

วิธีการนำทางและควบคุมหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ
ด้วยเชือกหลายเส้น บนโครงสร้างแบบยึดหมุนที่หมุนรอบตัวเองในอวกาศ
Autonomous Navigation Strategy
For Multi-Tethered Robot on a Large Spinning Space Net Structure

นวรรตน์ วรกุล¹, ตันคิด จันทรศิมิ² และ พงศธร สายสุจริต³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.ประชากรศาสตร์ สาย 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
โทร 02-555-2000 ต่อ 6439 โทรสาร 02-555-2000 ต่อ 6439
ติดต่อ: ¹nt.worrakul@gmail.com, ²tonkid@gmail.com, ³pomastro@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการ Local Potential Method เป็นการควบคุมหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ ด้วยการควบคุมเส้นเชือกหลายเส้น(Multi-Tethered Robot) โดยเคลื่อนที่อยู่บนโครงสร้างแบบยึดหมุนที่หมุนรอบตัวเองขณะอยู่ในอวกาศ ภายใต้สมมติฐานหุ่นยนต์ถูกรบกวนจากสภาวะรอบข้าง และได้รับอิทธิพลจากแรงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal Force) ตลอดเวลาเมื่ออยู่ในอวกาศ ทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถหยุดนิ่ง และเกิดการเคลื่อนที่แบบสุ่ม(Random)จากพฤติกรรมดังกล่าวจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งวิธีการนี้ไม่มีความซับซ้อนมาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่ายและทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติ การนำเสนอวิธีทำงานจะแสดงในรูปแบบการจำลองการทำงาน(Simulation) ของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้วิธีควบคุมการปล่อยเส้นเชือกแต่ละเส้น เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายตามที่ต้องการ

คำหลัก: หุ่นยนต์, อวกาศ, Multi-Tethers Robot, Local Potential Method

Abstract

This research proposed the Local Potential Method, which used to control Multi-Tethered Robot. The Robot moved upon flexible structure that revolved around itself in the space. The statement hypothesis was that the robot was disturbed by surrounding environment, and affected by Centrifugal Force when it was in the space. Therefore, the robot could not be standstill, and this created a random movement. From this observation, this method, which is uncomplicated and adaptable, was applied to control Robot's movement, and made Robot automatically moved. The project can be presented as simulation of Robot's movement by using Multi-Tether in order to force the Robot to move toward to the target.

Keywords: Multi-Tethers Robot, Local Potential Method

AME-2002

1. ความเป็นมา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอวกาศได้มีการพัฒนาอย่างแพร่หลาย เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในการสำรวจเอกภพของนักวิทยาศาสตร์ รวมถึงการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีอวกาศในด้านต่างๆ มากมาย เช่น การพยากรณ์อากาศ การทหาร การสื่อสาร และการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น ดังนั้นเมื่อมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้สูงขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในอวกาศ ให้มีประสิทธิภาพสูงและดูแลบำรุงรักษาได้ง่าย แต่ในอวกาศการดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ เป็นเรื่องที่ยากมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงานของนักบินอวกาศ เมื่อต้องทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการใช้หุ่นยนต์เข้าไปทำงาน ในการดูแลรักษาอุปกรณ์แทนนักบินอวกาศ[1]

ซึ่งปัจจุบันมีนักวิจัยทำการวิจัยหุ่นยนต์ที่สามารถนำไปใช้ในอวกาศอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้ในการดูแลรักษาอุปกรณ์ที่อยู่ในอวกาศ ให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพอยู่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากยังพบปัญหาที่เกิดขึ้น การเคลื่อนที่ในอวกาศต้องการเชื้อเพลิงเหลวในการขับเคลื่อนให้หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ แต่ของเหลวนั้นมีน้ำหนักค่อนข้างมากซึ่งเป็นเรื่องยากในการเติมเชื้อเพลิงให้หุ่นยนต์ในอวกาศ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการใช้เชือกหลายเส้นเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนหุ่นยนต์แทนเชื้อเพลิงเหลว[1] โดยการใช้เชือกหลายเส้นแทนเชื้อเพลิงเหลวทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกและรวดเร็ว

จากการศึกษารูปแบบการควบคุมหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเชือกหลายเส้น[2] ด้วยวิธีการ Trajectory Optimization เป้าหมายของการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยวิธีนี้คือ ต้องการให้หุ่นยนต์เดินทางไปยังเป้าหมายที่กำหนดโดยใช้ระยะทางและเวลาน้อยที่สุด แต่พบว่าวิธีการนี้ยังต้องใช้มนุษย์ช่วยในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์สำหรับควบคุมหุ่นยนต์และการหาค่าพารามิเตอร์มีการคำนวณค่อนข้างซับซ้อน

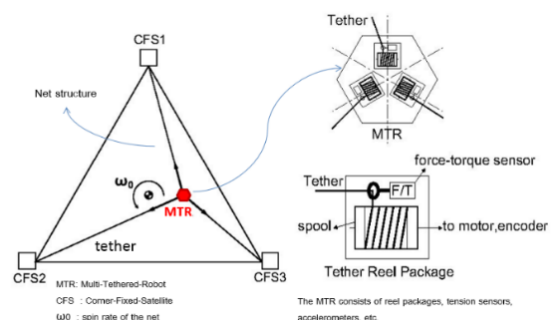
และใช้เวลาค่อนข้างนาน (Setup Time) ดังนั้นหุ่นยนต์จึงไม่สามารถควบคุมให้หุ่นยนต์ทำงานได้อัตโนมัติ[2] เพราะยังต้องใช้มนุษย์ช่วยในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์

ดังนั้นจึงได้เกิดการเสนอวิธีการใหม่โดยการประยุกต์ใช้วิธีการ Local Potential Method สำหรับใช้ในควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยเชือกหลายเส้นนั้นจะใช้หลักการพื้นฐานของวิธีการ Potential Method

2. โมเดลของหุ่นยนต์

2.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์ควบคุมด้วยเชือกหลายเส้น (Multi-Tethered-Robot: MTR) และหลักการการทำงาน

ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ที่ควบคุมด้วยเชือกหลายเส้นดังแสดงในรูปที่ 1 จะประกอบด้วยส่วนหลักๆ อยู่สามส่วนคือ ตัวหุ่นยนต์ ดาวเทียม และดาวเทียม โดยดาวเทียมจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า และมีดาวเทียมทั้งสามดวงจะติดอยู่ที่ปลายของสามเหลี่ยมทั้งสามด้าน ในส่วนของตัวหุ่นยนต์จะประกอบด้วยเชือกสามเส้นผูกติดกับบรอกที่อยู่บนตัวหุ่นยนต์และปลายอีกข้างหนึ่งของเชือกจะผูกติดที่ดาวเทียมทั้งสามดวง



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์(MTR)[2]

เนื่องจากดาวเทียมมีความยืดหยุ่นลอยอยู่ในอวกาศซึ่งปราศจากแรงภายนอกกระทำกับตัวดาวเทียม ดังนั้น เพื่อให้ตัวดาวเทียมมีทางอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงให้ดาวเทียมทั้งสามดวงเคลื่อนที่เป็นวงกลม เนื่องจากดาวเทียมทั้งสามดวงผูกติดอยู่ที่ปลายทั้งสามของดาวเทียมทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal

AME-2002

Force) และจากอิทธิพลของแรงหนีศูนย์กลางจะทำให้
ตาข่ายกางอยู่ตลอดเวลา หลักการทำงานของหุ่นยนต์
เมื่อต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่
ต้องการ สามารถทำได้โดยการควบคุมเชือกทั้งสาม
เส้นเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยการควบคุมเชือกทั้ง
สามเส้นนั้นจะใช้รอกที่ติดอยู่บนหลังของหุ่นยนต์ใน
การส่งปล่อยเชือกและเก็บเชือก

2.2 โมเดลของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ควบคุมด้วยเชือก
หลายเส้นจะเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{cases} \ddot{x} - 2\omega_0 \dot{y} - \omega_0^2 x = (T_1 \cos \theta_1 + T_2 \cos \theta_2 \\ \quad + T_3 \cos \theta_3) / M_r \\ \ddot{y} - 2\omega_0 \dot{x} - \omega_0^2 y = (T_1 \sin \theta_1 + T_2 \sin \theta_2 \\ \quad + T_3 \sin \theta_3) / M_r \end{cases}$$

(1)

ซึ่ง $\theta_i (i = 1, 2, 3)$ เป็นมุมของเชือกทั้งสามเส้นนิยาม
ตามรูปที่ 2 ในส่วนของ M_r เป็นมวลของหุ่นยนต์และ
 $T_i (i = 1, 2, 3)$ เป็นแรงดึงเชือกทั้งสามเส้นโดยที่แรงดึง
เชือกทั้งสามเส้นจะถูกจำกัดเงื่อนไข $0 \leq T_i \leq \max(T_i)$

$$\begin{cases} \theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}L/3 - y}{-x} \right) \\ \theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{-\sqrt{3}L/6 - y}{\frac{L}{2} - x} \right) \\ \theta_3 = \tan^{-1} \left(\frac{-\sqrt{3}L/6 - y}{\frac{L}{2} - x} \right) \end{cases} \quad (2)$$

ตำแหน่งและความเร็วของหุ่นยนต์(State vector)

$$x = \{x, y, v_x, v_y\} \quad (3)$$

สมการควบคุมเส้นเชือก(Control function)

$$u = \{T_1, T_2, T_3\} \quad (4)$$

ค่าเริ่มต้นตำแหน่งและความเร็วของหุ่นยนต์

(Initial condition)

$$\begin{cases} x(t_f) = x_f, y(t_f) = y_f \\ v_x(t_f) = v_{xf}, v_y(t_f) = v_{yf} \end{cases} \quad (5)$$

ค่าสุดท้ายตำแหน่งและความเร็วของหุ่นยนต์

(Terminal condition)

$$\begin{cases} x(t_f) = x_f, y(t_f) = y_f \\ v_x(t_f) = v_{xf}, v_y(t_f) = v_{yf} \end{cases} \quad (6)$$

ข้อจำกัดที่ขอบ(Boundary Constrain)เพื่อให้หุ่นยนต์
อยู่ภายในตาข่ายรูปที่ 3 เป็นไปตามสมการ

$$\begin{cases} y \leq -\sqrt{3}x + \frac{\sqrt{3}}{3}L \\ y \leq \sqrt{3}x + \frac{\sqrt{3}}{3}L \\ y \geq -\frac{\sqrt{3}}{6}L \end{cases} \quad (7)$$

ผลบวกของความยาวเชือกสองด้านจะมีค่ามากกว่า
ด้านที่เหลือของตาข่ายเป็นไปตามสมการ

$$L_i + L_j (i, j = 1, 2, 3, i \neq j) > L_n \quad (8)$$

$$\begin{cases} \frac{\pi}{3} \leq \theta_1 \leq \frac{2}{3}\pi \\ \pi \leq \theta_2 \leq \frac{4}{3}\pi \\ \frac{5}{3}\pi \leq \theta_3 \leq 2\pi \end{cases} \quad (9)$$

และ

$$\begin{cases} 0 \leq T_{12} \\ 0 \leq T_{23} \\ 0 \leq T_{31} \end{cases} \quad (10)$$

โดยที่

$$\begin{cases} 0 \leq T_1 \leq \max(T_1) \\ 0 \leq T_2 \leq \max(T_2) \\ 0 \leq T_3 \leq \max(T_3) \end{cases} \quad (11)$$

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบ

Size of Furoshiki net (L)	500 [m]
Mass of CFS (M_s)	1000 [kg]
Mass of MTR (M_r)	100 [kg]
Angular velocity (ω)	1 [rpm]
Tether minimum length (L_{tmin})	0.01 [m]
Tether maximum length (L_{tmax})	500 [m]

3. โมเดลของเชือกและตาข่าย

ในหัวข้อนี้จะทำการพิจารณาโมเดลของ
แรงดึงเชือกที่เกิดขึ้นในระบบ โดยที่จะทำการพิจารณา
สมการสมดุลสถิต(Static force equilibrium) เพื่อให้
ง่ายต่อการพิจารณา จะพิจารณาเชือกที่เชื่อมต่อกับ
ดาวเทียมทั้งสามดวงเข้าด้วยกันเป็นเชือกเพียงเส้น
เดียวดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแรงดึงเชือกทั้งสามเส้นควร
จะมีค่าเท่ากับแรงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal Force)
ดังสมการต่อไปนี้

$$T_{net(equil)} = \frac{1}{3} M_s \omega^2 L \quad (12)$$

โดยที่ M_s คือมวลของดาวเทียมทั้งสามดวง
 ω คืออัตราการหมุนของตาข่ายและ L คือความยาว
เชือกที่ผูกติดกับความเทียมทั้งสามเส้น

สำหรับรูปหลายเหลี่ยม สามารถหาแรงที่ทำให้
ให้ตาข่ายสมดุลได้ดังสมการต่อไปนี้

$$T_{net(equil)} = \frac{1}{3} M_s \omega^2 L \frac{1}{2 \cos^2(\frac{\theta_n}{2})} (n \geq 3) \quad (13)$$

โดยที่ θ_n คือค่ามุมภายในของรูปหลายเหลี่ยม

AME-2002

เพื่อให้ตาข่ายสามารถคงตัวเป็นรูปสามเหลี่ยมได้แรงที่กระทำต่อตาข่ายควรจะมีค่าเป็นบวก ผลรวมของแรงดึงเชือกและแรงดึงของตาข่ายต้องมีค่าเท่ากับแรงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่อดาวเทียมทั้งสามดวงซึ่ง เงื่อนไขขอบ (Boundary conditions) ของแรงดึงเชือกจะแบ่งออกเป็นสองกรณีดังต่อไปนี้

3.1 กรณีที่ 1

ในโมเดลนี้ผลรวมของแรงที่เกิดขึ้นกับเชือกและแรงที่เกิดจากแรงหนีศูนย์กลางควรจะมีค่าเท่ากับศูนย์ดังสมการต่อไป

$$\begin{aligned} F_c \cos(\theta_c) &= T_{j-1,j} \cos(\alpha_{j,j+1} + \beta_{j-1,j}) \\ &\quad + T_{j,j+1} + T_j \cos(\alpha_{j,j+1}) \\ F_c \sin(\theta_c) &= T_{j-1,j} \sin(\alpha_{j,j+1} + \beta_{j-1,j}) \\ &\quad + T_j \sin(\alpha_{j,j+1}) \end{aligned} \quad (14)$$

โดยที่ F_c คือแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) T_j คือแรงดึงเชือกที่กระทำต่อดาวเทียมทั้งสามดวง

แรงดึงเชือกควรจะมีค่าเป็นบวกเพื่อรักษารูปร่างของตาข่ายให้เป็นสามเหลี่ยมอยู่ตลอดเวลาซึ่งเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} T_{j-1,j} &= \frac{(F_c \sin(\theta_c) - T_j \sin(\alpha_{j,j+1}))}{\sin(\alpha_{j,j+1} + \beta_{j-1,j})} > 0 \\ T_{j,j+1} &= F_c \sin(\theta_c) - T_j \sin(\alpha_{j,j+1}) \\ -T_{j,j+1} + T_j \cos(\alpha_{j,j+1}) &> 0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$T_j = \begin{cases} |A|, & \theta_c \leq \alpha_{j,j+1} \leq \theta_n \\ |B|, & 0 \leq \alpha_{j,j+1} \leq \theta_c \end{cases} \quad (16)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A &= \frac{F_c \sin(\theta_c)}{\sin(\alpha_{j,j+1})} \\ B &= \frac{F_c \sin(\theta_c)}{\sin(\beta_{j,j+1})} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\theta_c = \frac{\pi(n-2)}{2n}$$

$$\theta_n = \alpha_{j,j+1} + \beta_{j-1,j} = \frac{\pi(n-2)}{2n}$$

3.2 กรณีที่ 2

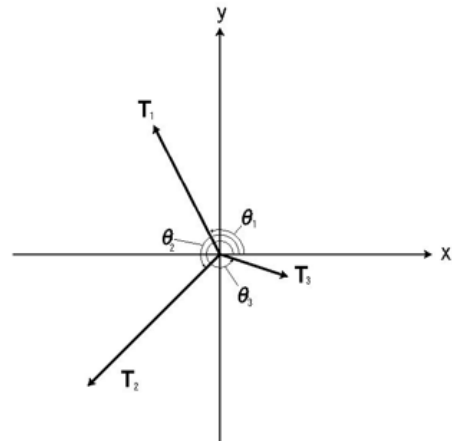
เมื่อพิจารณาแรง T_j, T_{j+1} ที่กระทำต่อดาวเทียมทั้งสามดวงพร้อมกันควรจะมีค่ามากกว่าศูนย์เป็นไปตามสมการ

$$T_j \cos(\alpha_{j,j+1}) + T_{j+1} \cos(\beta_{j,j+1}) < T_{j,j+1} \quad (18)$$

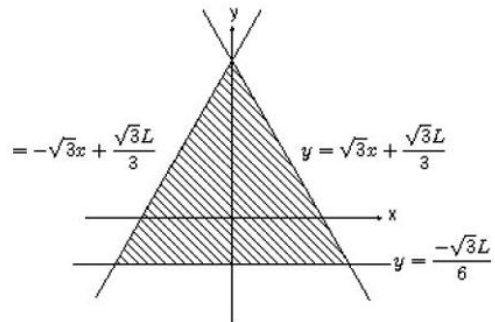
และเงื่อนไขบังคับที่ขอบจะไปดังสมการ

$$T_j \cos(\alpha_{j,j+1}) + T_{j+1} \cos(\beta_{j,j+1}) < M_s \omega^2 L \frac{1}{2 \cos(\frac{\theta_n}{2})^2} \quad (19)$$

จากสมการที่ 15, 16, 17 และ 19 เป็นอสมการข้อจำกัดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Inequalities Constraints) ซึ่งเป็นแรงสมดุล ที่ได้จากเชือกและตาข่าย เมื่อเทียบกับข้อบังคับของแรงดึงเชือกและข้อจำกัดทางเรขาคณิตซึ่งสามารถสร้างความสัมพันธ์เป็นไปดังสมการที่ (7, 8, 9) ดังรูปภาพที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 แสดงการกำหนดมุม $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ [2]



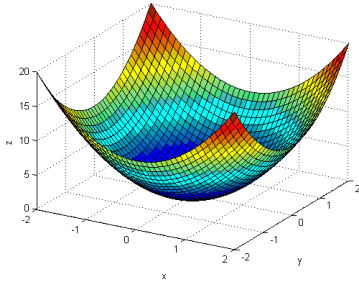
รูปที่ 3 แสดงตัวแปรกำหนดขอบเขต [2]

4. วิธีการ Potential Method

แนวคิดจากวิธีการ Potential Method วิธีการนี้เกิดขึ้นจากความต้องการให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง ระหว่างทางที่หุ่นยนต์กำลังเคลื่อนที่เพื่อไปยังเป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้ วิธีการ Potential Method นี้เป็นการกำหนดให้พลัง ณ จุดที่มีสิ่งกีดขวางอยู่บนเส้นทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่มีค่าสูงมากๆ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรับรู้ว่ามีสิ่งกีดขวาง

AME-2002

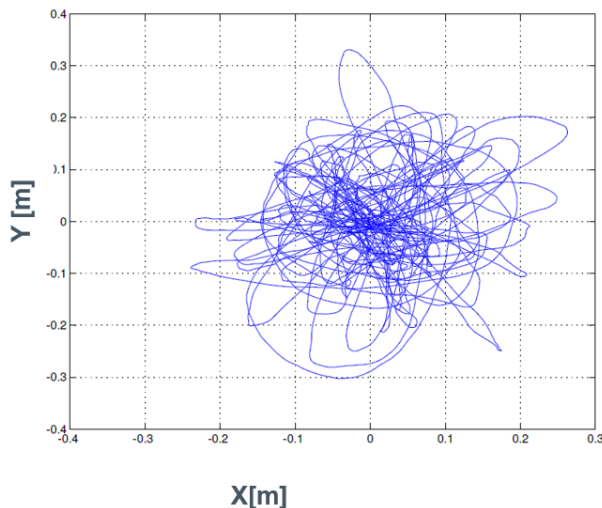
อยู่ในเส้นทางที่กำลังเคลื่อนที่ และเตรียมการหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้น หรือเป็นการสร้างหลุมพลังงานดังรูปที่ 4 เพื่อให้หุ่นยนต์พยายามเดินไปที่จุดต่ำที่สุดเสมอโดยการกำหนดให้จุดที่ต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเป็นจุดต่ำที่สุดของหลุมพลังงาน[3,4,5]



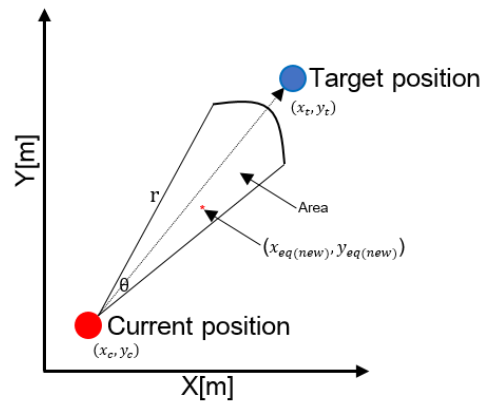
รูปที่ 4 แสดงลักษณะของ Potential Field

4.1 วิธีการ Local Potential Method

วิธีการ Local Potential Method นี้จะใช้แนวคิดพื้นฐานเดียวกับวิธีการ Potential Method แต่ในที่นี้ จะพิจารณาแค่พื้นที่ใกล้ๆ เท่านั้นโดยให้พื้นที่นั้นมีลักษณะเป็นแค่พื้นที่ของกรวย(Cone) และจะสร้างหลุมพลังงานขึ้นมาภายในกรวยนี้(Equilibrium points) เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในหลุมพลังงานนั้น และภายใต้สมมุติฐานว่าในอวกาศหุ่นยนต์ถูกรบกวนด้วยสภาวะรอบข้างอยู่ตลอดเวลา เช่น ลมสุริยะ(Solar Wind) และอิทธิพลจากแรงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal Force) จึงส่งผลให้หุ่นยนต์ไม่สามารถอยู่นิ่งได้ มีการขยับ ไปมาอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการเคลื่อนที่ใกล้เคียงการเคลื่อนที่แบบสุ่ม(Random)ดังรูปที่ 5



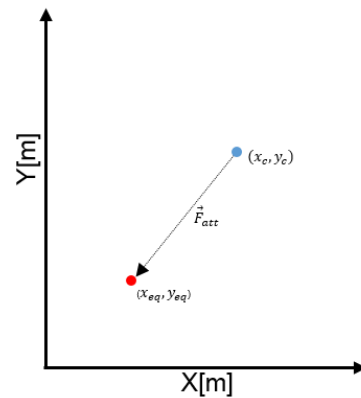
รูปที่ 5 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่แบบสุ่ม(Random)



รูปที่ 6 แสดงการกำหนดพื้นที่ในการสร้าง

Local Potential Field

จากรูปที่ 6 เมื่อ r คือความยาวของกรวย และ θ คือมุมกรวย (Cone Radius) เทียบระหว่างทิศทางของหุ่นยนต์และเป้าหมาย เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ของหุ่นยนต์ ในการทดลองนี้จะกำหนดค่า $r = 0$ และ $\theta = 60$ องศา ในส่วนของงานนี้จะละการพิจารณาค่าของ r และ θ จะทำการพิจารณาถึงผลกระทบและ อิทธิพลของสองตัวแปรนี้ในอนาคตต่อไป



รูปที่ 7 แสดงเวกเตอร์ของแรงดึงดูดกลับ(F_{att})

แรงดึงดูดที่เกิดจาก Local Potential เป็นแรงซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของจุดสมดุล (Equilibrium point) และตำแหน่งของหุ่นยนต์ ณ ขณะนั้น(Current position) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นเปรียบเสมือนพื้นที่เล็กของ Potential Field ในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นจุด Local point และแรงดึงดูดที่เกิดจาก Local Potential จะเป็นแรงที่กระทำต่อหุ่นยนต์เพื่อไม่ให้

AME-2002

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกไปไกลมากจากตำแหน่งสมดุลง่ายที่ได้ทำการกำหนดค่าไว้ดังแสดงในรูปที่ 7 และเป็นดังสมการ

$$F_{att} = \alpha \|(\vec{p} - \vec{q})\| \quad (20)$$

โดยที่

$$\vec{p} = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix}, \vec{q} = \begin{bmatrix} x_{eq} \\ y_{eq} \end{bmatrix}$$

เมื่อ (x_c, y_c) คือ ตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์

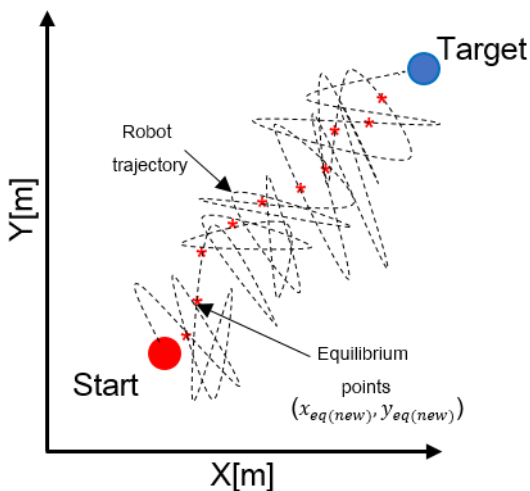
(x_{eq}, y_{eq}) คือ ตำแหน่งของจุดสมดุลง่าย

α คือ ค่าคงที่

ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้วิธีการ Local Potential Method กับระบบดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2 และ 3

4.2 ตัวอย่างการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการ Local Potential Method

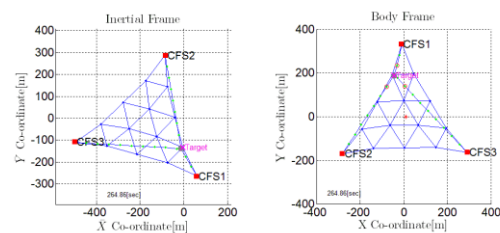
วิธีการ Local Potential Method เมื่อกำหนดเป้าหมายที่ต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามพฤติกรรมของหุ่นยนต์ จะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม และจะมีความน่าจะเป็น ครั้งหนึ่งที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในทิศทางของเป้าหมายหรืออีกนัยยะหนึ่งคือ หุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในพื้นที่กรวย(Cone Area) ต่อมาจะทำการสร้างหลุมพลังงานขึ้นมาใหม่ โดยกำหนดจุดใหม่ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าไปนี้เป็นจุดสมดุลง่ายจุดใหม่ $(x_{eq(new)}, y_{eq(new)})$ ดังรูปที่ 8 และส่งผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบสุ่มอยู่ภายในหลุมพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ และจะเป็นเช่นนั้นไปเรื่อยๆจนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ถึงเป้าหมายที่ถูกกำหนดดังรูปที่ 8



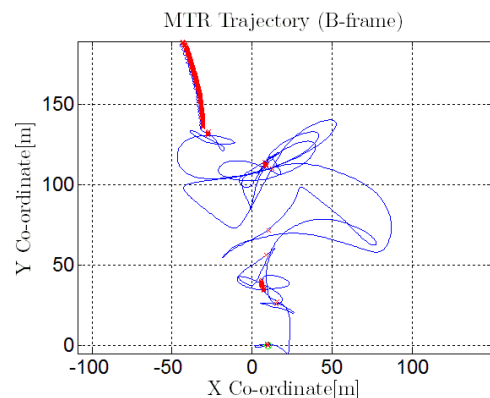
รูปที่ 8 แสดงลักษณะเดินทางของหุ่นยนต์โดยใช้วิธีการ Local Potential Method

5. ผลลัพธ์

จากรูปที่ 9 จะพบว่าหุ่นยนต์สามารถเดินทางไปยังเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง และเมื่อทำการทดลองโดยการเปลี่ยนจุดเป้าหมายเป็นจุดอื่นๆ ซึ่งหุ่นยนต์ก็สามารถเคลื่อนที่ไปถึงจุดเป้าหมาย และจากรูปที่ 10 จะพบว่าแนวการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนจุดสมดุลง่ายมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 8



รูปที่ 9 แสดงผลการทดลองด้วยวิธีการ Local Potential Method



รูปที่ 10 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และจุดสมดุลง่าย(Equilibrium points)

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ถึงเป้าหมายที่ถูกกำหนดได้อย่างถูกต้อง และเนื่องจากวิธีการ Local Potential Method ไม่มีความซับซ้อนในการคำนวณจึงใช้เวลาและทรัพยากรของระบบประมวลผลไม่มาก และไม่จำเป็นต้องมีมนุษย์ช่วยในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ให้เมื่อต้องการไปยังเป้าหมายใหม่ แต่จะพบว่าวิธีการนี้ยังไม่สามารถคาดเดาเวลาในการเคลื่อนที่

AME-2002

ของหุ่นยนต์ได้ว่าจะใช้เวลาอย่างน้อยเพียงใดเพื่อไปถึงยังเป้าหมายซึ่งในอนาคตจะทำการปรับปรุงในส่วนนี้ต่อไปและทำการพิจารณาค่า r และ θ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1

ซึ่งภายใต้สมมุติฐานที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นตัวชี้ว่าวิธีการ Local Potential Method อาจจะเป็นหนึ่งในวิธีการอื่นๆที่สามารถทำให้หุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยเชือกนี้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Oda and E. Agency, "Proposal of a tethered space walking robot Mitsushige Oda Japan Space Exploration Agency," pp. 2-5.
- [2] P. SAISUDJARIT, S. NAKASUKA, "Planar Position Control of Multi-Tethered-Robot on a loose net in microgravity", Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space sciences, JSASS-D-12-00003R2, 2012.
- [3] J. Borenstein and Y. Koren, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots in cluttered environments," Proceedings., IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 572-577, 1990.
- [4] O. Khatib, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile Robots", The International Journal of Robotics Research, Vol. 5, No. 1, 1986, pp. 90-98.
- [5] S.S. Ge, and Y.I. Cui, "Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method", Autonomous Robots, Vol. 13, 2002, pp.207-222.
- [6] S. Motohashi, T. Nagamura, "Large scaled membrane structure Furoshiki Satellite-its concept and orbital/attitude dynamics", Proceedings of 20th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), p. 96-n-14, 1996.
- [7] S. Nakasuka, H. Sahara, et al., "Large "Furoshiki" Net Extension in Space – Sounding Rocket Experiment Results," Flexible Structure Control, 17th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Jun., 2007.
- [8] Vienna University of Technology, "Roby Space an Autonomous Mobile Mini Robot for the Project [9] Robotic Experiment on Japanese Sounding Rocket", Institute of Handling Devices and Robotics (IHRT).
- [10] Leopold Summerer, Bernhard Putz, Peter Kopacek, and Nobuyuki Kaya, "Robots moving on a loose net in microgravity – Results from the Japanese Furoshiki sounding rocket experiment ", ASTRA WS, 2006.
- [11] M. Oda, et.al., "Proposal of a Tethered Space Walking Robot - REX-J: Robot Experiment on JEM -", Transactions of the Japan society for aeronautical and space Sciences, space technology japan 7(ists26), 2009.