

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการหาเส้นทางการเดินของมดหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีพฤติกรรมของมด ใช้ในการออกแบบพฤติกรรมการทำงานของหุ่นยนต์ ทฤษฎีทางแสงและสี เพื่อใช้ในการตัดสินใจเคลื่อนที่ และทฤษฎีการเลือกเส้นทางเดิน เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเข้าสู่เป้าหมายได้โดยใช้เวลาไม่นานนัก

2.1 ทฤษฎีพฤติกรรมของมด

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

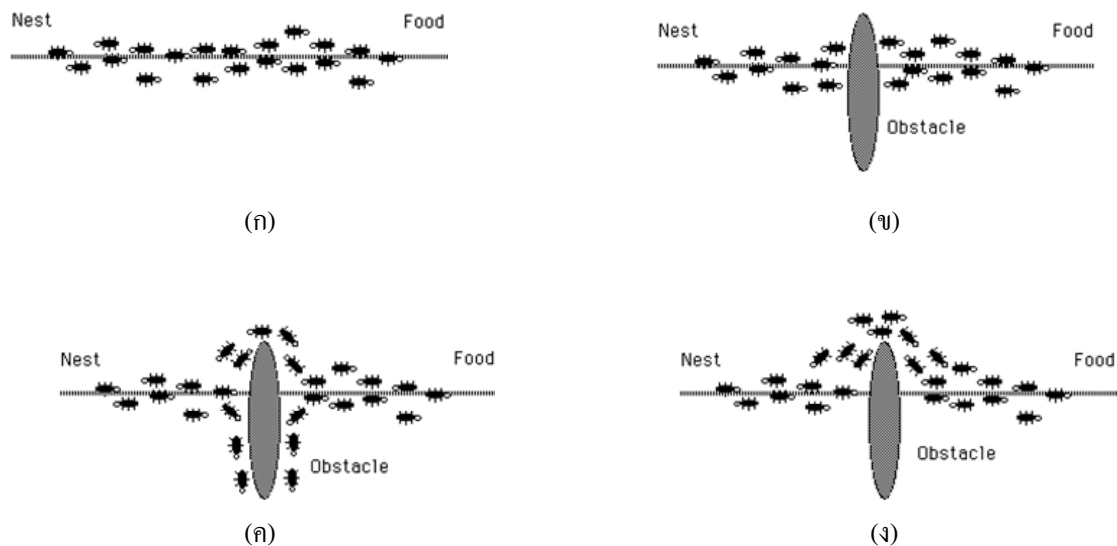
เมื่อมดต้องการหาอาหาร มดแต่ละตัวจะกระจายกันออกจากรังไปทุกทิศทุกทาง เมื่อมดตัวใดตัวหนึ่งค้นพบแหล่งอาหารและกลับมายังรังแล้ว สังเกตได้ว่ามดตัวอื่น ๆ มีการติดตามไปยังแหล่งอาหารดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว และระยะทางดังกล่าวมักเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดจากรัง เนื่องหลังการทำงานนี้คือการสื่อสารกันอย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้เส้นทางกลิ่น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

เมื่อมดตัวแรกที่ได้อาหารและกลับมายังรัง มันจะสร้างเส้นทางกลิ่นโดยฟีโรโมนไว้ระหว่างทางที่มันไปดังรูปที่ 2.1ก เป็นการดึงดูดให้มดตัวอื่นพากันเดินตามไปบนเส้นทางนี้ หากมีการนำสิ่งกีดขวางไปวางบนเส้นทางกลิ่นดังภาพที่ 2.1ข. มดจะพยายามเลี้ยวออกจากสิ่งกีดขวางดังภาพที่ 2.1ค. โดยพยายามค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้น เมื่อผ่านสิ่งกีดขวางแล้วจึงกลับเข้าสู่เส้นทางเดิมเพื่อเข้าสู่แหล่งอาหารต่อไปดังภาพที่ 2.1ง.

การที่มดตัวอื่นพากันเดินไปบนเส้นทางที่ฟีโรโมนมีความเข้มข้นสูง เป็นการเสริมความคงทนของเส้นทางไปในตัว

มดบางชนิด มีพฤติกรรมการทำงานร่วมกันทำงาน เช่น ถ้าหากมดตัวหนึ่งเดินทางไปพบอาหาร แต่อาหารนั้นมีขนาดใหญ่มาก ไม่สามารถเคลื่อนย้ายด้วยตัวคนเดียวได้ มดจะมีการสื่อสารให้มดตัวอื่นมาช่วย ในระยะแรกอาจกินเวลานานหลายนาที โดยมดจะเปลี่ยนตำแหน่งและเคลื่อนย้ายตัวเองไปรอบเหยื่อ จนสามารถขนย้ายเหยื่อไปยังรังได้ ซึ่งงานวิจัยของ Kube และ Zhang แห่งมหาวิทยาลัย Alberta ได้นำพฤติกรรมเหล่านี้ไปใช้กับหุ่นยนต์เช่นกัน

จากพฤติกรรมต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเอาข้อดีของพฤติกรรมของมดมาใช้งานเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถค้นหาเส้นทางไปยังเป้าหมายได้โดยใช้เวลาไม่นานนัก และยังมีการทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอีกด้วย



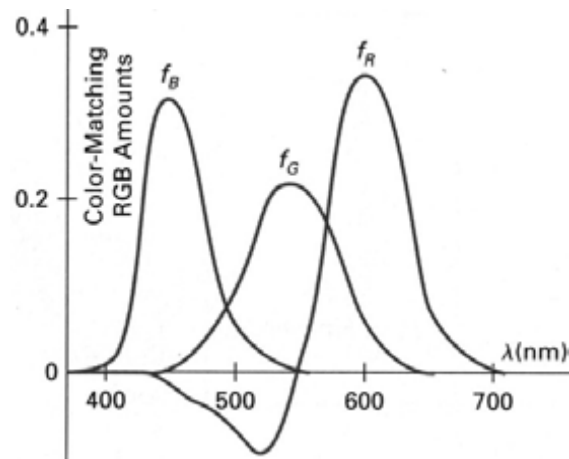
รูปที่ 2.1 วิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มมด

2.2 ทฤษฎีแบบจำลองแสงและสี

ในวิทยานิพนธ์นี้ เนื้อพื้นที่ปฏิบัติงานของหุ่นยนต์นั้นมีการติดตั้งกล้องวิดีโอไว้เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางของหุ่นยนต์ การทำงานเริ่มขึ้นเมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับสัญญาณภาพจากกล้อง ซึ่งภาพที่ได้เป็นภาพที่มีองค์ประกอบของแสงและสี ดังนั้นการนำภาพที่ได้ไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมพฤติกรรมของหุ่น จำเป็นต้องนำภาพเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ภาพโดยใช้การคำนวณค่าสี จากแบบจำลองของสีที่มีหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

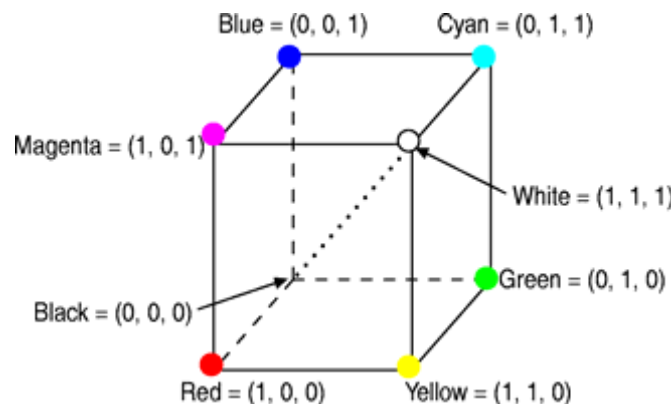
2.2.1 แบบจำลองแสงสีแบบ RGB (RGB Color Model)

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]

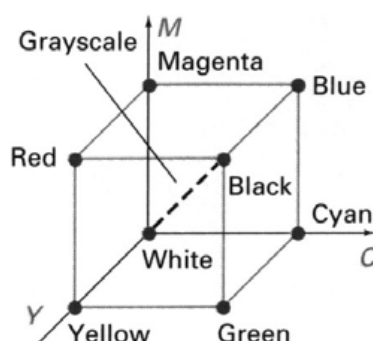
จากรูปที่ 2.3 เมื่อทำการแทนค่าแต่ละแสงสีในแนวตามแกน x , y , z โดยกำหนดให้ แสงสีดำมีค่าเป็น 0 ทั้งหมด แสงสีขาวมีค่าสีเป็น 1 ทั้งหมด ส่วนที่ใช้เป็นแสงแม่สี 3 สี ได้แก่ แสงสีแดง (R) แสงสีเขียว (G) แสงสีน้ำเงิน (B) อยู่ในระนาบ แกน x , y , z สามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1

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

โดย แลเมด้า 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

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

สำหรับแบบจำลองแสงสีแบบ CMY สามารถทำการวิเคราะห์ได้จากแบบจำลองแสงสีของ RGB โดยทำการเปลี่ยนแปลงจากตารางเมตริก รูปแบบแบบจำลองแสงสีแบบ CMY ได้รับความนิยมไม่มากนักในการนำมาใช้งาน

2.2.3 แบบจำลองสีแบบ CMYK (CMYK Color Model)

เป็นการพัฒนาต่อจากแบบจำลองก่อนหน้านี้คือ CMY โดยได้เพิ่มเติมในส่วน of สีดำ (black) เข้ามา แบบจำลองนี้ใช้มากในด้านงานพิมพ์ภาพ

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

โดยที่

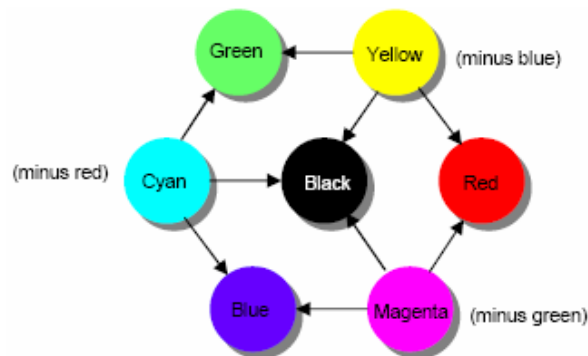
$$K = \min(C, M, Y) \quad (2.3)$$

$$C = C - K$$

$$M = M - K$$

$$Y = Y - K$$

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

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

แบบจำลองแสงสีแบบ YIQ นี้ ใช้ในระบบการแพร่ภาพโทรทัศน์ของสหรัฐอเมริกา (NTSC system)

2.2.5 แบบจำลองแสงสีแบบ CIE 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

ซึ่งการคำนวณค่าของ L, A, B สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5 โดยกำหนดให้

สีขาว = (X_n, Y_n, Z_n)

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

จากแบบจำลองสีทั้งหมดที่กล่าวมาซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน เห็นได้ว่ารูปแบบส่วนใหญ่ของแบบจำลองแสงสี มีการพัฒนามาจากแบบจำลองแสงสีแบบ RGB ทั้งสิ้นโดยคุณได้จากความสัมพันธ์ของเมตริกดังกล่าวข้างต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้แบบจำลองสีแบบ RGB เนื่องจากมีความซับซ้อนไม่มาก เหมาะสำหรับการนำไปใช้ควบคุมหุ่นยนต์ให้ทำงานในเวลาจริงได้ดี

2.3 การค้นหาเส้นทาง (Path finding)

โดยการทำงานปกติเมื่อหุ่นยนต์ค้นพบเป้าหมายแล้ว หากไม่มีสิ่งกีดขวางบนเส้นทางเดิน จะกำหนดให้หุ่นยนต์เดินทางเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายเลย แต่ในสภาพพื้นที่ปฏิบัติงานจริง มักมีสิ่งกีดขวางเส้นทางเดินอยู่เสมอ ทำให้เวลาในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายนั้นใช้เวลามาก ดังนั้นการคำนวณหาเส้นทางเดินจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจึงเป็นสิ่งสำคัญ วิธีที่ใช้ในการหาเส้นทาง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการหาเส้นทางเคลื่อนที่ที่ออกแบบโดยที่ผู้วิจัย เริ่มจากการกำหนดเส้นทางตามลักษณะของการทดลอง หากเป็นการค้นหาเป้าหมายโดยถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางจะใช้สมการจำลองเส้นทางเคลื่อนที่ของมด เนื่องจากเส้นทางเริ่มต้นไปจนถึงจุดท้ายสุดเป็นระยะ

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

ในบทต่อไปเป็นการกล่าวถึงการออกแบบและการควบคุมหุ่นยนต์มด โดยนำทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้นไปใช้ในการควบคุม เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้