การสร้างกำแพงเสมือนสำหรับหุ่นยนต์แขนกลนำ-แขนกลตาม ด้วยระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล

Virtual Fixtures for Master-Slave Robot using a Potential Field Method

คณัสนันท์ บรรพกาญจน์[1], วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330
* ติดต่อ โทร 022186585, โทรสาร 022186583
E-mail : Kanutsanant.Ba@Student.chula.ac.th, Viboon.S@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาระบบแขนกลนำ-แขนกลตามชนิดมีการสะท้อนกลับของแรง ทำงานร่วมกับระบบกำแพงเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นด้วยระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล (Potential Field Method) เพื่อเพิ่มความแม่นยำและควบคุมตำแหน่งระหว่างการทำงานให้อยู่ภายในพื้นที่ที่กำหนด โดยระบบกำแพงเสมือนดังกล่าวอ้างอิงสมการของซิกก์มอยด์ (Sigmoid function) และเกาส์เซียน (Gaussian function) เพื่อสร้างกำแพงเสมือนชนิดที่สามารถป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้าม (Forbidden Region) และชนิดนำทาง (Guidance) ตามลำดับ ผลจากการทดลองเบื้องต้นเป็นการตรวจสอบศักยภาพของกำแพงเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นด้วยระเบียบวิธีสนามโพเทน-เทียล

คำหลัก: แขนกลนำ-แขนกลตาม, กำแพงเสมือน, ระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล

Abstract

This paper reports development of Virtual fixtures using a Potential field method in Master-Slave operation to improve accuracy of the operation and prevent over travelling beyond a desired boundary. This method is referred to the Sigmoid function and the Gaussian function to generate a Forbidden-region virtual fixture and a Guidance virtual fixture respectively for specified workspace. The preliminary experiment shows the possibility of further development to improve Master-Slave operation tasks.

Keywords: Master-Slave Manipulator, Virtual Fixture, Potential Field Method.

1. บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น มีการประยุกต์ใช้ในหลายรูปแบบของภารกิจ เช่น อุตสาหกรรมการประกอบชิ้นส่วน การสำรวจและตรวจสอบด้วยการควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลในบริเวณที่อันตรายต่อการเข้าถึง หรือแม้กระทั่งหุ่นยนต์ที่ช่วยในการรักษาทางการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งในทางการแพทย์นั้น การมีหุ่นยนต์ที่สามารถทำการรักษาผ่าตัดผู้ป่วยทางไกลได้จะช่วยให้ผู้ป่วยมีโอกาสเข้าถึงแพทย์ที่มีความชำนาญ

มากขึ้น การรักษามีความสมบูรณ์ แผลมีขนาดเล็กลง และทำให้ผู้ป่วยใช้เวลาในการพักฟื้นที่น้อยลงอีกด้วย

ระบบดังกล่าวเป็นการประยุกต์ใช้ระบบแขนกลนำและแขนกลตามเพื่อดึงเอาข้อดีของทั้งมนุษย์และหุ่นยนต์รวมเข้าไว้ด้วยกัน กล่าวคือระบบแขนกลนำที่ควบคุมโดยมนุษย์จะมีความอิสระ ยืดหยุ่น และมีความสามารถในการตัดสินใจเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า ในขณะที่ระบบแขนกลตามซึ่งเป็นหุ่นยนต์สามารถทำงานในลักษณะที่ต้องการเสถียรภาพและความแม่นยำสูงได้ดีกว่า เปรียบเสมือนเป็นการขยายความสามารถในการทำงานของมนุษย์

โดยปกติ รูปแบบการทำงานของแขนกลนำ-แขนกลตามมักมีการใช้งานกำแพงเสมือน (Virtual Fixture) เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของระบบเสมอ เพื่อนำทางหรือจำกัดพื้นที่การทำงานของผู้ใช้ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะของงานที่ต้องการกระทำ เช่น กำแพงเสมือนรูปทรงลูกบาศก์ ทรงกลม ทรงกระบอก หรือรูปทรงอื่นๆ โดยกำแพงเสมือนดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้น เมื่อการสั่งงานของผู้ใช้มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการล่วงล้ำออกนอกพื้นที่ ระบบของแขนกลจะสร้างแรงสะท้อนกลับเพื่อต้านการเคลื่อนที่นั้น

ในอดีต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกำแพงเสมือนนั้น กำแพงจะถูกสร้างขึ้นที่บริเวณขอบของพื้นที่ ในกรณีที่ผู้ใช้ยังเคลื่อนที่เข้าไปไม่ถึงบริเวณกำแพงเสมือน จะไม่มีการสร้างแรงสะท้อนกลับ แต่เมื่อการเคลื่อนที่นั้นเคลื่อนเข้าถึงกำแพงเสมือน แรงที่เกิดขึ้นในทันทีทันใด อาจทำให้ผู้ใช้รู้สึกถึงการกระแทก สร้างความไม่ต่อเนื่องในการทำงานขึ้นได้ นอกจากนี้ในบางกรณียังทำให้เกิดการเคลื่อนที่ล้ำแนวกำแพงเสมือนออกไปอีกด้วย ต่อมาแนวคิดกำแพงเสมือนเคลื่อนที่ได้ [1] ถูกเสนอขึ้น โดยแนวคิดนี้จะทำนายการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ และสร้างกำแพงเสมือนขึ้นล่วงหน้าเพื่อช่วยชดเชยการเคลื่อนที่ล้ำแนวที่อาจเกิดขึ้นได้ และเพิ่มสปริง-แดมเปอร์เสมือนเข้าไปบนกำแพงเสมือน ทำให้ผู้ใช้รู้สึกถึงความต่อเนื่องของแรงที่เกิดขึ้น

ในบทความนี้นำเสนอถึงแนวคิดที่ใช้ระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล อ้างอิงจากสมการของซิกก์มอยด์และเกาส์เซียน เพื่อสร้างกำแพงเสมือนที่สะท้อนแรงกลับได้ต่อเนื่องและราบเรียบมากขึ้น มีการเพิ่มขนาดของแรงเมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่เข้าใกล้กำแพงเสมือนมากขึ้นเรื่อยๆ

ในบทความนี้ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ ส่วนที่ 2 นำเสนอระบบหุ่นยนต์แขนกลนำ-แขนกลตามที่ถูกพัฒนาขึ้น รวมทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการการเคลื่อนที่ของแขนกล ในส่วนที่ 3 นำเสนอแนวคิดของกำแพงเสมือนด้วยระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล ซึ่งอ้างอิงสมการของซิกก์มอยด์และเกาส์เซียน และส่วนที่ 4 - 6 เสนอการทดลองเบื้องต้นของกำแพงเสมือนด้วยระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ถูกปรับให้พอดีกับความรู้สึกของผู้ใช้งาน

2. ระบบหุ่นยนต์แขนกลนำ-แขนกลตาม

ระบบหุ่นยนต์แขนกลนำ-แขนกลตามนี้ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ด้านการวิจัยและพัฒนาสำหรับการทดลองขนาดเล็ก มีการสร้างแรงสะท้อนกลับสู่ผู้ใช้งานที่ด้านแขนกลนำ

2.1 แขนกลนำ PHANTOM Omni Haptic Device

PHANTOM® Omni™ Haptic Device แสดงในรูปที่ 1 โดยบริษัท SensAble Technologies เป็นแขนกลประเภทอนุกรม 6 องศาอิสระ สามารถวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปลายแขนได้ที่ระดับความละเอียด 0.055 มิลลิเมตร และสามารถวัดมุมหมุนของปลายแขนได้ สร้างแรงสะท้อนกลับใน 3 ทิศทางบนพิกัดฉากคาร์ทีเซียน ลักษณะของแขนกลเลียนแบบลักษณะกายภาพของแขนและมือของมนุษย์

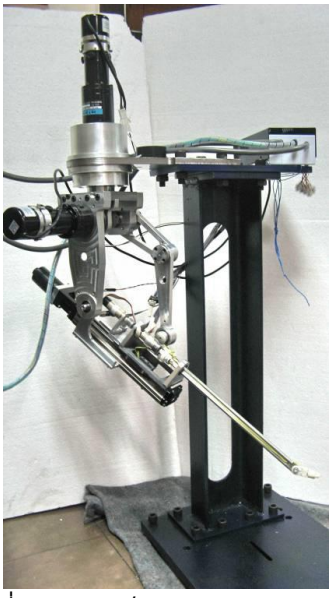
รูปที่ 1 แขนกลนำ PHANTOM Omni Haptic Device

DRC-2010

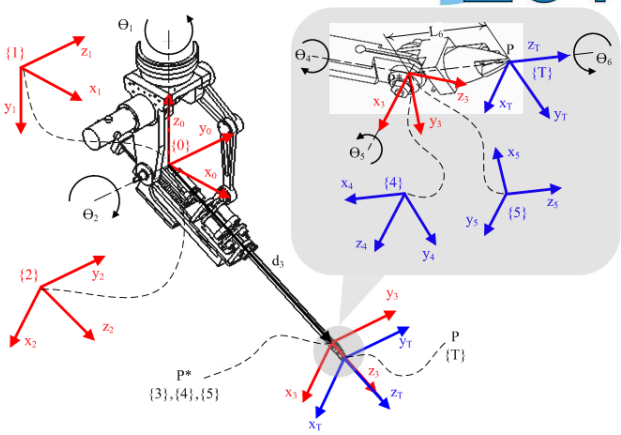
2.2 แขนกลตาม RCRT-1 Manipulator

หุ่นยนต์แขนกลตาม RCRT-1 Manipulator (Regional Center of Robotic Technology No.1 Manipulator) ดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นแขนกลประเภทอนุกรม 6 องศาอิสระเช่นเดียวกับแขนกลนำ สามารถวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปลายแขนได้ที่ระดับความละเอียด 0.5 มิลลิเมตร ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ด้านการวิจัยและพัฒนาสำหรับการทดลองขนาดเล็ก เช่น การประกอบชิ้นส่วนบนแผงวงจร หรือการผ่าตัดจำลอง

ด้านโครงสร้างของหุ่นยนต์แขนกลตาม RCRT-1 Manipulator ถูกออกแบบให้มีโครงสร้างอนุกรม 6 องศาอิสระ โดยมีข้อต่อของหุ่นยนต์เรียงตามลำดับดังนี้ R-R-P-R-R-R (R: Revolute joint, P: Prismatic joint) สร้าง Denavit-Hartenberg Parameters ได้ตามตารางที่ 1 อ้างอิงการตั้งแกนตามรูปที่ 3 แต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยเซอโวมอเตอร์ พร้อมชุดเกียร์ทดและอุปกรณ์วัดมุมทั้งแบบสัมพัทธ์และสัมบูรณ์ ลักษณะโครงสร้างเลียนแบบแขนและมือของมนุษย์เช่นเดียวกับแขนกลนำ เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการควบคุมการทำงานในลักษณะแขนกลนำ-แขนกลตาม มีสมการแบบจำลองทางพลศาสตร์ (Dynamics Model) ของระบบอ้างอิงตามบทความ “ระบบแขนกลนำและตาม 6 องศาอิสระสำหรับงานขนาดเล็ก” [2]



รูปที่ 2 หุ่นยนต์แขนกลตาม RCRT-1



รูปที่ 3 แกนอ้างอิงสำหรับ Denavit-Hartenberg Parameters

ตารางที่ 1 Denavit-Hartenberg Parameters ของหุ่นยนต์แขนกลตาม RCRT-1 Manipulator

i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	L_1	-90°	0	θ_1
2	0	90°	0	θ_2
3	0	0	d_3	0
4	0	-90°	0	θ_4
5	0	90°	0	θ_5
T	0	0	L_6	θ_6

3. กำแพงเสมือนระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล

กำแพงเสมือนโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้สองประเภทจากลักษณะการใช้งาน ได้แก่ กำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้าม และกำแพงเสมือนชนิดนำทาง เมื่อผู้ใช้สั่งการแขนกลให้เคลื่อนที่เข้าใกล้กำแพง ระบบจะสร้างแรงสะท้อนกลับขึ้นบนแขนกลนำเพื่อต้านการเคลื่อนที่ดังกล่าว นอกจากนี้รูปแบบของแรงที่ระบบสร้างขึ้นยังขึ้นอยู่กับลักษณะของกำแพงอีกด้วย เช่น กำแพงเสมือนทั่วไป กำแพงเสมือนแบบมีสปริง-แดมเปอร์ กำแพงเสมือนเคลื่อนที่ได้ [1] ซึ่งทำนายการเคลื่อนที่ของแขนกลล่วงหน้า และอีกรูปแบบหนึ่งคือ กำแพงเสมือนที่สร้างการสะท้อนกลับของแรงด้วยระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล ซึ่งอ้างอิงสมการของซิกก์มอยด์และเกาส์เซียน

3.1 กำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้ามด้วยสมการซิกก์มอยด์

ในการสร้างกำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้าม แรงสะท้อนกลับที่ถูกสร้างขึ้นจะอย่างอิงอยู่บนสมการของซิกก์มอยด์ ดังแสดงในสมการที่ 1

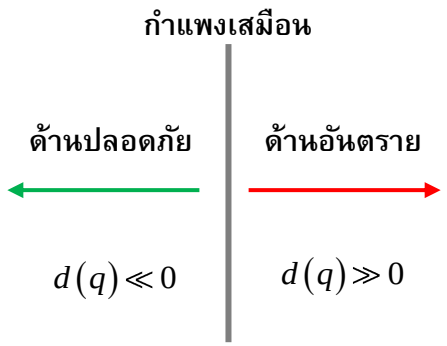
$$f(q)=\frac{1}{1+e^{-\gamma d(q)}} \qquad (1)$$

โดย $f(q)$: แรงสะท้อนกลับ

$d(q)$: ระยะทางจากกำแพงเสมือน

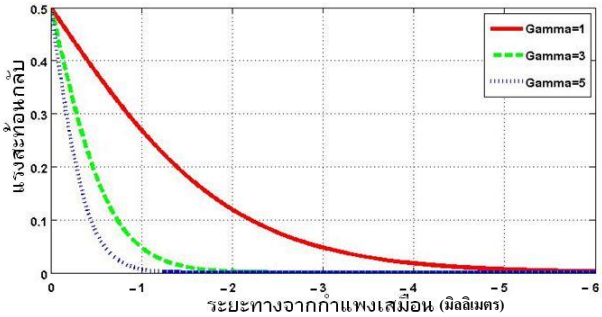
γ : ค่าแกมมา (พารามิเตอร์ปรับค่าได้)

จากสมการจะเห็นว่าระยะทางจากกำแพงเสมือนแสดงในรูปที่ 4 เมื่อปลายแขนกลเคลื่อนที่อยู่ภายในกำแพงเสมือนด้านที่ปลอดภัย นั่นคือ $d(q)\ll 0$ แรงสะท้อนกลับที่เกิดจากสมการซิกก์มอยด์จะมีค่าเป็น 0 แต่เมื่อปลายแขนกลเคลื่อนที่ออกภายนอกกำแพงเสมือนเข้าสู่ด้านอันตราย นั่นคือ $d(q)\gg 0$ แรงสะท้อนกลับที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็น 1 และหากพิจารณาเมื่อปลายแขนกลอยู่ที่บริเวณกำแพงเสมือนพอดี $d(q)=0$ แรงสะท้อนกลับจะมีค่าคงที่อยู่ที่ 0.5 ตลอดแนวของกำแพงเสมือน ซึ่งเมื่อขยายค่านี้ด้วยตัวคูณขนาดของแรงที่เพียงพอจะทำให้กำแพงเสมือนต้านการล้ำแนวของแขนกลได้



รูปที่ 4 การวัดระยะทางจากกำแพงเสมือน $d(q)$

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ปรับค่าได้ (γ) โดยค่าแกมมานี้จะช่วยให้เราสามารถบีบหรือขยายระยะทางจุดเริ่มต้นของการสร้างแรงสะท้อนกลับด้วยการเพิ่มและลดค่าแกมมานี้ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลของแรงและระยะทางที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าแกมมา

3.2 กำแพงเสมือนชนิดนำทางด้วยสมการเกาส์เซียน

กำแพงเสมือนชนิดนำทางเปรียบเสมือนการบังคับการเคลื่อนไหวของแขนกลให้อยู่บนเส้นทางที่กำหนดไว้แล้วล่วงหน้า โดยสมการของเกาส์เซียนสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2

$$f(q)=1-\exp\left(-\left(\frac{d(q)^2}{\delta^2}\right)^m\right) \qquad (2)$$

โดย $f(q)$: แรงสะท้อนกลับ

$d(q)$: ระยะทางจากกำแพงเสมือน

δ : เดลต้า (พารามิเตอร์ปรับค่าได้)

m : เอ็ม (พารามิเตอร์ปรับค่าได้)

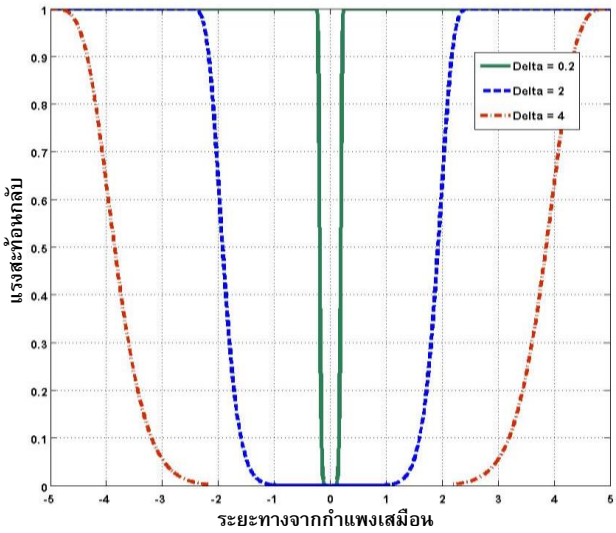
จากสมการของเกาส์เซียนจะเห็นว่าแรงสะท้อนกลับจากสมการมีความต่อเนื่องซึ่งช่วยลดการสั่นสะเทือนที่ไม่ต้องการของแขนกลได้ และกำแพงเสมือนที่เกิดจากสมการเกาส์เซียนนี้ยังบังคับให้แขนกลอยู่ในเส้นทางที่กำหนดตลอดเวลาอีกด้วย แต่ในขณะเดียวกัน การทำงานจริง ผู้ใช้งานควรได้รับพื้นที่ในการทำงานที่มากเพียงพอเพื่อให้สะดวกสบายต่อ

DRC-2010

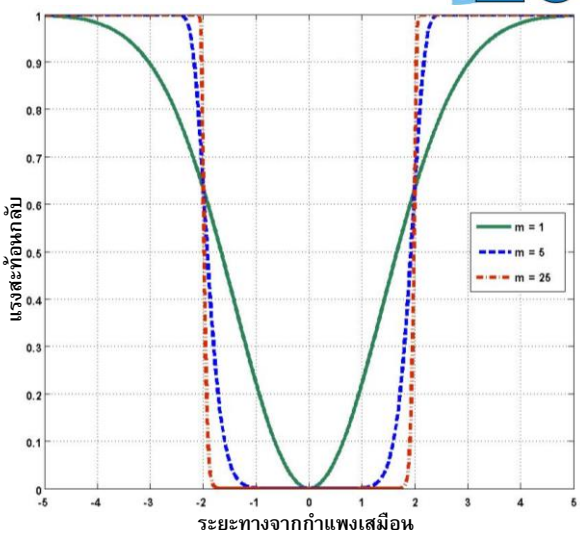
การทำงาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับค่าตัวแปรเดลต้า(δ) และเอ็ม(m)ให้เหมาะสม

ผลของการปรับค่าของเดลต้า รูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเดลต้า ผลที่ได้คือพื้นที่การทำงานในช่วงที่ระบบยังไม่มีการสร้างแรงสะท้อนกลับจะกว้างมากขึ้น ช่วยให้ผู้ใช้ทำงานได้อย่างมีอิสระและเมื่อแขนกลเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่แรงสะท้อนกลับจะเพิ่มมากขึ้นช่วยให้แขนกลยังอยู่ในขอบเขตที่กำหนดได้ดังเดิม

ในรูปที่ 6 แสดงผลของการปรับค่าเอ็ม ซึ่งจะเห็นว่าเอ็มมีผลต่อความชันของสมการช่วงที่เกิดการสร้างแรงสะท้อนกลับ หากเราปรับค่าเอ็มให้มีค่าน้อย เช่น $m=1$จะเห็นว่ามีแรงสะท้อนกลับเกิดขึ้นทันทีเมื่อมีการออกนอกพื้นที่เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้ทำงานได้ไม่สะดวกเนื่องจากมีแรงกระทำอยู่เกือบตลอดเวลา แต่เนื่องจากความชันที่น้อยทำให้ลักษณะของแรงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนถึงจุดสูงสุดในทางกลับกัน การเพิ่มค่าเอ็มให้มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ความชันของเส้นสมการมากขึ้น นั่นคือแรงสะท้อนกลับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อออกนอกเส้นทางที่กำหนด ซึ่งสามารถทำให้เกิดการสั่นของแขนกลขึ้นได้ เนื่องจากลักษณะของแรงจะคล้ายกับการเปิด-ปิด แต่ว่าค่าเอ็มที่มากๆนี้ พื้นที่ในการทำงานจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งเพิ่มอิสระให้กับผู้ใช้งาน โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นนี้จะถูกจำกัดโดยค่าเดลต้า ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น



รูปที่ 6 ผลของการเพิ่มค่าเดลต้า เมื่อให้เอ็มคงที่



รูปที่ 7 ผลของการปรับค่าเอ็ม เมื่อเดลต้าคงที่

4. การทดลอง

ในการทดลองเบื้องต้นของกำแพงเสมือน รูปแบบแรก กำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้ามด้วยสมการซิกก์มอยด์ กำแพงเสมือนจะถูกสร้างเป็นทรงลูกบาศก์ ความยาวด้านละ 30 มิลลิเมตร สร้างกำแพงเสมือนทางฝั่งแขนกลนำ PHANTOM® Omni™ Haptic Device โดยในการทดลองจะทดสอบการล้ำแนวกำแพงเสมือนทางด้านขวาของลูกบาศก์ (แกน +X) และทำการปรับค่าแกมมา เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อความรู้สึกของผู้ใช้งาน โดยค่าแกมมาที่ทำการทดลองคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ วิธีการทดลองทำโดยพยายามเคลื่อนที่จากบริเวณศูนย์กลางของลูกบาศก์ เข้าหากำแพงเสมือนทางด้านขวา เก็บค่าตำแหน่งของปลายแขนกลตาม นำมาสร้างแผนภูมิเพื่อตรวจสอบว่ากำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้ามด้วยสมการซิกก์มอยด์ สามารถป้องการการล้ำแนวได้จริงหรือไม่ และเลือกค่าแกมมาที่เหมาะสมกับการทำงานมากที่สุด

การทดลองรูปแบบที่สอง กำแพงเสมือนชนิดนำทางด้วยสมการเกาส์เซียน การทดลองนี้จะกำหนดเส้นทางเดินล่วงหน้าเป็นเส้นตรง สร้างกำแพงเสมือนทางฝั่งแขนกลนำเช่นเดียวกับการทดลองแรก ทำการทดลองโดยการเคลื่อนที่ตามเส้นทางและเก็บค่าตำแหน่งของปลายแขนกลตาม นำมาสร้างแผนภูมิ

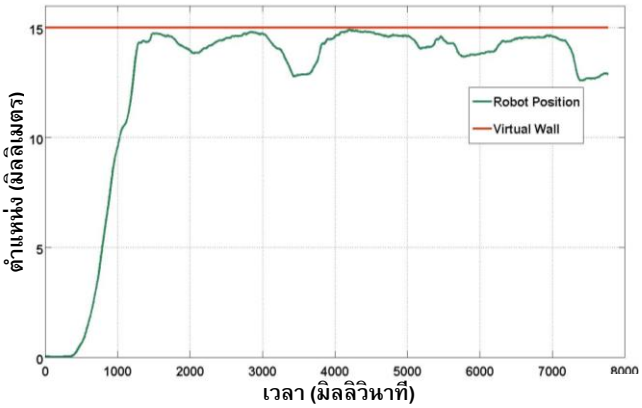
DRC-2010

เพื่อตรวจสอบว่ากำแพงเสมือนชนิดนำทางด้วยสมการเกาส์เชียน สามารถนำทางผู้ใช้งานได้จริงหรือไม่ และปรับค่าตัวแปรเดลต้า และตัวแปรเอ็ม โดยช่วงของการปรับค่าเดลต้าคือ 0.5, 1, 2 และ 3 และช่วงของการปรับค่าตัวแปรเอ็ม คือ 1, 3 และ 5 เพื่อหาค่าที่สร้างแรงสะท้อนกลับได้เหมาะสมกับความรู้สึกของผู้ใช้งาน

5. ผลการทดลอง

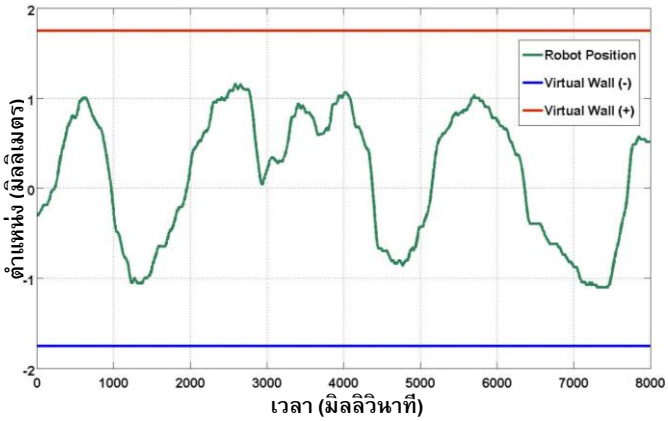
ผลการทดลองกำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้ามด้วยสมการซิกก์มอยด์ดังแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นว่าตำแหน่งของปลายแขนกลไม่มีการล่วงล้ำออกนอกกำแพงเสมือนที่กำหนดไว้

เมื่อทำการปรับค่าแกมมา ที่ค่า $\gamma = 1$ กำแพงเสมือนที่ได้ให้ความรู้สึกนุ่มเกินไป และมีระยะตั้งแต่จุดที่เริ่มรู้สึกถึงแรงสะท้อนกลับที่กว้าง ค่า $\gamma = 2$ กำแพงเสมือนที่ได้ให้ความรู้สึกหนืดคล้ายกำแพงโฟม และมีระยะตั้งแต่จุดที่เริ่มรู้สึกถึงแรงสะท้อนกลับที่ให้ความรู้สึกพอดี ไม่แคบเกินไป ค่า $\gamma = 3$ กำแพงเสมือนเริ่มให้ความรู้สึกแข็ง และมีระยะที่ค่อนข้างแคบกว่า ค่า $\gamma = 4$ กำแพงเสมือนมีความแข็งกระด้างและมีระยะที่แคบมาก ค่า $\gamma = 5$ ความรู้สึกที่เกิดขึ้นเหมือนถูกกระแทกด้วยกำแพงเสมือน และไม่สามารถรับรู้ถึงระยะที่เริ่มรู้สึกถึงแรงสะท้อนกลับได้



รูปที่ 8 ผลการทดลองกำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้ามด้วยสมการซิกก์มอยด์

การทดลองที่สอง กำแพงเสมือนชนิดนำทางด้วยสมการเกาส์เชียน จากรูปที่ 9 กำแพงเสมือนสามารถนำทางผู้ใช้ไม่ให้เคลื่อนที่หลุดออกนอกเส้นทางได้



รูปที่ 9 กำแพงเสมือนชนิดนำทางด้วยสมการเกาส์เชียน

ผลจากการปรับค่าตัวแปร ค่า $\delta = 0.5$ ระยะของกำแพงเสมือนค่อนข้างแคบมาก ค่า $\delta = 1$ ระยะของกำแพงเสมือนยังคงให้ความรู้สึกที่แคบและไม่มีอิสระอยู่ ค่า $\delta = 3$ ระยะของกำแพงเสมือนกว้างมากพอที่จะสร้างพื้นที่ในการใช้งาน ค่า $\delta = 5$ ระยะของกำแพงเสมือนกว้างเกินไปและการเคลื่อนที่ไม่รู้สึกถึงแรงสะท้อนกลับ และเมื่อทดลองปรับค่าตัวแปรเอ็ม ที่ค่า $m = 1$ แรงสะท้อนกลับให้ความรู้สึกของกำแพงที่ไม่แข็งและอ่อนจนเกินไป ค่า $m = 3$ แรงสะท้อนกลับเริ่มสร้างความรู้สึกกระแทกเล็กน้อย ค่า $m = 5$ แรงสะท้อนกลับทำให้เกิดอาการสั่นและไม่มีเสถียรภาพ

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า กำแพงเสมือนชนิดป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้ามด้วยสมการซิกก์มอยด์สามารถป้องกันการล้ำแนวออกสู่พื้นที่อันตรายได้ และค่าตัวแปรแกมมาที่เหมาะสมคือ 3 ด้านกำแพงเสมือนชนิดนำทางด้วยสมการเกาส์เชียนสามารถนำทางผู้ใช้ให้อยู่บนเส้นทางที่กำหนดได้เช่นกัน และค่าตัวแปรเดลต้าและเอ็มที่เหมาะสมคือ 3 และ 1 ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นว่าการใช้กำแพงเสมือนที่สร้างขึ้นโดยอ้างอิงระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียล เมื่อเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีอื่นๆ เช่น กำแพงเสมือนชนิดสปริง กำแพงเสมือนชนิดสปริง-แดมเปอร์ หรือกำแพงเสมือนเคลื่อนที่ได้ เป็นต้น จะ

พบว่ากำแพงเสมือนที่สร้างขึ้นโดยอ้างอิงระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียลนั้น มีข้อได้เปรียบ ดังนี้

1. กำแพงเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นสามารถป้องกันการล่วงล้ำเข้าสู่พื้นที่ต้องห้ามได้ดีกว่า เนื่องจากมีการสะท้อนกลับของแรงล่วงหน้าเสมือนเป็นการเตือนเบื้องต้นสำหรับผู้ใช้งาน
2. แรงสะท้อนกลับที่ถูกสร้างขึ้นจากระเบียบวิธีสนามโพเทนเทียลมีความต่อเนื่องและราบเรียบ ที่ระยะห่างจากกำแพงเสมือนมากๆ แรงสะท้อนกลับจะมีค่าเพียงเล็กน้อย แต่จะเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณเมื่อระยะห่างดังกล่าวลดลง ต่างจากแบบอื่นๆที่แรงสะท้อนกลับและระยะห่างจะมีแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง
3. ตัวแปรที่ควบคุมลักษณะของสนามโพเทนเทียลมีเพียงหนึ่งหรือสองตัวเท่านั้น ซึ่งทำให้ง่ายต่อการปรับตั้งค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] นวกร ดิษริยะกุล และ วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ (2555). แนวคิดกำแพงเสมือนแบบเคลื่อนที่ได้สำหรับควบคุมการทำงานของแขนกลนำ-แขนกลตามเพื่อทำงานขนาดเล็ก, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26*, ตุลาคม 2555.

[2] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, สุภชัย วงศ์บุญย์ยง (2551). ระบบแขนกลนำและตาม 6 องศาอิสระสำหรับงานขนาดเล็ก, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22*, 15-17 ตุลาคม 2551.

[3] Jing Ren, Rajni V. Patel, Fellow, Kenneth A. McIsaac, Gerard Guiraudon, and Terry M. Peters, Dynamic 3-D Virtual Fixtures for Minimally Invasive Beating Heart Procedures, *IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING,* VOL. 27, NO. 8, AUGUST 2008, Page 1061-1070.

[4] SensAble Technologies Inc. (2008). PHANTOM Omni® Haptic Device [Online], URL: http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm, access on 06/04/2013.