การหาแบบจำลองพลวัตและควบคุมของกล่องที่หมุนรอบทิศทางของเครื่องบินแบบไร้คนขับ

เรือเอกมานะชัย คำแย้ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 947-17-3866-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DYNAMIC MODELLING AND CONTROL OF GIMBAL SYSTEM FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

Lt. Manachai Khamyam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2005
ISBN 947-17-3866-8

481904

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาแบบจำลองพลวัตและควบคุมของกล่องที่หมุนรอบทิศทางของเครื่องบินแบบไร้คนขับ
โดย	เรือเอกมานะชัย คำแย้ม
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

มานะชัย คำแย้ม: การหาแบบจำลองพลวัตและควบคุมของกล่องที่หมุนรอบทิศทางของเครื่องบินแบบไร้คนขับ (DYNAMIC MODELLING AND CONTROL OF GIMBAL SYSTEM FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES), อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ, อ. ที่ปรึกษาร่วม: ผศ.ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ, 62 หน้า, ISBN 947-17-3866-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการหาแบบจำลองพลวัตและการควบคุมของกล่องที่หมุนรอบทิศทาง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับเครื่องบินแบบไร้คนขับ (UAV) โดยวิธีลากรองจ์-ออยเลอร์ และสร้างชุดทดลองของกล่องที่หมุนรอบทิศทางที่มี 2 แกน ขับโดยดีซีเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว ซึ่งเป็นอิสระต่อกันและควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วหาพารามิเตอร์ของระบบโดยวิธีหาเอกลักษณ์ของระบบและออกแบบตัวควบคุมแบบพีดี ซึ่งเราสามารถควบคุมได้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า	**ลายมือชื่อนิสิต** .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....
ปีการศึกษา 2548	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

##4570486421: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: DENAVIT-HARTENBERG NOTATION / LAGRANGE-EULER FORMULATION /DEGREE OF FREEDOM / IDENTIFICATION

MANACHAI KHAMYAM: DYNAMIC MODELLING AND CONTROL OF GIMBAL SYSTEM FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES. THESIS ADVISOR: WATCHARAPONG KHOVIDHUNGIJ, Ph.D. THESIS COADVISOR: MANOP WONGSAISUWAN, D.Eng., 62 pp., ISBN 947-17-3866-8

This thesis presents dynamic modelling and control of a camera gimbal for an Unmanned Aerial Vehicle by the Lagrange-Euler formulation. The camera gimbal has two axes driven by two dc servomotors which are independently controlled by a microcontroller. We find the parameters of the system by identification and design a PD controller for the system which we can control.

Department Electrical Engineering	**Student's signature** Manachai
Field of study Electrical Engineering	**Advisor's signature**
Academic year 2005	**Coadvisor's signature**

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างมากของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งอุปกรณ์ในการสร้างชุดทดลอง ที่ทำให้ผู้วิจัยมีแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สอบถาม ให้คำแนะนำรวมทั้งข้อคิดเห็นในการวิจัย อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้พื้นฐานในวิชาทางระบบควบคุมให้แก่ข้าพเจ้าอย่างมุ่งมั่นและตั้งใจเสมอมา

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิจัยและพัฒนากลาโหม (สกว.กห) ที่ให้ทุนในการเป็นผู้ช่วยวิจัยสำหรับโครงการเครื่องบินและอากาศยานแบบไร้คนขับ (UAV) น.อ ประจักษ์ พูลสวัสดิ์ หน. แผนกไฟฟ้า กคภ.อรม.อร. ที่ให้คำแนะนำและอนุญาตให้ผู้วิจัยมีเวลาในการทำวิจัย ร.อ นาคิน บุญเกตุ สำหรับคอมพิวเตอร์และอาหารที่อร่อยขณะที่ทำงานในสัตหีบ

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา สำหรับการอบรมเลี้ยงดู และการให้โอกาสผู้วิจัยในการศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต และพี่สาวที่เป็นกำลังใจและอุปการะค่าใช้จ่ายให้ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณ จีรนุช พลสิทธิ์ น้องสาวและน้องชายที่น่ารักสำหรับกำลังใจ, ความช่วยเหลือ, มิตรภาพ และความปรารถนาดีที่มีให้ผู้วิจัยเสมอมา ขอขอบคุณน้องๆ วฤต จิตโกมุท ฐาปนา วทัญญู สุทธิพงษ์ กรรณวัตน์ เกียรติขจร อุบลวรรณ โบ๊ต พิงค์ Tu Anh , Pupus, Lychek สำหรับน้ำใจคำแนะนำและความช่วยเหลือที่มีต่อผู้วิจัย และขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้กำลังใจ และคำปรึกษาในหลายๆ เรื่อง

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทรัพยากรต่างๆ ในการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย

สุดท้ายนี้ ต้องขอบคุณกองทัพเรือที่อนุญาตให้ผู้วิจัยลามาศึกษาต่อทั้งในระดับปริญญาบัณฑิต และระดับปริญญามหาบัณฑิต ซึ่งถ้ากองทัพเรือไม่ให้โอกาส ก็คงไม่มีวันนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับหุ่นยนต์ 4

2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน 4

2.2 วิธีลากรองจ์-ออยเลอร์ 9

2.3 สรุป 11

บทที่ 3 ระบบของกล่องที่หมุนรอบทิศทาง 12

3.1 ระบบของ Camera Gimbal 12

3.2 การหาแบบจำลองพลวัตของ gimbal 13

3.3 สรุป 17

บทที่ 4 การสร้างชุดทดลอง 18

4.1 โครงสร้างของ Gimbal 18

4.2 เซอร์โวมอเตอร์ 20

4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 22

4.4 xPC target 23

4.5 สรุป 25

บทที่ 5 การหาเอกลักษณ์ของระบบ **26**
5.1 ขั้นตอนในการหาเอกลักษณ์ของระบบ 26
5.2 วิธีการประมาณค่าแบบจำลอง 29
5.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 30
5.4 การหาเอกลักษณ์ของระบบ 30
5.5 สรุป 32

บทที่ 6 การออกแบบตัวควบคุม **35**
6.1 ทฤษฎีของเลียปูนอฟ 35
6.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพ 36
6.3 Barbalat's Lemma 36
6.4 การออกแบบตัวควบคุม 37
6.5 การควบคุมระบบจริง 41
6.6 เปรียบเทียบผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์กับระบบจริง 46
6.7 สรุป 49

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ **50**
7.1 บทสรุป 50
7.2 สิ่งที่ควรทำการวิจัยต่อไป 52

รายการอ้างอิง **53**

ภาคผนวก **54**

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการหาแบบจำลองพลวัต **55**

ภาคผนวก ข การตั้งค่าโปรแกรม **59**

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ **62**

สารบัญตาราง

3.1 จลศาสตร์ของ Camera gimbal 14

4.1 ขนาดและจำนวนแผ่นอะลูมิเนียมของโครงสร้าง gimbal 18
4.2 ส่วนประกอบของระบบ Gimbal 19
4.3 ระบบเซอร์โว 21

6.1 พารามิเตอร์ของระบบ 39

ก.1 สัญกรณ์ที่ใช้ 58

ข.1 การตั้งค่า xPCsetup 59
ข.2 การตั้งค่า xPCsetup 59
ข.3 การตั้งค่า PCI-QUAD04 60
ข.4 การตั้งค่า D/A 61
ข.5 การตั้งค่า Digital Output 61

สารบัญภาพ

2.1 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของหุ่นยนต์ 4
2.2 ลักษณะของข้อต่อแบบต่างๆ 5
2.3 6 DOF 5
2.4 การแปลงเอกพันธ์ 6
2.5 สัญนิยม DH 7
2.6 ความเร็วของตำแหน่งบนข้อต่อของ manipulator 8

3.1 ลักษณะของ UAV 12
3.2 สักษณะของ Camera Gimbal 13
3.3 Gimbal schematics 13
3.4 กำหนดกรอบของ Gimbal system (2-DOF) 13
3.5 การควบคุมด้วยมอเตอร์กระแสตรง 16

4.1 ลักษณะโครงสร้างของ gimbal 19
4.2 ลักษณะโครงสร้างของ gimbal ด้านนอก 19
4.3 ลักษณะโครงสร้างของ gimbal ด้านใน 19
4.4 ลักษณะโครงสร้างของ gimbal ที่มี 2 แกน 20
4.5 มอเตอร์ที่มี encoder 21
4.6 การเชื่อมต่อโดยใช้ RS232 23
4.7 การเชื่อมต่อโดยใช้ TCP/IP 23
4.8 โครงสร้างโปรแกรมใน xPC target 24
4.9 การเชื่อมต่อโดยใช้ xPC target 24
4.10 การควบคุม camera gimbal โดยใช้ xPC target 25

5.1 การเก็บข้อมูลจากระบบจริง 26
5.2 ลักษณะสัญญาณแบบ PRBS 27
5.3 โครงสร้างแบบจำลองแบบ ARX 29
5.4 โครงสร้างแบบจำลองแบบ ARMAX 29
5.5 โครงสร้างแบบจำลองแบบ OE 29
5.6 โครงสร้างแบบจำลองแบบ BJ 29
5.7 สัญญาณเข้า u_1 และสัญญาณออก y_1 ของของระบบ 31
5.8 แผนภาพโบเดของ G_1 32

5.9 เปรียบเทียบสัญญาณออกของระบบที่ได้จากการวัดและการจำลองของมอเตอร์ตัวที่ 1 32
5.10 สัญญาณเข้า u_2 และสัญญาณออก y_2 ของของระบบ 32
5.11 แผนภาพโบเดของ G_2 33
5.12 เปรียบเทียบสัญญาณออกของระบบที่ได้จากการวัดและการจำลองของมอเตอร์ตัวที่ 2 33

6.1 ค่าผิดพลาดและสัญญาณควบคุมภายใต้การควบคุม PD กรณีที่ 1 40
6.2 สัญญาณออก θ_1 กรณีที่ 1 40
6.3 ค่าผิดพลาดและสัญญาณควบคุมภายใต้การควบคุม PD กรณีที่ 2 41
6.4 สัญญาณออก θ_2 กรณีที่ 2 41
6.5 สัญญาณออก θ_1 และสัญญาณควบคุม กรณีที่ 1 42
6.6 ค่าผิดพลาด กรณีที่ 1 42
6.7 สัญญาณออก θ_1 และสัญญาณควบคุม กรณีที่ 2 43
6.8 ค่าผิดพลาด กรณีที่ 2 43
6.9 สัญญาณออก θ_2 และสัญญาณควบคุม กรณีที่ 1 44
6.10 ค่าผิดพลาด กรณีที่ 1 44
6.11 สัญญาณออก θ_2 และสัญญาณควบคุม กรณีที่ 2 44
6.12 ค่าผิดพลาด กรณีที่ 2 45
6.13 ค่าผิดพลาด (องศา) และสัญญาณควบคุม ภายใต้การควบคุม PD กรณีที่ 1 46
6.14 สัญญาณออก θ_1, θ_2 กรณีที่ 1 46
6.15 ค่าผิดพลาดและสัญญาณควบคุม ภายใต้การควบคุม PD กรณีที่ 2 47
6.16 สัญญาณออก θ_1, θ_2 กรณีที่ 2 47
6.17 สัญญาณออก θ_1 และสัญญาณควบคุม กรณีที่ 1 48
6.18 ค่าผิดพลาด กรณีที่ 1 48
6.19 สัญญาณออก θ_2 และสัญญาณควบคุม กรณีที่ 2 48
6.20 ค่าผิดพลาด กรณีที่ 2 49