

## การวางแผนเส้นทางที่เหมาะสมกับเป้าหมายสำหรับหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์

## Optimal Path Planning Algorithm for Humanoid Robot

วีระ ปิตุเตชะ<sup>1\*</sup> และ ดร.กวิตา มณีวรรณ<sup>2</sup><sup>1</sup> สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140  
โทร 0-2470-9339 โทรสาร 0-2470-99691 อีเมลล์ boot\_pitt@hotmail.com<sup>2</sup> สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140  
โทร 0-2470-9339 โทรสาร 0-2470-99691 อีเมลล์ praew@fibo.kmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

ในการแข่งขันฟุตบอลหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์นั้น หุ่นยนต์จะต้องมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ชนสิ่งกีดขวาง การหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายในงานวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์โดยการกำหนดขอบเขตของสิ่งกีดขวาง ซึ่งได้มาจากการประมวลผลภาพ เนื่องจากหุ่นยนต์ ฮิวแมนอยด์เป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่องทำให้เกิดข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ เช่น ระยะก้าวเท้า มุมในการหมุนตัว ดังนั้นจากเส้นทางต่าง ๆ ที่สร้างไว้ จึงต้องมีการปรับเส้นทางให้เหมาะสมตามข้อจำกัดของหุ่นยนต์ จากนั้นจึงเลือกเส้นทางที่เหมาะสม โดยการตัดสินใจจากผลรวมของปัจจัยต่าง ๆ ที่หุ่นยนต์ต้องใช้ในการเคลื่อนที่ของแต่ละเส้นทาง ปัจจัยที่นำมาใช้ในการตัดสินใจ ได้แก่ ระยะทาง ระยะเวลา พลังงาน และความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ ค่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จริง จากการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่สร้างไว้ พบว่าผลรวมของปัจจัยต่างๆ ในแต่ละเส้นทางสอดคล้องกับผลการคำนวณที่ได้จากการจำลองเส้นทางไว้

## Abstract


In humanoid soccer robot competition, the robot should have the ability to move toward the goal quickly without colliding to any obstacle. This research proposes the optimal path planning algorithm based on visual information of obstacle in the environment. Humanoid robot moves in discrete step which resulted in motion constraints such as step size and angle of rotation. The path is chosen and adapted based on these constraints. The optimal path is selected from the combination of different objectives including distant, time, energy consumption and the probability of motion error.

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 1 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

## 1. คำนำ

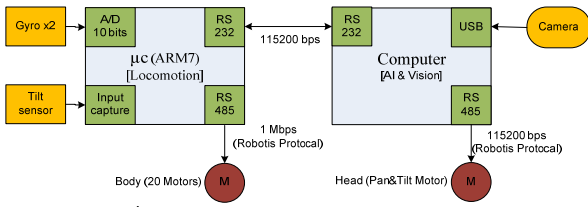
เนื่องจากที่สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม(FIBO) ได้มีการศึกษาระบบการทรงตัวของหุ่นยนต์สองขา และได้มีการสร้างหุ่นยนต์เดินสองขาขนาดเล็ก เพื่อเข้าร่วมแข่งขัน Robocup soccer Humanoid League ซึ่งมีการจัดการแข่งขันในระดับโลกเป็นประจำทุกปี ในการแข่งขันฟุตบอลของหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์นั้น แต่ละทีมจะประกอบไปด้วยหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์ที่มละ 3 ตัว ทำการแข่งขันในสนามขนาด 6x4 เมตร โดยมีประตูขนาด 1.5 เมตร 2 ประตู อยู่คนละข้างของสนาม และจะมีเสาอ้างอิงอยู่ที่มุมสนามทั้ง 4 มุมด้วย ในการแข่งขันแต่ละทีมจะต้องพยายามนำลูกบอลไปยังประตูของฝ่ายตรงข้ามให้ได้ เมื่อจบการแข่งขันทีมที่ทำประตูได้มากที่สุดจะเป็นผู้ชนะ ดังนั้นในการแข่งขันหุ่นยนต์ต้องมีความสามารถในการแยกแยะและหาตำแหน่ง ลูกฟุตบอล ประตู เสา และคู่ต่อสู้ได้ และต้องสามารถเคลื่อนที่เพื่อไปนำลูกฟุตบอลไปยังประตูของฝ่ายตรงข้ามให้ได้

ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาระบบตัดสินใจบนหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์ชื่อ "พอดี้" ซึ่งเป็นหุ่นยนต์รุ่นที่ 3 ที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นที่สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สองขา และได้ส่งเข้าร่วมการแข่งขันในปี 2007 ดังแสดงในรูปที่ 1

	Name : Pawdee	Specifications
	Height	50 CM.
	Weight	4 KG.
	Number of DOF	22
	Actuator	DC Servo Motor
	Structural Material	Aluminum Alloy

รูปที่ 1 แสดงรายละเอียดของหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์

ระบบของหุ่นยนต์ "พอดี้" ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ส่วนควบคุมการเคลื่อนไหว (Locomotion) ทำหน้าที่ควบคุมท่าทางการเดิน และรักษาสถิตของหุ่นยนต์ และส่วนตัดสินใจและการมองเห็น (AI & Vision) ดังแสดงในรูปที่ 2 ทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุต่างๆในสนามนำมาประมวลผลและวางแผนการเคลื่อนที่ตามเป้าหมายที่กำหนด

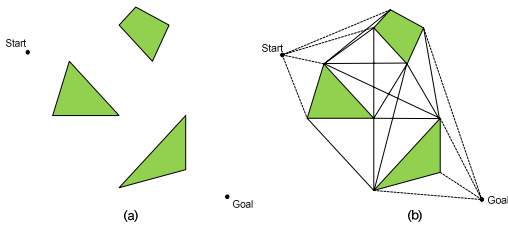


รูปที่ 2 ระบบโดยรวมของหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การวางแผนการเคลื่อนที่(Path Planning)

Visibility graph หรือ V-graph[1] คือวิธีการสร้างเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย V-graph จะประกอบไปด้วยเซตของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุดยอด (vertices) ของวัตถุ โดยเส้นตรงที่เชื่อมต่อกันจะถูกเชื่อมต่อไปยังจุดยอดทั้งหมดของวัตถุรวมทั้งเชื่อมต่อไปยังจุดเริ่มต้น และเป้าหมายด้วย โดยที่เส้นเชื่อมนั้นต้องไม่เกิดการซ้อนทับกับวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การสร้างเส้นเชื่อมระหว่างจุดยอดของวัตถุ

จากรูปที่ 3 จุดยอดในรูป (a) จะถูกลากเส้นเชื่อมต่อกันเมื่อเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดยอดนั้นไม่มีการซ้อนทับกับวัตถุใดๆเลย และเส้นทางที่เชื่อมต่อกันไปเรื่อยๆนั้นจะต้องรวมเส้นขอบของวัตถุเข้าไปด้วย อย่างเช่นในรูป (b) โดยเส้นเชื่อมระหว่างจุดยอดของวัตถุจะแสดงด้วยเส้นทึบ และเส้นเชื่อมระหว่างจุดยอดกับจุดเริ่มต้นและเป้าหมายจะแสดงด้วยเส้นประ เส้นทางที่ดีที่สุดจะถูกเลือกจากเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งแสดงโดย V-graph โดยอาจเลือกจากปัจจัยต่างๆเช่น ระยะทางที่สั้นที่สุด เป็นต้น

### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kaichun Jiang, Lakmal D. Seneviratne and S. W.E. Earles [2] ได้เสนอวิธีการวางแผนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบ nonholonomic โดยการใช้วิธี Visibility graph ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ไม่ชนกับสิ่งกีดขวาง จากนั้นจึงทำการปรับปรุงเส้นทางให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

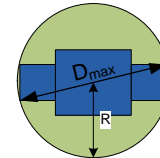
ในงานวิจัยของ Kaichun และคณะ จะคำนึงถึงระยะทางในการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่สำหรับการแข่งขันฟุตบอลของหุ่นยนต์สองขานั้น ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญไม่แพ้ระยะทางของการเคลื่อนที่เช่น พลังงานที่ต้องใช้ในการเคลื่อนที่ ความซับซ้อนของเส้นทาง รูปแบบการเล่น เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้นำปัจจัยต่างๆเหล่านี้มาใช้ในการเลือกเส้นทางที่เหมาะสม

Akihisa Ohya, Akio Kosaka and Avinash Kak[3] ได้เสนอวิธีการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบล้อ โดยอาศัยข้อมูลตำแหน่งหุ่นยนต์ร่วมกับฐานข้อมูลสามมิติ ณ จุดเริ่มต้น กับสัญญาณภาพที่บันทึกได้จากกล้อง นำมาเปรียบเทียบกับเส้นขอบระหว่างรูปทั้งสอง จากนั้นใช้ Kalman filtering คำนวณหาตำแหน่งใหม่เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปและใช้วิธีเทียบเส้นแนวตั้งระหว่างภาพที่ได้จากการประมวลผลกับฐานข้อมูล ตรวจสอบสิ่งกีดขวางโดยอาศัย Ultrasonic Sensor แล้วจึงสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายพร้อมทั้งหลบหลีกสิ่งกีดขวางไปด้วย จากงานวิจัยนี้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยที่ได้นำเสนอในเรื่องการใช้สัญญาณภาพจากกล้องเดี่ยว และการสร้างฐานข้อมูลความรู้ของวัตถุต่างๆไว้ก่อนเพื่อนำมาใช้ในการแยกแยะวัตถุต่างๆจากสภาพแวดล้อมที่กำหนดได้

## 3. การวางแผนการเคลื่อนที่

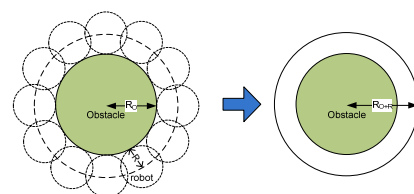
### 3.1 การกำหนดขอบเขตของสิ่งกีดขวางในสนาม

จากข้อจำกัดในการแยกแยะวัตถุจากกล้องเดี่ยวที่ติดบนตัวหุ่นยนต์ ทำให้ไม่สามารถระบุขอบเขตของวัตถุที่ถูกต้องได้ เราจึงกำหนดให้ขอบเขตของวัตถุเป็นวงกลมรัศมีเท่ากับ R โดยที่ R มีขนาดเท่ากับครึ่งหนึ่งของส่วนที่กว้างที่สุดของวัตถุนั้น(D<sub>max</sub>) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ภาพแสดงการกำหนดขอบเขตของวัตถุในสนาม

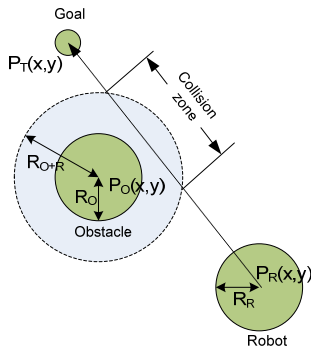
จากรูปที่ 4 ถ้าพิจารณาหุ่นยนต์เป็นจุด หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางได้ใกล้กว่าผลรวมของรัศมีของหุ่นยนต์เอง กับ รัศมีของสิ่งกีดขวาง ดังนั้นเราสามารถที่จะขยายขอบเขตของสิ่งกีดขวางออกไปได้ โดยนำขอบเขตของสิ่งกีดขวางการรวมรัศมีของหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการขยายขอบเขตของสิ่งกีดขวางในสนาม

### 3.2 การตรวจสอบการชน

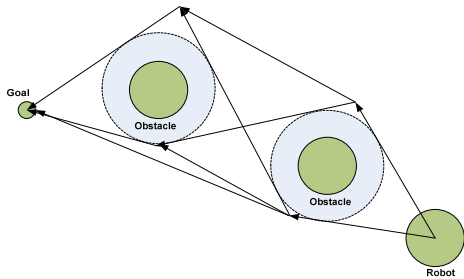
เมื่อเรากำหนดขอบเขตของสิ่งกีดขวางเรียบร้อยแล้ว เราจะมองหุ่นยนต์ของเราเป็นเพียงจุดที่เคลื่อนที่ไปในสนามเท่านั้น จากนั้นเราสามารถตรวจสอบการชนโดยการลากเส้นตรงจากหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมาย แล้วคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดบนเส้นตรงกับตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง หากระยะห่างน้อยกว่าผลรวมรัศมีของหุ่นยนต์และสิ่งกีดขวาง แสดงว่าเส้นทางนี้เกิดการชนกับสิ่งกีดขวางขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงเส้นทางที่เกิดการชนกับสิ่งกีดขวาง

### 3.3 การหาเส้นทางที่เคลื่อนที่

เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดและไม่เกิดการชนกับสิ่งกีดขวาง เราจะหาเส้นทางหลบหลีกสิ่งกีดขวางบนพื้นฐานของวิธี Visibility Graph (V-graph) ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยการลากเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นไปสัมผัสกับ เส้นรอบวงของสิ่งกีดขวาง และลากต่อออกไปอีกจนกว่าจะสามารถลากเส้นตรงอีกหนึ่งเส้นไปยังเป้าหมายได้โดยไม่เกิดการชนกับสิ่งกีดขวาง

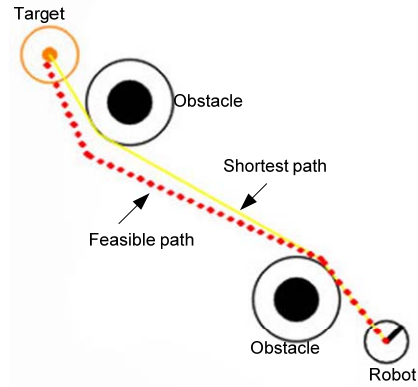


รูปที่ 7 แสดงเส้นทางหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วยวิธี V-graph

### 3.4 การคำนวณเส้นทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้จริง

ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์นั้นจะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบล้อ โดยที่การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์นั้นเป็นการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งแบ่งเป็นท่าทางการเคลื่อนที่ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 อันประกอบด้วย เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดของการเคลื่อนที่เช่นระยะก้าวเท้าและมุมในการหมุนตัวซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 เช่นกัน

รูปแบบการเคลื่อนที่	ระยะ/มุม
เดินหน้า	3.5 เซ็นติเมตร
ถอยหลัง	3.0 เซ็นติเมตร
เลี้ยวซ้าย	18.0 องศา
เลี้ยวขวา	10.0 องศา



รูปที่ 8 แสดงเส้นทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้จริงจากการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยที่ เส้น — แสดงเส้นทางที่สั้นที่สุด และ เส้น ..... แสดงเส้นทางที่ทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ฮิวแมนอยด์ เป็นไปได้

จากจำนวนท่าทางการเคลื่อนที่ที่จำกัดและข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ในแต่ละท่าทำให้ต้องมีการหาเส้นทางที่หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ได้จริง ในที่นี้ทุกเส้นทางที่เป็นไปได้จาก V-graph จะได้รับการปรับให้เป็นเส้นทางที่เคลื่อนที่ได้จริงของหุ่นยนต์ ตัวอย่างดังแสดงในรูป 8 ซึ่งเส้นทางที่สั้นที่สุดแสดงด้วยเส้นทึบจะถูกปรับให้เป็นเส้นทางเคลื่อนที่ได้จริงจะแสดงด้วยเส้นประ

### 3.5 การเลือกเส้นทางที่เหมาะสมกับเป้าหมาย

หลังจากที่เส้นทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้จริงทั้งหมดที่เป็นไปได้ใน V-graph ได้ถูกกำหนดขึ้นแล้ว เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดจะได้รับการเลือกโดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย เวลา, พลังงาน, ระยะทาง และความน่าจะเป็นที่จะเกิดความคลาดเคลื่อน ที่ใช้ในแต่ละเส้นทางมาเปรียบเทียบกัน โดยการให้น้ำหนักความสำคัญกับปัจจัยที่ต้องการ

$$T_p(i) = \frac{T(i)}{\sum T(i)} \times 100$$

$$E_p(i) = \frac{E(i)}{\sum E(i)} \times 100$$

$$L_p(i) = \frac{L(i)}{\sum L(i)} \times 100$$

$$P_p(i) = \frac{P(i)}{\sum P(i)} \times 100$$

$$C(i) = ([T_p(i) \times W_T(i)] + [E_p(i) \times W_E(i)] + [L_p(i) \times W_L(i)] + [P_p(i) \times W_P(i)]) \quad (1)$$

เมื่อได้ผลรวมของปัจจัยทั้งหมดในแต่ละเส้นทางแล้ว ก็จะเลือกเส้นทางที่เหมาะสมจากเส้นทางที่มีค่าของผลรวมจากปัจจัยทั้งหมดต่ำที่สุด

$$P = \min(C(i)) \quad (2)$$

T(i) คือ เวลาารวมของแต่ละเส้นทาง

E(i) คือ พลังงานรวมของแต่ละเส้นทาง

L(i) คือ ระยะทางรวมของแต่ละเส้นทาง

P(i) คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดความคลาดเคลื่อนของแต่ละเส้นทาง

C(i) คือ ผลรวมของปัจจัยทั้งหมดในแต่ละเส้นทาง

W<sub>T</sub> คือ ตัวกำหนดความสำคัญของเวลาที่ใช้

W<sub>E</sub> คือ ตัวกำหนดความสำคัญของพลังงานที่ใช้

W<sub>L</sub> คือ ตัวกำหนดความสำคัญของระยะทางที่ใช้

W<sub>P</sub> คือ ตัวกำหนดความสำคัญของความน่าจะเป็นในการเกิดความคลาดเคลื่อน

การกำหนดความสำคัญของแต่ละปัจจัยจะขึ้นอยู่กับสถานะการของการใช้งาน เช่น เมื่อเบตเตอร์มีจำกัดอาจต้องเลือกตัวกำหนดความสำคัญของพลังงานให้มีค่าสูงกว่าปัจจัยอื่นๆ ทั้งนี้ระบบการตัดสินใจในการเลือกตัวกำหนดความสำคัญของปัจจัยแบบอัตโนมัติจะยังไม่ได้กล่าวถึงในงานวิจัยนี้

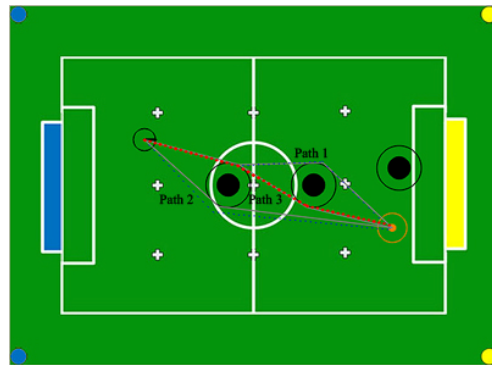
#### 4 การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการจำลองแบบสนามแข่งขัน ซึ่งในสนามแข่งขันจะประกอบไปด้วยหุ่นยนต์คู่ต่อสู้ เสาอ้าองิง ประตูบอล ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองนี้ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Visual C++ ซึ่งรูปที่ได้จากกล้องบนตัวหุ่นยนต์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 เมื่อหุ่นยนต์ได้รับสัญญาณภาพจากกล้องจะทำการประมวลผลภาพและประมาณตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ได้จากภาพ จากนั้นเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดบน V-graph จะได้รับการแสดงผลดังรูปที่ 10 ตัวกำหนดความสำคัญของปัจจัยต่างๆจะแบ่งเป็น 4 กรณีด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นค่าผลรวมของปัจจัยต่างๆในแต่ละเส้นทางจะได้รับการคำนวณและเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดจะถูกเลือกจากค่าผลรวมของปัจจัยที่มีค่าต่ำที่สุดดังแสดงในรูปที่ 11

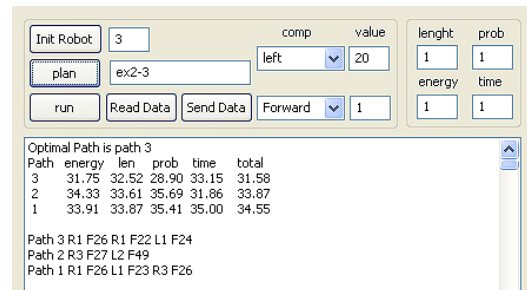
จากนั้นจะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่สร้างไว้ทุกเส้นทางเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวางแผนการเคลื่อนที่ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ซึ่งได้จากกรณีที่ 1



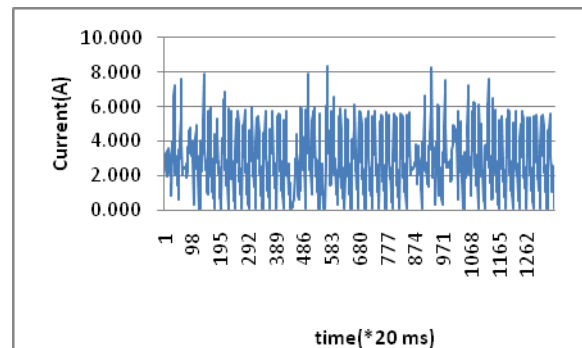
รูปที่ 9 รูปของสนามแข่งขันที่ได้จากกล้องบนตัวหุ่นยนต์



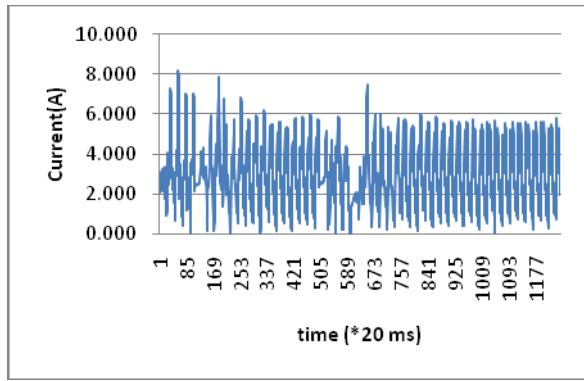
รูปที่ 10 แสดงเส้นทางจากการวางแผนการเคลื่อนที่



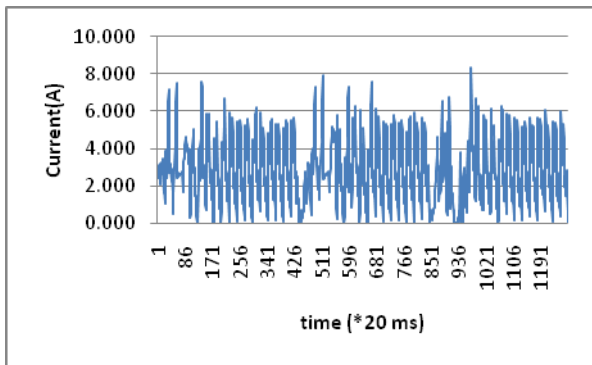
รูปที่ 11 แสดงผลการคำนวณการวางแผนเส้นทางเคลื่อนที่



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ตลอดเส้นทางที่ 1



รูปที่ 13 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ตลอดเส้นทางที่ 2



รูปที่ 14 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ตลอดเส้นทางที่ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลรวมปัจจัยโดยการกำหนด  $W_T, W_E, W_L, W_P$

น้ำหนัก	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
$W_L$	0.25	0.01	1	0
$W_T$	0.25	0.97	0	0
$W_E$	0.25	0.01	0	1
$W_P$	0.25	0.01	0	0
Path 1	36.80	35.01	33.61	35.20
Path 2	34.38	<b>32.35</b>	34.07	32.58
Path 3	<b>28.82</b>	32.64	<b>32.32</b>	<b>32.22</b>

ตารางที่ 3 ค่าปัจจัยต่างๆที่ได้จากการวางแผนการเคลื่อนที่

path	length	time	energy	error	sum
1	33.87	35.00	33.91	35.41	34.55
2	33.61	<b>31.85</b>	34.33	35.69	33.87
3	<b>32.52</b>	33.15	<b>31.75</b>	<b>28.90</b>	<b>31.51</b>

ตารางที่ 4 ค่าปัจจัยต่างๆที่ได้จากการทดลอง

path	length	time	energy	error	sum
1	33.61	34.94	35.20	43.45	36.80
2	34.07	<b>32.26</b>	32.58	38.60	34.38
3	<b>32.32</b>	32.80	<b>32.22</b>	<b>17.95</b>	<b>28.82</b>

รูปที่ 12, 13 และ 14 จะเป็นการแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินตลอดเส้นทางที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้านี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่เมื่อพิจารณาถึงความต่างศักย์คงที่

จากผลการทดลองตามตารางที่ 2 เมื่อทำการปรับค่า  $W_T, W_E, W_L, W_P$  ที่ค่าต่างๆเพื่อให้ได้เส้นทางตามเป้าหมายที่ต้องการ เมื่อทำการเปรียบเทียบกรณีที่ 1 กับกรณีที่ 2 พบว่าเมื่อให้น้ำหนักกับปัจจัยด้านเวลามากขึ้นเป็น 0.97 ค่าผลรวมของปัจจัยในเส้นทางที่ 2 ลดลงเป็นค่าต่ำสุด เนื่องจากเวลาในเส้นทางนี้มีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 จะเห็นว่าผลที่ได้จากการคำนวณและผลจากการทดลองมีผลที่ได้ไปในทางเดียวกัน คือ ค่าปัจจัยที่ได้ของแต่ละเส้นทางของการทดลองมีความใกล้เคียงกับการคำนวณ เส้นทางที่ค่าปัจจัยต่ำที่สุดในการ คือเส้นทางที่ 3 มีค่าผลรวมปัจจัยเท่ากับ 28.82 ดังแสดงในตารางที่ 4

## 6 สรุป

ในการแข่งขันฟุตบอลหุ่นยนต์ประเภทอิวิมาอนอยด์นั้นมีจำนวนสิ่งกีดขวางไม่มากนักทำให้วิธีการเลือกเส้นทางเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เหมาะสมที่สุดจากเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดใน V-graph นั้นสามารถทำได้โดยอาศัยการคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก ในงานวิจัยนี้ใช้สัญญาณภาพเพื่อกำหนดตำแหน่งของสิ่งกีดขวางและเป้าหมายจากนั้นจึงใช้วิธีการ V-graph ในการเลือกเส้นทางเบื้องต้น จากนั้นจึงปรับเส้นทางให้เหมาะสมกับข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อิวิมาอนอยด์ เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดจะถูกเลือกจากเส้นทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้จริง โดยอาศัยการประเมินจากปัจจัยต่างๆเช่น ระยะทาง เวลา พลังงาน และความน่าจะเป็นที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันระหว่างการวางแผนการเลือกเส้นทางเคลื่อนที่ตามวิธีการที่ได้นำเสนอกับการทดลองจริง

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทีมKMUTT และสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. Gregory Dudek, Michael Jenkin, 2000, "Computational Principles of Mobile Robotics", 1<sup>st</sup> ed., Cambridge University Press, pp.136-143.
2. Kaichun Jiang, Lakmal D. Seneviratne and S. W.E. Earles,1998," A Shortest Path Base Path Planning Algorithm for Nonholonomic Mobile Robot", Journal of Intelligent and Robotic Systems, 24: 347-366, 1999.

3. Akihisa Ohya, Akio Kosaka, and Avinas Kak, 1998, "Vision-Based Navigation by a Mobile Robot with Obstacle avoidance Using Single-Camera Vision and Ultrasonic Sensing", IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 14, No. 6, pp. 969-978.