

การออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์เพื่อควบคุมแขนกล

The Design and Construction of System to Haptic Control of the Robot Arm

ยุทธนา ปิติธิภาพ¹ นันทชัย ทองแป้น¹ และ ชูตินันท์ เสาจิน¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต

52/347 เมืองเอก ตำบลหลักหก อำเภอเมือง ปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-997-2200-30 ต่อ 1452 E-mail: yutpiti.piak@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการการศึกษาออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์เพื่อควบคุมแขนกล โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการควบคุมการเคลื่อนไหว ผลการจัดทำโครงงานสามารถออกแบบและสร้างระบบควบคุมป้อนกลับแบบสัมผัสเพื่อควบคุมแขนกล ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ 1) ภาควงจับสัญญาณ ประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์และ ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า 2) ภาควงประมวลผลสัญญาณใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรม Simulink และ 3) แขนกลที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Catia และสร้างโดยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ผลการทดสอบการทำงานพบว่า โครงงานนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์มาสเตอร์และอุปกรณ์สเลฟโดยมีแรงป้อนกลับ ให้สามารถทำงานตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

คำสำคัญ: ระบบแฮปติกส์, เซอร์โวมอเตอร์, ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า, เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

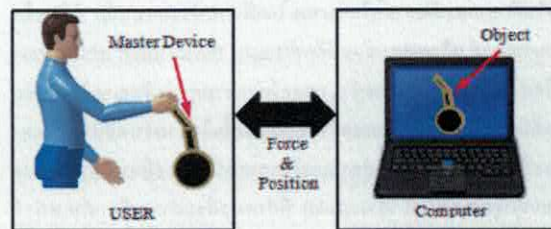
Abstract

The objective of this project was to study on the design and construction of the haptic feedback control system for robotic arm. This project has adopted servo motor to control movement of robotic arm. The designed and constructed of the project composed of 3 main parts : 1) The signal detection consists of a control unit with servomotor and current sensors 2) the signal processing part using Simulink program and microcontroller with C-language program, 3) robot arms designed with Catia program and 3-D printer. The results of functional testing of the project showed that this system can control the movement of the robotic arms and the force feedback to the master device complying with the objectives of the research.

Keywords: Haptic Control, servomotor, current sensors, 3D Printer

1. บทนำ

ระบบแฮปติกส์เป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีการป้อนกลับเพื่อให้รู้สึกถึงการสัมผัส โดยใช้หลักการของแรง การสั่นและการเคลื่อนไหวของพื้นผิวสัมผัสโดยจะทำการติดต่อกันเป็นไปในสองทิศทางเสมอ ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านนี้ได้ถูกพัฒนา และเข้ามามีบทบาทสำคัญ เพื่อตอบสนองความต้องการในด้านการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเกม เครื่องใช้ไฟฟ้า และในด้านการแพทย์ เช่น ระบบฟื้นฟูสมรรถภาพ การผ่าตัดทางไกล เป็นต้น โดยเฉพาะทางการแพทย์มีงานวิจัยหลายๆชิ้นที่มีการพัฒนาหุ่นยนต์ผ่าตัด หรือหุ่นยนต์ที่ทำหน้าที่ตรวจวินิจฉัยในระยะไกล[1] โดยออกแบบแขนและมีมือของหุ่นยนต์ให้มีลักษณะคล้ายมนุษย์ใช้ระบบแฮปติกส์ทำให้ผู้ควบคุมสามารถรู้ความรู้สึกสัมผัสที่ปลายนิ้วทั้งร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่แพทย์ต้องตรวจคลำหาสิ่งผิดปกติของผู้ป่วยที่อยู่ห่างไกลจากโรงพยาบาล ทำให้แพทย์รับรู้ถึงการสัมผัสเสมือนจริง ระบบแฮปติกส์โดยทั่วไปจะมีการใช้งานอยู่ 2 ลักษณะคือ การประยุกต์แฮปติกส์สำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกหรือเทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality) ดังรูปที่ 1 และการประยุกต์ แฮปติกส์สำหรับการทำงานในระยะไกล (Tele Operation) ดังรูป 2 ซึ่งการประยุกต์ใช้งานระบบแฮปติกส์ทั้งสองลักษณะนี้สามารถพบได้ในงานด้านต่างๆ เช่น การบันเทิง การศึกษาวิจัย การทหารและทางการแพทย์

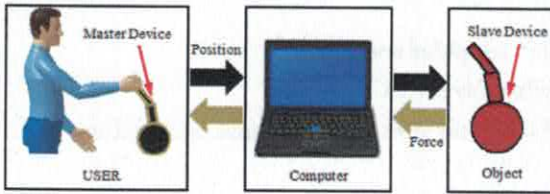


รูปที่ 1 ระบบแฮปติกส์สำหรับสำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand

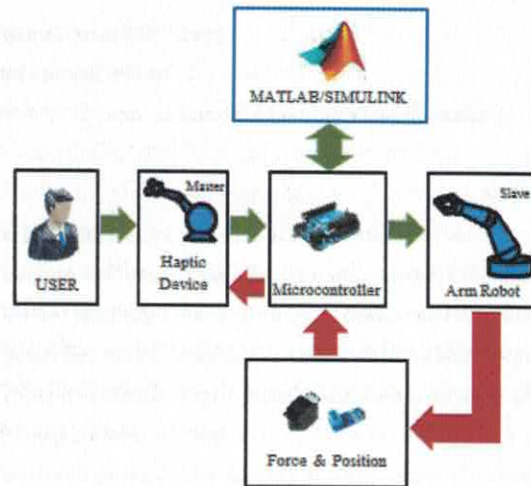


รูปที่ 2 ระบบแฮปติกส์สำหรับการทำงานในระยะไกล

การประยุกต์ใช้ระบบแฮปติกส์สำหรับการทำงานในระยะไกล ในทางการแพทย์จะใช้กับการผ่าตัดภายในขนาดเล็กทำให้ศัลยแพทย์ทำการผ่าตัด โดยควบคุมอุปกรณ์แฮปติกส์ด้านมาสเตอร์และให้อุปกรณ์แฮปติกส์ด้านสเลฟทำงานแทนซึ่งต้องการเปิดเผยในการผ่าตัดขนาดเล็กกว่าการผ่าตัดโดยตรง (Open Surgery) ดังนั้นจึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการพักฟื้นของผู้ป่วยหลังการผ่าตัด อย่างไรก็ตามในการพัฒนาระบบแฮปติกส์อินเตอร์เฟสเพื่อการใช้งานนั้นยังคงต้องการการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแก้ปัญหาเสถียรภาพที่เกิดจากความไม่แน่นอนของระบบด้วยสาเหตุต่างๆ ดังนี้ เช่น ความไม่มีความสัมพันธ์แบบ Passive ของสิ่งแวดล้อม ความไม่แน่นอนที่เกิดจากความไม่เชิงเส้น (Non-Linear) ของ โครงสร้างหุ่นยนต์ มาสเตอร์และหุ่นยนต์สเลฟ ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการประวิงเวลา (Time Delay) ของการส่งสัญญาณควบคุมที่เชื่อมต่อกันระหว่างหุ่นยนต์มาสเตอร์และหุ่นยนต์สเลฟ ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการนำไปใช้งานกับระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ซึ่งความไม่แน่นอนต่างๆเหล่านี้ทำให้ระบบมีสมรรถนะต่ำและอาจขาดเสถียรภาพได้ ส่วนมากในงานวิจัยจะอยู่ในช่วงที่กำลังพัฒนาซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้จริงอีกทั้งในประเทศไทยมีการวิจัยในส่วนนี้น้อยมากทั้งๆที่เป็นระบบที่มีความสำคัญทั้งทางด้าน การแพทย์ อุตสาหกรรมและอื่นๆ เนื้อหาของบทความนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์อย่างง่ายเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบที่จะนำไปศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ตัวมาสเตอร์ หรืออุปกรณ์แฮปติกส์ (Haptic Device) และส่วนของ Slave หรือส่วนที่ถูกควบคุม โดยตัวมาสเตอร์คอยควบคุมส่งสัญญาณ ไปยังแขนกลที่มีการขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้สำหรับหยิบจับสิ่งของ และมีแรงป้อนกลับ ไปสู่อุปกรณ์มาสเตอร์ ถ้าแรงป้อนกลับมีขนาดมากกว่าจุดเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่กำหนดก็จะทำการล๊อคตำแหน่งที่ อุปกรณ์มาสเตอร์สร้างความรู้สึกด้านการสัมผัสให้กับผู้ใช้งานรู้ถึงสภาวะของอุปกรณ์สเลฟว่ารับโหลดมากเกินไป

2. การออกแบบระบบ

จากรูปที่ 3 หลักการออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์ควบคุมแขนกล ส่วนแรกในภาคอินพุตจะเป็นในส่วนของอุปกรณ์มาสเตอร์ เป็นการตรวจจับตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ โดยการเปลี่ยน



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์ควบคุมแขนกล

แปลงของค่าความต้านทานที่อยู่ภายในเซอร์โวมอเตอร์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าแรงดัน ไฟฟ้า แล้วจากนั้นจะเข้าสู่ภาคประมวลผลสัญญาณ ซึ่งใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรม Simulink ข้อมูลที่ถูกประมวลผลจะถูกส่งกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ที่อุปกรณ์สเลฟและมีตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าคอยตรวจจับกระแสไฟฟ้าของเซอร์โวมอเตอร์ในอุปกรณ์สเลฟ สัญญาณที่ตรวจจับได้จะถูกส่งกลับเข้าสู่ภาคประมวลผล ถ้าแรงป้อนกลับมีขนาดมากกว่าจุดเทรชโฮลด์ที่ตั้งค่าไว้จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์เพื่อหยุดการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์และทำการล๊อคตำแหน่งให้รู้อิ่งแรงป้อนกลับ

3. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์มาสเตอร์และอุปกรณ์สเลฟ

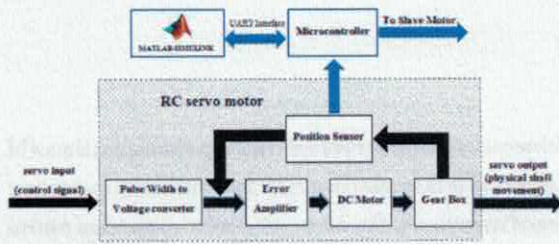
3.1 อุปกรณ์มาสเตอร์

อุปกรณ์มาสเตอร์จะเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์สเลฟกล่าว คือเมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งใดๆ อุปกรณ์สเลฟก็จะเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของอุปกรณ์มาสเตอร์ ดังนั้นที่อุปกรณ์มาสเตอร์จะต้องมีตัวตรวจจับตำแหน่งในการเคลื่อนที่แล้วส่งค่าตำแหน่งที่ได้ไปควบคุมอุปกรณ์สเลฟโดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ เราสามารถแบ่งการออกแบบและสร้างอุปกรณ์มาสเตอร์เป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ใช้ตรวจจับตำแหน่ง และส่วนที่เราทำการออกแบบสร้าง

ส่วนที่ใช้ตรวจจับตำแหน่งของอุปกรณ์มาสเตอร์จากรูปที่ 4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ภายในจะมีตัวตรวจจับตำแหน่งเพื่อนำใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นตัวเซ็นเซอร์

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์มอเตอร์และการตรวจจับตำแหน่ง

วัดค่ามุมมอเตอร์ที่กำลังหมุน และส่งสัญญาณป้อนกลับมาให้วงจรควบคุมเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อควบคุมให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ ตัวตรวจจับตำแหน่งเป็นสัญญาณอนาล็อกถูกส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ A/D 10 บิต แปลงเป็นค่ามุมไปควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ที่อุปกรณ์สเตฟซึ่งหาตำแหน่ง (Resolution) ได้ดังนี้

$$\text{ระดับเลขดิทิตอลฐานสิบ} = 2^n \quad (n \text{ คือ จำนวนบิต}) \quad (1)$$

$$= 2^{10} = 1024$$

$$\text{หาค่าความแยกซัด} = \frac{5V}{1024} = 0.0048 V$$

ค่าความละเอียดในการตรวจจับมุมจะได้

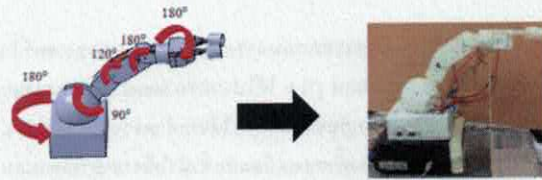
$$= \frac{180}{5V} \times 4.8mV = 0.17 \text{ องศา}$$

การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์มอเตอร์ ใช้โปรแกรม CATIA V5R18 ซึ่งมีทั้งหมด 25 ชิ้นประกอบกันเป็นอุปกรณ์มอเตอร์มีไว้เพื่อควบคุมอุปกรณ์สเตฟ และสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ใช้วัสดุในการพิมพ์เป็นพลาสติกชนิด PLA ขนาด 1.75 มิลลิเมตร ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนความร้อน ราคาถูกและสามารถใช้งานได้ จากรูปที่ 5 อุปกรณ์มอเตอร์ที่เราออกแบบและสร้าง

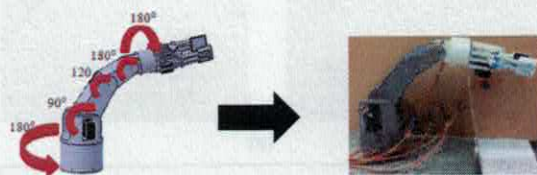
3.1 อุปกรณ์สเตฟ

ลักษณะของอุปกรณ์สเตฟ คือหุ่นยนต์แขนกลแบบ 5 แขน ประกอบด้วยแกนแบบ linear 3 แกน และแกนแบบ Articulated Type 2 แกน รวมเป็น 5 แกน เพื่อให้ทำงานที่ต้องการความซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นจึงเน้นการออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับสรีระแขนของมนุษย์คือ หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือ และใช้หีบห่อสิ่งของออกแบบให้มีลักษณะเป็นกริปเปอร์ ดังรูปที่ 6 ใช้เซอร์โวมอเตอร์ 7 ตัว เป็นตัวขับเคลื่อนดังรูปที่ 6 ใช้เซ็นเซอร์กระแสไฟฟ้า ACS712 ตรวจจับการใช้งานของมอเตอร์ใช้หลักการของ Hall effect ในการวัดกระแสให้แรงดันเอาต์พุต แบบเชิงเส้นมีช่วงการวัดกระแส ±5A output sensitivity เท่ากับ 185 mV/A เอาต์พุตที่ได้มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมากจึงต้องทำการกรองสัญญาณและขยายสัญญาณเพิ่ม ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 7 สัญญาณที่ได้จะถูก

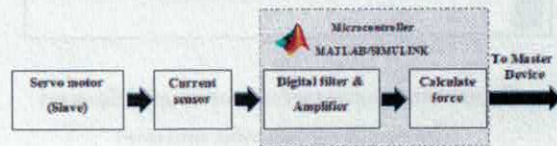
คำนวณและแปลงเป็นหน่วยแรงถ้าเกินระดับที่กำหนดตัวสเตฟจะส่งสัญญาณไปล็อกตำแหน่งของมอเตอร์ไม่ให้ทำงาน



รูปที่ 5 อุปกรณ์มอเตอร์ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CATIA และสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ 6 อุปกรณ์สเตฟที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CATIA และสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ 7 การทำงานของอุปกรณ์สเตฟ

4. ผลการทดลอง

รูปที่ 8 คืออุปกรณ์ต้นแบบที่เราออกแบบและสร้างซึ่งมีผลการทดลองดังนี้



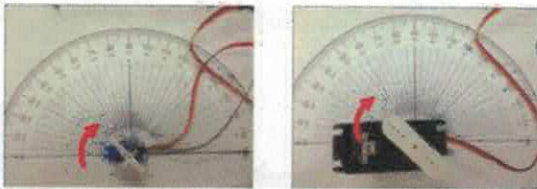
รูปที่ 8 อุปกรณ์ต้นแบบของระบบแอสติกส์ควบคุมแขนกล

บทความวิจัย

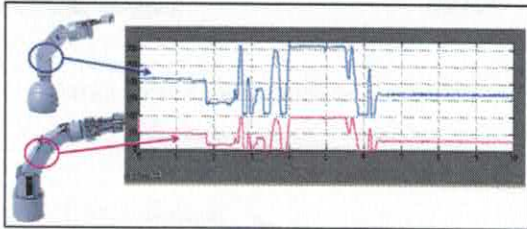
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand

รูปที่ 9 ก คือการทดสอบการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ที่ตัวมอเตอร์และสเตฟ รูป ข ใช้โปรแกรม Simulink แสดงค่ามุมของอุปกรณ์มาสเตอร์เทียบกับข้อมูลที่อ่านได้จากตัวตรวจจับตำแหน่ง. จะเห็นว่าลักษณะกราฟของทั้งสองเหมือนกันซึ่งทำให้เราสามารถควบคุมตำแหน่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



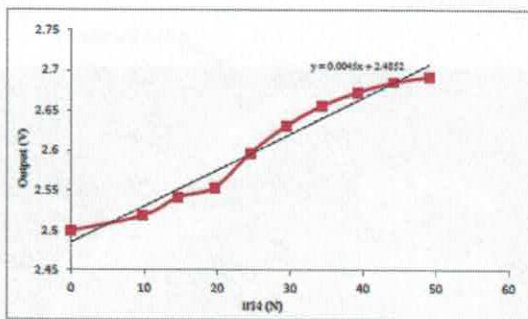
(ก)



(ข)

รูปที่ 9 ผลทดสอบการการตรวจจับตำแหน่งของอุปกรณ์มาสเตอร์เปรียบเทียบกับอุปกรณ์สเตฟที่ตำแหน่งต่างๆ

ทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าเทียบกับแรงที่ได้จากตาชั่งสปริง เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงที่เซอร์โวมอเตอร์กระทำกับวัตถุกับแรงดันไฟฟ้า แสดงกราฟรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันเอาต์พุตของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของระบบควบคุมป้อนกลับแบบสัมผัสเพื่อควบคุมแขนกลเพื่อให้ทำงานตามการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งาน และสามารถเขียน โปรแกรม

โปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์มาสเตอร์และอุปกรณ์สเตฟได้ โดยสังเกตรด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งผลการวิจัยสามารถออกแบบและสร้างระบบควบคุมป้อนกลับแบบสัมผัสเพื่อควบคุมแขนกล สามารถควบคุมอุปกรณ์สเตฟโดยใช้อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ออกแบบและมีแรงป้อนกลับไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์ เพื่อทำการถือตำแหน่งเมื่อค่าแรงป้อนกลับเกินกว่าจุดที่กำหนด อย่างไรก็ตามมอเตอร์ที่ใช้ที่ตัวหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์สเตฟที่มีการสั่นในการพัฒนาขั้นต่อไปอาจจะต้องเลือกใช้มอเตอร์ที่มีคุณภาพดีขึ้นซึ่งจะต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Haruhisa Kawasaki, Yasuhiko Doi, Shinya Koide, Takahiro Endo, and Tetsuya Mouri. Hand Haptic Interface Incorporating 1D Finger Pad. Proceedings of IEEE International Conference. P1869-1874
- [2] S. Scott, "Optimal feedback control and the neural basis of volitional motor control," Nature Rev. Neurosci., vol. 5, no. 7, pp. 532-546, 2004.
- [3] V. Gupta. "Working and analysis of the H - bridge motor driver circuit designed for wheeled mobile robots." in Proc. Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference, pp. 441 - 444, ISBN: 978-1-4244-5845-5, 27-29 March 2010
- [4] Talasaz, A., Patel, R.V., Naish, M.D.: Haptics-Enabled Teleoperation for Robot-assisted Tumor Localization. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.534--5345. IEEE Press, New York (2010).



ยุทธนา ปิติธีรภาพ ปรินญาโท อีเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต



รศ.นันทชัย ทองแป้น วท.บ.(ฟิสิกส์) (เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วโรฒ วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ และ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต



ชุนินันท์ เสาเงิน วิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต