ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1.ชื่อ-สกุล ดร. ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์

Pradya Prempaneerach, Ph.D.

2.ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 7

3. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมทั้งโทรศัพท์และโทรสาร

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สังกัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตั้งเลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ที่ทำงาน 02-549-3430

โทรสาร 02-549-3432

อีเมลล์ ppradya@gmail.com, pradya@alum.mit.edu

4. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550	Ph.D. in Ocean Engineering	Massachusetts Institute of Technology, USA
พ.ศ. 2544	M.S. in Mechanical Engineering	Massachusetts Institute of Technology, USA
พ.ศ. 2541	B.S. in Mechanical Engineering	Carnegie Mellon University, USA

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

5.1 ประสบในฐานะหัวหน้าโครงการวิจัย :

ชื่อโครงการ : ต้นแบบการจำแนกชิ้นงานอัตโนมัติโดยใช้แขนหุ่นยนต์และการบ่งบอกวัตถุจากภาพ (Prototype for Automatic Part Sorting System using Robot Manipulator Arm and Image Recognition)

แหล่งทุน : ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

5.2 ประสบในฐานะผู้ร่วมวิจัยโครงการ:

(1) งานวิจัยเรื่อง Uncertainty Analysis in a Shipboard Integrated Power System using Multi-Element Polynomial Chaos ใน Department of Ocean Engineering ณ Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA ระหว่างปี 2002-2007 ซึ่งได้รับทุนสนันสนุนจาก Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC)

(2) งานวิจัยเรื่อง The effect of chordwise flexibility on the thrust and efficiency of a flapping foil ใน Department of Ocean Engineering ณ Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA ระหว่างปี 2001-2002

(3) งานวิจัยเรื่อง Color imaging segmentation for automatic alignment of Atomic Force Microscope ใน Department of Mechanical Engineering ณ Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA ระหว่างปี 1998-2001

5.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

1) Prempraneerach P., Uncertainty Analysis in a Shipboard Integrated Power System using Multi-Element Polynomial Chaos, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, June 2007.
2) Prempraneerach P., Color imaging segmentation for automatic alignment of Atomic Force Microscope, M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, February 2001.
3) Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., and Karniadakis G.E., "Uncertainty Quantification in Simulations of Power Systems: Multi-Element Polynomial Chaos methods", submitted to International Journal of Electrical Power & Energy Systems, November 2007.
4) Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., McCoy T.J., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Stochastic Sensitivity Methods and Application to the Shipboard Power System", submitted to IEEE Transaction on Power System Engineering, April 2007 with 1st revision in November 2007.
5) Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., McCoy T.J., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Sensitivity Analysis of the Shipboard Integrated Power System", Navel Engineering Journal, Vol. 119, No. 2, 2007.
6) Prempraneerach P. and Youcef-Toumi K., "A Color Image Segmentation Algorithm", 2nd IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing (VIIP 2002), September 2002.
7) Prempraneerach P., Hover F.S., and Triantafyllou M.S., "The effect of chordwise flexibility on the thrust and efficiency of a flapping foil", 11th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST03), August 2003.

8) Prempraneerach P., McCoy T.J., Hover F.S., and Triantafyllou M.S., "Stochastic analysis of induction machines using generalized polynomial chaos", ASNE Proceeding on Electric Machines Technology Symposium 2006 (ASNE EMTS 2006), May 2006.

9) Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., McCoy T.J., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Sensitivity Analysis of the Shipboard Integrated Power System", ASNE Proceeding on Fuel Tank to Target – Building the Electric Fighting Ship, June 2007.

10) Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Sensitivity Analysis and Low-Dimensional Stochastic Modeling of Shipboard Integrated Power Systems", 39th Power Electronics Specialists Conference, June 2008.

11) Prempraneerach P., Chryssostomidis C., Triantafyllou M.S., and Karniadakis G.E., "Stochastic Modeling of Integrated Power System coupled to Hydrodynamics in the All-Electric Ship", International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, June 2008.

12) Prempraneerach P., McCoy T.J., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Karniadakis G.E., "Nonlinear Sensitivity Analysis of AC Power-Distribution and Propulsion Systems using Polynomial Chaos", Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC), University of South Carolina, May 2006.

13) Prempraneerach P., McCoy T.J., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Karniadakis G.E., "Nonlinear Sensitivity Analysis of AC-power distribution and closed-loop control of propulsion system against parametric and load uncertainties using Polynomial Chaos", Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC), Purdue University, August 2006.

14) Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Chryssostomidis C., Karniadakis G.E., "Effects of Uncertain Propulsion Loads on the Electric Ship Power Bus", Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC), MIT, May 2007.

ผู้ร่วมวิจัย (1)

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** ดร. มนูศักดิ์ จานทอง

   Dr. Manusak Janthong

2. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ ระดับ 7

3. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร**

   ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

   คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์

   สังกัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

   ตั้งเลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

   โทร. 0-2549-3430-5

   โทรสาร 0-2549-3432

   Email: patnu@yahoo.com

4. **ประวัติการศึกษา**

   พ.ศ. 2538 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, วศ.บ. (เครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

   พ.ศ. 2543 วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, วศ.ม. (เครื่องกล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

   พ.ศ. 2549 Doctor of Engineering, Dr.-Ing. (Mechanical Engineering) Leibniz Universitaet Hannover, Germany

5. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย**

   2.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

   5.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

   1. การออกแบบตัวควบคุมสำหรับเซอร์โวนิวแมติกในระบบที่ไม่มีความเสถียรภาพ

   5.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

   <u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u>

   1. หัวข้อเรื่อง "การออกแบบตัวควบคุมสำหรับเซอร์โวนิวแมติกในระบบที่ไม่มีความ เสถียรภาพ" แหล่งทุน งบยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2550

   <u>ผู้ร่วมการวิจัย</u>

   1. หัวข้อเรื่อง "เครื่องคัดขนาดไข่ไก่ด้วยภาพ" แหล่งทุน งบประมาณคิดค้นประดิษฐ์สิ่งใหม่ งบประมาณประจำปี 2546

2. หัวข้อเรื่อง "เครื่องตัดกระจกรถยนต์" แหล่งทุน งบประมาณโครงการวิจัยด้านความร่วมมือภาครัฐและเอกชน งบประมาณประจำปี 2546
3. หัวข้อเรื่อง "การพัฒนาทดลองเครื่องคัดขนาดไข่ไก่ด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล" แหล่งทุน ทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ. ศ. 2550

1.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ผู้ร่วมการวิจัย (2)

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** ว่าที่ รต. ดร. มงคล กลิ่นกระจาย

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Act. Lt. Dr. Mongkorn Klingajay
2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3 1005 03720 99 6
3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ ระดับ 7
4. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก**

   สาขาวิชาเทคโนโลยีเมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

   โทรศัพท์ 02-5494710 โทรสาร 02-5494195 Email: mongkorn@rmutt.ac.th

5. **ประวัติการศึกษา – การฝึกอบรม / ดูงาน**

ประวัติการศึกษา

5.1 ปริญญา : BEng. in Electronic and Telecommunication Engineering.

จาก : Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand

5.2 ปริญญา : BSc. in Computer Science.

จาก : Rajabhat Institute Suansunantha, Bangkok, Thailand

5.3 ปริญญา : BEd. in Education Business.

จาก : Rajabhat Institute Pranakorn, Bangkok, Thailand

5.4 ปริญญา : MSc. in Computer Science.

จาก : Rangsit University, Bangkok, Thailand

a. ปริญญา : MSc. in Control Engineering.

จาก : Coventry University, Coventry, United Kingdom

5.6 ปริญญา : PhD. in Robotics and Mechatronics Engineering.

จาก : King's College London, London, United Kingdom

การฝึกอบรม / ดูงาน

หลักสูตร / เรื่อง	ระยะเวลา พ.ศ.	สถานที่	แหล่งทุน
Computer Network (ดูงานนิทรรศการวิชาการ)	1-15 พค. 2536	World Trade Center ประเทศสิงคโปร์	NCR(Thailand) Co.Ltd.
Advance Multimedia (ดูงานนิทรรศการวิชาการ)	14-21 พค. 2537	Meridian Hotel ประเทศสิงคโปร์	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
Computer Telecom (ร่วมนิทรรศการวิชาการ)	20-25 ตค. 2538	Exhibition Building เมือง ลาสเวกัส ประเทศสหรัฐอเมริกา	องค์การค้าครุสภา
LCD Monitor Technology (รับเชิญดูงานวิจัยจอภาพ)	10-15 พย. 2539	บริษัทไอบีเอ็ม จำกัด เกียวโต ประเทศญี่ปุ่น	บริษัทไอบีเอ็ม จำกัด
CBS Mobile Robot (รับเชิญไปทำวิจัย)	16 มีค. 2549 – 28 เม.ย. 2549	King's College London ประเทศสหราชอาณาจักร	King's College London
Unman Medicine Robot (รับเชิญไปทำวิจัย)	21 มีค. 2550 – 22 เม.ย. 2550	King's College London ประเทศสหราชอาณาจักร	King's College London
Surveillance Electric Vehicle (รับเชิญไปทำวิจัย)	16-23 กค. 2550	Lecce University ประเทศอิตาลี	Lecce University, Italy

ประสบการณ์ในการทำงาน

ตำแหน่ง	สถานที่ทำงาน	ช่วง พ.ศ. ที่ทำงาน	ลักษณะงาน (วิชาการ/บริหาร/บริการ)
อาจารย์ประจำ	แผนกเทคนิคศึกษา รร.เทคโนโลยีสมุทรปราการ	2527-2528	วิชาการ (สอนระดับ ปวช.)
อาจารย์ประจำ	แผนกช่างกลโรงงาน รร. กนกเทคโนโลยี	2528-2529	วิชาการ (สอนระดับ ปวช.)
นายช่างเทคนิค	ศูนย์คอมพิวเตอร์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2529-2535	บริการ (ช่วยสอนปฏิบัติการ)
อาจารย์พิเศษ	แผนกช่างกลโรงงาน โรงเรียนกนกเทคโนโลยี	2529-2535	วิชาการ (สอนระดับ ปวช.)
รองผู้อำนวยการ/ อาจารย์	สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ/ภาควิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมฯ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2535-2537	บริหาร/วิชาการ (สอนระดับปริญญาตรี)
อาจารย์ ระดับ 5 (รักษาการณ์หัวหน้าภาคฯ	ภาควิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมฯ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2536-2539	วิชาการ/บริหาร (สอนระดับปริญญาตรี)
อาจารย์ ระดับ 6	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2548-2549	วิชาการ (สอนระดับปริญญาตรี)
อาจารย์ ระดับ 7 (หัวหน้าสาขาวิชาฯ)	สาขาวิชาเทคโนโลยีเมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	2549-2551	วิชาการ/บริหาร (สอนระดับปริญญาตรี-โท)

(ผู้อำนวยการหลักสูตรปริญญาโท)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Micro-controller System, Real-time and Embedded System, Computer Interfacing System, System Identification, Parameter Estimation, Artificial Intelligent

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัยปีที่พิมพ์การเผยแพร่และแหล่งทุน(อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

<u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u> -

<u>ผู้ร่วมการวิจัย</u> -

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

-

TSME - ICOME

The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering
19-21 October, 2011, Krabi

Design and Construction and Motion Control of 6-Axis Robot Manipulator for Industrial Applications

Supachock Tuntivivat*, Pradya Prempraneerach

Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110

*Corresponding Author: supachock_chock@hotmail.com, 085-0471123, 02-549-3430

Abstract

In this research, a 6-axis robot manipulator arm is designed and constructed for industrial applications. Then, the robot arm motion is controlled in a position mode by users' specified angular motion of each joint so that the robot arm can move to desired locations with high accuracy even with load variation and repeatability less than 10 micrometer. A motion control has been developed within Visual C++.NET to control individual or combined joints' position, velocity, acceleration. The purposes of this robot-arm motion-control implementation are to accelerate users' learning process and to interact with the industrial robot in a user-friendly environment.

Keywords: Industrial Manipulator Arm, Motion Control Software, Accuracy and Repeatability.

1. Introduction

In past decades, industrial robot manipulator arms have revolutionized various industrial applications, especially in high-technology factories, because of their high-yield production capability, high-accuracy repeatability, flexibility and small contamination in clean environment. However, a lacking of specialized personals in the robot control field and a high investment cost and maintenance cost are major obstacles for a wide-spread use of the industrial manipulator arms in Thailand.

Chandrakasem Rajabhat University [5] has proposed to develop 5-axis robot arms for the educational purpose so that students might be able to transfer knowledge to their future industrial workplaces. Institute of FIeld roBOtics [6] has designed and constructed the industrial 6-axis robot arm that can perform a welding process for automotive industries.

Therefore, this research focuses on the design and construction of the industrial robot arm as well as the motion-control software development using Visual C++.NET, which has user friendly interface. As a result, any person without a prior knowledge can comprehend and control the robot arm control with a minimal learning time.

This paper can be subdivided into four sections. Section 2 reviews the design and construction of robot mechanisms and motion controller units. Section 3 emphasizes on the

implementation of the motion-control software. Lastly, the performance tests of this robot arm are summarized in Section 4.

2. Robot Arm Construction

The construction of the 6-axis robot manipulator arm is divided into two main parts: 1) robot mechanism construction and 2) controller and drive construction. Both constructions can be carried out at the same time and then assembled together afterward. Fig. 1 shows an overall schematic diagram of this 6-axis manipulator arm, where circles represent each joint of the robot arm. A computer passes user commands through the SPiiPlus Motion Controller [2] to control motor drives, connecting with 6 DC and AC motors and 6 optical encoders. All DC and AC motors coupling with harmonic gears provide torque to each axis of the robot arm and encoder signal is used as feedback joint angular position.

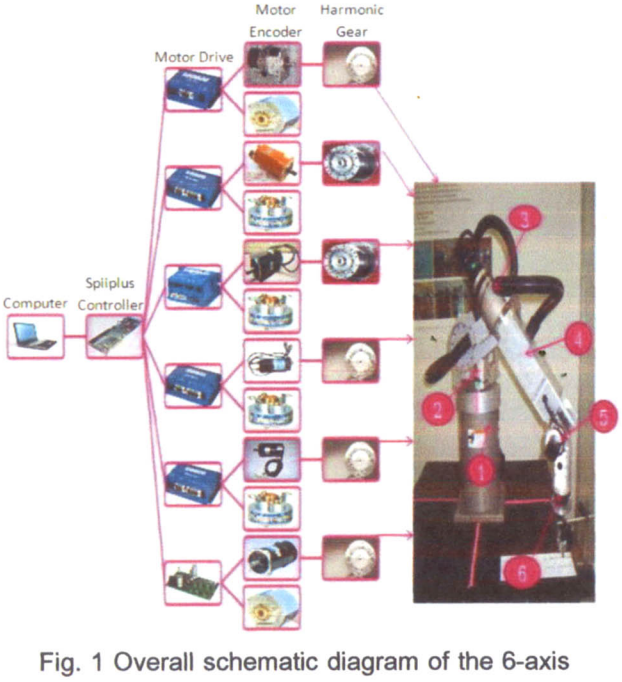


Fig. 1 Overall schematic diagram of the 6-axis manipulator arm.

2.1 Robot Mechanism Construction

Originally, this manipulator arm is designed and assembled in Solidwork, shown in Fig. 2, to test feasibilities of individual joint movement, robot material strength, motor sizing, and robot workspace. Each joint angle is limited by two limit switches such that a wire entangling problem can be avoided during the robot operation. For the joint construction, motors are attached to flanges before assembling to machined parts and then the encoders are coupled to the motor shafts. The 6-axis joint space of the robot arm is exhibited in Table.1.

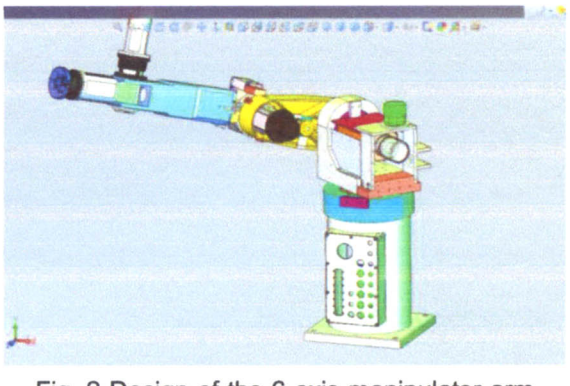


Fig. 2 Design of the 6-axis manipulator arm

To achieve high accuracy at the robot end effector within micrometer range, high resolution encoders as well as precision harmonic gears, as shown in Table. 2, must be employed in each joint of the robot arm.

Table. 1 The 6-axis joint space of the robot arm

Axis	Joint Angle (degree)	
	Clockwise	Counter-clockwise
1	145	150
2	45	115
3	110	110
4	175	85
5	85	80
6	160	175

Table. 2 The encoder resolution and gear ratio for each axis of the robot arm

Axis	Encoder Resolution	Gear Ratio
1	2048	1:78
2	2500	1:80
3	2500	1:50
4	2500	1:50
5	2500	1:50
6	2048	1:50

2.2. Controller and Drive Construction

Two main components of the motion control unit are 1) SPiiPlus Motion Controller compartment and 2) Motor Drive compartment. First, Inside the SPiiPlus Motion Controller unit in Fig. 3, there are 24V and 5V DC power supplies and SPiiPlus PCI 8 from ACS Motion Control, which acts as the robot-arm main supervisory and connects to the user's computer through ethernet. Moreover, amplify circuits using op-amp, included in this unit, help amplifying the signal from all limit switches before passing through the SPiiPlus board.

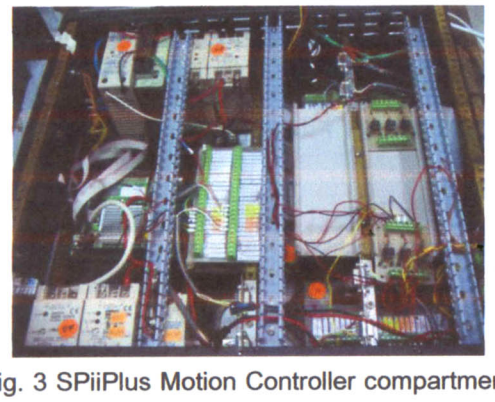


Fig. 3 SPiiPlus Motion Controller compartment

Second, the Motor Drive compartments for 6 axes in Fig. 4 and 5 are composed of power supply circuits, noise reduction circuits, 6 motor drives and connection terminals. Model for motor drives for axis 1 to 6 are Junus, Accelus, Xenus, 2 Accelus, and Accelus card [1], respectively.

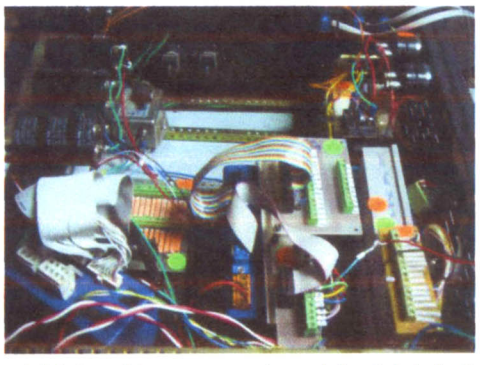


Fig. 4 Motor drive compartment for joint 1, 2, 3.

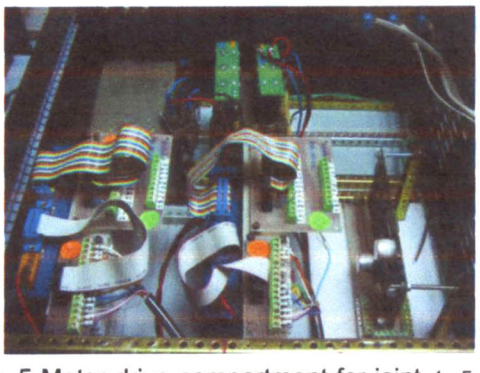


Fig. 5 Motor drive compartment for joint 4, 5, 6.

3. Motion Control Software Development

To be able to control the robot-arm motion, users must learn new syntax and commands of the original SPiiPlus Controller software, which is similar to C commands. And all programming codes must be written in a command line window shown in Fig. 6. As a result, the user must go through a steep learning curve of SPiiPlus programming before they can operate the robot arm safely and properly.

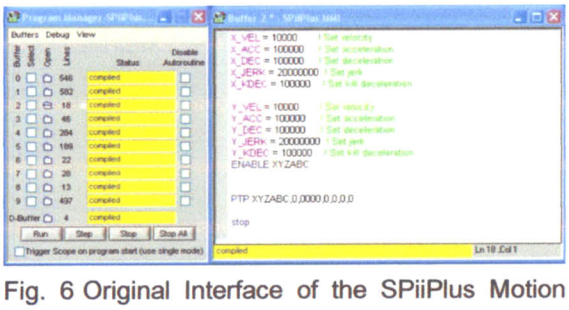


Fig. 6 Original Interface of the SPiiPlus Motion Controller Softeware.

To shorten this period, the motion control software has been developed using Visual C++.NET [4] from Microsoft Visual Studio

2008 that provides a user-friendly interface, as shown in Fig. 7. The motion control software for individual or combined joints employs the SPiiPlus MMI commands [2] of the SPiiPlus Motion Controller The user can select the joint axes and specify the joint acceleration, velocity, position without learning SPiiPlus programming commands. Moreover, users can record sequences of the joint angular positions after the robot end-effector is moved to desired locations. And then, users can playback different motion sequences from recorded lists. During the robot-arm movement, the feedback angular positions of each joint are also shown on the screen in real time. Fig. 8 demonstrates the robot-arm playback movement, drawing a segment of circle, from the recorded sequence.

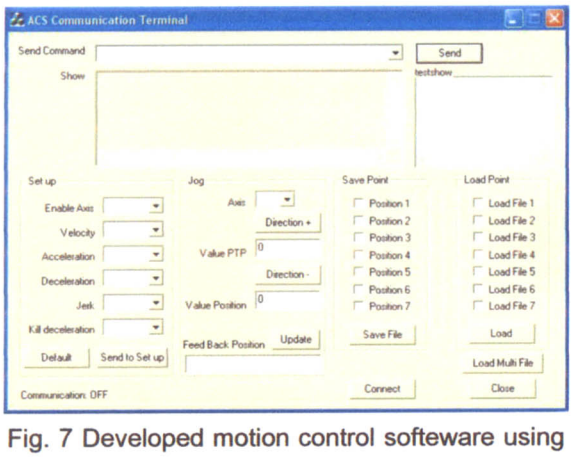


Fig. 7 Developed motion control softeware using Visual C++.NET for this robot arm

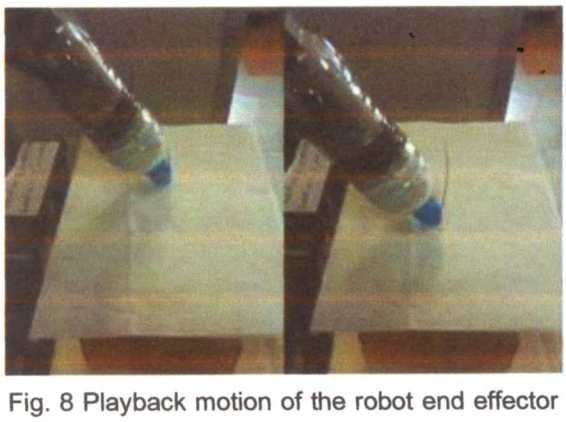


Fig. 8 Playback motion of the robot end effector

4. Experimental Results

The robot arm performances are tested on the motion repeatability, accuracy, and different load handling. In the first test, the joint velocity errors are measured

4.1 Repeatability Test

To measure a motion accuracy of the robot-arm end effector in performing a repetitive task, the robot arm is programmed to touch a dial gauge, attached at the end of table as shown in Fig. 9, from a pointing-upward position. This motion is repeated for 15 times and the readings from the dial gauge are recorded and shown in Fig. 10. The result reveals that the motion error of the end effector is bounded within 0.002 mm or 2 μm and a variation from its mean position are also small. This implies that the accumulative error from all joints must be very small as well.

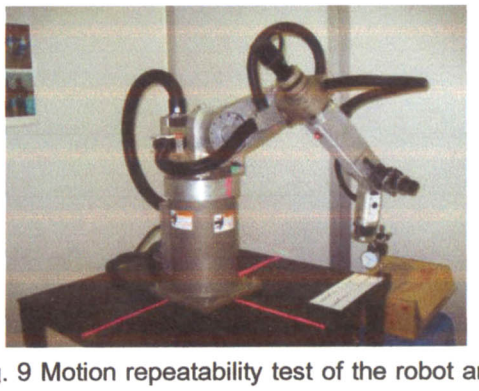


Fig. 9 Motion repeatability test of the robot arm touching the dial gauge.

4.2 Load Handling Test

To measure the motion accuracy of the robot arm subjected to various loads, three different weights: 1.2, 1.6 and 2.0 kg, are attached to the end effector and both joint commanded velocity from the SPiiPlus controller and feedback velocities from encoders are recorded during the upward motion. Then the joint velocity error is computed from the

difference between the commanded and feedback velocities. Results in Table. 3 show that the larger the load attached to the end effector is, the larger the velocity error becomes.

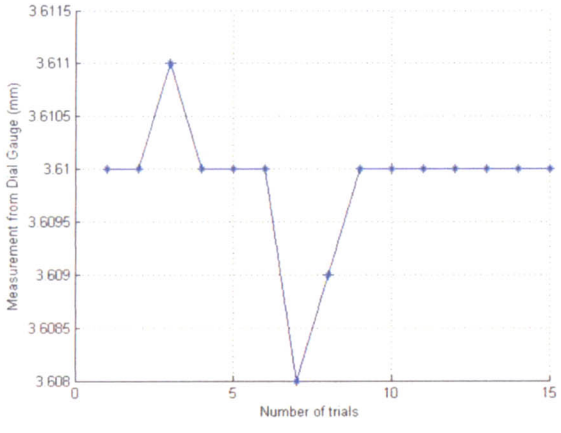


Fig. 10 Dial gauge readings from 15 trails in repeatability test

Table. 3 Joint angular velocity errors of the 6-axis robot arm tests with three different loads (1.2,1.6, and 2.0 kg) attached to the end effector

Joint	Velocity Error (rad/sec)			
	No Mass	Mass 1.2 kg	Mass 1.6 kg	Mass 2.0 kg
1	0.00079	0.00085	0.00098	0.00089
2	0.00019	0.00063	0.00021	0.00024
3	0.00002	0.00007	0.00092	0.00003
4	0.00232	0.00302	0.00258	0.00244
5	0.00004	0.00005	0.00005	0.00007

4.3 Motion Accuracy of Iterative Inverse Kinematics Computation

An inverse kinematics, based on the Resolved Motion Rate Controller (RMRC) technique [7], of this robot arm has been implemented using the Jacobian singularity-robust inverse. The RMRC technique is one of the iterative inverse kinematic methods to compute the joint angular position given the desired joint angular position and velocity. The The joints' angular velocities in this experiment are set equal to [0.098, 0.078, 0.295, 0.295, 0.295, 0.295] rad/s. The motion discrepancy of the end effector between the commanded joint positions calculated from the RMRC technique and the measured position are tested for 8 different positions, as shown in Table. 4. The error is defined as in Eq (1).

$$error = \sqrt{(X_d - X_m)^2 + (Y_d - Y_m)^2 + (Z_d - Z_m)^2} \quad (1)$$

From Table. 4, the difference between the measured and command position are very small, the main source of error in this test is from the measurement error and from link parameter error.

Table. 4 Desired and measured end effector positions using the RMRC technique.

Command Position (cm)			Measured Position (cm)			Error (cm)
X_d	Y_d	Z_d	X_m	Y_m	Z_m	
55	40	70	55.3	38.4	70.3	1.602
-55	40	70	-54.2	39.6	71.0	1.337
55	-40	70	54.3	-41.1	70.7	1.472
-55	-40	70	-54.6	-38.1	70.1	1.904
50	50	50	50.0	48.0	50.7	2.119
-50	50	50	-49.4	50.0	51.9	1.971
50	-50	50	49.3	-51.0	51.8	2.213
-50	-50	50	-49.9	-46.9	51.4	3.431

6. Summary

The 6-axis robot manipulator arm has been designed, constructed, and tested on high motion accuracy, precision repeatability, and load variation handling capability. Moreover, the motion control software, emphasized on the user-friendly interface, has been developed using Visual C++.NET such that new users can

learn how to control this robot arm quickly, record the motion sequences, as well as playback those different sequences as desired.

6. Acknowledgement

The authors would like to thank the National Research Council of Thailand (NRCT) for a research grant 2553 to support this research.

7. References

[1] Copley Controls, Accelus & Junus, URL:http://www.copleycontrols.com/motion/Products/Drives/Digital/accelus-junus.html, access on 12/07/2011.

[2] ACS Motion Control, Downloads, URL: http://www.acsmotioncontrol.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=5:user-guides&start=20&Itemid=34, access on 12/07/2011.

[3] Craig, J.J. (1989). Introduction to robotics: mechanics and control, 2nd edition, ISBN: 0-201-09528-9, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

[4] นิรุธ อำนวยศิลป์. เขียนโปรแกรมบนวินโดส์ด้วย Visual C++ และ MFC, กรุงเทพฯ:THAIDEV.COM.

[5]Reocities,research,URL:http://reocities.com/SiliconValley/Screen/8319/research/robot/5_axis_robot_proposal.html , access on 14/07/2011.

[6] FIBO , แขนกลอุตสาหกรรม, URL: http://fibo.kmutt.ac.th/thai/index.php?option=co_content&task=view&id=302&Itemid=0, access on 12/07/2011.

[7] Prempraneerach, P. and Kulvanit, P. (2010) Implementation of Resolved Motion Rate Controller with 5-Axis Robot Manipulator Arm, *The first TSME international conference on mechanical engineering 2010*, Ubon Ratchathani, Thailand.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

แบบ ว-1ด

(ฉบับปรับปรุงปี พ.ศ. 2551)

แบบเสนอโครงการวิจัย (Research project)

ประกอบการเสนอของบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 ตามมติคณะรัฐมนตรี

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) ต้นแบบการควบคุมแรงและความยืดยุ่นของแขนหุ่นยนต์เพื่อประยุกต์ใช้ในการแพทย์

(ภาษาอังกฤษ) Prototype for force and compliant control of robot manipulator arm for medical applications

ชื่อแผนงานวิจัย (ภาษาไทย) (กรณีเป็นโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย) .....

(ภาษาอังกฤษ) .....

<u>ส่วน ก</u> : **ลักษณะโครงการวิจัย**

☑ โครงการวิจัยใหม่

○ โครงการวิจัยต่อเนื่องระยะเวลา....ปี ปีนี้เป็นปีที่..... รหัสโครงการวิจัย.....

I ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554)

ยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้สมดุลและยั่งยืน

- การสร้างภูมิคุ้มกันของระบบเศรษฐกิจ

II ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2551-2553) (กรุณาระบุความสอดคล้องเพียง 1 ยุทธศาสตร์ 1 กลยุทธ์ และ 1 แผนงานวิจัยที่มีความสอดคล้องมากที่สุด โดยโปรดดูรายละเอียดในผนวก 3)

- ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 3 : การสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการพัฒนาทางวิทยาการและทรัพยากรบุคคล
- กลยุทธ์การวิจัยที่ 1 : การพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์ ทางสังคมศาสตร์ และการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ในวิทยาการต่าง ๆ
- แผนงานวิจัยที่ 1 : การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น เทคโนโลยีชีวภาพ วัสดุศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อสาร นาโนเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์การแพทย์และสาธารณสุข เทคโนโลยีด้านอาวุธยุทโธปกรณ์ เป็นต้น

III ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับกลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วนตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2551-2553) (โปรดดูรายละเอียดในผนวก 3)

- กลุ่มเรื่อง เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม

IV ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายรัฐบาล (กรุณาระบุความสอดคล้องเพียง 1 หัวข้อที่มีความสอดคล้องมากที่สุด โดยโปรดดูรายละเอียดในผนวก 4)

- นโยบายเร่งด่วนที่จะเริ่มดำเนินการในปีแรก : เรื่อง เร่งรัดการลงทุนที่สำคัญของประเทศ
- นโยบายระยะการบริหารราชการ 4 ปี ของรัฐบาล : นโยบาย วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม

<u>ส่วน ข</u> : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. **ผู้รับผิดชอบ** [คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำการวิจัย (%)] และหน่วยงาน ประกอบด้วย หน่วยงานหลักและหน่วยงานสนับสนุน

1.1 หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ 1) ดร. ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ สัดส่วนที่ทำการวิจัย 34%
Pradya Prempraneerach, Ph.D.

1.2 ผู้ร่วมการวิจัย

ชื่อ 2) ดร. มนูศักดิ์ จานทอง สัดส่วนที่ทำการวิจัย 33%
Manusak Janthong, Dr.-Ing.

3) ว่าที่ รต. ดร. มงคล กลิ่นกระจาย สัดส่วนที่ทำการวิจัย 33%
Mongkorn Klingajay, Ph.D.

หน่วยงานต้นสังกัด 1 & 2-ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
3-ภาควิชาเทคโนโลยีเมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ที่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี
จ.ปทุมธานี 12110

2. **ประเภทการวิจัย :** การวิจัยประยุกต์
3. **สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย :** สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

4. **คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย :** การควบคุมแรงและความยืดหยุ่น (Force and compliant control), แขนหุ่นยนต์ (Robot manipulator arm), ประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์ (Medical applications)

5. **ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย**

ในปัจจุบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางการแพทย์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เกิดขบวนการใหม่ในการรักษาพยาบาลโดยใช้หุ่นยนต์เข้ามาช่วย เช่นในการผ่าตัด (หัวใจ, ปอด,สมอง) ที่มีแผลขนาดเล็ก หรือในระบบส่งจ่ายยา หรือเป็นเครื่องมือช่วยในการวินิจฉัยโรค ด้วยเหตุนี้หุ่นยนต์จึงมีบทบาทใหม่เพิ่มขึ้นอย่างที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อน บริษัทต่างๆทางด้านการแพทย์ได้พยายามพัฒนาหุ่นยนต์ให้มาเป็นเครื่องมือช่วยแพทย์และพยาบาล เนื่องจากหุ่นยนต์ได้มีการพัฒนาความแม่นยำและเที่ยงตรงในการเคลื่อนที่ และมีความละเอียดสูงกว่ามือแพทย์ แม้ว่าแพทย์จะมีทักษะสูง เช่น ในการผ่าตัดแผลขนาดเล็กที่ช่วยลดระยะเวลาพักฟื้นและลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อหลังผ่าตัด หรือการผ่าตัดขนาดใหญ่ที่มักใช้เวลานานและสร้างความเครียดและความเหนื่อยล้าให้กับแพทย์ผู้ผ่าตัด ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของแพทย์ลดลง หรือการผ่าตัดระบบทางไกลผ่านอินเตอร์เน็ต ถึงอย่างไรก็ตามหุ่นยนต์ก็ยังจะไม่สามารถทำการผ่าตัดรักษาผู้ป่วยได้โดยตรง ยังต้องพึ่งแพทย์ผู้ซึ่งมีความรู้และความเชี่ยวชาญในการใช้หุ่นยนต์เป็นเครื่องมือที่จะช่วยอำนวยความสะดวกแก่ทั้งกับตัวแพทย์และกับผู้ป่วย

แต่ทว่าหุ่นยนต์ที่เป็นเครื่องมือช่วยทางด้านการแพทย์ปัจจุบันมีราคาค่อนข้างแพงมาก และเครื่องมือแต่ละประเภทจะเน้นการใช้งานเพียงอย่างเดียว เพราะฉะนั้นต้องมีการลงทุนที่สูงมากที่แต่ละโรงพยาบาลในประเทศไทยจะมีหุ่นยนต์ช่วยทางด้านการแพทย์เหล่านี้ ซึ่งก็จะไม่สามารถใช้เป็นที่แพร่หลายทั่วประเทศ ดังนั้นการวิจัยนี้ต้องพัฒนาขีดความสามารถของหุ่นยนต์ โดยเฉพาะแขนหุ่นยนต์ให้สามารถควบคุมแรงและความยืดหยุ่นที่จะกระทำต่อวัตถุที่สามารถพิจารณาว่าเป็นผู้ป่วย ซึ่งหุ่นยนต์ต้องใช้แรงที่พอเหมาะในการทำการผ่าตัดกับผิวมนุษย์ที่มีความยืดหยุ่น โดยแผลจากการผ่าตัดจะต้องมีขนาดเล็กและแม่นยำที่สุด

6. **วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

1. เพื่อศึกษาระบบควบคุมทั้งตำแหน่ง (Position) และทิศทาง (Orientation),ของปลายแขนหุ่นยนต์ (End-effector) ในระนาบขนานกับผิวของวัตถุ ด้วยคอมพิวเตอร์
2. เพื่อศึกษาระบบควบคุมทั้งแรง (Force) และความยืดหยุ่น (Compliance) ของปลายแขนหุ่นยนต์ (End-effector) ในทิศตั้งฉากกับผิวของวัตถุ ด้วยคอมพิวเตอร์
3. เพื่อสร้างแขนหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้ใน 6 แกน
4. เพื่อออกแบบระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้ทำการผ่าตัดจำลอง

7. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ใช้แขนหุ่นยนต์ ในการจำลองการผ่าตัดแผลขนาดเล็กโดยสามารถควบคุมตำแหน่งในแนวระนาบและแรงและโมเมนต์ในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส
2. ใช้ Optical encoder ในการป้อนกลับความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วและตำแหน่งของปลายแขนหุ่นยนต์
3. ใช้สมการ Inverse kinematics และ Inverse dynamics ในการคำนวณความเร็ว แรง และแรงบิดที่จำเป็นสำหรับมอเตอร์ในแต่ละแกนด้วยคอมพิวเตอร์
4. ใช้ Force sensor ในการป้อนกลับแรงจากปลายแขนหุ่นยนต์ที่กระทำไปยังผิวสัมผัส
5. ใช้เทคนิคของ Computed torque สำหรับควบคุมให้ปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ด้วยคอมพิวเตอร์
6. ใช้เทคนิคการควบคุมของ Impedance ในการควบคุมแรงที่ตั้งฉากกับผิวสัมผัส

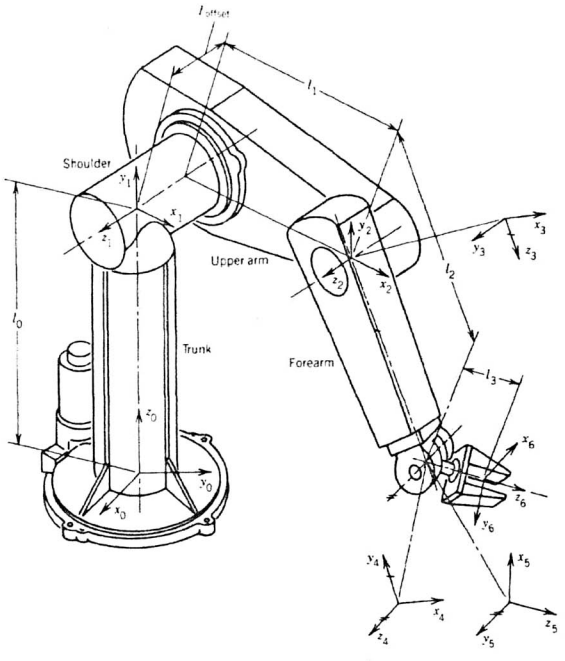
8. **ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย**

8.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน

การออกแบบแขนหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 6 แกน นั้นจะต้องคำนึงถึงตำแหน่งของมอเตอร์ที่จะติดตั้งเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนแต่ละ Links เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการใช้มอเตอร์ที่ใหญ่เกินความจำเป็น ซึ่งจะส่งผลให้แขนหุ่นยนต์มีน้ำหนักเบาและมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อย และตำแหน่งของมอเตอร์ควรจะมีความสมมาตรในแนวระนาบ xy ดังในรูปที่ 1 ซึ่งจะมีข้อดีคือ จะไม่ทำเกิดโมเมนต์ที่มีค่ามากรอบฐาน (Trunk) ของแขนหุ่นยนต์ ในรูปที่ 1 แสดงแขนหุ่นยนต์แบบ PUMA 600 [1] ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 6 แกน ซึ่งแสดงในระบบพิกัด Cartesian ของแกนที่ 1 $(x_1y_1z_1)$ ถึงแกนที่ 6 $(x_6y_6z_6)$ ในรูปนี้แกนที่ 1 ถึง 5 เป็น Revolute joints ส่วนแกนที่ 6 เป็น Prismatic joint ในที่นี้มอเตอร์ของแกนที่ 1, 2, และ 3 จะอยู่ในระนาบเดียวกัน

ผู้วิจัยคาดว่าการควบคุมหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 6 แกนโดยใช้ Motors + Optical encoders จะสามารถควบคุมความเร็วและตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้การเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ในระนาบของผิววัตถุเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ โดยใช้ Inverse kinematic equations และ เทคนิคของ Computed torque สำหรับควบคุมให้ปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ แนวคิดของเทคนิค Computed torque ใช้ในการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ในแต่ละแกนของแขนหุ่นยนต์ โดยที่จะมีโครงสร้างคล้ายกับพลศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์ ซึ่งจะใช้ร่วมกับเทคนิค PID control หรือ Nonlinear control แบบต่างๆ เช่น Sliding mode หรือ Adaptive control เป็นต้น ถ้าใช้ PID control จะต้องระวังในเรื่องของ Overshoot สำหรับการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อ จะส่งผลให้เกิดการผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์มากเมื่อใช้ร่วมกับ Impedance control ความเร็วของมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อ สามารถคำนวณโดยใช้ Inverse kinematics เมื่อกำหนดความเร็ว

ความเร็วของปลายแขนหุ่นยนต์ ส่วนแรงบิดของมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อ สามารถคำนวณได้จาก Inverse dynamics เมื่อรู้ความเร็วและความเร่งของแต่ละข้อต่อ



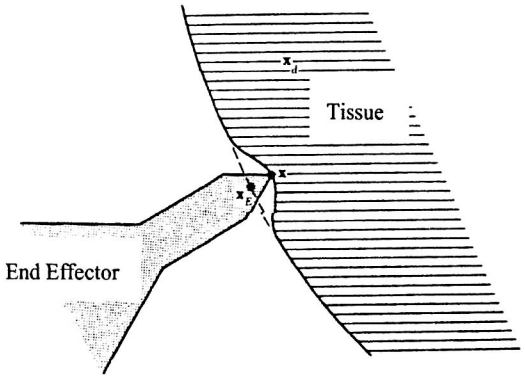
รูปที่ 1 : แขนหุ่นยนต์แบบ PUMA 600 ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 6 แกน (จาก [1])

นอกจากนั้นแล้วอาจประสบปัญหาในเรื่องของความแม่นยำ (Resolution) ของ Encoder ในแต่ละแกน และเรื่องของความไม่แน่นอนของมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการคำนวณของระบบควบคุมแบบ Computed torque และเรื่องของแรงเสียดทานและเกียร์ที่ทำให้เกิด Backlash เมื่อผลกระทบทั้งหมดแล้วตำแหน่งของปลายแขนหุ่นยนต์อาจจะมีความคลาดเคลื่อนสูง ส่วนการควบคุมแรงและความยืดหยุ่นจะใช้เทคนิคการควบคุมของ Impedance แต่ทว่าการเคลื่อนที่อาจจะต้องลดความเร็วลง เพื่อให้เป็นไปอย่างถูกต้องตามเส้นทางที่ได้โปรแกรมไว้ล่วงหน้า

ในการควบคุมความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อ จะต่อเชื่อมโยง (Interface) กับคอมพิวเตอร์ผ่านแผงวงจร Data Acquisition (DAQ) โดยคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณของความเร็วและแรงบิดสำหรับมอเตอร์แต่ละแกนไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ผ่าน DAQ แล้วสัญญาณป้อนกลับของมอเตอร์จาก Optical encoder และแรงและโมเมนต์จาก Force sensor จะถูกส่งผ่าน DAQ เพื่อไปประมวลผลในระบบควบคุมต่อไป

ประเภทของเนื้อเยื่อมีความสำคัญต่อแรงที่แขนหุ่นยนต์จะกระทำบนเนื้อเยื่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของความยืดหยุ่นและการคืนรูปของเนื้อเยื่อ และ รวมไปถึงผิวสัมผัส [2] ดังในรูปที่ 2 ดังนั้นในการจำลองการผ่าตัดจะต้องคำนึงถึงเรื่อง แรงเสียดทานบนผิวสัมผัสระหว่างใบมีดกับเนื้อเยื่อและความคมของใบมีดและความเร็วในการเคลื่อนที่ของใบมีดที่ติดกับแขนหุ่นยนต์ สำหรับเนื้อเยื่อแต่ละชนิดที่มีความยืดหยุ่นต่างกัน เพื่อให้ได้แผลที่มีขนาดเล็กและไม่ทำลายเนื้อเยื่อรอบข้าง เพราะฉะนั้น ปลายแขน

หุ่นยนต์จะต้องถูกควบคุมทั้งเส้นทางการเคลื่อนที่และแรงทั้งในแนวตั้งฉากและแนวขนานให้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 2 : ความยืดหยุ่นของเนื้อเยื่อเมื่อสัมผัสโดยแขนหุ่นยนต์ (จาก [1])

8.2 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1. สร้างแขนหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 6 แกนที่ประกอบด้วย Prismatic and revolute joints
2. สมการ Inverse kinematics และ Inverse Jacobian matrix [1] ของแขนหุ่นยนต์ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาความเร็วของมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อ
3. สมการทางพลศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์ และเทคนิคการควบคุมของ Computed torque [1] เพื่อให้ได้แรงบิดของมอเตอร์ที่ต้องการในแต่ละข้อต่อและปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ตามระนาบของผิวของวัตถุ
4. สมการการควบคุมของ Impedance [1] จะใช้ในการควบคุมแรงในแนวตั้งฉากกับผิวของวัตถุ

9. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

Yanagihara, Okamoto, Mitsui [7] ชาวญี่ปุ่น ได้ให้ความสนใจในการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้ช่วยในการผ่าตัดแทนที่ข้อต่อของสะโพก โดยให้มีแผลเปิดที่ขนาดเล็ก เนื่องจากเครื่องมือผ่าตัดจะทำให้เกิดการบอบช้ำของเนื้อเยื่อภายในน้อยที่สุด ทั้งยังจะหลีกเลี่ยงไม่ไปกระทบกับเส้นเอ็น, เส้นประสาท ภายในร่างกาย ถ้าไม่มีการใช้หุ่นยนต์มาช่วยในการผ่าตัด แผลเปิดจะใหญ่ซึ่งผู้ป่วยจะใช้เวลาในการพักฟื้นนาน แต่ทว่าก่อนที่จะทำการผ่าตัดข้อต่อที่สะโพก จะต้องทำการขูดเนื้อเยื่อที่หุ้มลูกสะบ้าออกเสียก่อน ซึ่งเนื้อเยื่อส่วนนี้ค่อนข้างแข็ง ดังนั้นหุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบจะเป็นหุ่นยนต์ที่ใช้ขูดเนื้อเยื่อบริเวณนี้ออกก่อนที่จะทำการผ่าตัดเพื่อแทนที่ข้อต่อของสะโพก หุ่นยนต์ประเภทนี้ต้องสามารถควบคุมความเร็ว, ตำแหน่ง, และแรงที่ใช้ในการขูดเนื้อเยื่อออกได้อย่างแม่นยำ Yanagihara และคณะได้ใช้ระบบสายพานซึ่งมีความยืดหยุ่นกับหุ่นยนต์ขนาดเล็กนี้โดยวัด

ตำแหน่งด้วยเซนเซอร์วัดแรงตึงในสายพาน ความยืดหยุ่นจะช่วยในการควบคุมแรง Kazanzides, Zuhars, Mittelstadt, Taylor [5] ใช้เทคนิคการควบคุม Damping เพื่อให้ได้แรงที่สัมพันธ์กับความเร็วตามเส้นทางที่กำหนดของปลายแขนหุ่นยนต์แบบ SCARA ใน 5 แกน เพื่อใช้การผ่าตัดเปลี่ยนสะโพกเช่นเดียวกัน

อีกตัวอย่างหนึ่ง Du, Huang, Tian, Liu [4] ได้ทำการศึกษาในเรื่องการใช้แขนหุ่นยนต์ในการฉายรังสีเนื้องอกมะเร็งในตับโดยให้มีแผลเล็ก ที่ใช้ภาพถ่ายจาก Ultrasonic มาช่วยบ่งบอกตำแหน่งของเนื้องอกมะเร็งในตับ ประเภทแขนหุ่นยนต์ที่ใช้เป็นแบบ SCARA โดยมีปลายแขนติดกับข้อมือที่มีอุปกรณ์ช่วยในการผ่าตัดหรือฉายรังสีที่มะเร็ง โดยจะไม่ไปทำลายเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ เช่นเดียวกันแขนหุ่นยนต์จะถูกควบคุมความเร็ว ตำแหน่ง และทิศทางในการเคลื่อนที่ รวมทั้งแรงที่กระทำบนเนื้อเยื่อ

กระบวนการของ Master-Slave หรือ การควบคุมแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการผ่าตัดจริงโดยการควบคุมแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการผ่าตัด Sabatini, Bergamasco, Dario [6] ได้ทำการพัฒนาหุ่นยนต์ประเภท Master-Slave แบบ 4 แกนขึ้นมาใช้ในการผ่าตัดเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม โดยการวัดแรงจากใบมีดที่กระทำบนเนื้อเยื่อโดยใช้ Strain-gauge และใช้ ฯptical encoders ร่วมกับ Strain gauge ในการวัดองศาการเคลื่อนที่และแรงบิดในแต่ละข้อต่อของแขนหุ่นยนต์เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ปลายแขนหุ่นยนต์ที่แน่นอน ในที่นี้ผู้ปฏิบัติการจะควบคุมตำแหน่งและแรงของปลายแขนหุ่นยนต์ผ่าตัดผ่าน Joystick ถ้าแรงที่ให้กับ Joystick มีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมจะปรับแรงให้มีค่าเท่ากับแรงสูงสุดที่ตั้งไว้เพื่อป้องกันการทำลายเนื้อเยื่อ

10. เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

1. Asada H. and Slotine J.-J. E., Robot Analysis and Control, John Wiley & Sons, Inc., US, 1986.
2. Chial, V.B.; Greenish, S.; Okamura, A.M., "On the display of haptic recordings for cutting biological tissues", Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2002. HAPTICS 2002. Proceedings. 10th Symposium on, March 2002, pp. 80 – 87.
3. Davies, B.L.; Fan, K.L.; Hibberd, R.D.; Jakopec, M.; Harris, S.J.; "ACROBOT - using robots and surgeons synergistically in knee surgery", Proceedings of 8th International Conference on Advanced Robotics 1997, July 1997, pp. 173 – 178.
4. Du, Q.; Huang Q., Tian L., Liu C.; "Mechanical Design and Control System of a Minimally Invasive Surgical Robot System." ; Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, June 2006, pp. 1120-1125.

5. Kazanzides, P.; Zuhars, J.; Mittelstadt, B.; Taylor, R.H, "Force sensing and control for a surgical robot." ;Robotics and Automation, 1992 IEEE International Conference on, May 1992 vol.1, pp. 612 – 617.
6. Sabatini, A.M.; Bergamasco, M.; Dario, P.; "Force feedback-based telemicromanipulation for robot surgery on soft tissues", Proceedings on the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Engineering Medicine and Biology Society, 1989, Images of the Twenty-First Century, Nov. 1989, vol.3, pp. 890 – 891.
7. Yanagihara, M.; Okamoto, J.; Mitsui, N.; "Development of a Precise Control Method for a Medical Robot Working with Stiff Tissues during Hip-Joint Surgery", Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, December 2007, pp. 342-348.

11. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

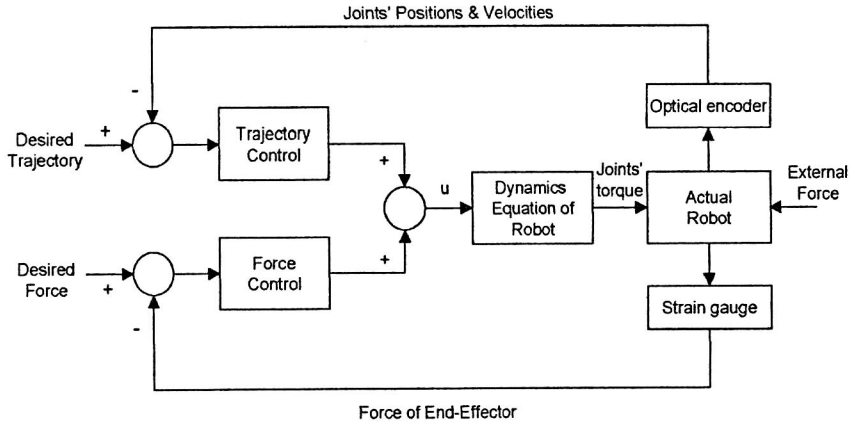
ผู้วิจัยคาดหมายว่างานวิจัยนี้จะสามารถนำไปตีพิมพ์ในบทความวิชาการในระดับต่างประเทศได้อย่างน้อย 1 ครั้งและประชุมวิชาการในระดับประเทศได้อีกอย่างน้อย 1 ครั้ง นอกจากนี้แล้วผู้ที่สนใจในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่คณะแพทย์ศาสตร์และ/หรือเทคนิคการแพทย์ที่มีความสนใจ นอกจากนี้แล้วจะได้เทคโนโลยีในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนด (Trajectory control) และการควบคุมแรง (Force control) ของปลายแขนหุ่นยนต์ โดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นฐานของนักศึกษาในประเทศต่อไป

12. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1. ตีพิมพ์ในบทความวิชาการในระดับต่างประเทศได้อย่างน้อย 1 ครั้งและประชุมวิชาการในระดับประเทศได้อีกอย่างน้อย 1 ครั้ง
2. นำเสนอผลงานในนิทรรศการระดับชาติ
3. สอบถามความต้องการทางด้านแพทย์ศาสตร์และเทคนิคการแพทย์ว่าในประเทศไทยต้องการหุ่นยนต์ช่วยทางด้านการผ่าตัดด้านใดบ้าง
4. สามารถใช้ในการฝึกหัดนักศึกษาแพทย์ในการผ่าตัดแผลขนาดเล็ก
5. ถ้าทดสอบแล้วว่าหุ่นยนต์มีความละเอียดแม่นยำสูง เราจะสามารถใช้ในการผ่าตัดแผลขนาดเล็กกับเนื้อเยื่อเทียมก่อน

13. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

โครงสร้างของระบบควบคุมในงานวิจัยนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแผนภูมิในรูปที่ 3 นอกจากนั้นแล้ว ยังต้องมีการวิเคราะห์ความละเอียดแม่นยำในการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ และแรงจากแขนหุ่นยนต์ที่กระทำต่อผิวสัมผัสด้วย โดยการทดลองทั้งหมดนี้จะสามารถทำได้ในศูนย์วิจัยคณะวิศวกรรมเครื่องกล ชั้น 5 อาคาร 80 พรรษา เฉลิมพระเกียรติ จะเป็นสถานที่ใช้สำหรับสร้างห้องทดลองระบบควบคุม



รูปที่ 3 : ระบบการควบคุมของ Trajectory และ Force ของแขนหุ่นยนต์

14. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

การศึกษา การควบคุมทำงานของแขนหุ่นยนต์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะใหญ่ๆด้วยกันดังนี้

1) **ระยะที่ 1**: 1-3 เดือนแรก : การสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์และสอบถามราคาวัสดุและอุปกรณ์
   a. คำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์จากสมการ Inverse dynamics and inverse kinematics ตามลำดับ ถ้ากำหนดความเร็วของปลายแขนหุ่นยนต์
   b. คำนวณหาแรงบิดที่ต้องการในแต่ละข้อต่อ จากทฤษฎีการควบคุมแบบ Computed torque เพื่อให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางในระนาบที่กำหนดไว้
   c. สอบถามราคาและจัดซื้อ วัสดุ และ อุปกรณ์ และ ครุภัณฑ์
   d. ออกแบบแขนหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้ใน 6 แกน
2) **ระยะที่ 2**: 3-6 เดือน : การสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์และจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ และ เริ่มสร้างแขนหุ่นยนต์

a. คำนวณหาแรงของปลายแขนหุ่นยนต์ในแรงตั้งฉากกับการเคลื่อน จากทฤษฎีการควบคุมแบบ Force control

b. จำลองสมการของมอเตอร์ ด้วย Differential equations และใช้ Controller ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์

c. ทดสอบว่าแบบจำลองแขนหุ่นยนต์ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดได้หรือไม่ และได้แรงที่กระทำที่ปลายแขนหุ่นยนต์ถูกต้องหรือไม่

d. ออกแบบและเริ่มดำเนินการสร้างแขนหุ่นยนต์

3) **ระยะที่ 3**: 6-9 เดือน : การทดลองการควบคุมแขนหุ่นยนต์ ด้วยคอมพิวเตอร์

a. ทดสอบการควบคุมมอเตอร์กับ Optical encoder ด้วย Motion controller

b. เชื่อมโยงการทำงานของ Force sensor กับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการวัดแรงจากปลายแขนหุ่นยนต์

c. วัดตัวแปรที่ต้องในสมการ Inverse dynamic and kinematics จากแขนหุ่นยนต์ที่กำลังสร้าง

d. ใช้พารามิเตอร์ของ Controller ที่ได้จากการออกแบบระบบควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อ (Joint) ของแขนหุ่นยนต์

e. สร้างแขนหุ่นยนต์ให้เสร็จสมบูรณ์

4) **ระยะที่ 4**: 10-12 เดือน : การทดสอบการควบคุมแขนหุ่นยนต์ ด้วยคอมพิวเตอร์

a. กำหนดเส้นทางที่ปลายแขนหุ่นยนต์ (End effector) ต้องเคลื่อนที่ตาม

b. ทดสอบว่าปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องหรือไม่ และมีความแม่นยำในระดับมิลลิเมตรได้หรือไม่

c. ทดสอบว่าแรงที่ปลายแขนหุ่นยนต์ที่กระทำบนวัตถุนั้นถูกต้องหรือไม่

ตารางที่แสดงแผนงานวิจัย

วัตถุประสงค์	แผนงานวิจัย	ระยะเวลา						ระยะเวลา						หมายเหตุ
		เดือนที่		เดือนที่		เดือนที่		เดือนที่		เดือนที่		เดือนที่		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1) ศึกษาและค้นหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของการควบคุม Trajectory	ตามระยะที่ 1													
2) สอบถามราคาและวัสดุและจัดซื้ออุปกรณ์เพื่อนำไปสร้างแขนหุ่นยนต์	ตามระยะที่ 1													
3) สร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์ของการควบคุม Force	ตามระยะที่ 2													
4) ออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์	ตามระยะที่ 2													
5) ออกแบบและทดสอบการควบคุมมอเตอร์และ Force sensor	ตามระยะที่ 3													
6) สร้างแขนหุ่นยนต์														
7) ทดสอบการทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์ในการควบคุมแรงและการเคลื่อนที่	ตามระยะที่ 4													

15. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย, โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

1. แขนหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 6 แกน
2. แผงวงจรอิเล็กโทรนิกส์การควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแต่ละแกนของแขนหุ่นยนต์
3. Sensors ที่ใช้ในการตรวจวัดแรง ความเร็ว และตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์

16. งบประมาณของโครงการวิจัย

16.1 รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประเภทต่าง ๆ

รายละเอียดงบประมาณการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย จำแนกตามงบประเภทต่าง ๆ (ปีงบประมาณที่เสนอขอ)

รายการ	จำนวนเงิน
1. งบบุคลากร	**188,000**
ค่าตอบแทนคณะผู้วิจัย	88,000
ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	100,000
2. งบดำเนินงาน	**700,000**
2.1 ค่าตอบแทน ใช้สอยและวัสดุ	**665,000**
2.1.1 ค่าใช้สอย	**22,000**
1) ค่าใช้จ่ายในการสัมมนาและฝึกอบรม	10,000
2) ค่าจ้างพิมพ์รายงานการวิจัย	2,000
3) ค่าใช้สอยอื่น ๆ	10,000
2.1.2 ค่าวัสดุ	**643,000**
1) วัสดุสำนักงาน	10,000
2) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มรายงานวิจัย	5,000
3) วัสดุไฟฟ้าและอิเล็กโทรนิคส์	200,000
4) วัสดุโฆษณาและเผยแพร่	8,000
5) วัสดุหนังสือ วารสารและตำรา	8,000
6) วัสดุโครงสร้าง	200,000
7) วัสดุควบคุมและตรวจวัด	210,000
2.2 ค่าสาธารณูปโภค	**35,000**
3. งบลงทุน	-
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	**888,000**

หมายเหตุ : ขอถัวเฉลี่ยจ่ายทุกรายการ

16.2 รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประเภทต่าง ๆ ที่เสนอขอในแต่ละปี [กรณีเป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง (ผนวก 9)]

16.3 งบประมาณการวิจัยที่ได้รับจัดสรรในแต่ละปีที่ผ่านมา (กรณีเป็นโครงการวิจัยต่อเนื่องที่ได้รับอนุมัติให้ทำการวิจัยแล้ว)

17. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นพื้นฐานความรู้ในการวิจัยและพัฒนาทางด้านเครื่องมือช่วยผ่าตัดทางด้านการแพทย์ ทางด้านเทคโนโลยีในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนด (Trajectory control) และ การควบคุมแรงของแขนหุ่นยนต์ (Force control) โดยใช้คอมพิวเตอร์
2. สามารถผลิตเครื่องมือในประเทศซึ่งจะทำให้สามารถลดราคาเครื่องมือทางการแพทย์ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลายมากขึ้น อาจจะสามารถช่วยรักษาชีวิตคนที่ด้อยโอกาสได้
3. ให้นักศึกษาได้มีโอกาสทำการวิจัยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

18. โครงการวิจัยต่อเนื่องปีที่ 2 ขึ้นไป

18.1 คำรับรองจากหัวหน้าโครงการวิจัยว่าโครงการวิจัยได้รับการจัดสรรงบประมาณจริงในปีงบประมาณที่ผ่านมา

18.2 ระบุว่าโครงการวิจัยนี้อยู่ระหว่างเสนอของบประมาณจากแหล่งเงินทุนอื่นหรือเป็นการวิจัยต่อยอดจากโครงการวิจัยอื่น (ถ้ามี)

18.3 รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย **(แบบ ต-1ช/ด)**

19. คำชี้แจงอื่น ๆ (ถ้ามี)

-

20. ลงลายมือชื่อ หัวหน้าโครงการวิจัย พร้อมวัน เดือน ปี

ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์
หัวหน้าโครงการวิจัย
25 สิงหาคม 2551

ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** ดร. ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Pradya Prempraneerach

2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3100602313035

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ ระดับ 6

4. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก**

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 39 หมู่ที่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี, จังหวัด ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 02-549-3430 โทรสาร 02-549-3432

Email ppradya@gmail.com, pradya@alum.mit.edu

5. **ประวัติการศึกษา**

ปริญญาตรี สาขาวิชา Mechanical Engineering สถาบัน Carnegie Mellon University, USA
ปีที่สำเร็จการศึกษา 2541

ปริญญาโท สาขาวิชา Mechanical Engineering สถาบัน Massachusetts Institute of Technology, USA
ปีที่สำเร็จการศึกษา 2544
หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ Color imaging segmentation for automatic alignment of Atomic Force Microscope

ปริญญาเอก สาขาวิชา Ocean Engineering สถาบัน Massachusetts Institute of Technology, USA
ปีที่สำเร็จการศึกษา 2550
หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ Uncertainty Analysis in a Shipboard Integrated Power System using Multi-Element Polynomial Chaos

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ**
   1. การวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
   2. การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมของมอเตอร์ไฟฟ้า
   3. การทดสอบและวิเคราะห์พลศาสตร์ของของเหลวสำหรับหุ่นยนต์ที่มีรูปร่างเหมือนปลา
   4. การวิเคราะห์ภาพจากกล้องถ่ายภาพเพื่อใช้ในการบ่งบอกวัตถุ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

<u>เป็นผู้ร่วมวิจัย</u> โดยได้แหล่งทุนจาก Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC), USA

1. Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., McCoy T.J., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Sensitivity Analysis of the Shipboard Integrated Power System", Navel Engineering Journal, Vol. 120, No. 1, 2008.
2. Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Sensitivity Analysis and Low-Dimensional Stochastic Modeling of Shipboard Integrated Power Systems", 39th IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC), June 2008.
3. Prempraneerach P., Chryssostomidis C., Triantafyllou M.S., and Karniadakis G.E., "Stochastic Modeling of Integrated Power System coupled to Hydrodynamics in the All-Electric Ship", International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), June 2008.
4. Prempraneerach P., Foo J., Triantafyllou M.S., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Gradient-Free Stochastic Sensitivity Analysis of the Shipboard Power System", Grand Challenges in Modeling & Simulation, Part of the 2008 Summer Computer Simulation Conference (SCSC'08), June 2008.
5. Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., McCoy T.J., Chryssostomidis C., and Karniadakis G.E., "Sensitivity Analysis of the Shipboard Integrated Power System", ASNE Proceeding on Fuel Tank to Target – Building the Electric Fighting Ship, June 2007.
6. Prempraneerach P., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Chryssostomidis C., Karniadakis G.E., "Effects of Uncertain Propulsion Loads on the Electric Ship Power Bus", Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC), MIT, May 2007.

7. Prempraneerach P., McCoy T.J., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Karniadakis G.E., "Nonlinear Sensitivity Analysis of AC-power distribution and closed-loop control of propulsion system against parametric and load uncertainties using Polynomial Chaos", Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC), Purdue University, August 2006.
8. Prempraneerach P., McCoy T.J., Hover F.S., and Triantafyllou M.S., "Stochastic analysis of induction machines using generalized polynomial chaos", ASNE Proceeding on Electric Machines Technology Symposium 2006 (ASNE EMTS 2006), May 2006.
9. Prempraneerach P., McCoy T.J., Hover F.S., Triantafyllou M.S., Karniadakis G.E., "Nonlinear Sensitivity Analysis of AC Power-Distribution and Propulsion Systems using Polynomial Chaos", Electric Ship Research and Development Consortium (ESRDC), University of South Carolina, May 2006.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย ว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

-

ผู้ร่วมการวิจัย (1)

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** ดร. มนูศักดิ์ จานทอง

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Manusak Janthong

2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3710900295919

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ ระดับ 6

4. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)**

   ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กระทรวงศึกษาธิการ ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

   โทร. 0-2549-3430-5 โทรสาร 0-2549-3432 Email: patnu@yahoo.com

5. **ประวัติการศึกษา**

   พ.ศ. 2538 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, วศ.บ. (เครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

   พ.ศ. 2543 วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, วศ.ม. (เครื่องกล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

   พ.ศ. 2549 Doctor of Engineering, Dr.-Ing. (Mechanical Engineering) Leibniz Universitaet Hannover, Germany

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ**

   1. การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control)
   2. การป้อนกลับด้วยภาพ (Vision feedback)
   3. หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial robot)

7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย**

   7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

   7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

   1. การออกแบบตัวควบคุมสำหรับเซอร์โวนิวแมติกในระบบที่ไม่มีความเสถียรภาพ

   7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

   หัวหน้าโครงการวิจัย

   1. หัวข้อเรื่อง “การออกแบบตัวควบคุมสำหรับเซอร์โวนิวแมติกในระบบที่ไม่มีความเสถียรภาพ” แหล่งทุน งบยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2550

ผู้ร่วมการวิจัย

1. หัวข้อเรื่อง "เครื่องคัดขนาดไข่ไก่ด้วยภาพ" แหล่งทุน งบประมาณคิดค้นประดิษฐ์สิ่งใหม่ งบประมาณประจำปี 2546
2. หัวข้อเรื่อง "เครื่องตัดกระจกรถยนต์" แหล่งทุน งบประมาณโครงการวิจัยด้านความร่วมมือภาครัฐและเอกชน งบประมาณประจำปี 2546
3. หัวข้อเรื่อง "การพัฒนาทดลองเครื่องคัดขนาดไข่ไก่ด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล" แหล่งทุน ทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ. ศ. 2550

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

-

ผู้ร่วมการวิจัย (2)

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** ว่าที่ รต. ดร. มงคล กลิ่นกระจาย

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Act. Lt. Dr. Mongkorn Klingajay

2. **เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน** 3 1005 03720 99 6

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ ระดับ 7

4. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก**

   สาขาวิชาเทคโนโลยีเมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

   โทรศัพท์ 02-5494710 โทรสาร 02-5494195 Email: mongkorn@rmutt.ac.th

5. **ประวัติการศึกษา – การฝึกอบรม / ดูงาน**

ประวัติการศึกษา

5.1 ปริญญา : BEng. in Electronic and Telecommunication Engineering.

จาก : Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand

5.2 ปริญญา : BSc. in Computer Science.

จาก : Rajabhat Institute Suansunantha, Bangkok, Thailand

5.3 ปริญญา : BEd. in Education Business.

จาก : Rajabhat Institute Pranakorn, Bangkok, Thailand

5.4 ปริญญา : MSc. in Computer Science.

จาก : Rangsit University, Bangkok, Thailand

a. ปริญญา : MSc. in Control Engineering.

จาก : Coventry University, Coventry, United Kingdom

5.6 ปริญญา : PhD. in Robotics and Mechatronics Engineering.

จาก : King's College London, London, United Kingdom

การฝึกอบรม / ดูงาน

หลักสูตร / เรื่อง	ระยะเวลา พ.ศ.	สถานที่	แหล่งทุน
Computer Network (ดูงานนิทรรศการวิชาการ)	1-15 พค. 2536	World Trade Center ประเทศสิงคโปร์	NCR(Thailand) Co.Ltd.
Advance Multimedia (ดูงานนิทรรศการวิชาการ)	14-21 พค. 2537	Meridian Hotel ประเทศสิงคโปร์	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
Computer Telecom (ร่วมนิทรรศการวิชาการ)	20-25 ตค. 2538	Exhibition Building เมือง ลาสเวกัส ประเทศสหรัฐอเมริกา	องค์การค้าครุสภา
LCD Monitor Technology (รับเชิญดูงานวิจัยจอภาพ)	10-15 พย. 2539	บริษัทไอบีเอ็ม จำกัด เกียวโต ประเทศญี่ปุ่น	บริษัทไอบีเอ็ม จำกัด

CBS Mobile Robot (รับเชิญไปทำวิจัย)	16 มีค. 2549 – 28 เม.ย. 2549	King's College London ประเทศสหราชอาณาจักร	King's College London
Unman Medicine Robot (รับเชิญไปทำวิจัย)	21 มีค. 2550 – 22 เม.ย. 2550	King's College London ประเทศสหราชอาณาจักร	King's College London
Surveillance Electric Vehicle (รับเชิญไปทำวิจัย)	16-23 กค. 2550	Lecce University ประเทศอิตาลี	Lecce University, Italy

ประสบการณ์ในการทำงาน

ตำแหน่ง	สถานที่ทำงาน	ช่วง พ.ศ. ที่ทำงาน	ลักษณะงาน (วิชาการ/บริหาร/บริการ)
อาจารย์ประจำ	แผนกเทคนิคศึกษา รร.เทคโนโลยีสมุทรปราการ	2527-2528	วิชาการ (สอนระดับ ปวช.)
อาจารย์ประจำ	แผนกช่างกลโรงงาน รร. กนกเทคโนโลยี	2528-2529	วิชาการ (สอนระดับ ปวช.)
นายช่างเทคนิค	ศูนย์คอมพิวเตอร์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2529-2535	บริการ (ช่วยสอนปฏิบัติการ)
อาจารย์พิเศษ	แผนกช่างกลโรงงาน โรงเรียนกนกเทคโนโลยี	2529-2535	วิชาการ (สอนระดับ ปวช.)
รองผู้อำนวยการ/ อาจารย์	สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ/ภาควิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมฯ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2535-2537	บริหาร/วิชาการ (สอนระดับปริญญาตรี)
อาจารย์ ระดับ 5 (รักษาการณ์หัวหน้าภาคฯ	ภาควิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมฯ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2536-2539	วิชาการ/บริหาร (สอนระดับปริญญาตรี)
อาจารย์ ระดับ 6	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2548-2549	วิชาการ (สอนระดับปริญญาตรี)
อาจารย์ ระดับ 7 (หัวหน้าสาขาวิชาฯ) (ผู้อำนวยการหลักสูตรปริญญาโท)	สาขาวิชาเทคโนโลยีเมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2549-2551	วิชาการ/บริหาร (สอนระดับปริญญาตรี-โท)

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ**

Micro-controller System, Real-time and Embedded System, Computer Interfacing System, System Identification, Parameter Estimation, Artificial Intelligent

7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย**