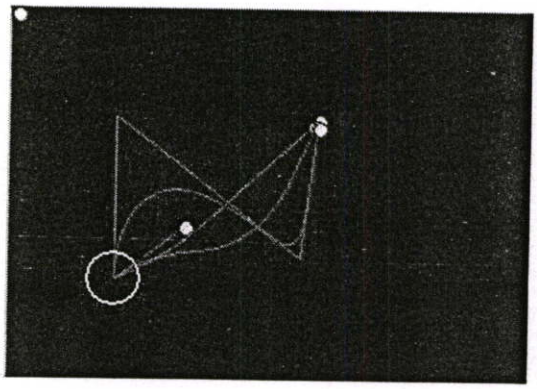


รูปที่ ง.48 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 4

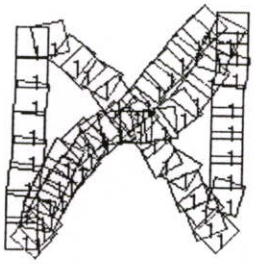
ตารางที่ ง.16 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
63	80	12	17

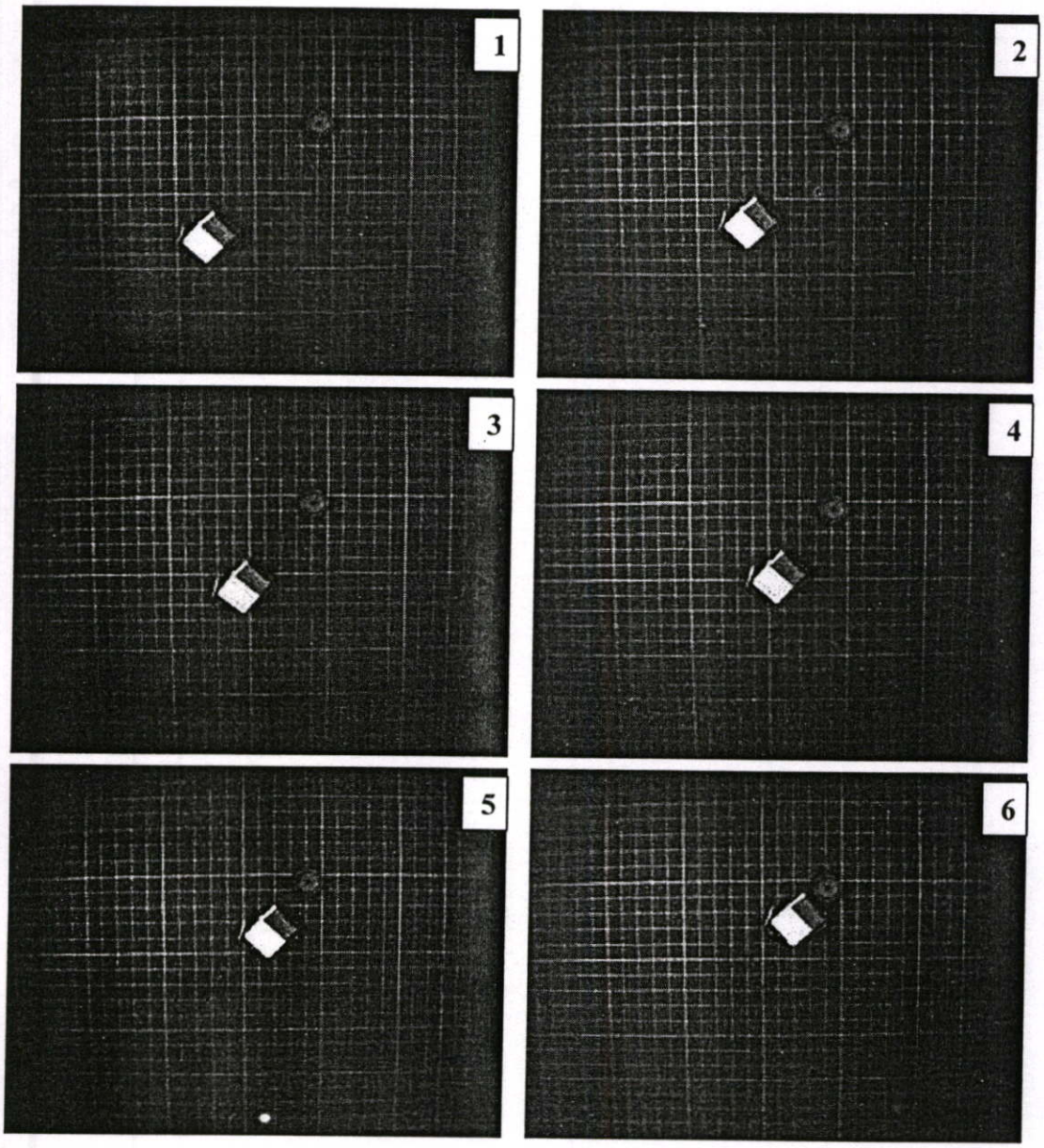
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางซ้ายเคลื่อนไปทางซ้ายข้างบนทแยงมาขวามือข้างล่างสู่ขวาข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.49 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 1



รูปที่ ง.50 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดแบบซิกแบบ ครั้งที่ 1

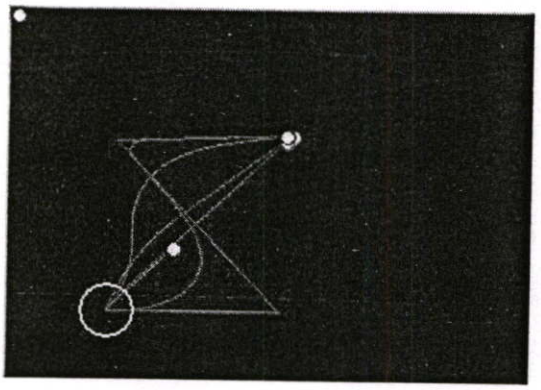


รูปที่ ง.50 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 1

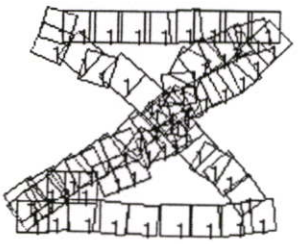
ตารางที่ ง.17 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นซิกแซกจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	60	12	12

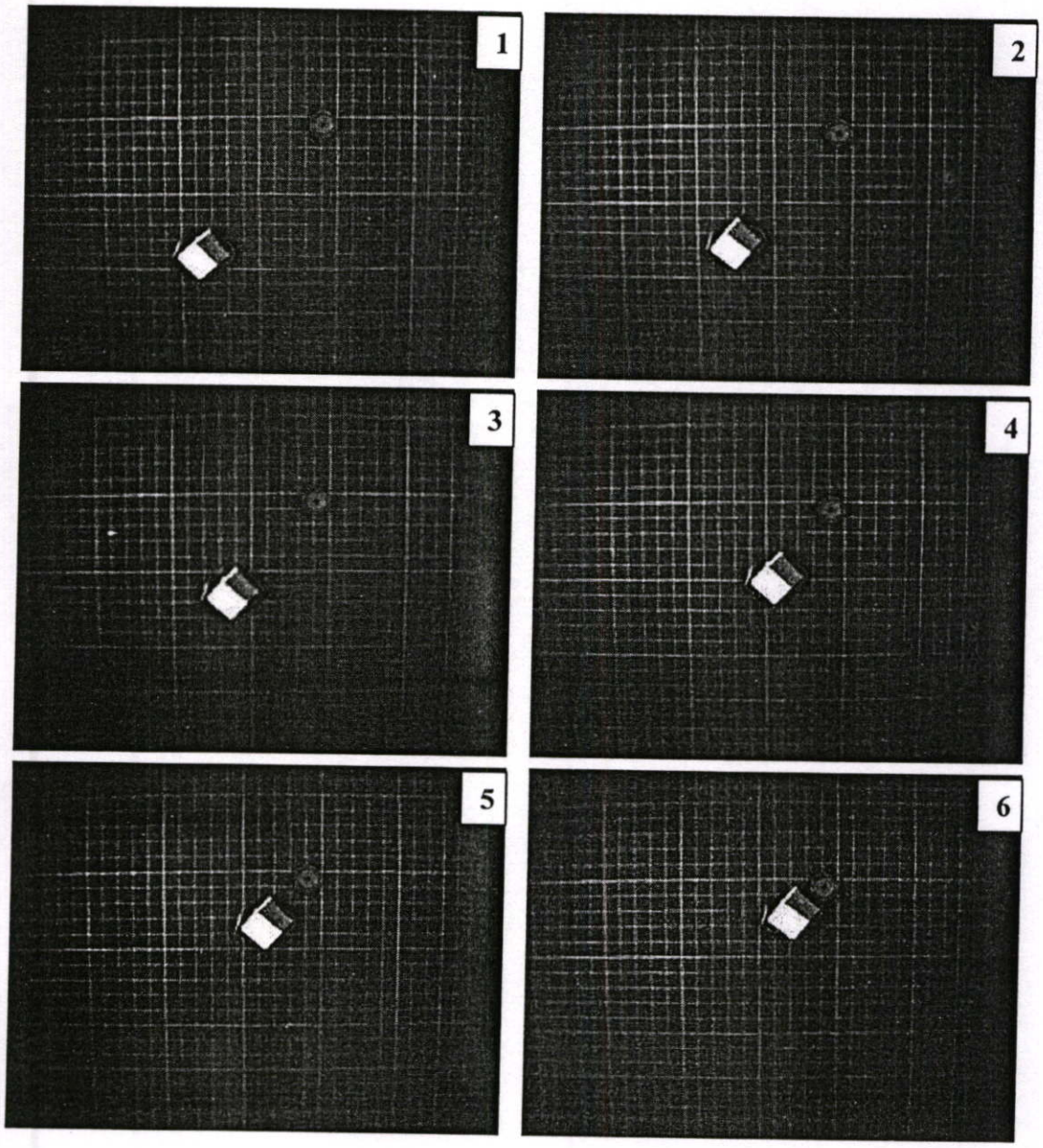
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางซ้ายเคลื่อนไปทางขวาข้างล่างทแยงมาขวามือข้างบนสู่ขวาข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.51 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 2



รูปที่ ง.52 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซกแบบที่ 2

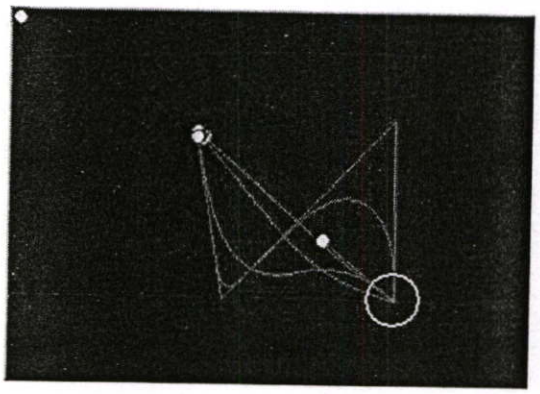


รูปที่ ง.53 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 2

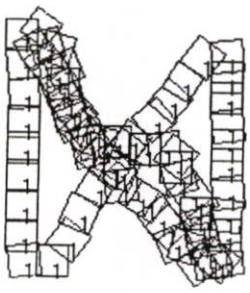
ตารางที่ ง.18 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นซิกแซกจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	63	12	15

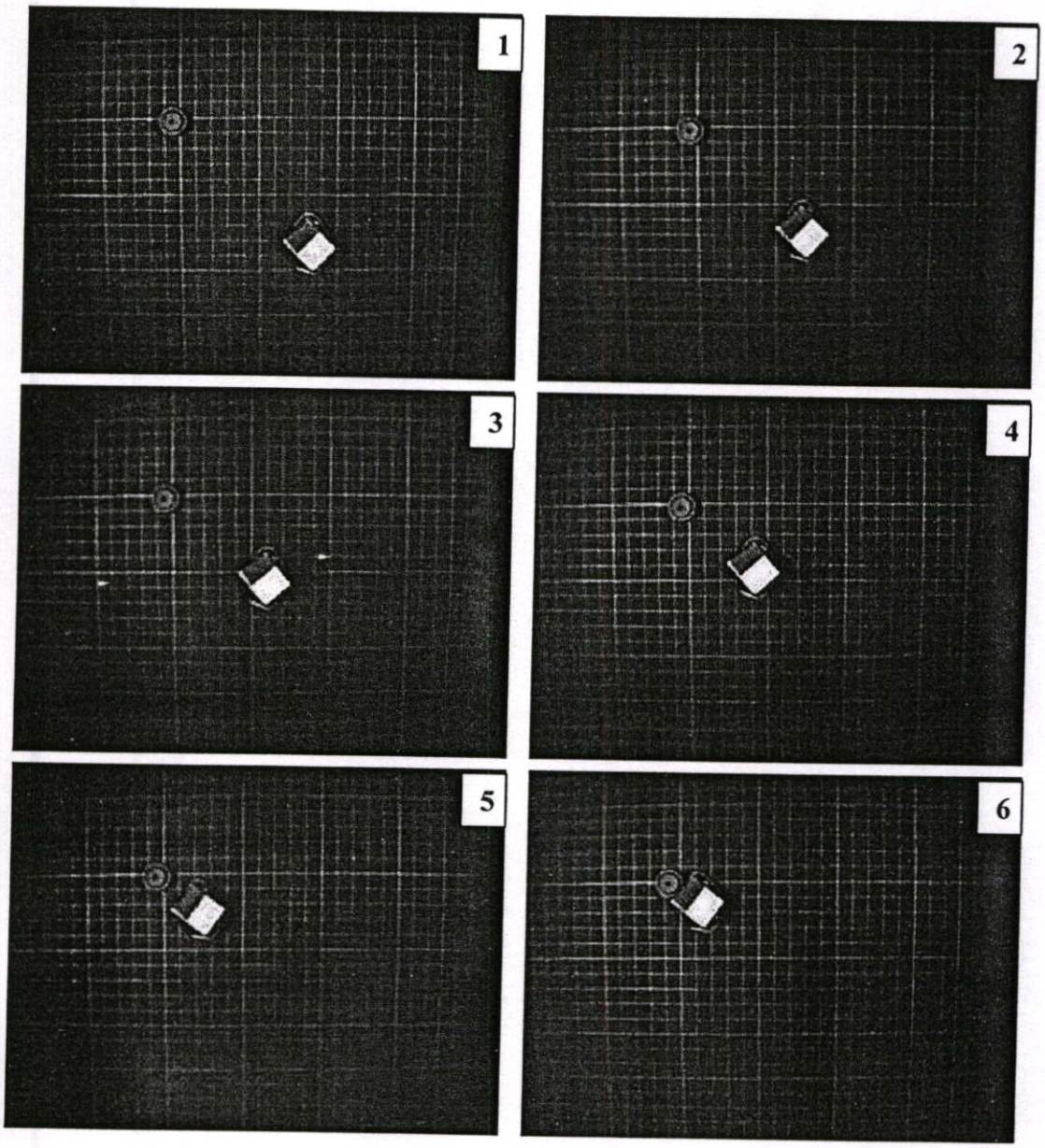
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางขวาเคลื่อนไปทางขวาข้างบนทแยงมาซ้ายมือข้างล่างสู่ซ้ายข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.54 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 3



รูปที่ ง.55 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซกแบบที่ 3

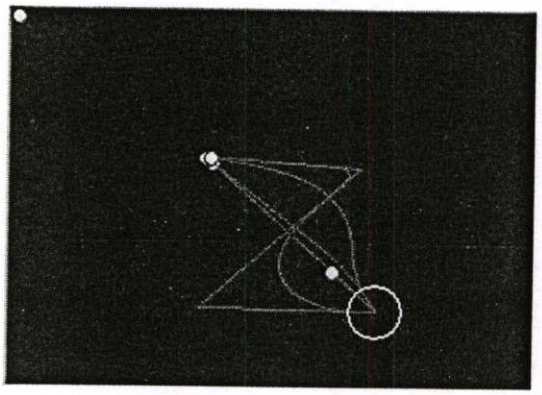


รูปที่ ง.56 ผลการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 3

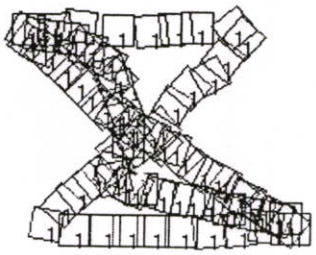
ตารางที่ ง.19 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นซิกแซกจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	62	12	14

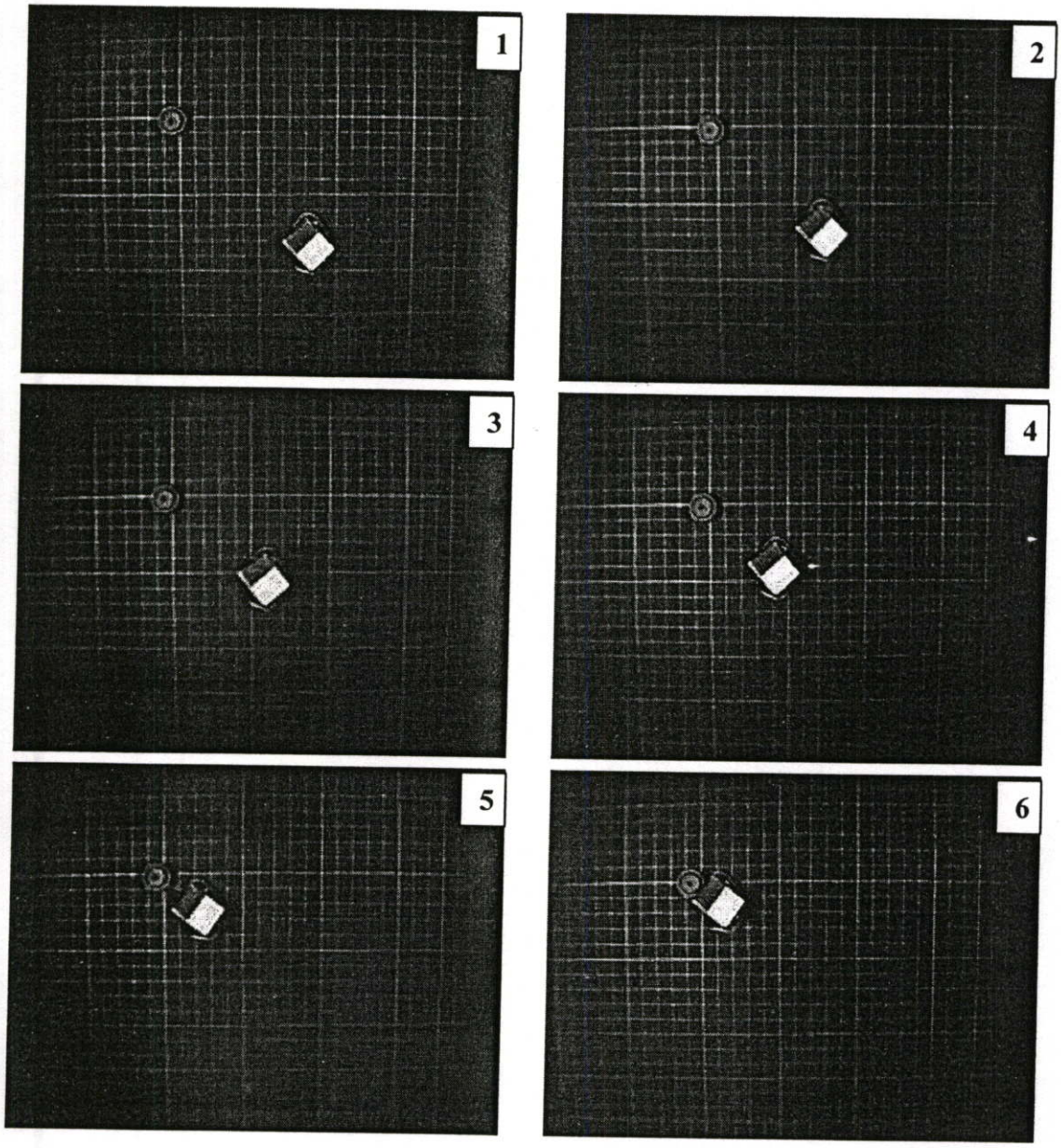
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง มีสิ่งกีดขวางระหว่างกลางของระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางขวาเคลื่อนไปทางซ้ายข้างล่างทแยงมาขวามือข้างบนสู่ซ้ายข้างบนเป็นจุดสิ้นสุด



รูปที่ ง.57 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซกแบบที่ 4



รูปที่ ง.58 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 4

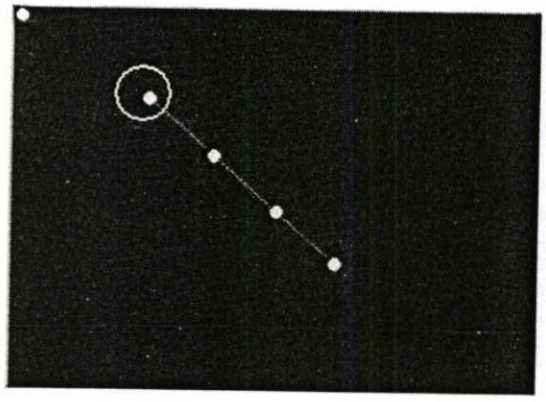


รูปที่ ง.59 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดแบบซิกแซก แบบที่ 4

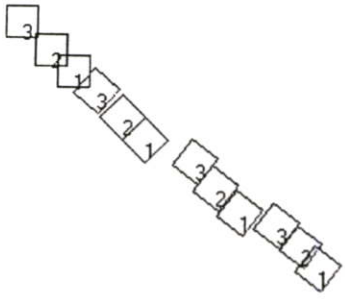
ตารางที่ ง.20 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์แบบเป็นซิกแซกจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	61	12	13

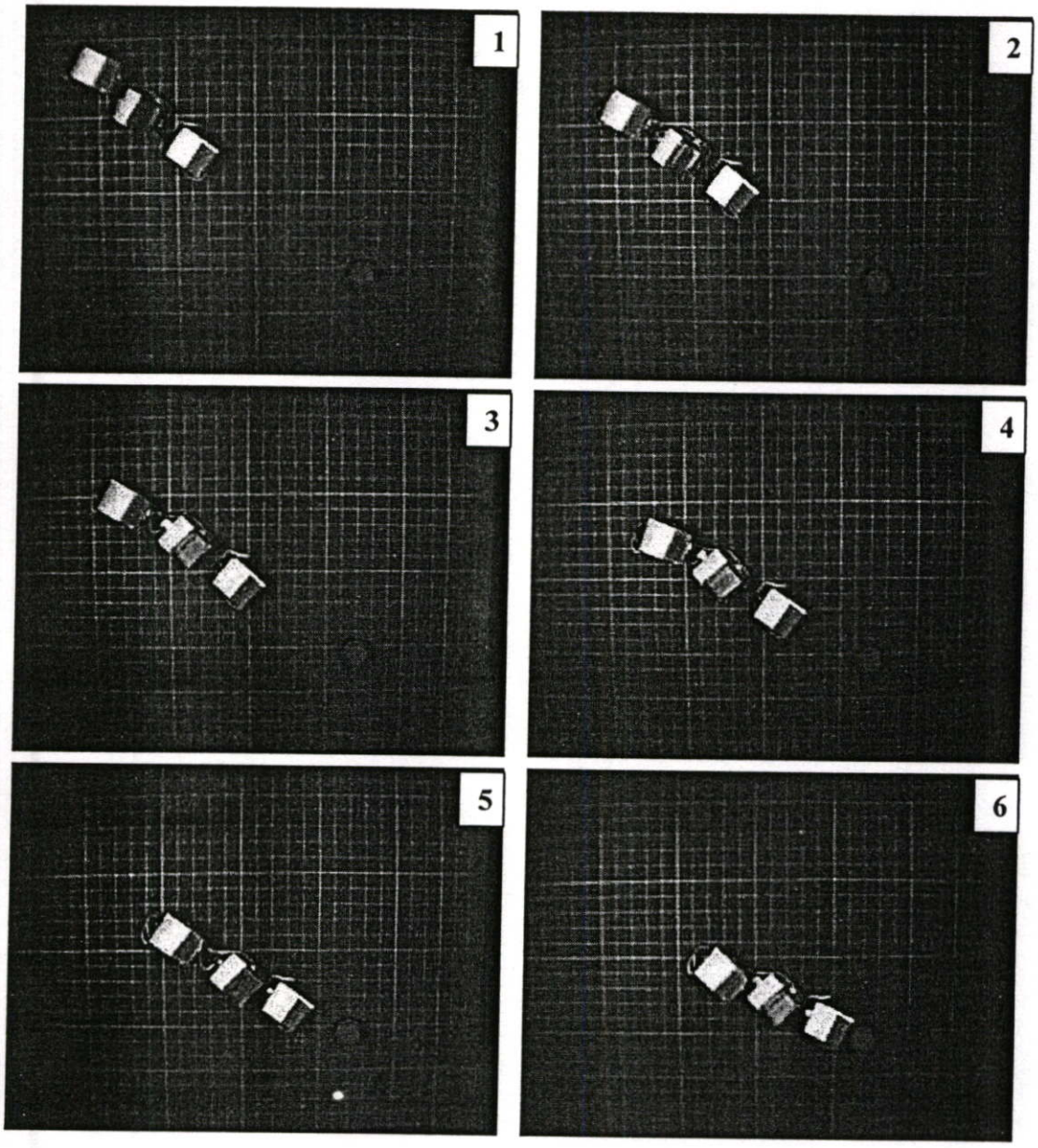
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เดินตามกันสามตัวไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างบน สู่ข้างล่างทางขวา



รูปที่ ง.60 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 1



รูปที่ ง.61 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 1

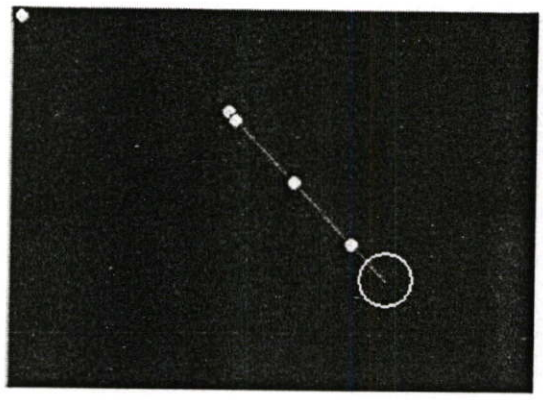


รูปที่ ง.62 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่1

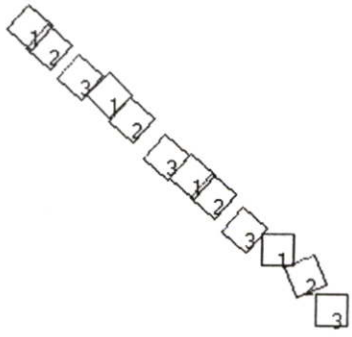
ตารางที่ ง.21 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	60	12	12

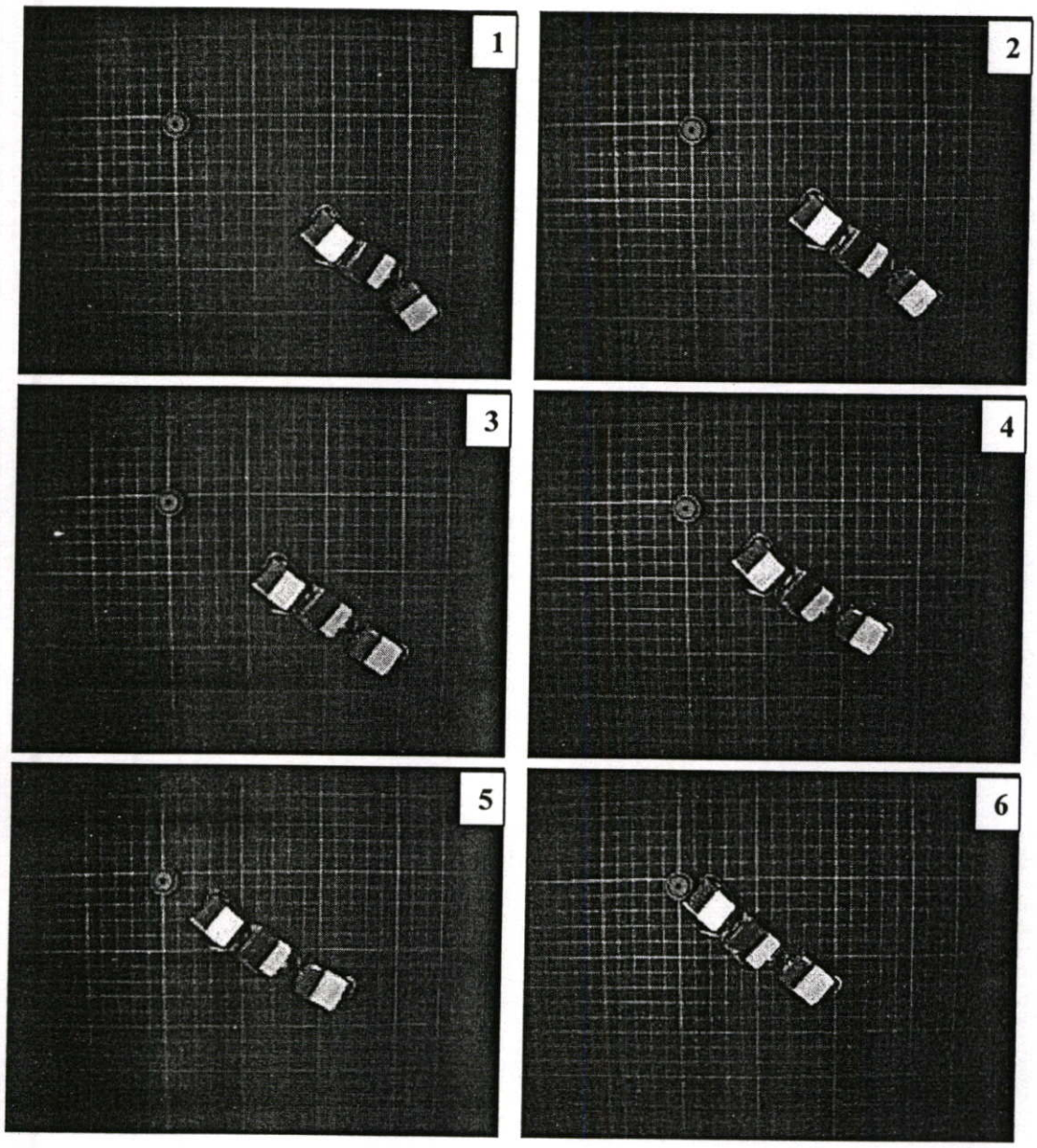
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เดินตามกันสามตัวไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทาง ข้างล่างทางขวา สู่ซ้ายข้างบน



รูปที่ ง.63 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 2



รูปที่ ง.64 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 2

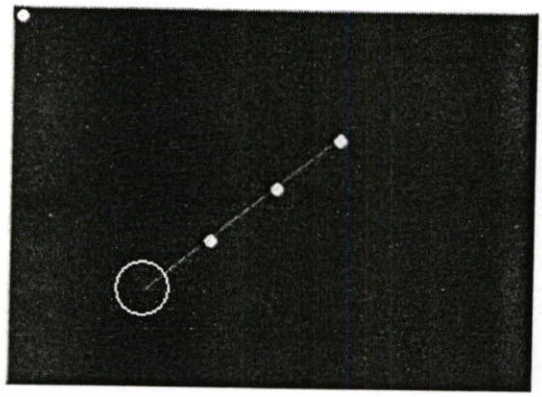


รูปที่ ง.65 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 2

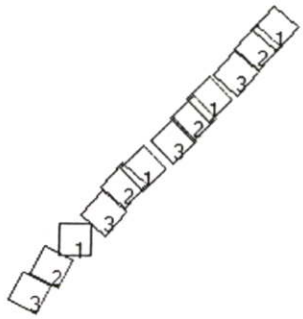
ตารางที่ ง.22 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	64	12	16

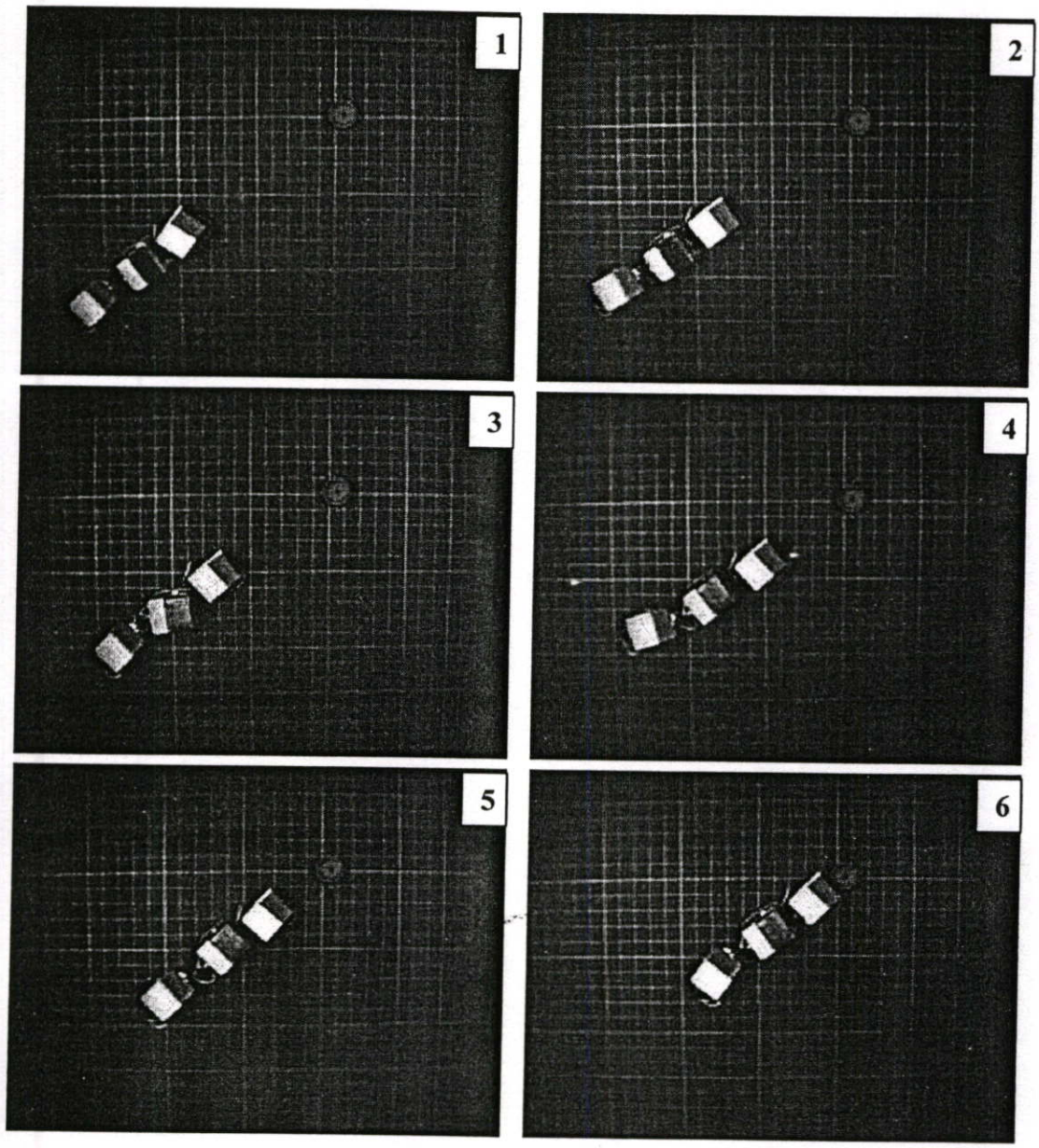
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เดินตามกันสามตัวไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้าง ล่างสู่ข้างบนทางขวา



รูปที่ ง.66 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 3



รูปที่ ง.67 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 3

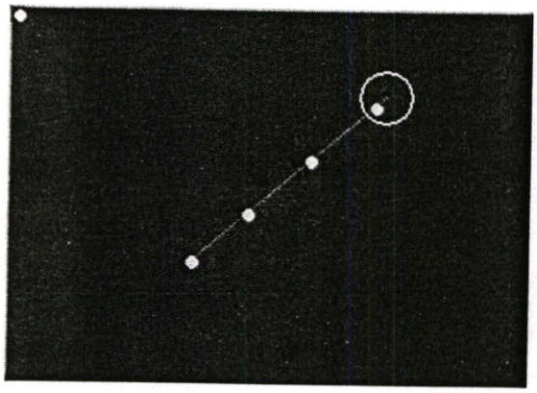


รูปที่ ง.68 ผลการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 3

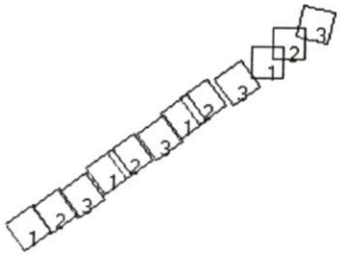
ตารางที่ ง.23 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	61	12	13

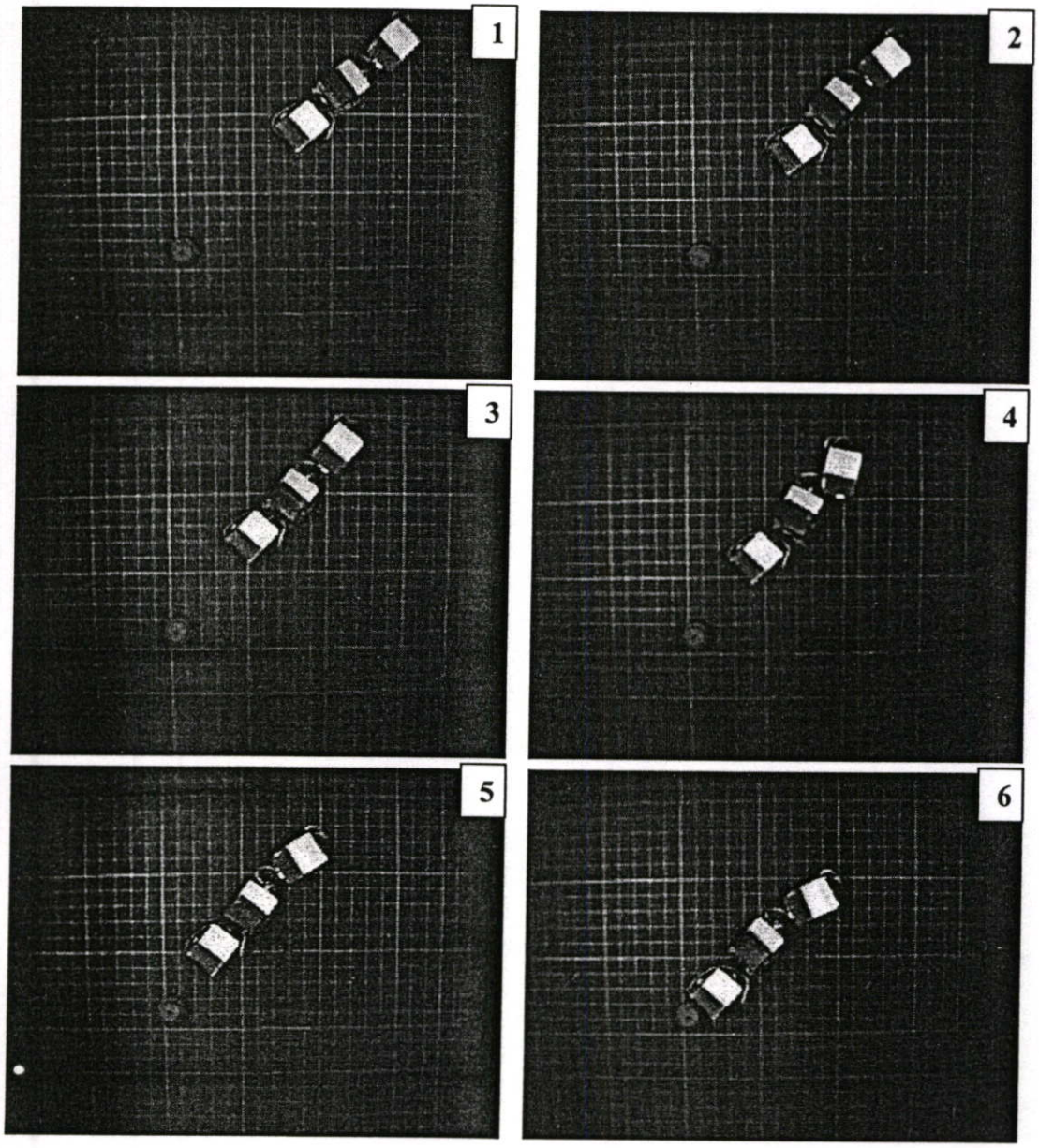
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เดินตามกันสามตัวไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจาก ข้างบนทางขวา สู่ทางซ้ายข้างล่าง



รูปที่ ง.69 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 4



รูปที่ ง.70 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 4

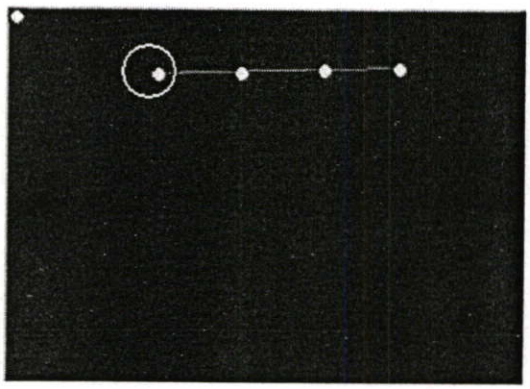


รูปที่ ง.71 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 4

ตารางที่ ง.24 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

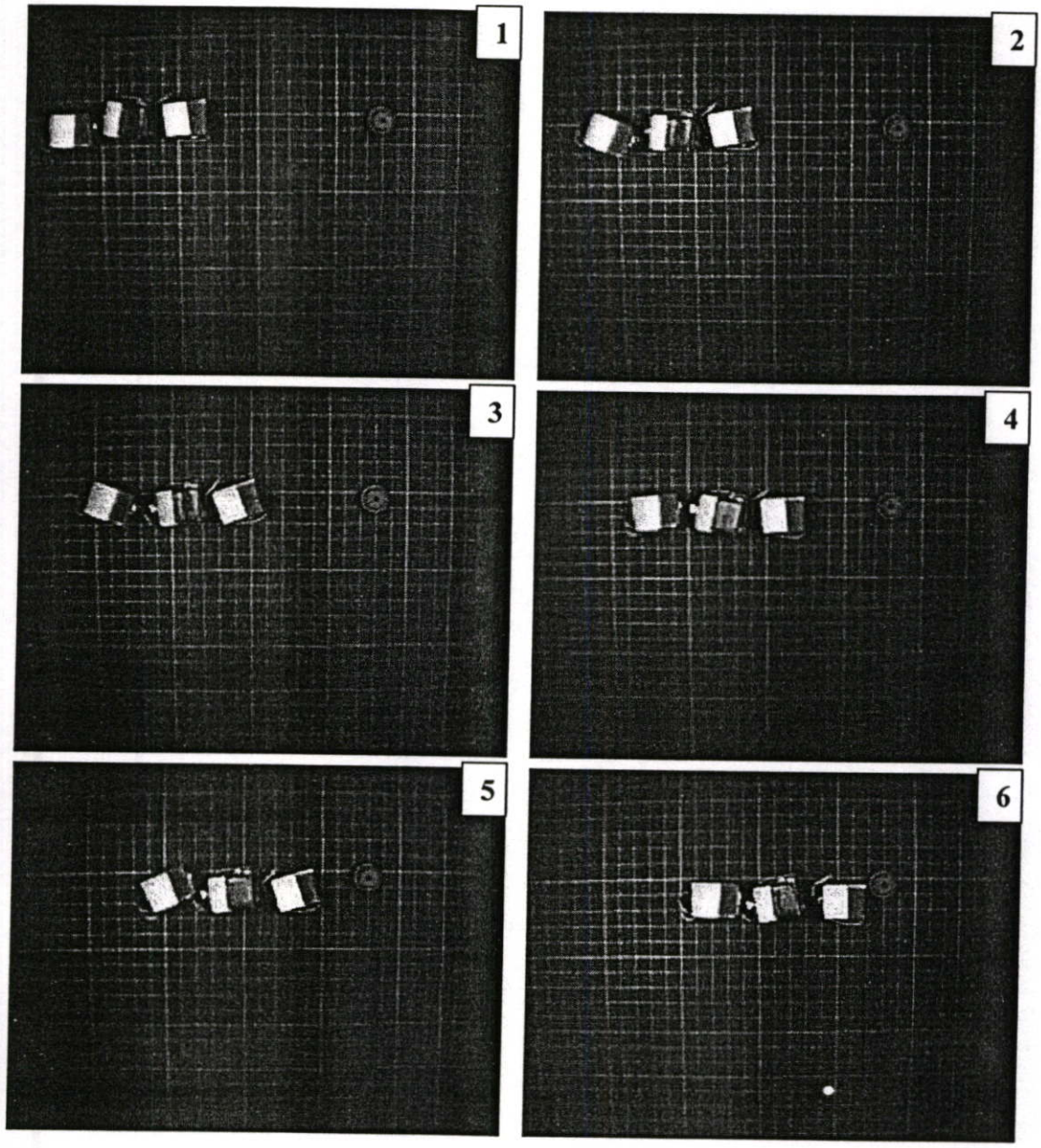
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	64	12	16

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้าง บนสู่ข้างล่างทางขวา



รูปที่ ง.72 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 5

รูปที่ ง.73 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 5

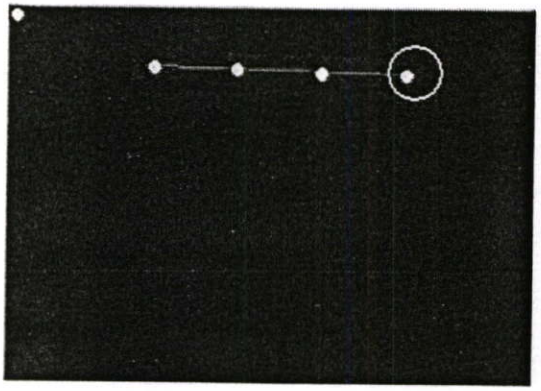


รูปที่ ง.74 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 5

ตารางที่ ง.25 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

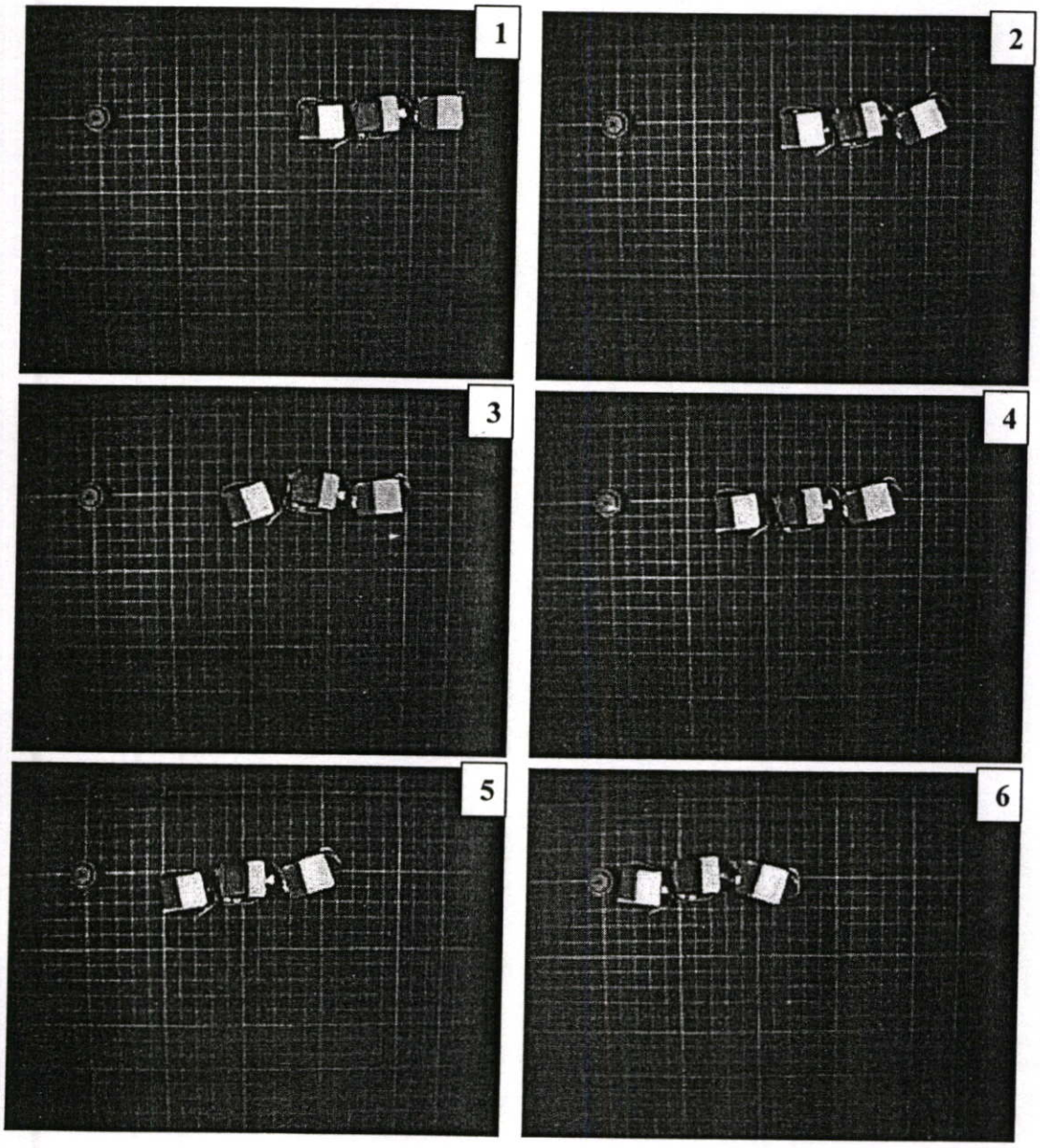
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	55	12	7

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางขวาข้าง บนสู่ข้างล่างทางซ้าย



รูปที่ ง.75 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 6

รูปที่ ง.76 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 6

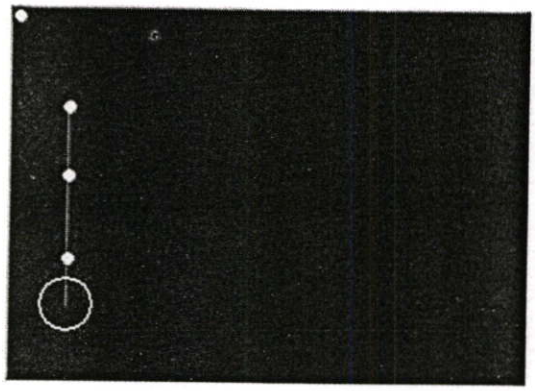


รูปที่ ง.77 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 6

ตารางที่ ง.26 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

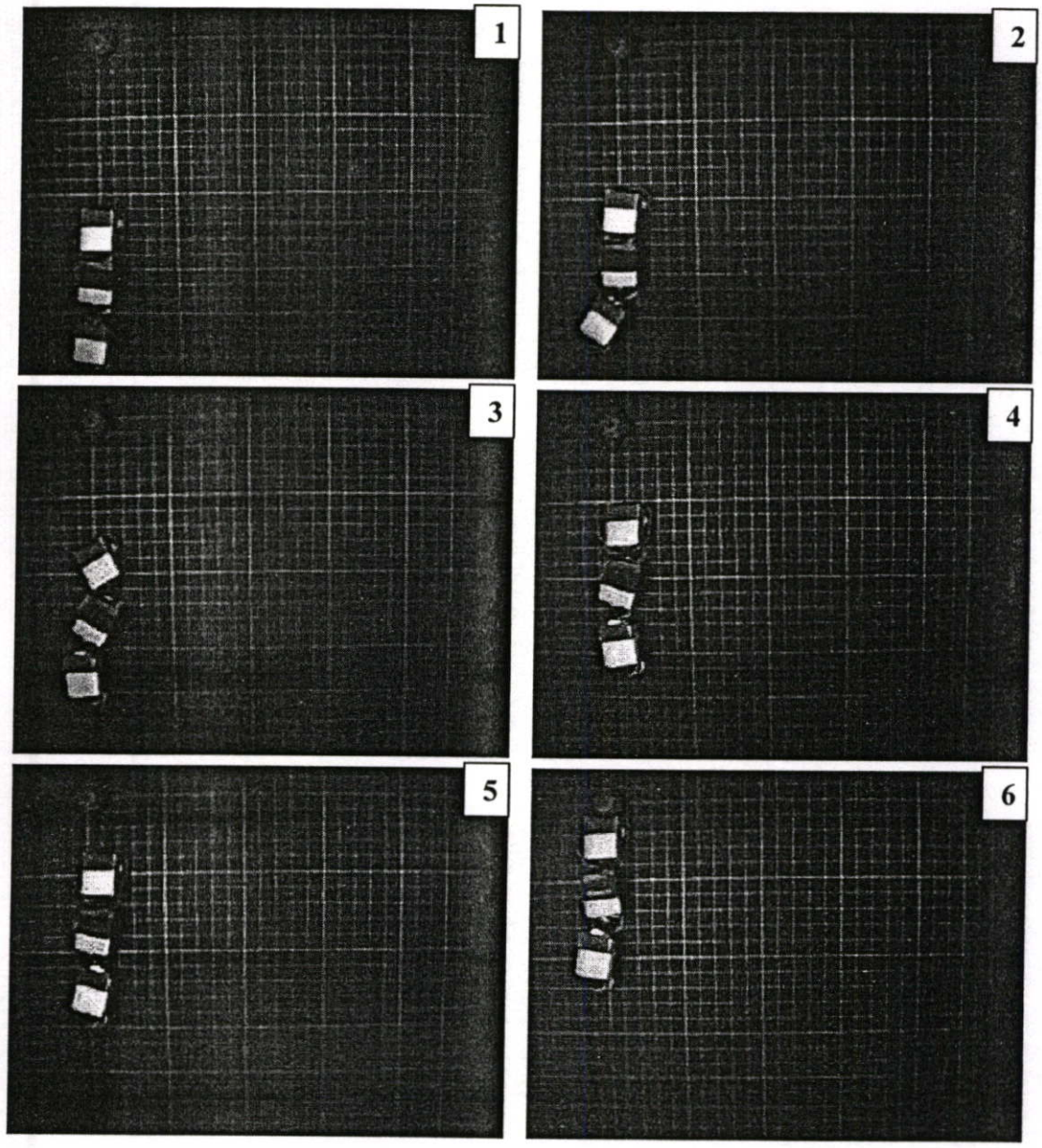
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	55	12	7

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง สู่ข้างทางซ้ายบน



รูปที่ ง.78 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 7

รูปที่ ง.79 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 7

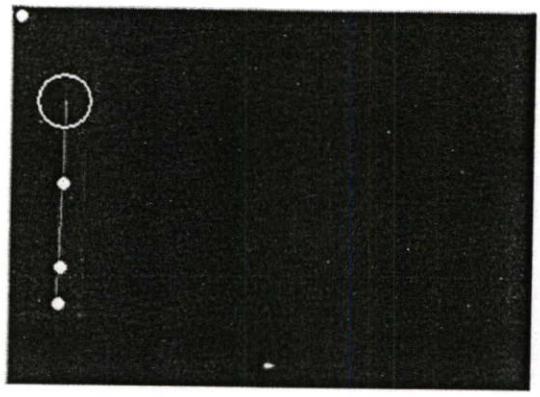


รูปที่ ง.80 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 7

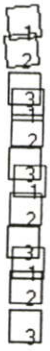
ตารางที่ ง.27 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	53	12	5

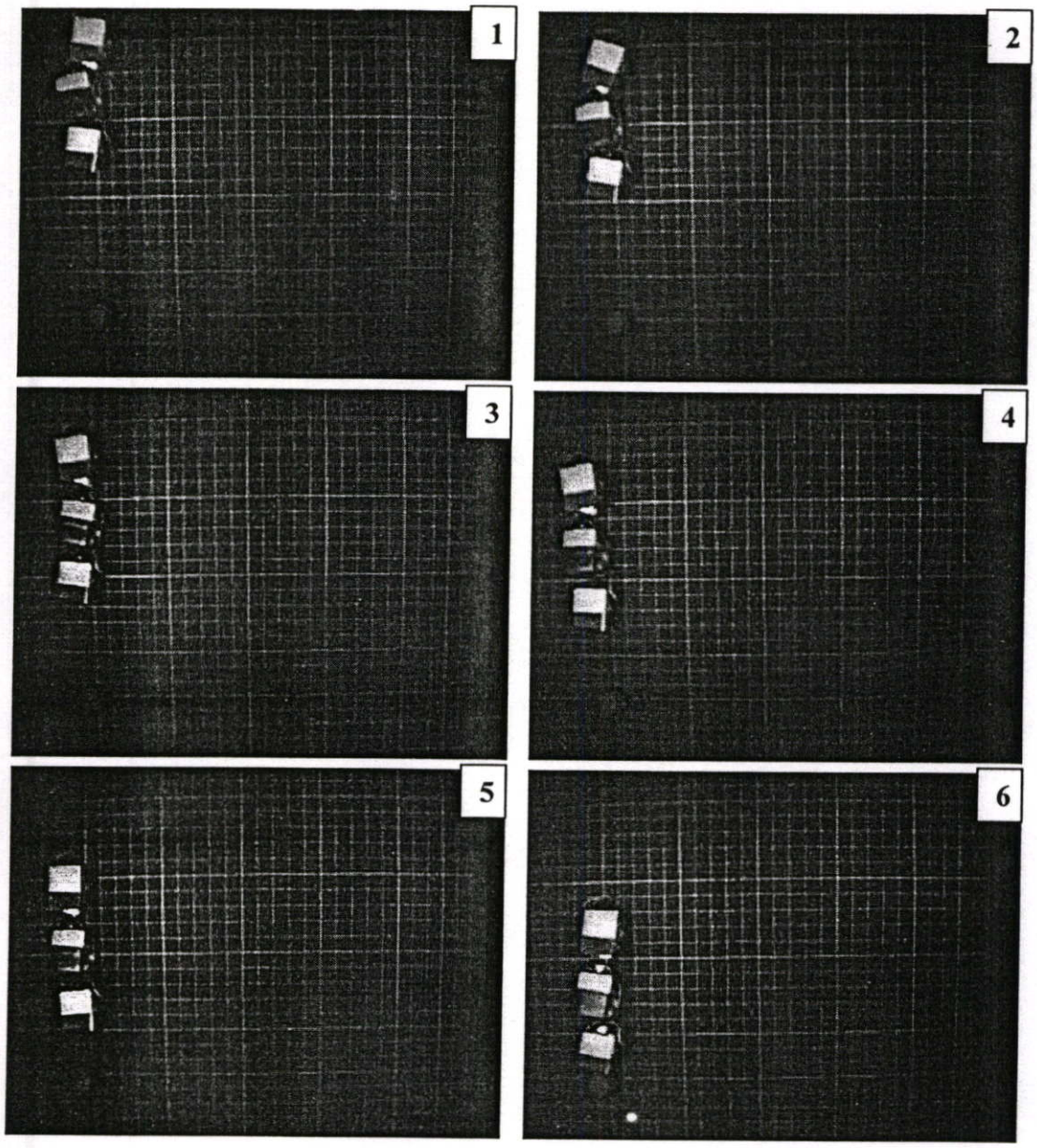
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้าง บนสู่ข้างล่างทางซ้าย



รูปที่ ง.81 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 8



รูปที่ ง.82 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบที่ 8

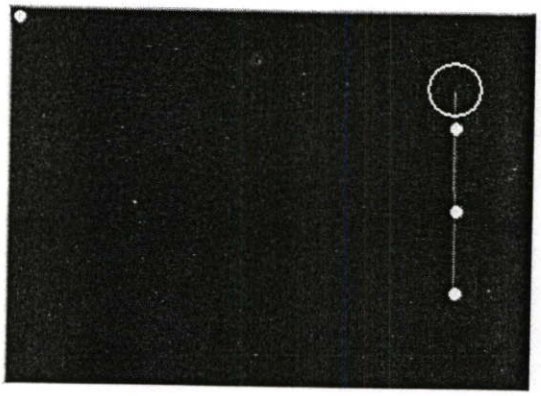


รูปที่ ง.830 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 8

ตารางที่ ง.28 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

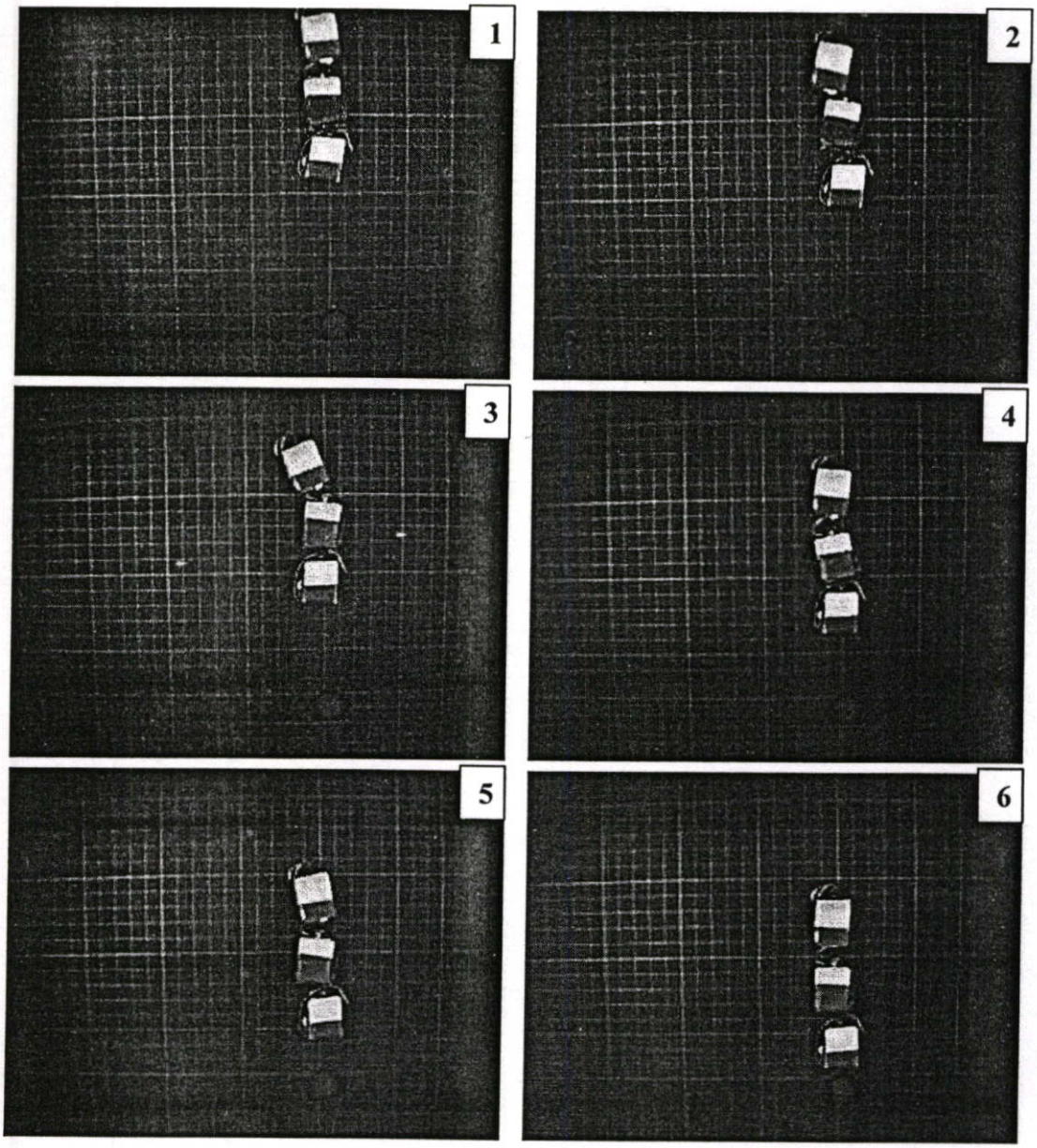
เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	54	12	6

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางขวาข้าง บนสู่ข้างล่างทางขวา



รูปที่ ง.84 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 9

รูปที่ ง.85 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 9

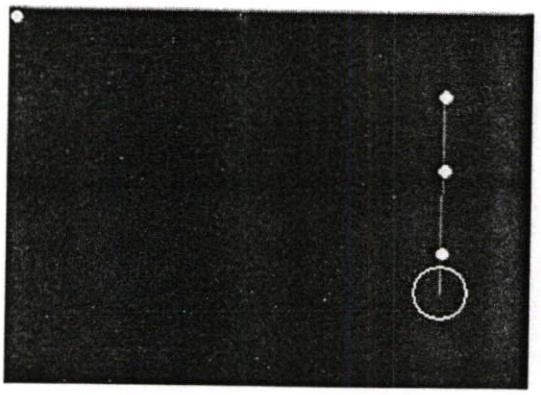


รูปที่ ง.86 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 9

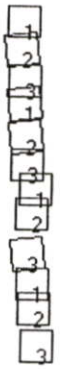
ตารางที่ ง.29 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	55	12	7

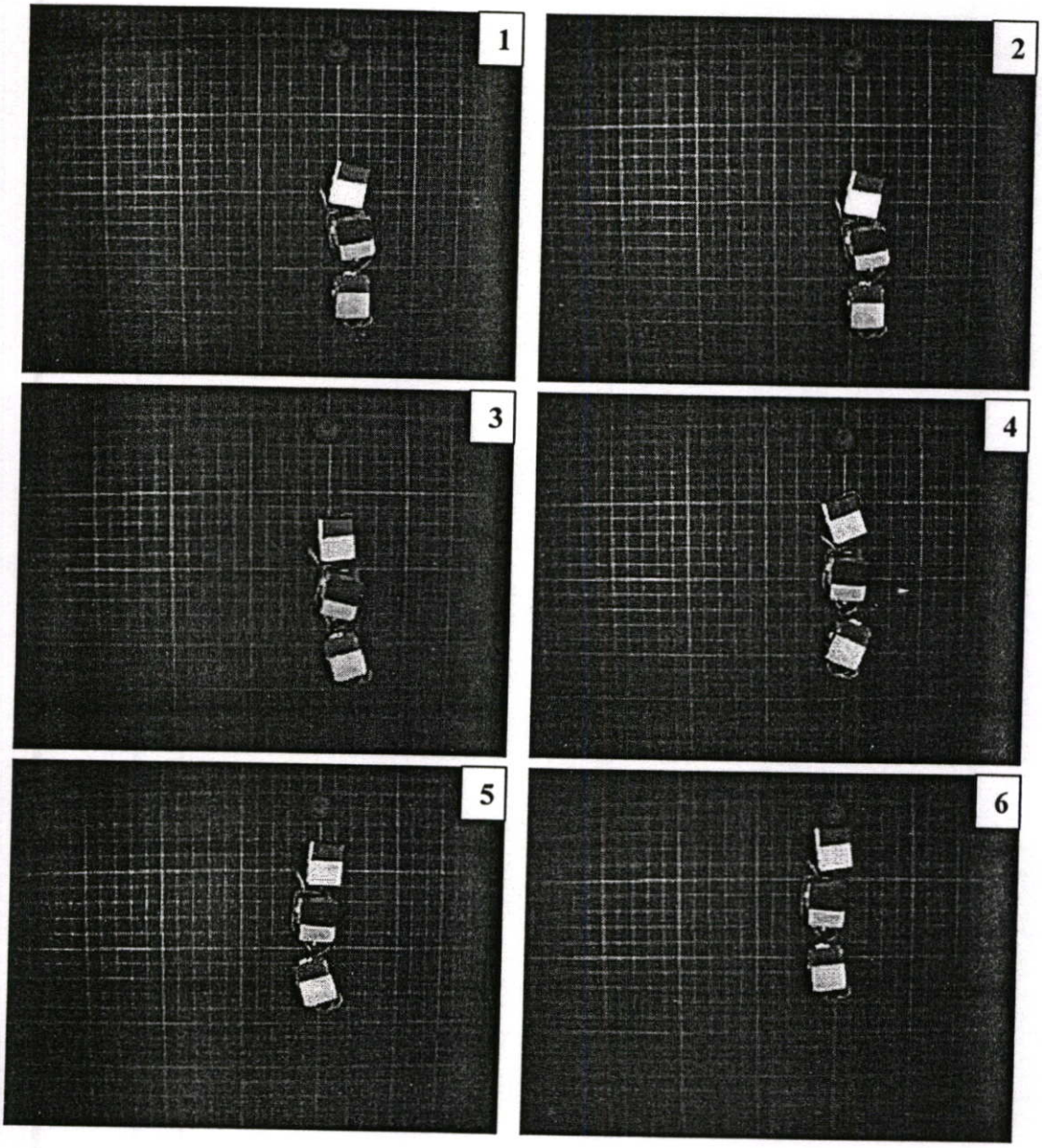
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากข้างล่างทางขวาสู่ทางขวาข้างบน



รูปที่ ง.87 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 10



รูปที่ ง.88 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 10

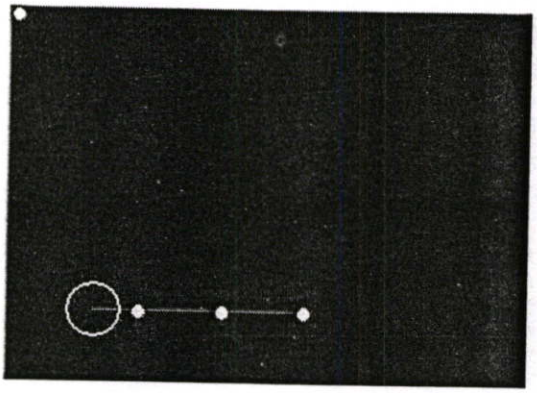


รูปที่ ง.89 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบที่ 10

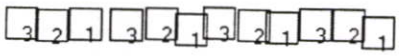
ตารางที่ ง.30 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	56	12	8

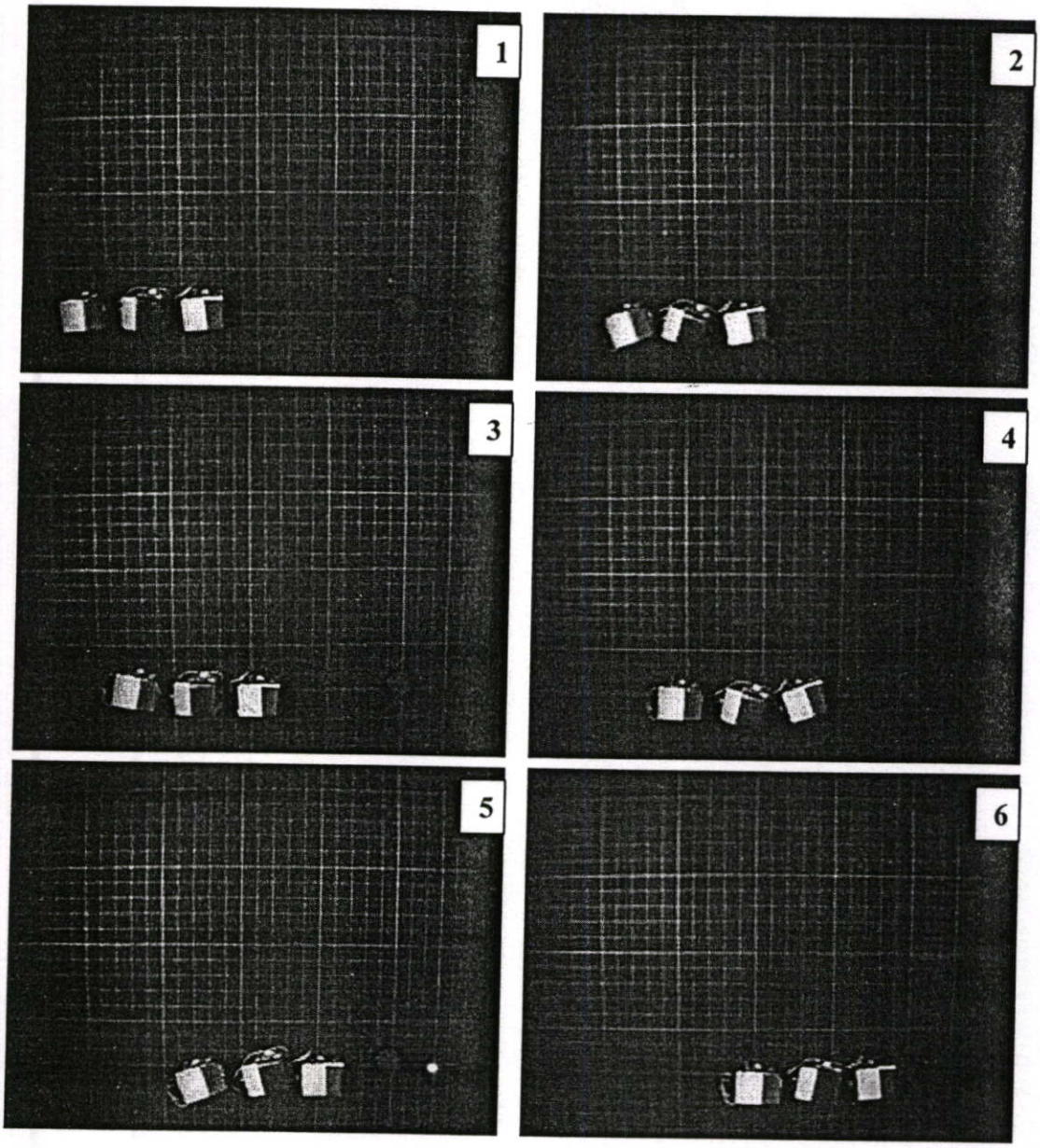
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่างสู่ข้างล่างทางขวา



รูปที่ ง.90 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 11



รูปที่ ง.91 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 11

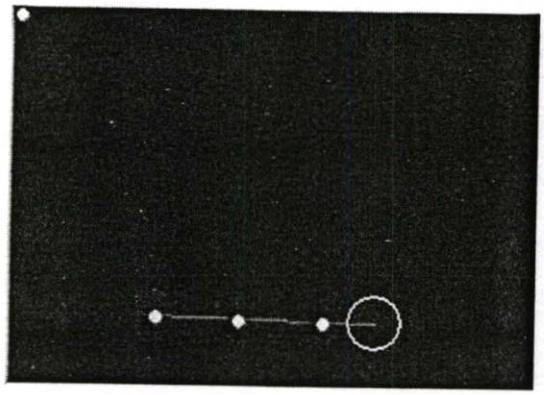


รูปที่ ง.92 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 11

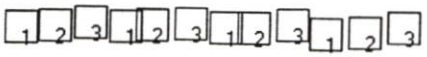
ตารางที่ ง.31 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	56	12	8

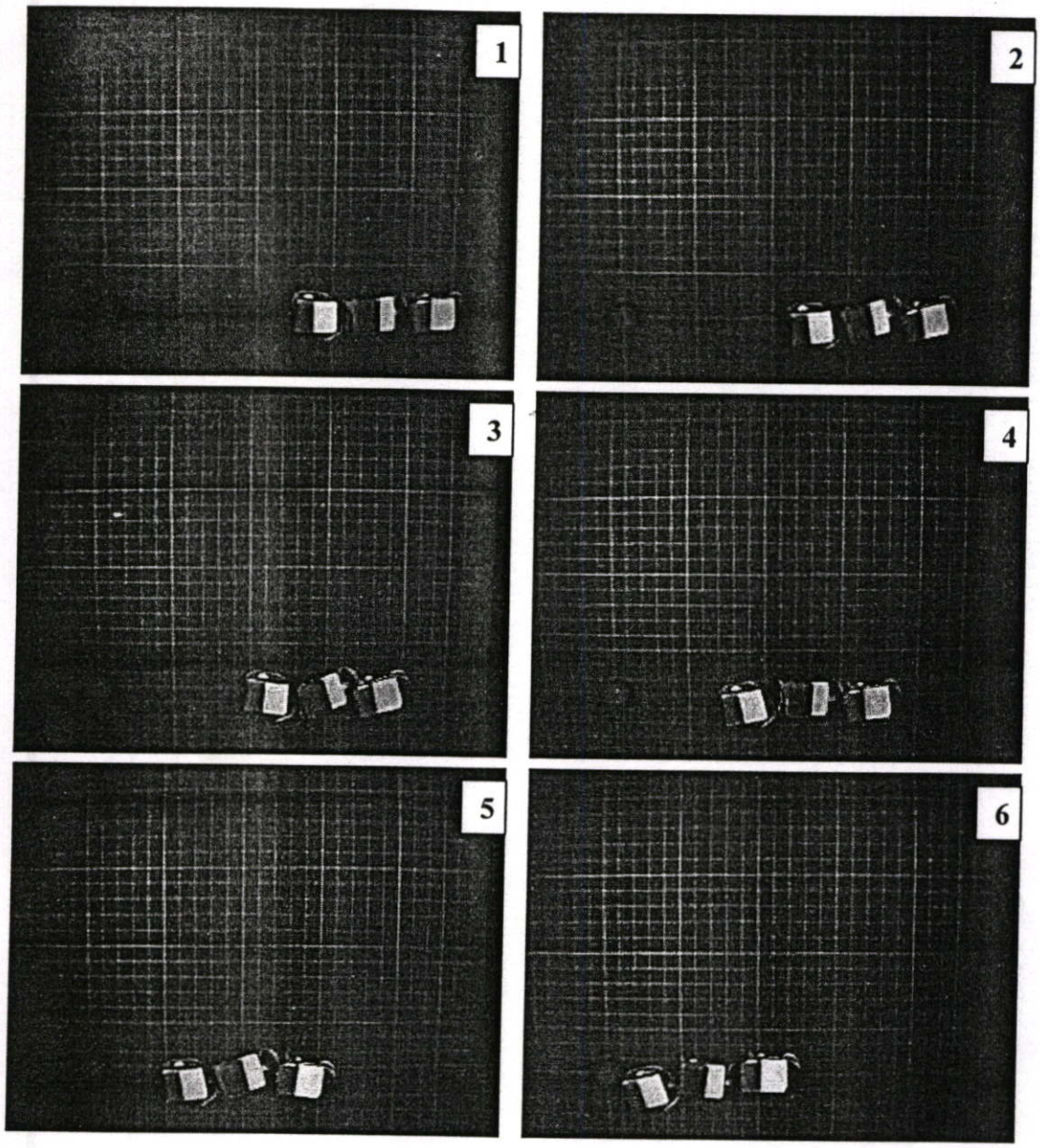
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากข้างล่างทางขวาสู่ทางซ้ายข้าง ล่าง



รูปที่ ง.93 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบที่ 12



รูปที่ ง.94 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 12

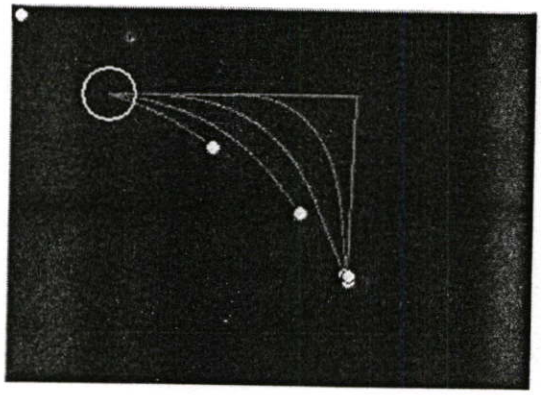


รูปที่ ง.95 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน แบบที่ 12

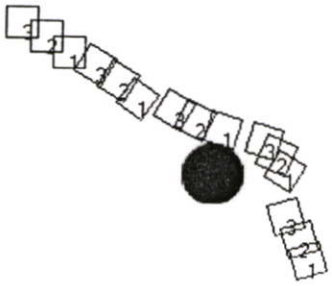
ตารางที่ ง.32 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	54	12	6

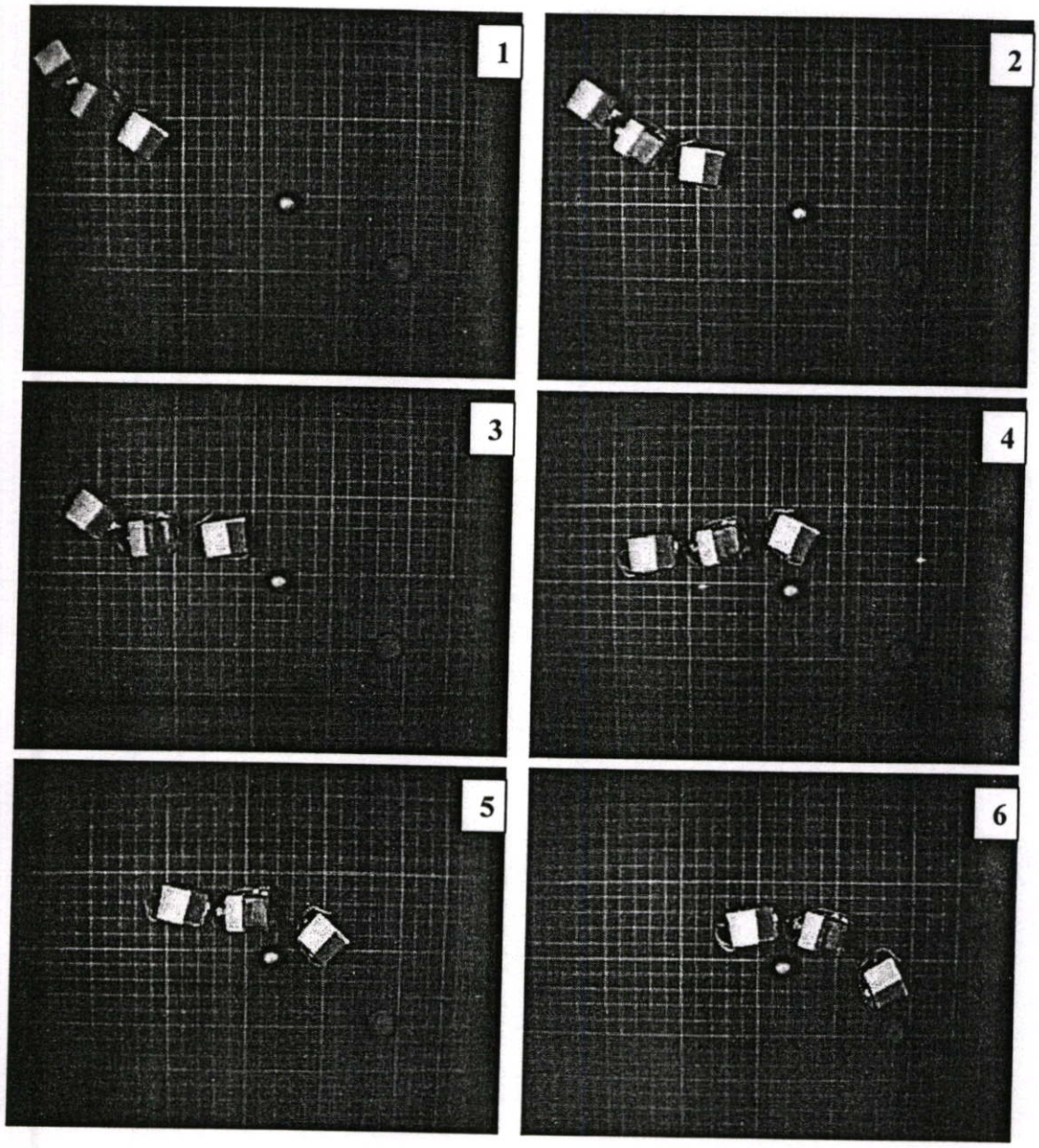
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากบนทางซ้ายไปสู่ทางขวาข้างบน สิ้นสุดที่ข้างล่างทางขวา



รูปที่ ง.96 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 1



รูปที่ ง.97 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 1

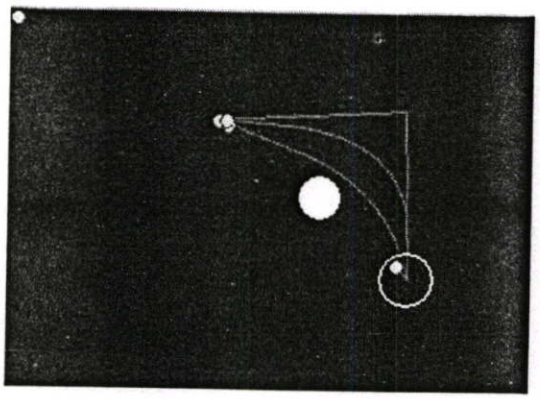


รูปที่ ง.98 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวางแบบที่ 1

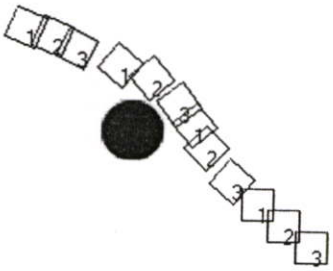
ตารางที่ ง.33 ผลปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	56	12	8

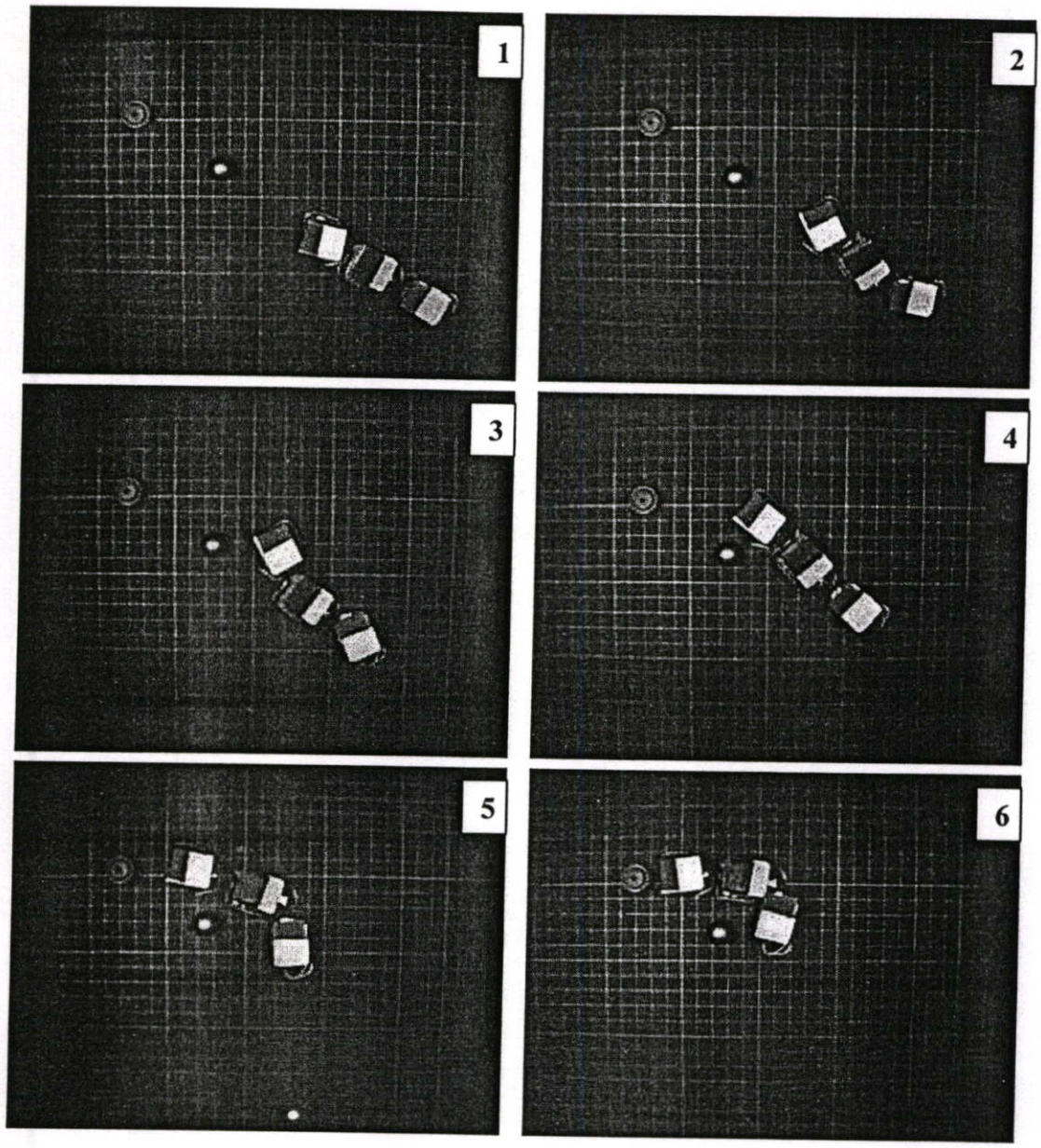
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากล่างทางขวาไปสู่ทางขวาข้างบน สิ้นสุดที่ข้างบนทางซ้าย



รูปที่ ง.99 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 2



รูปที่ ง.100 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 2

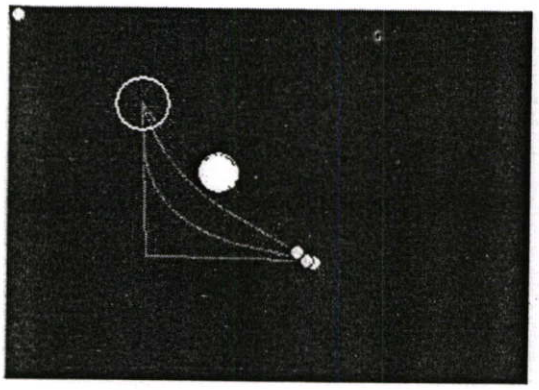


รูปที่ ง.101 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 2

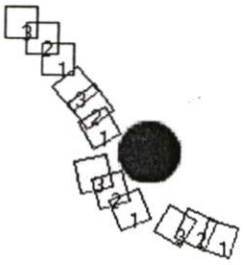
ตารางที่ ง.34 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	75	12	15

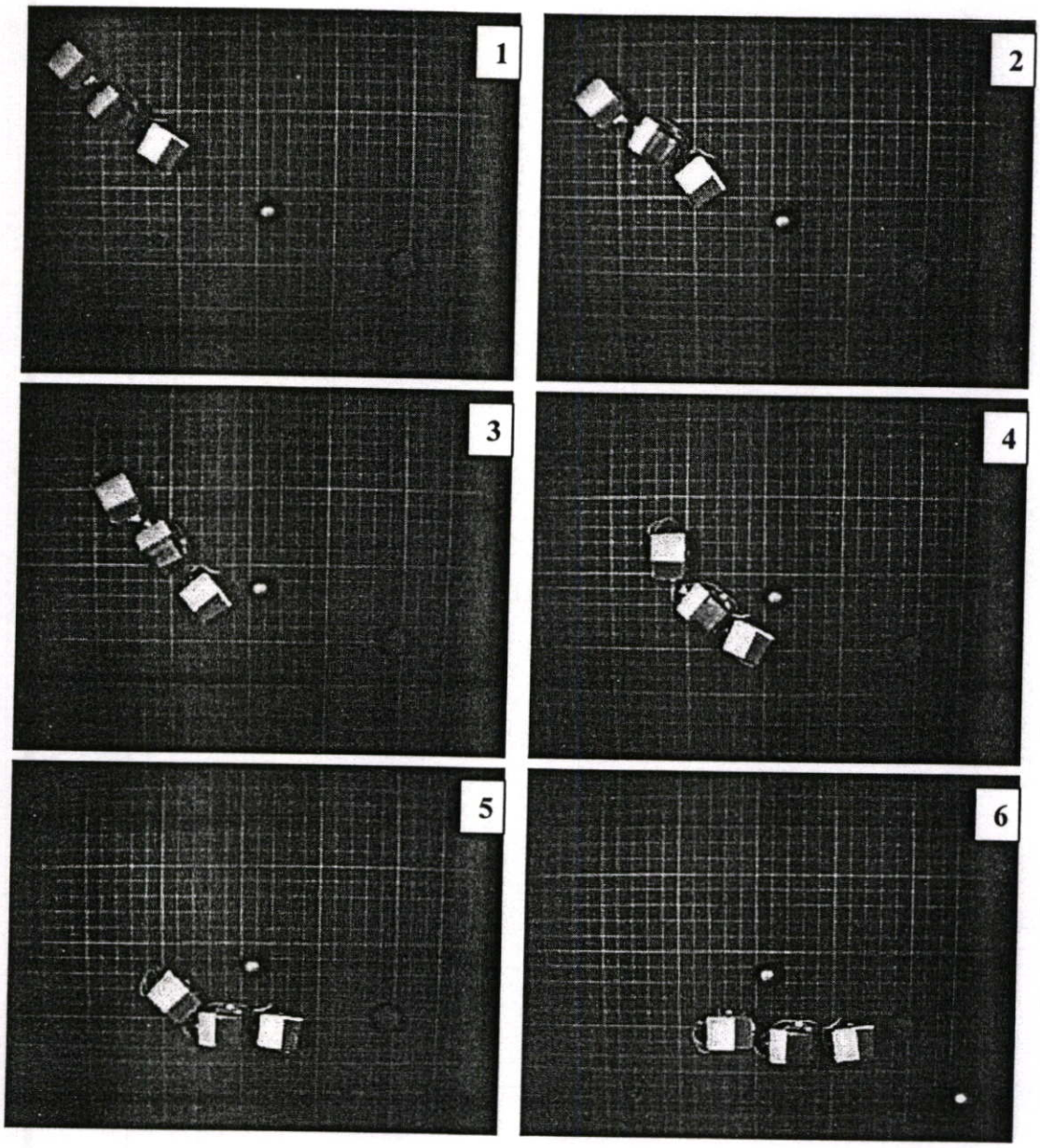
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากบนทางซ้ายไปสู่ทางซ้ายข้างล่าง สิ้นสุดที่ข้างล่างทางขวา



รูปที่ ง.102 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 3



รูปที่ ง.103 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 3

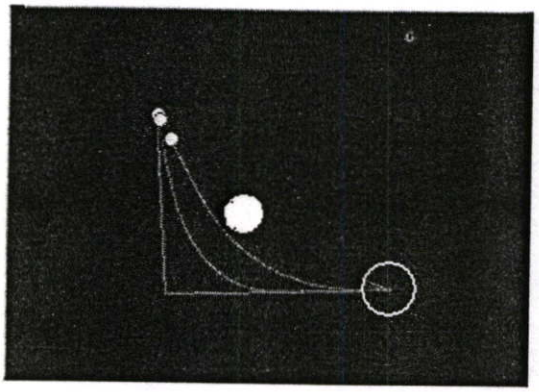


รูปที่ ง.104 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 3

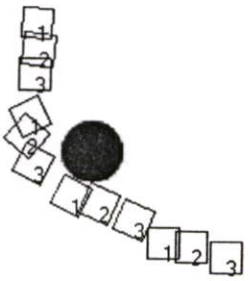
ตารางที่ ง.35 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	75	12	15

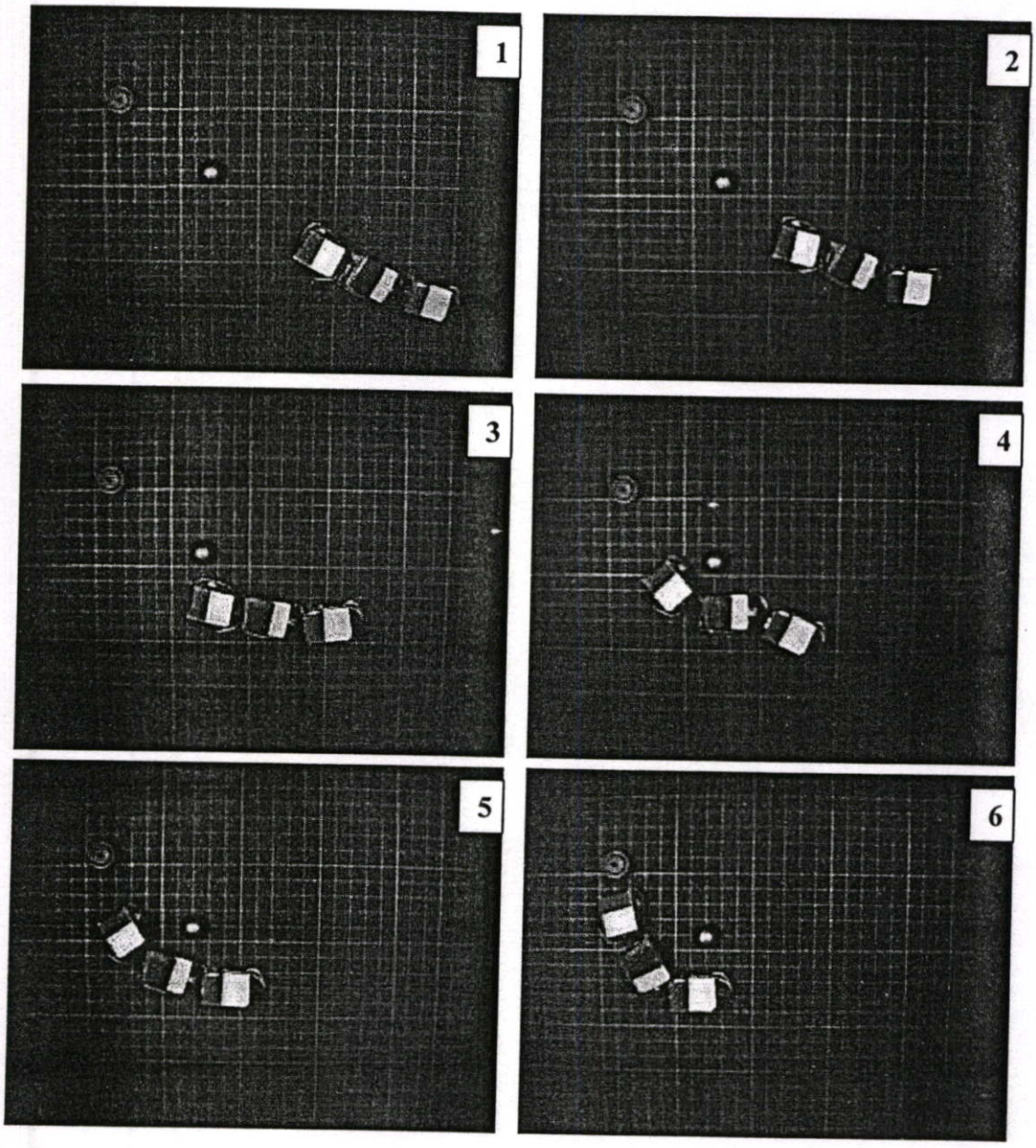
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากข้างล่างทางขวา ไปสู่ทางซ้ายข้างล่างจุดสิ้นสุดที่ข้างบนซ้าย



รูปที่ ง.105 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 4



รูปที่ ง.106 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 4

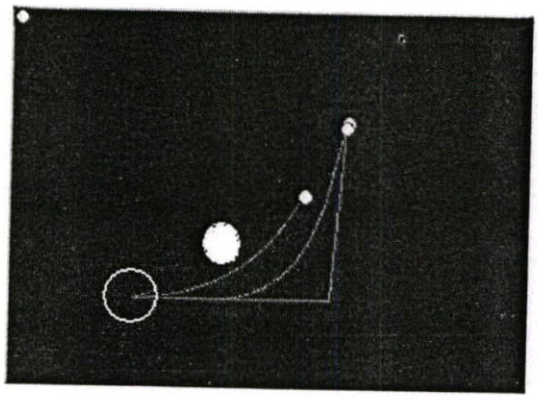


รูปที่ ง.107 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 4

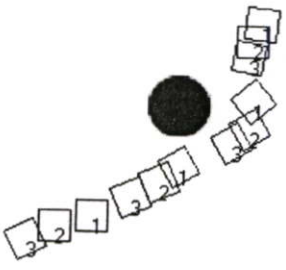
ตารางที่ ง.36 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	77	12	17

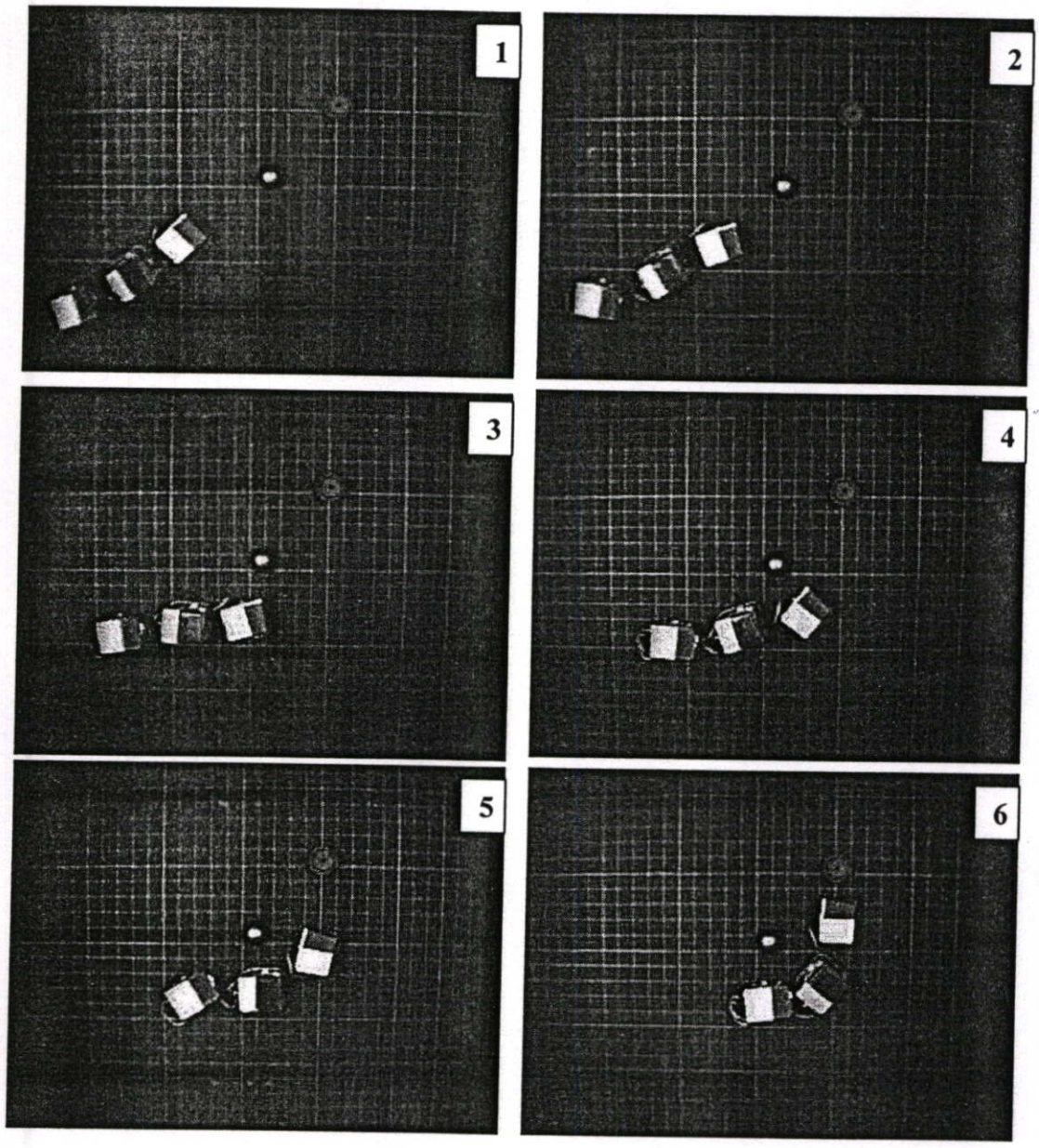
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากล่างทางซ้ายไปสู่ทางขวาข้างล่าง สิ้นสุดที่ข้างบนทางขวา



รูปที่ ง.108 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 5



รูปที่ ง.109 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 5

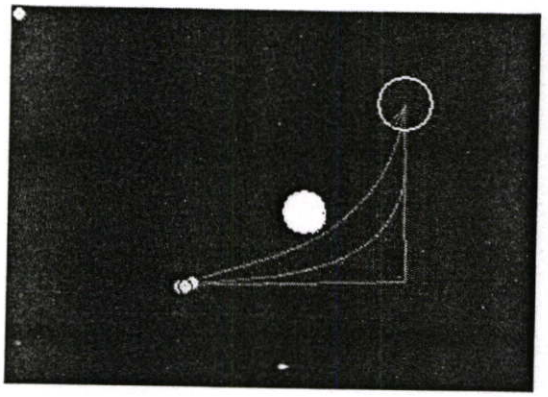


รูปที่ ง.110 ผลการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 5

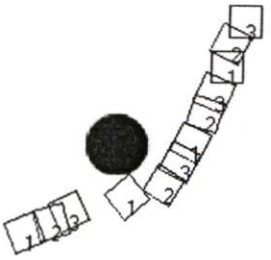
ตารางที่ ง.37 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	79	12	19

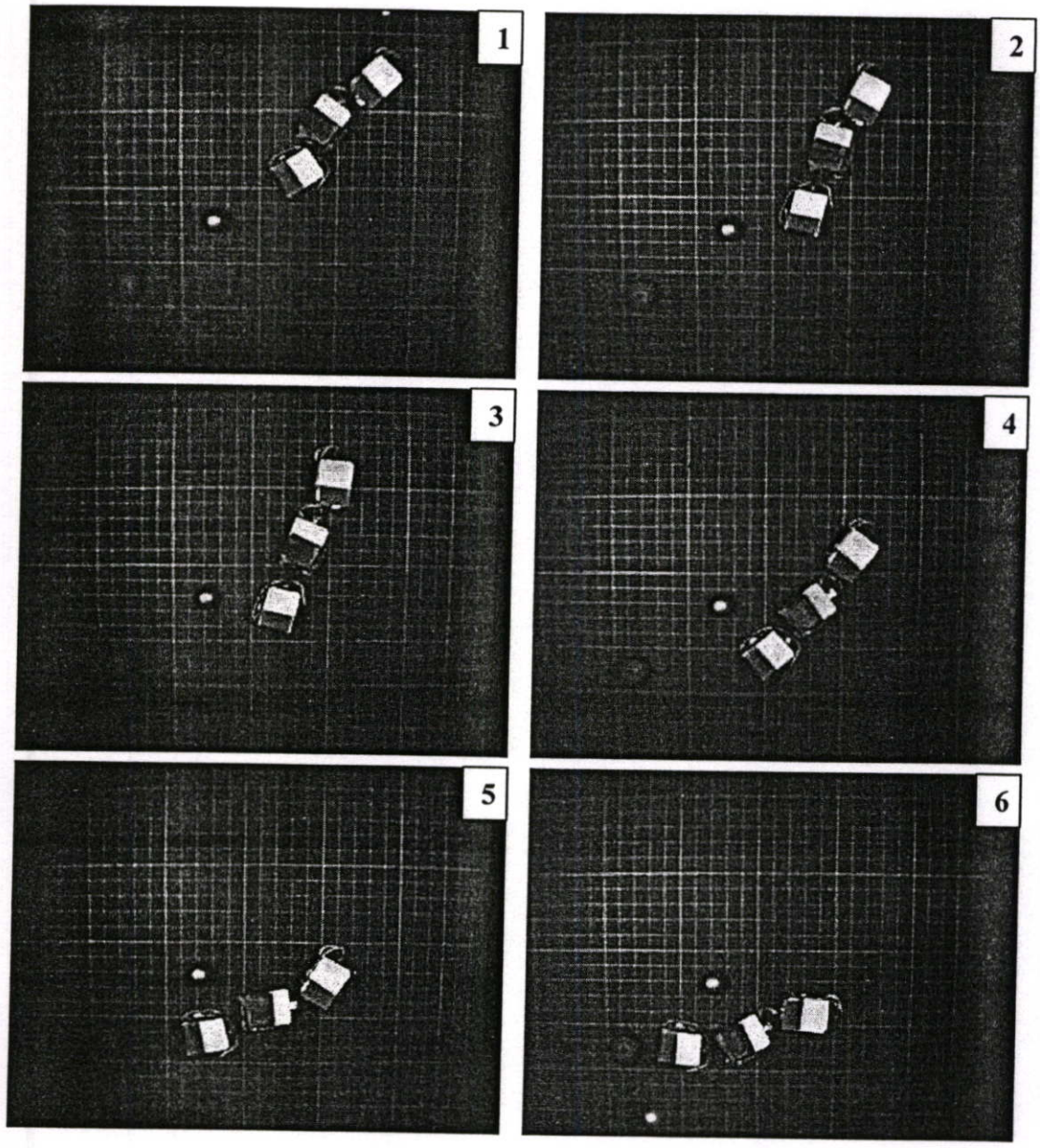
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากบนทางขวาไปสู่ทางขวาข้างล่าง สิ้นสุดที่ข้างล่างทางซ้าย



รูปที่ ง.111 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 6



รูปที่ ง.112 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 6

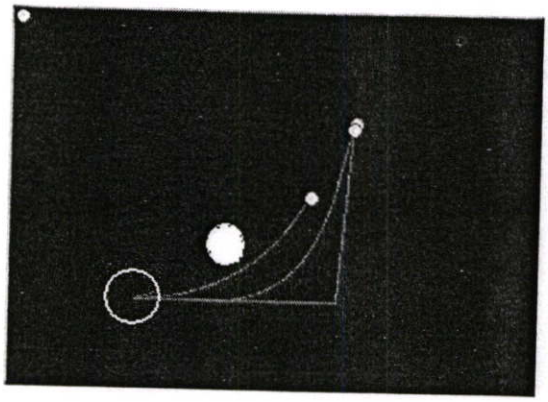


รูปที่ ง.113 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 6

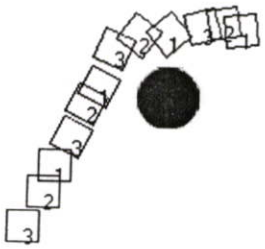
ตารางที่ ง.38 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	76	12	16

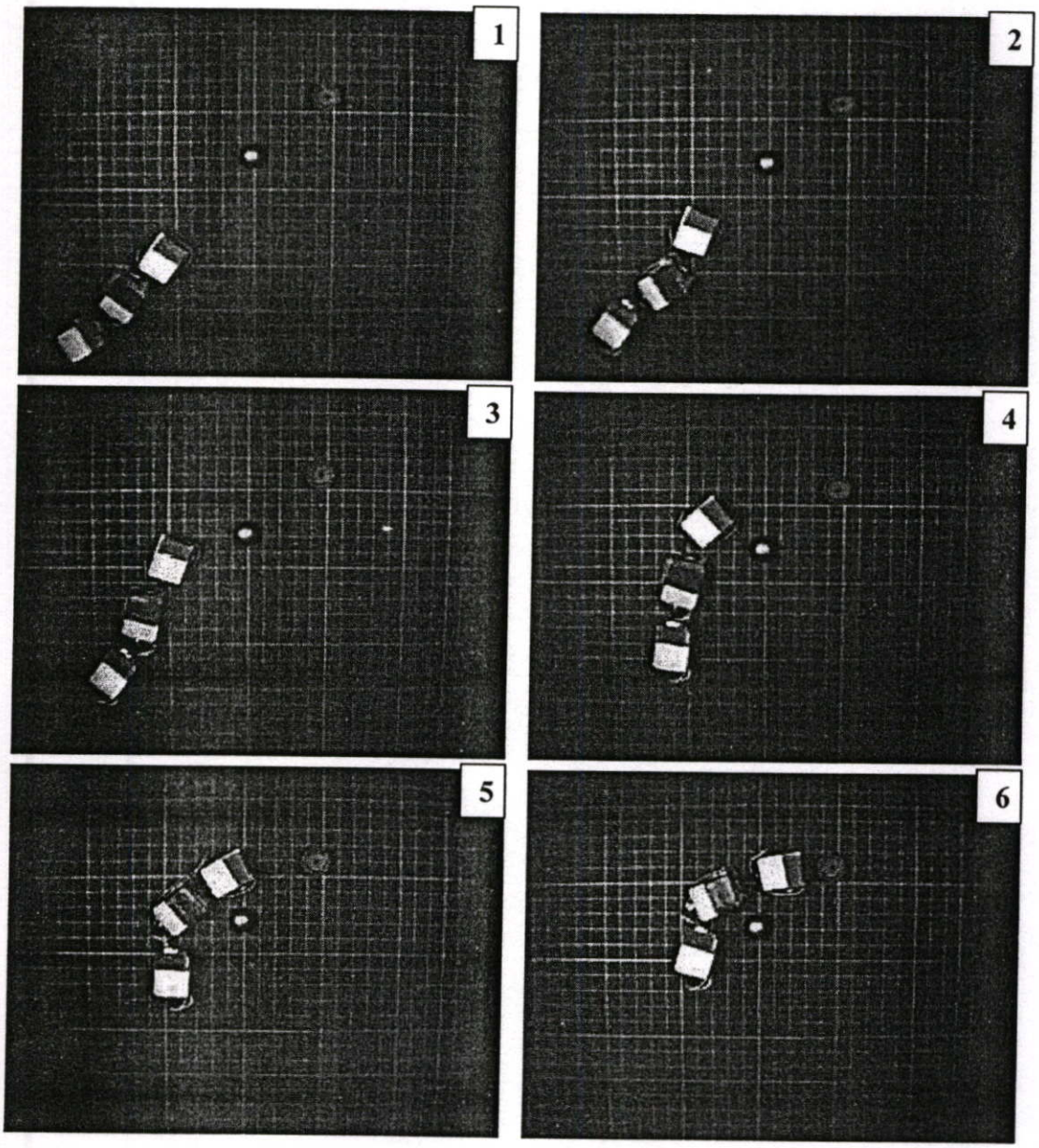
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากล่างทางซ้ายไปสู่ทางขวาข้างล่าง สิ้นสุดที่ข้างบนทางขวา



รูปที่ ง.114 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางแบบที่ 7



รูปที่ ง.115 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 7

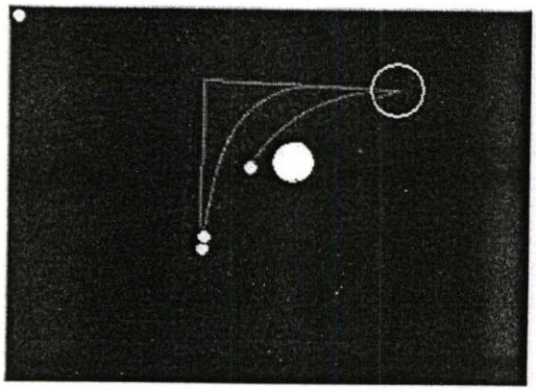


รูปที่ ง.116 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 7

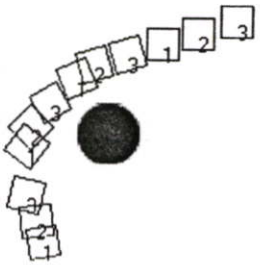
ตารางที่ ง.39 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	76	12	16

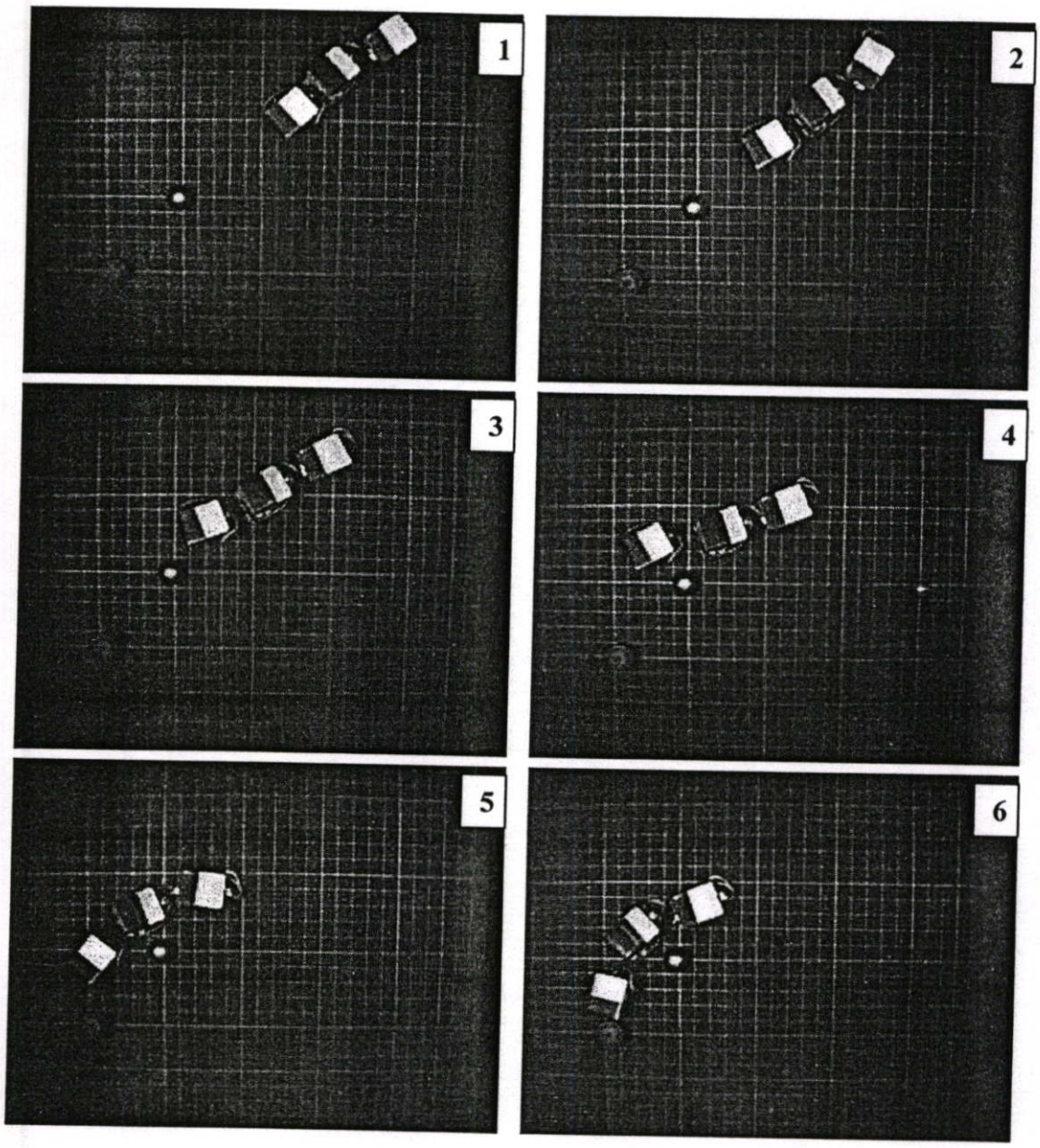
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกัน มีสิ่งกีดขวาง กึ่งกลางระหว่างระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากบนทางขวาไปสู่ทางซ้ายข้างบน สิ้นสุดที่ข้างล่างทางซ้าย



รูปที่ ง.117 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 8



รูปที่ ง.118 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 8

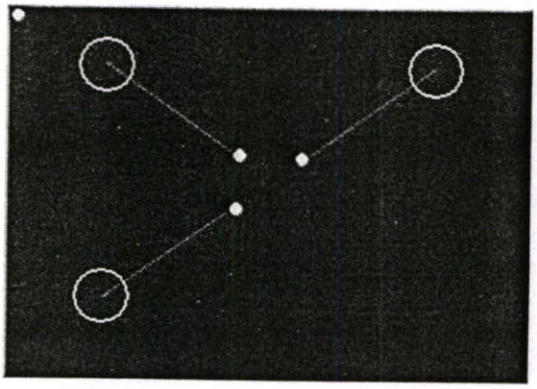


รูปที่ ง.119 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวาง แบบที่ 8

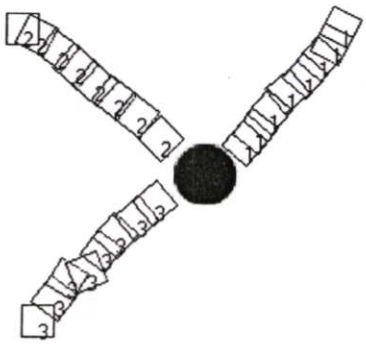
ตารางที่ ง.40 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวเดินตามกันมีสิ่งกีดขวางจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
60	75	12	15

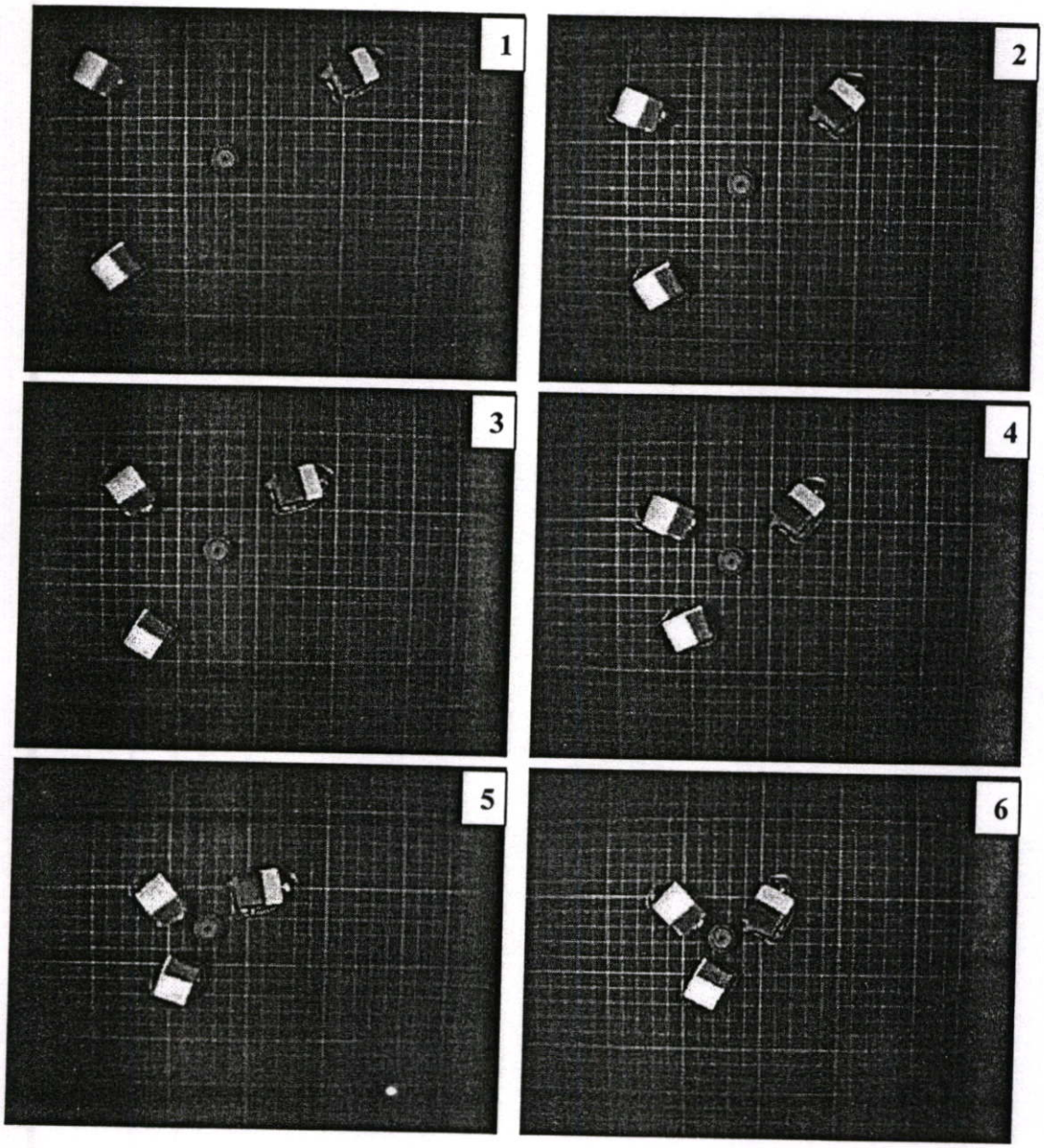
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง ข้างบนทางซ้ายและ ข้างบนทางขวา หุ่นยนต์มดสามตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายตรงกลาง



รูปที่ ง.120 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 1



รูปที่ ง.121 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 1

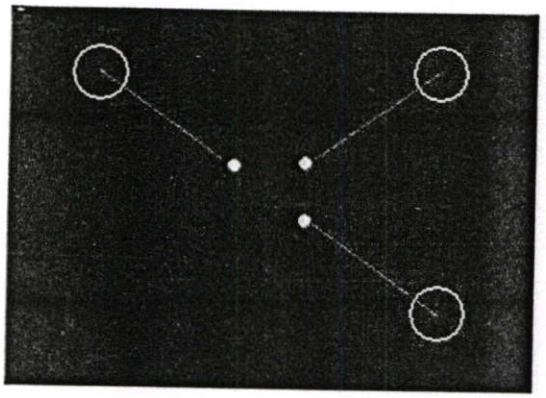


รูปที่ ง.122 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 1

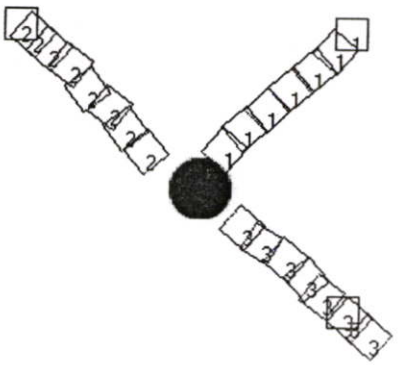
ตารางที่ ง.41 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	66	12	18

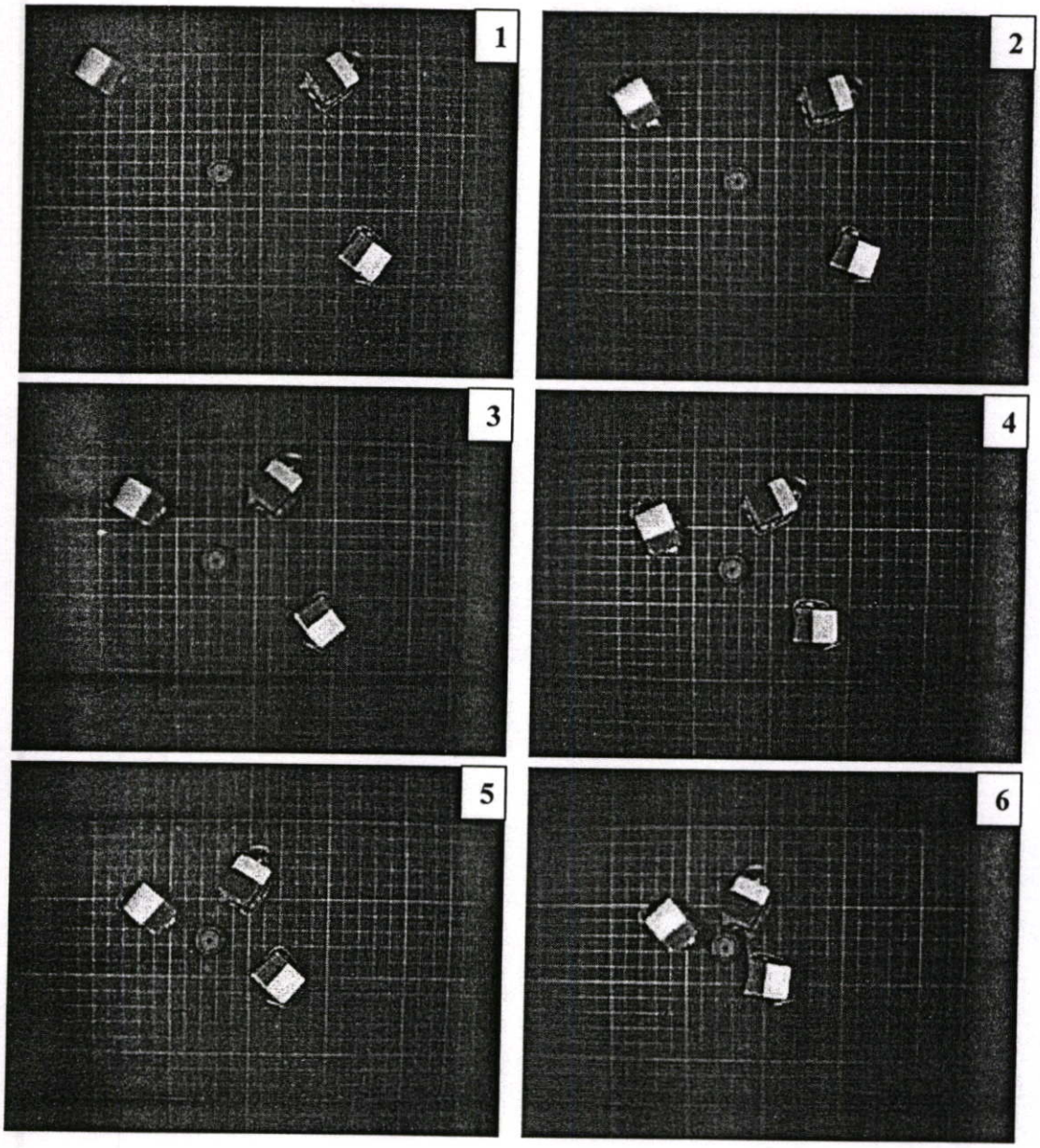
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางขวาข้างล่าง ข้างบนทางซ้ายและ ข้างบนทางขวา หุ่นยนต์มดสามตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายตรงกลาง



รูปที่ ง.123 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 2



รูปที่ ง.124 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 2

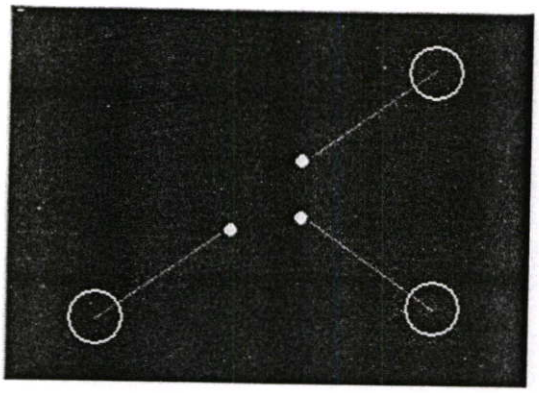


รูปที่ ง.125 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 2

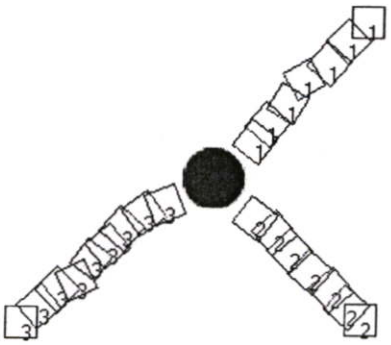
ตารางที่ ง.42 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	68	12	20

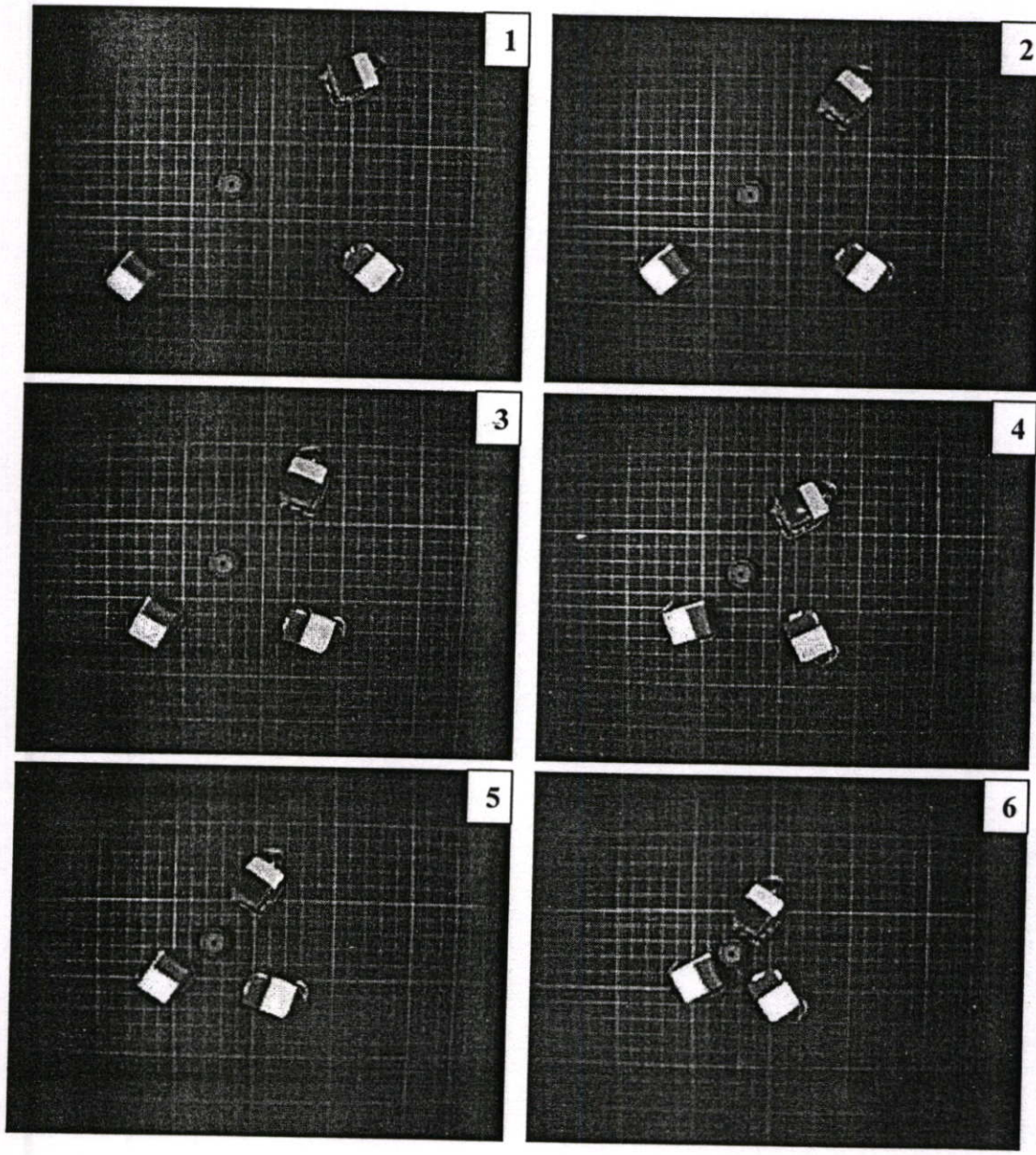
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง ข้างล่างทางขวาและ ข้างบนทางขวา หุ่นยนต์มดสามตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายตรงกลาง



รูปที่ ง.126 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 3



รูปที่ ง.127 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 3

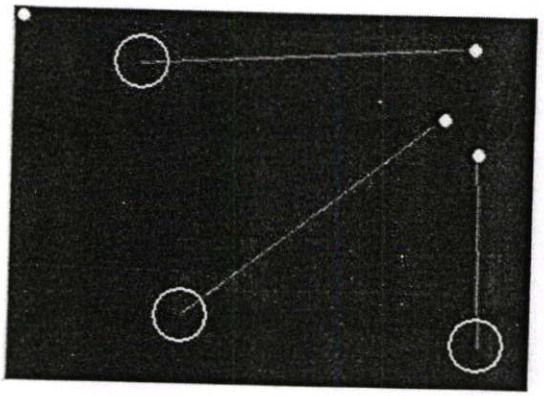


รูปที่ ง.128 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 3

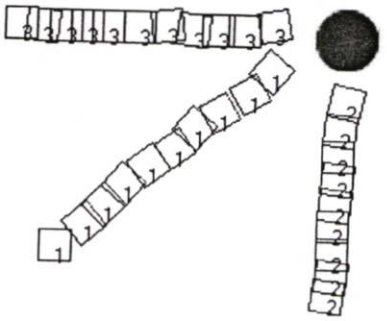
ตารางที่ ง.43 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	66	12	18

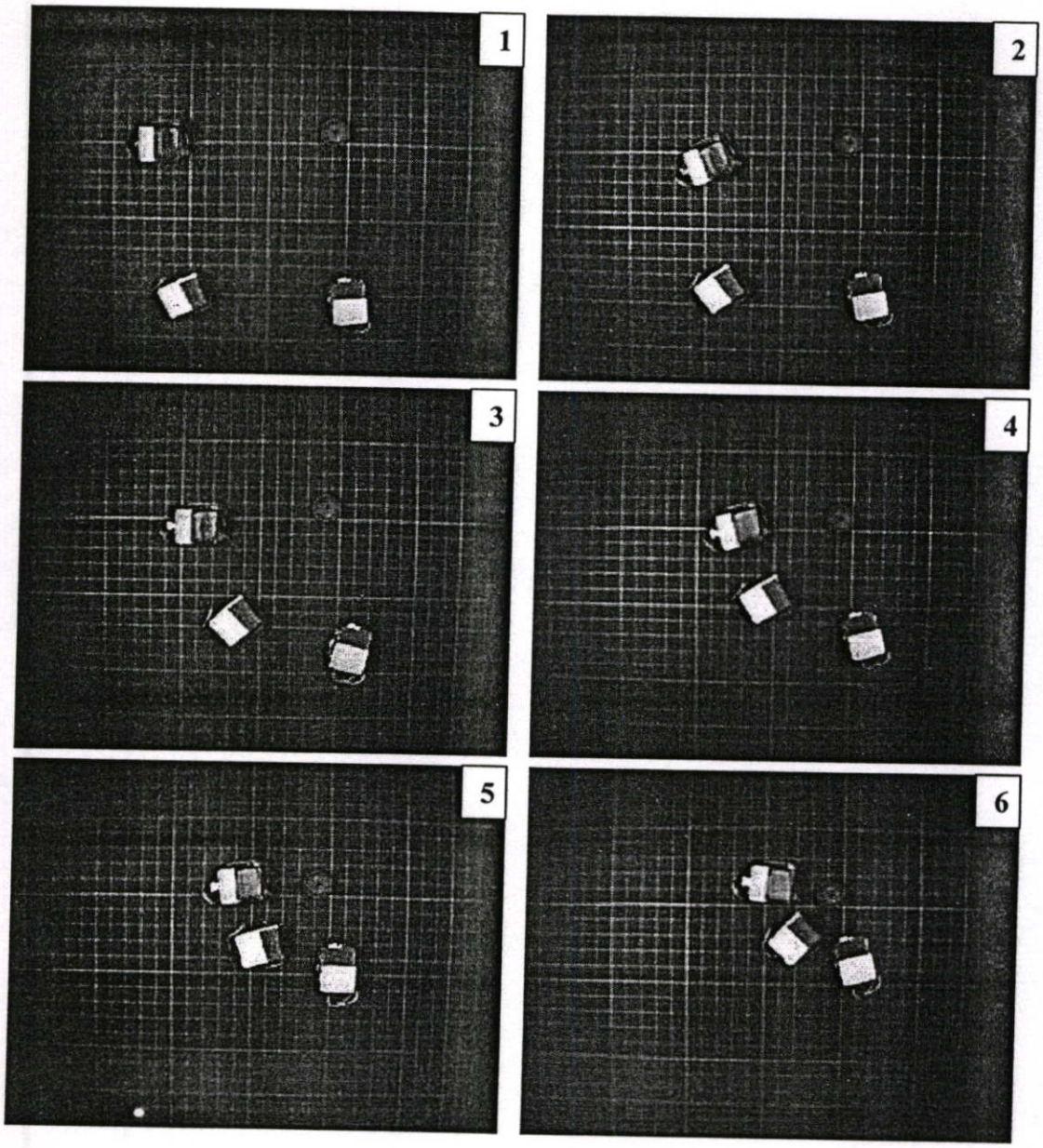
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง ข้างบนทางซ้ายและ ข้างล่างทางขวา หุ่นยนต์มดสามตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายตรงมุมขวาบน



รูปที่ ง.129 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 4



รูปที่ ง.130 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 4

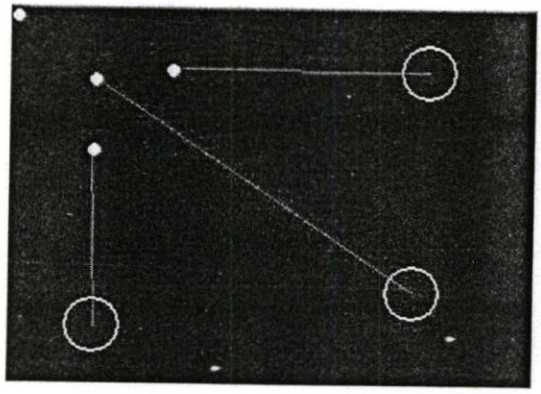


รูปที่ ง.130 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 4

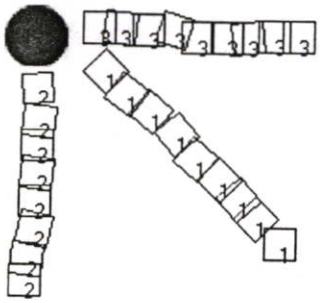
ตารางที่ ง.44 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	64	12	16

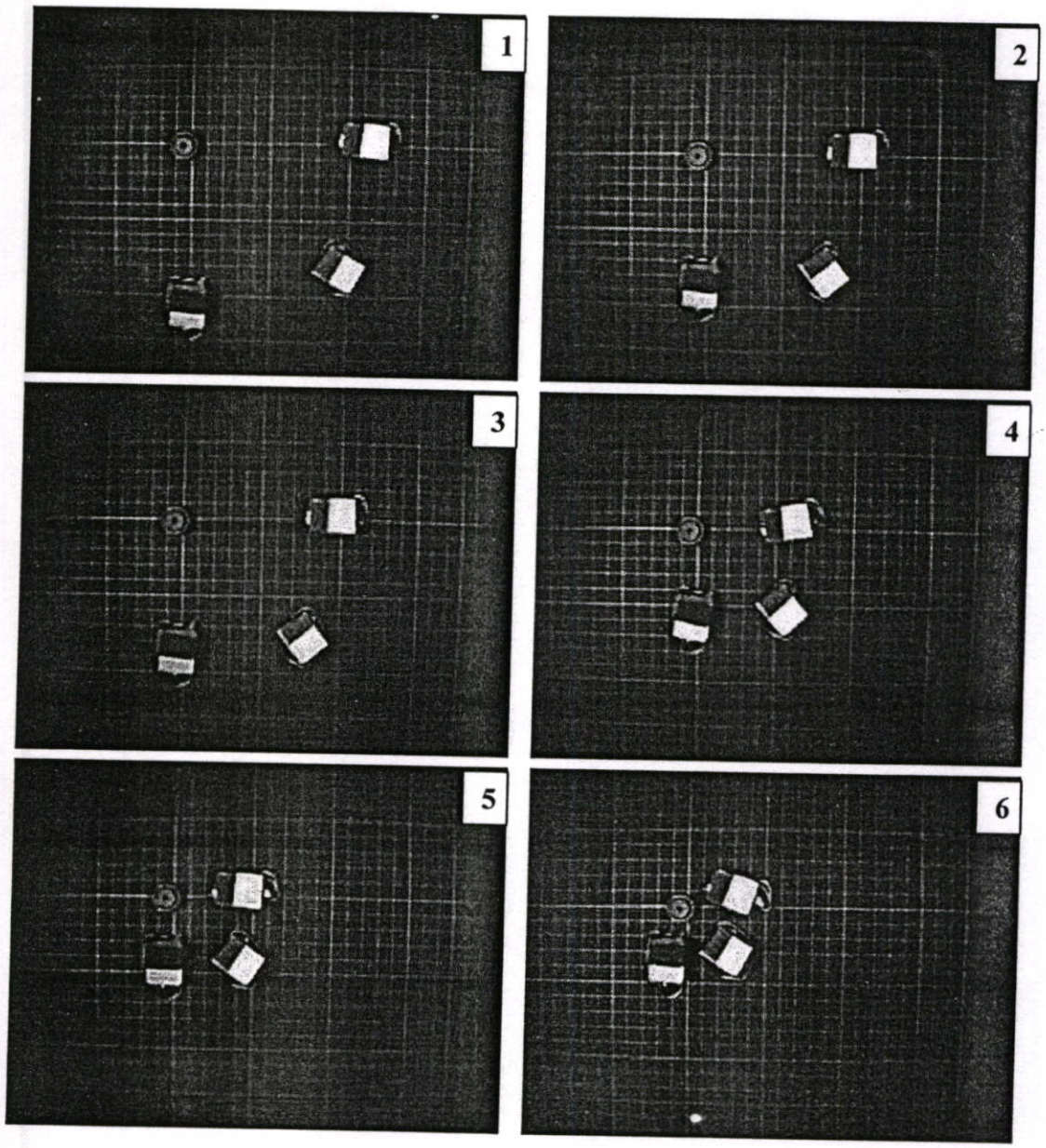
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง ข้างบนทางขวาและ ข้างล่างทางขวา หุ่นยนต์มดสามตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายตรงมุมซ้ายบน



รูปที่ ง.131 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 5



รูปที่ ง.132 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 5

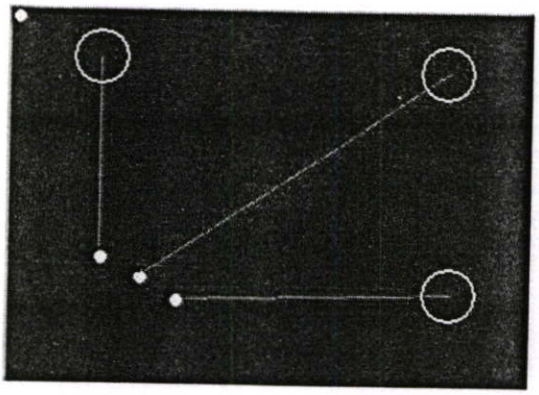


รูปที่ ง.133 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวแบบที่ 5

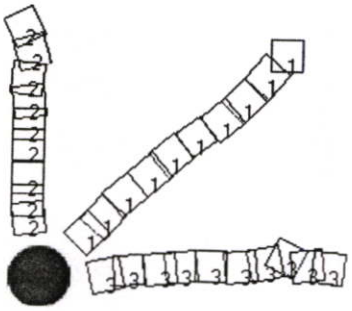
ตารางที่ ง.45 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	66	12	18

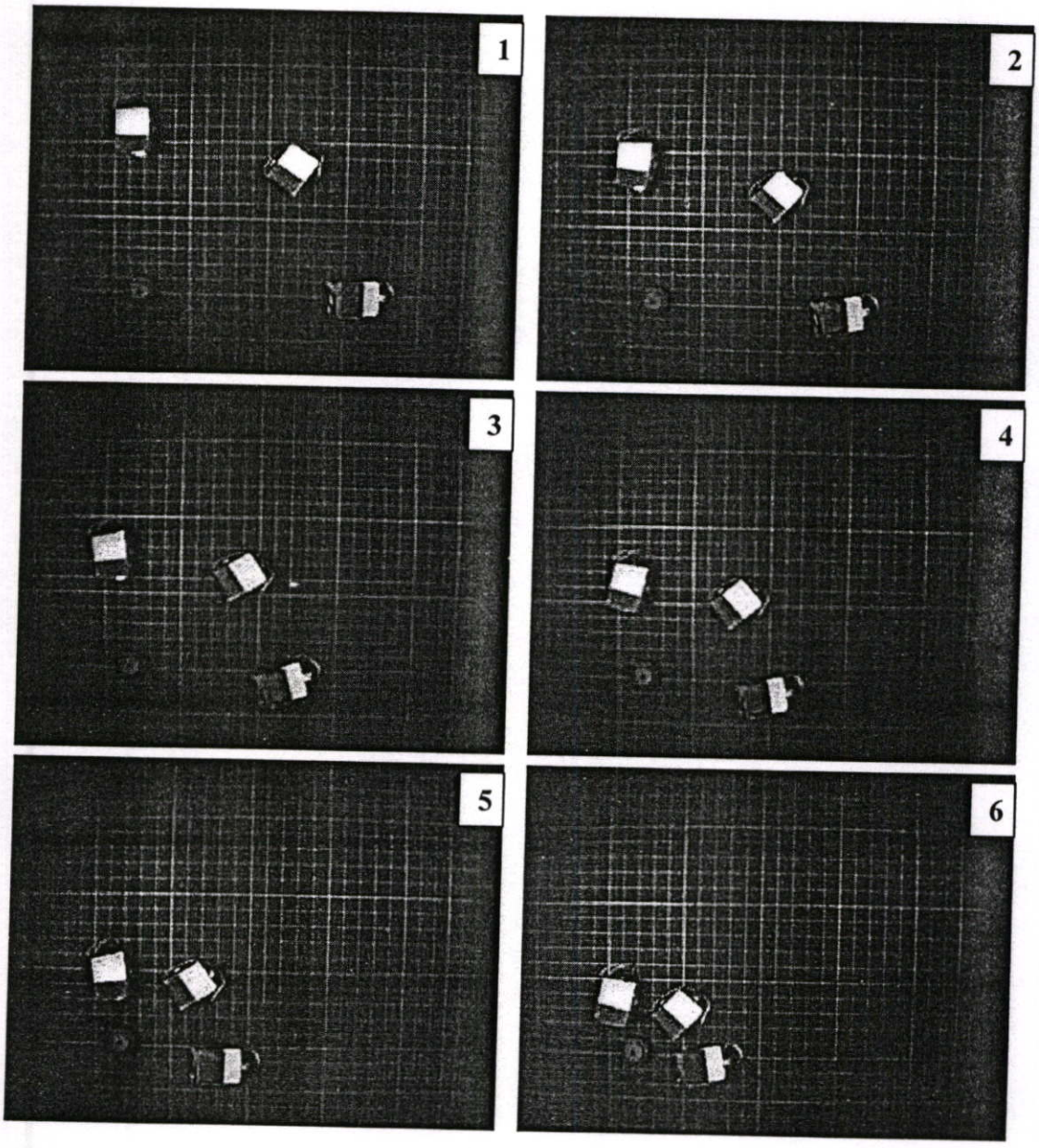
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางขวาข้างบน ข้างบนทางซ้ายและ ข้างล่างทางขวา หุ่นยนต์มดสามตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายตรงมุมซ้ายล่าง



รูปที่ ง.134 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 6



รูปที่ ง.135 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 6

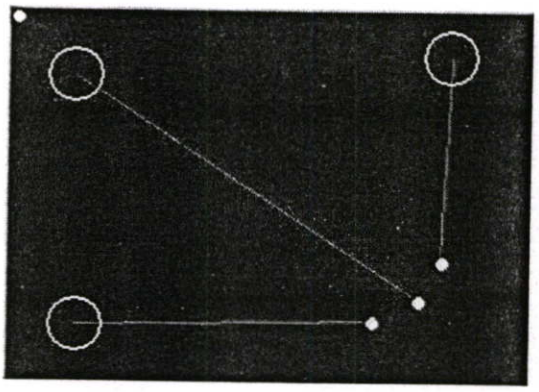


รูปที่ ง.136 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 6

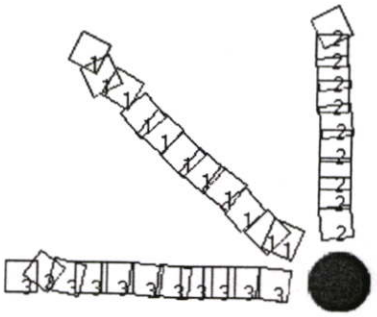
ตารางที่ ง.46 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	64	12	16

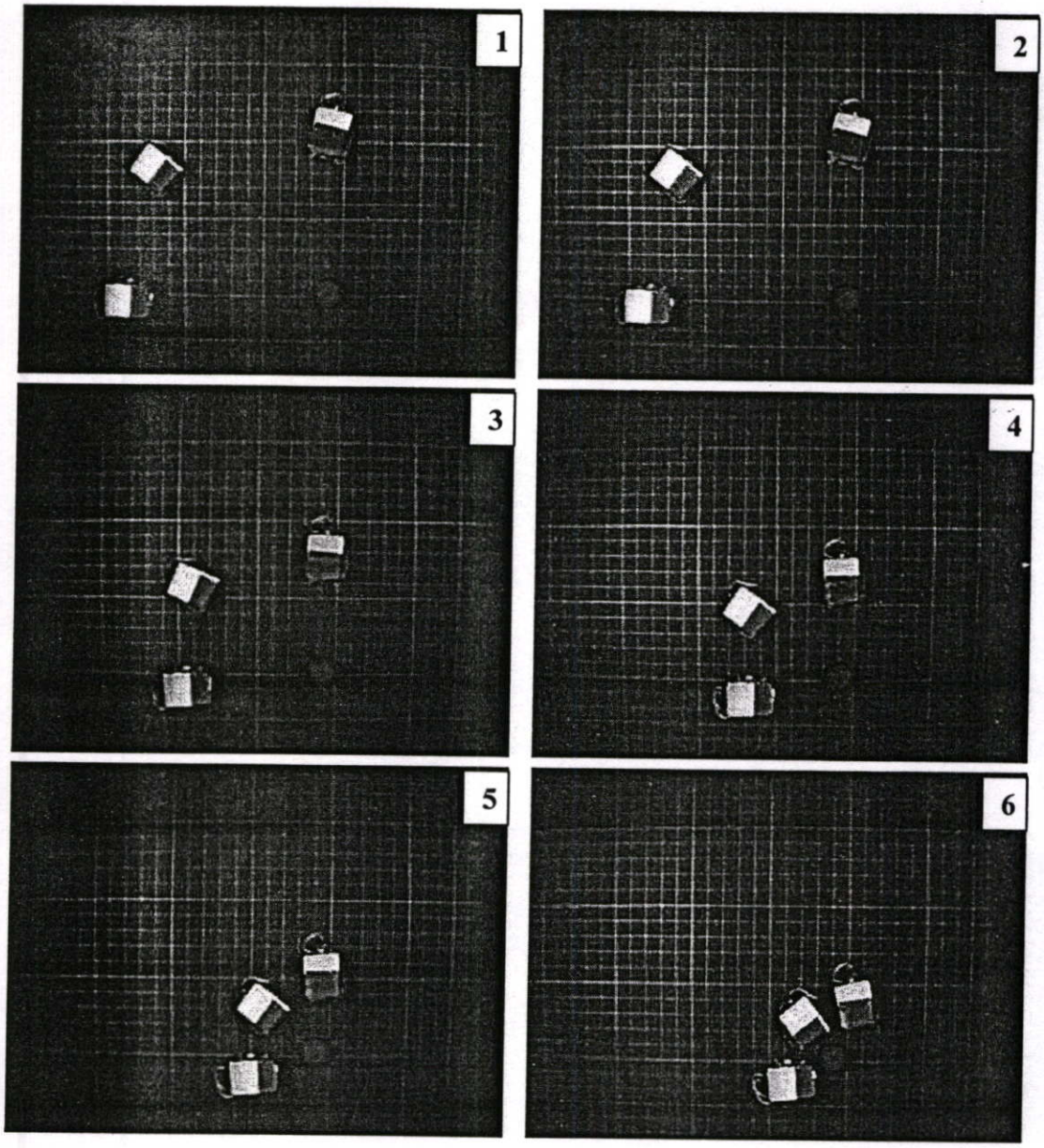
การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะประมาณ 12 เซนติเมตร เริ่มจากทางซ้ายข้างล่าง ข้างบนทางซ้ายและ ข้างบนทางขวา หุ่นยนต์มดสามตัวเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายตรงมุมขวาซ้าย



รูปที่ ง.137 เส้นทางการเดินของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 7



รูปที่ ง.138 การจำลองการเดินทางของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 7



รูปที่ ง.139 ผลปฏิบัติงานของหุ่นยนต์มดสามตัวกระจาย แบบที่ 7

ตารางที่ ง.47 ผลการปฏิบัติงานหุ่นยนต์มดสามตัวแบบเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มถึงเป้าหมาย

เวลาที่ได้จากการจำลอง (วินาที)	เวลาที่ใช้จริง (วินาที)	ระยะทางที่ใช้ (เซนติเมตร)	ส่วนต่างของเวลาจริงกับเวลาของการจำลอง (วินาที)
48	68	12	20

ภาคผนวก จ.
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

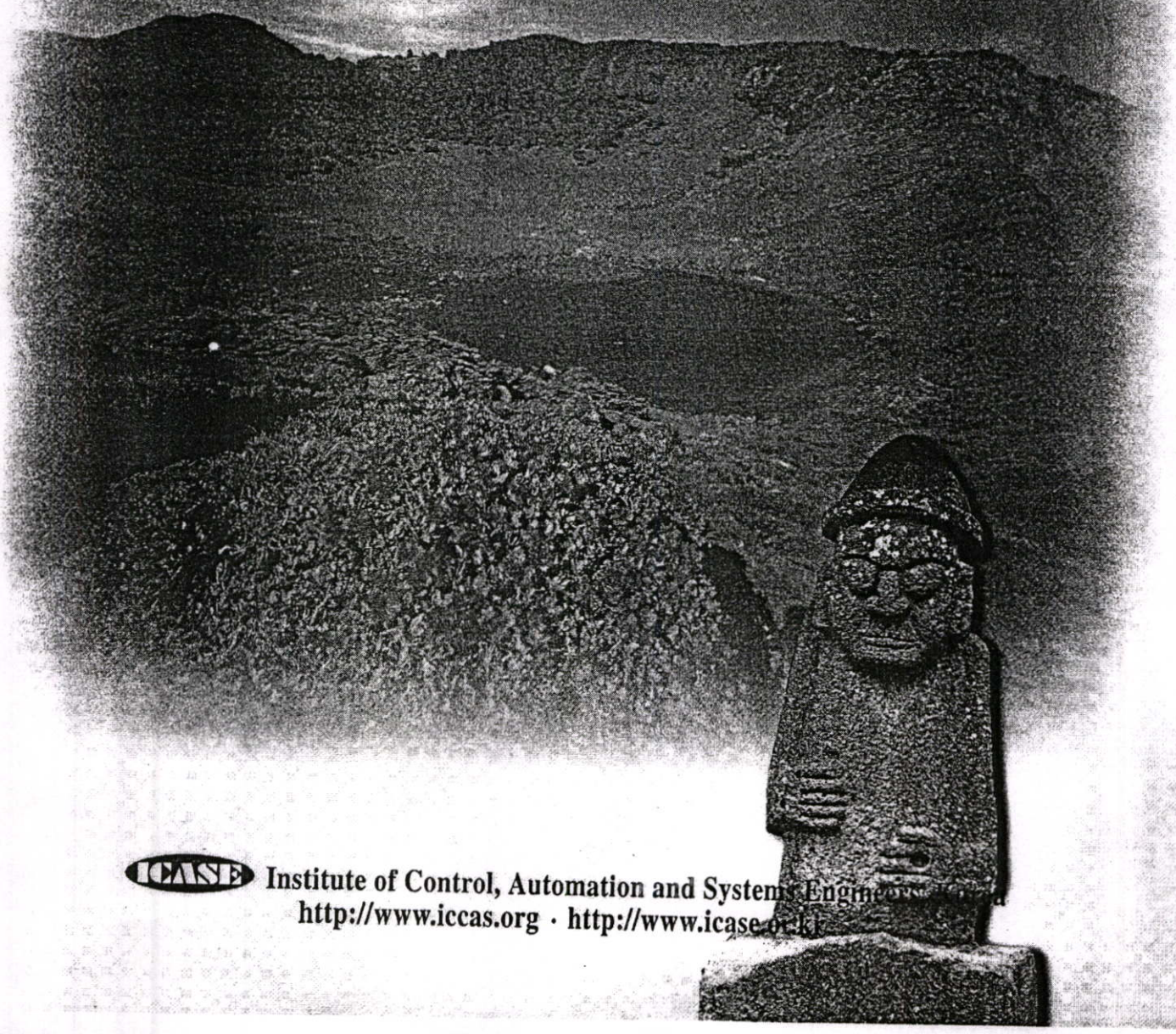
[1] **Purahong, B.,** Apiratikorn, S., and Sooraksa, P., " An Inexpensive Ant Robot: Basic Concept and Implmentation", **ICCAS 2001 International Conference on Control,Automation and Systems,** pp.277-279, 2001.

Final Program & Abstract Book

ICCAS 2001 International Conference on Control, Automation and Systems

October 17~21, 2001

Cheju National University, Jeju Island, Korea



ICASE Institute of Control, Automation and Systems Engineering

http://www.iccas.org · http://www.icase.or.kr

An Inexpensive Ant Robot: Basic Concept and Implementation

Boonchana Purahong, Sanya Apiratikorn, and Pitikhate Sooraksa

Department of Industrial Technology and Information Engineering
Faculty of Engineering., King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang
3 Chalong Krong Rd., Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
(Tel : 66-2-737-3000; Fax : 66-2-326-9084 ; E-mail: kspitikh@kmitl.ac.th)

Abstract: Imitating animal behaviors is one of the research projects in robotics. This paper presents basic concepts and implementation of ant robots. Our ant robots refer to the robots that are designed and built by imitating ants' behaviors. ant robot is 5x5x6 cm^3. A special feature of our ant robot is low cost, we spend under 30 $US for this project.

Keywords: ant robot, behavior control, low cost robot, robotics

1. Introduction

Field of robotics has been mingled with the biology by importing the ideas and the functions of animals in animal kingdom. Some examples of this theme is presented in [1-4]. In this paper, we present low cost ants' colony. Our ant robot has been designed for using on desktop factory. We have imitating the social behavior of ants, which is corporation behavior among the group. The basic framework in this paper is discussed in the next section.

2. Basic framework

Our ant robots are in a wheeled mobile structure. The structure of an ant leg with its exoskeleton piece and joints are not mimic. The reason is that the operation is on smooth surface or desktop platform —not on uneven terrain. In addition, the wheeled design is much relatively easy than the legged counterpart. Figure 1 shows ant robots building by the authors.

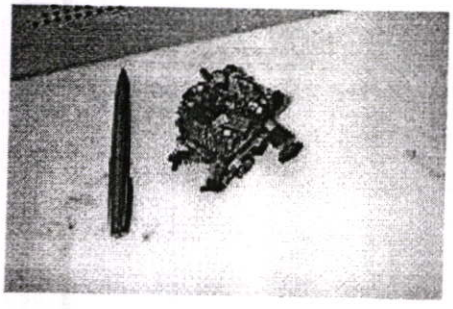


Figure 1. Inexpensive ant robots.

In functioning design, ant robots are designed to work in colony. Each ants equipped with sensors for regulating movement and communication among the agents. If an ant can find food, it will send signal to the other ant for helping it carry food to the nest. Information about location of food, the nest, and each ant coordinates must be known. Figure 2 shows autonomous agents cooperate during carrying food to their nest.

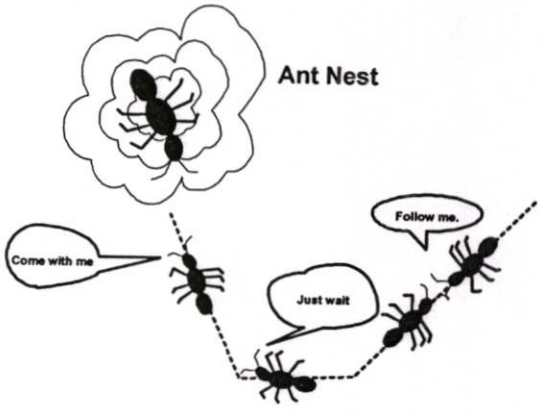


Figure 2. Agents during operation tasks.

3. Hardware Description

Block diagram of basic hardware is shown in Figure 3. Four units need to be implemented, which are sensors for sensing signals, a microcontroller for control feature, a driver and actuators for movement, and a gripper for carrying food.

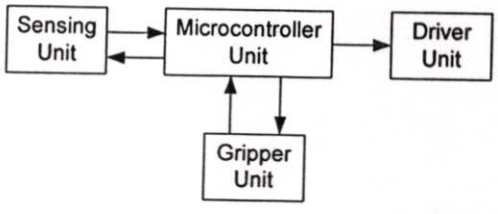


Figure 3. Block diagram of basic hardware units for an ant robot.

For sensing unit, we have 7 sensors for an ant robot, which uses for sensors to detect barriers and collision avoidance, and the other two for catching function of the gripper. The 38kHz infrared pulse signal is used for communication with modulation to protect the communication signal from the background noise. Locations of the sensors are shown in Fig. 4.

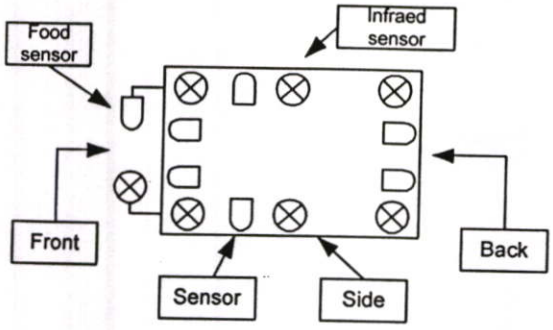


Figure. 4 Locations of sensors on the robot.

For control unit, we use a microcontroller, MCS51 89C2051, written in Assembly language. Flow charts for ant functions need to be constructed to guide the program before implementing to the chip in the conceptual designing phase. For example, Fig. 5 shows a flowchart for operational tasks of the robot.

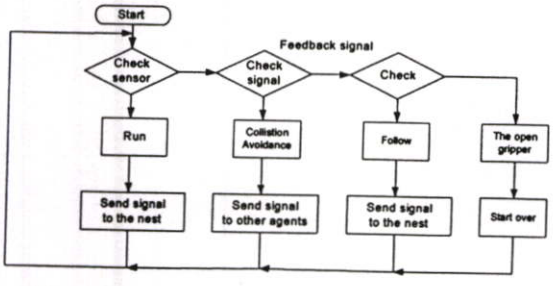


Figure. 5 An example of the flowchart for operational tasks.

We use IC7805 as a voltage regulator for transforming 9 Volts of the voltages into 5 volts. The IC L293D is also used as a motor's driver. The designer can used IC L293DD instead for more current supplied to the load. A block diagram for overall control unit is shown in Fig. 6.

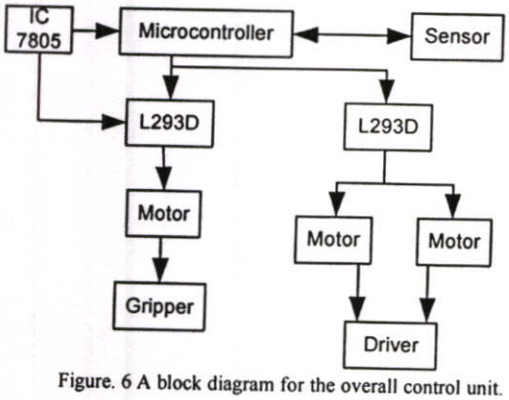


Figure. 6 A block diagram for the overall control unit.

For gripper unit, a DC motor is used for opening or closing the gripper. The working limit of the gripper is set around 45 to 90 degree measured from the middle line inside the Gripping space. Figure. 7 shows the mechanism of the gripper.

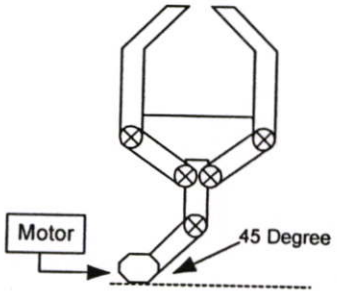


Figure 7 Mechanism of the gripper.

4. Experimental Results

The experimental results show the effectiveness of the design and implementation. Figure 8 shows the route recording of the robots' travelling path during the operation. We use the old fashion recording by attaching pencils with ant robots. Satisfactory result is achieved. However, the more intelligent tasks need to be extended for future research.

5. Conclusion

From our experiences, the following observations are given:

1. The behavior control paradigm needs to be adapted for different applications. Such paradigm should design a task into subtasks.
2. Before designing the communication among the robots, the designer needs to check and debug all software and hardware for regulation tasks. The movement function must be fully available upon receiving the communication signal from the other agents.
3. Intelligent functions such as path remembering or path optimization should be added.
4. Tools or gripper located at the ants' heads should be designed to provide more flexibility in order to be versatile.

6. Acknowledgment

This paper is supported by the Thailand Research Fund under grant PDF/95/2544.

References

[1] S. Nagasawa, R. Kanzaki, I. Shimoyama, "Study of Small Mobile Robot that uses Living Insect Antennae as Pheromone Sensor" *Proc of 1999 IEEE Int. Con. Intel. Robots and systems*, pp. 555-560, 1999.

[2] Y. Kawana, I. Shimoyama, H. Miura, "Steering Control of a Mobile Using Insect Antennae" *Proc.1995. Int.Con. Intel. Robots and systems*, pp. 530-535, 1995.

[3] P. Sooraksa, S. Miyamoto, "A Low-Cast Passive Acoustic Resonator for Insect-like Microrobotic Systems," *16th IAARC/IFAC/IEEE Inil.Symp. on Automatic and Robotic in contruction*, pp. 725-729, 1999.

[4] T. Kimamura, Y. Otsuka "Imitation of Animal Behavior with Use of a Model of Consciousness-Behavior Relation of a Small Robot," *IEEE Intl. Workshop on Robot and Hunman Communication*, pp.211-317, 1995.

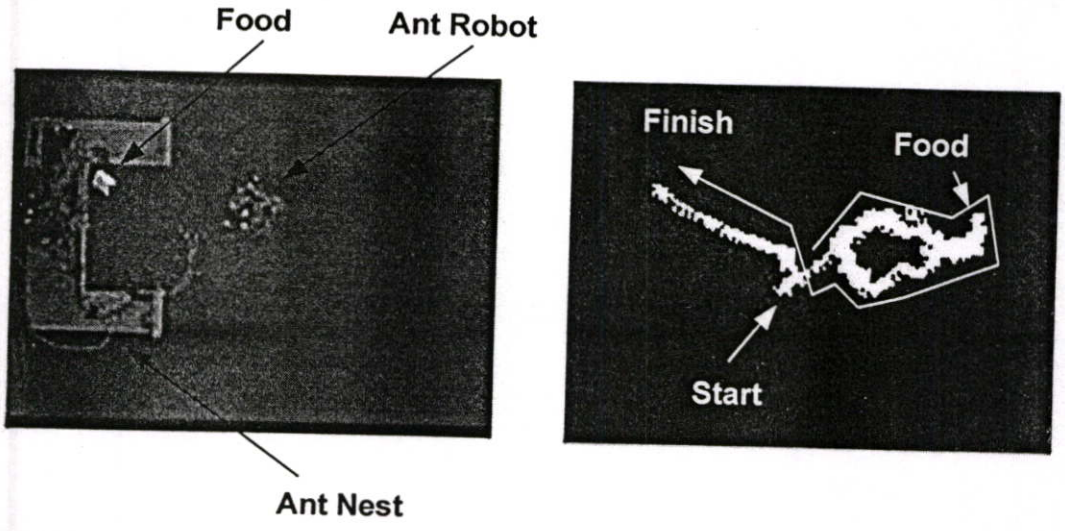


Figure 8. Route recording of the robot's traveling path.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายบุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	9 มกราคม 2515
ที่อยู่	15/5 หมู่ 34 ซอยกรุงเทพ-นนท์ 52 ถนนกรุงเทพ-นนท์ แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 1080 โทร.0-2585-4251
ประวัติการศึกษา	2529 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนโยธินบูรณะ กรุงเทพฯ
	2532 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
	2534 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบัน เทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
	2537 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบหุ่นยนต์
	2.) ไมโครคอมพิวเตอร์และไมโครโปรเซสเซอร์

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2535-2536	ตำแหน่งอาจารย์ เทคโนโลยีพระรามหก กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2537	ตำแหน่งอาจารย์ สถาบัน เทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
พ.ศ. 2538-2544	ตำแหน่งอาจารย์ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระ-จอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544-ปัจจุบัน	ตำแหน่งอาจารย์ภาควิชาสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง