

295

หุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์

นาย วิทยา พันธุ์เจริญศิลป์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-222-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17012247

A FOUR BAR LINKAGE WALKING ROBOT

Mr. Vitthaya Phancharoensinn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-222-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ หุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ล้อ
โดย นายวิทยา พันธุ์เจริญศิลป์
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ



บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

Signature

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสูวพรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

Signature

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

Signature

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

Signature

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วิทยา พันธุ์เจริญศิลป์ : หุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์ (A FOUR BAR LINKAGE WALKING ROBOT) อ.ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 155 หน้า. ISBN 974-634-222-3



งานวิจัยนี้เป็นส่วนของการพัฒนาหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์โดยมีการสมมาตรของการโน้มตัวไปด้านหน้าและด้านหลัง ภายใต้การศึกษารูปแบบการเดินบนพื้นราบที่การเดินของขาสัมผัสกับพื้นตลอดและการเดินอาศัยความเสียดทานระหว่างขากับพื้นซึ่งเสมือนกับการลื่นหรือไถล โดยการเดินหรือการเคลื่อนไหวถูกควบคุมโดยตัวควบคุมแบบพี.ไอ. ที่คาบการสุ่มเท่ากับ 18 ms โดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 486/DX-100 คำสั่งของตำแหน่งอ้างอิงหาได้จากโปรไฟล์ของความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่ ความเร็วและความเร่งหรือความหน่วงในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถแปรเปลี่ยนได้ จากผลการทดลองพบว่าค่าความเร็วที่เหมาะสมนี้มีค่าเท่ากับ 4 rad/s และค่าความเร่งอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 rad/s² ค่าของความเร็วและความเร่งของการเดินที่ถูกจำกัดนี้ก็เนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของความเฉื่อย - จากโครงสร้างที่ไม่ได้จำลองไว้ ความเสียดทานที่ข้อต่อซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอนและความเร็วในการตอบสนองของมอเตอร์ที่ค่อนข้างช้า

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล.....
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล.....
ปีการศึกษา 2538.....

ลายมือชื่อนิสิต *วิชา พันธุ์เจริญศิลป์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *อ.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##C516125: MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: FOUR BAR LINKAGE/WALKING ROBOT

VITTHAYA PHANCHAROENSINN : A FOUR BAR LINKAGE WALKING
ROBOT. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VIBOON SANGVEERAPHUN-
SIRI, Ph.D. 155pp. ISBN 974-634-222-3

This research developed a four bar linkage robot with symmetrical backward and forward lean. The experiment is setup for investigating of the walking charecteristic of the robot on the flat ground. The walking is that the legs are always in contact with the ground and the walking is achieved by the help of the friction between the robot feet and the ground. The walking is like rubbing on slipping. The robot walking motion is controlled by a PI controller. The controller is implemented on 486/DX-100 with 18 ms sampling period. The acceleration-constant velocity-deceleration profile is used as the reference position command, The velocity and acceleration or deceleration of the motion at the robot shoulder can be varied. The results shown that the suitable velocity is 4 rad/s with the acceleration ranges from 1 to 3 rad/s². This limitation is due to the lack of unmodel of the nonlinear inertia of the robot structure, the joint friction and the show time response charecteristic of the motors.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา..... 2538.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *วิฑฐยา พันธารอ่อนสิน*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *วิบูลย์ สงฆ์วงศ์*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านอาจารย์
รองศาสตราจารย์ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้คอยให้คำแนะนำ
และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอดและเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจโดย
ตลอด และเนื่องจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย
มา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้
กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษา

นายวิทยา พันธุ์เจริญศิลป์

สารบัญ



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ฌ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ณ

บทที่

1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีการควบคุมและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ล้อ.....	4
3. อุปกรณ์ในหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ล้อ.....	24
4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการออกแบบค่าเกนควบคุม.....	46
5. ผลการทดลอง.....	57
6. สรุปผลและเสนอแนะ.....	77
รายการอ้างอิง	79
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. แสดงรูปอุปกรณ์และรายละเอียดต่างๆของหุ่นยนต์.....	80
ภาคผนวก ข. แสดงหน้าจอและโปรแกรมควบคุมโดยรวม.....	88
ประวัติผู้เขียน	155

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของพรอกซีมีตี้สวิตช์.....	35
ตารางที่ ก.1 แสดงการติดตั้งระยะแก๊พของเอ็นโคดเดอร์.....	80

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพของรูปการควบคุมมอเตอร์.....	4
2.2 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์แบบพี.....	5
2.3 ปรีออปพอร์ชันแนลแบนด์.....	6
2.4 ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบพีต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้น.....	6
2.5 ผลตอบสนองของระบบพีควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุทแบบ หนึ่งหน่วยขั้น	7
2.6 แสดงคอนโทรลเลอร์แบบไอ.....	7
2.7 แสดงอัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทขึ้นอยู่กับกำลังขยายและค่า ความผิดพลาด	8
2.8 แสดงผลตอบสนองของระบบไอควบคุมต่อค่าความผิดพลาดที่มีค่าคงที่.....	8
2.9 ผลการตอบสนองของระบบไอ ควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุทใน ลักษณะหนึ่งหน่วยขั้น	9
2.10 ผลการตอบสนองของระบบพี.ไอ ควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงแบบ.....	10
หนึ่งหน่วยขั้น	
2.11 การอินทิเกรตแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	11
2.12 แผนภาพของรูปการควบคุมดีซีเซอร์โวมอเตอร์.....	12
2.13 แสดงรูปแบบแผนภาพดีซีเซอร์โวกับการควบคุมตำแหน่งใน รูปแบบง่าย	13
2.14 แสดงรูปแบบแผนภาพดีซีเซอร์โวกในระบบกำลังสอง.....	14
2.15 แสดงตำแหน่งของโพลหรือซีโร และความสัมพันธ์ระหว่าง ζ และ ω_n หรือ ω_d	15
2.16 แสดงผลการตอบสนองระบบกำลังสองที่อินพุทแบบขั้น.....	16
2.17 ไดอะแกรมเวลาสำหรับอัลกอริทึมในรูปการควบคุม.....	18
2.18 โปรไฟล์ความเร็วแบบแวง-แวงสำหรับการควบคุมแบบจุดต่อจุด.....	19
2.19 โปรไฟล์ความเร็วที่ประกอบด้วยช่วงความเร็วและความเร่งคงที่ของโวลเตจ.....	19
แอมพลิไฟล์	
2.20 แสดงแบบจำลองด้วยลิงค์ของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์.....	21

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ล้อ.....	24
3.2 แสดงถึงการเชื่อมโยงของอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบควบคุม.....	25
3.3 ตัวอย่างกลไกของออปโตอินกรีเมนท์.....	26
3.4 แสดงถึงตัวเซ็นเซอร์แบบมีช่องปิดเปิดให้แสงผ่านได้ช่องเดียวและ แบบมีหลายช่อง	26
3.5 แสดงถึงผลของแสงที่เดินในแนวเดียวกันและแสงที่แตกกระจาย.....	27
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นเชิงเส้นกับความไม่ได้ศูนย์กลาง.....	28
3.7 ก ตัวอย่างลูกคลื่นสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เอนโคดเดอร์ช่องเดียว(ไบไดเรกชัน).....	29
3.7 ข ตัวอย่างสัญญาณเอนโคดเดอร์ 2 ช่องมีมุมเฟสต่างกัน 90 องศา(สองทิศทาง)....	29
3.8 แสดงวงจรเซอร์โวแอมพลิฟายเออร์ของไมอามี (ว.ไมอามี).....	30
3.9 มอเตอร์กับโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์.....	31
3.10 แผนภาพของแอมพลิฟายเออร์.....	32
3.11 แผนภาพของระบบมอเตอร์และแอมพลิฟายเออร์.....	33
3.12 แสดงวงจรที่ใช้ในการแบ่งสัญญาณและขยายสัญญาณ.....	33
3.13 แสดงวงจรดีโคดเดอร์ (Decoder) ขนาด 12 บิต.....	34
3.14 ไดอะแกรมแสดงพรอกซิมีตีเซ็นเซอร์ (Proximity sensor).....	35
3.15 แสดงโฟลชาร์ทของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม.....	37
3.16 แสดงลำดับการเดินของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ล้อ.....	38
3.17 แสดงลำดับที่ 1 ของการเดินของหุ่นยนต์.....	38
3.18 แสดงลำดับที่ 2 ของการเดินของหุ่นยนต์.....	39
3.19 แสดงลำดับที่ 3 ของการเดินของหุ่นยนต์.....	39
3.20 แสดงลำดับที่ 4 ของการเดินของหุ่นยนต์.....	40
3.21 แสดงลำดับที่ 5 ของการเดินของหุ่นยนต์.....	40
3.22 โปรไฟล์ความเร็วที่ประกอบด้วยช่วงความเร็วและความเร่งคงที่ของโวลเตจ.....	41
แอมพลิไฟล์	
3.23 แสดงโครงสร้างของหุ่นยนต์และตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆบนตัวหุ่นยนต์.....	45

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แผนภาพของระบบควบคุม.....	46
4.2 แผนภาพของระบบที่ทำการทดลอง.....	46
4.3 แสดงผลตอบสนองของระบบจริงภายใต้สัญญาณขั้นบันได.....	47
4.4 แผนภาพของระบบจริง.....	49
4.5 แสดงทางเดินรอกของระบบ.....	49
4.6 แผนภาพของระบบจริงที่ พี. ควบคุม.....	50
4.7 แผนภาพของระบบจริงภายใต้แรงเสียดทานซากับพื้น.....	50
4.8 แสดงผลการตอบสนองต่อแรมพ์อินพุทที่เกน $K_p=0.167$ และ $\omega=2$ rad/s.....	52
4.9 แสดงผลการตอบสนองต่อแรมพ์อินพุทที่เกน $K_p=0.167$ และ $\omega=4$ rad/s.....	52
4.10 แผนภาพของระบบที่ พี. ไอ. ควบคุม.....	54
4.11 แสดงทางเดินของรอกที่ค่าเกน $K_p=0.2$ และ $K_i = 0.1$	55
5.1 แสดงผลการควบคุมที่ความเร็วคงที่ $\omega=1$ rad/s.....	57
5.2 แสดงผลการควบคุมที่ความเร็วคงที่ $\omega=3$ rad/s.....	58
5.3 แสดงผลการควบคุมที่ความเร็วคงที่ $\omega=4$ rad/s.....	58
5.4 แสดงผลการควบคุมที่ความเร็วคงที่ $\omega=6$ rad/s.....	59
5.5 แสดงผลการควบคุมที่ความเร็วคงที่ $\omega=8$ rad/s.....	59
5.6 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งคงที่ $\alpha=1$ rad/s ²	60
5.7 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งคงที่ $\alpha=3$ rad/s ²	60
5.8 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งคงที่ $\alpha=5$ rad/s ²	61
5.9 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งคงที่ $\alpha=7$ rad/s ²	61
5.10 แสดงโปรไฟล์ของตำแหน่งและความเร็วที่ความเร่งและความหน่วงคงที่.....	62
5.11 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งและความหน่วงคงที่ $\alpha=1$ rad/s ² และ.....	63
โปรไฟล์ของความเร็ว	
5.12 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งและความหน่วงคงที่ $\alpha=3$ rad/s ² และ.....	64
โปรไฟล์ของความเร็ว	

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งและความหน่วงคงที่ $\alpha=5 \text{ rad/s}^2$ และ.....65 โปรไฟล์ของความเร็ว	
5.14 แสดงผลการควบคุมที่ความเร่งและความหน่วงคงที่ $\alpha=7 \text{ rad/s}^2$ และ.....66 โปรไฟล์ของความเร็ว	
5.15 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....67	
5.16 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....68 $\alpha=1 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=2 \text{ rad/s}$	
5.17 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....69 $\alpha=1 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=4 \text{ rad/s}$	
5.18 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....70 $\alpha=1 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=6 \text{ rad/s}$	
5.19 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....71 $\alpha=2 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=2 \text{ rad/s}$	
5.20 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....72 $\alpha=2 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=4 \text{ rad/s}$	
5.21 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....73 $\alpha=2 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=6 \text{ rad/s}$	
5.22 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....74 $\alpha=3 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=2 \text{ rad/s}$	
5.23 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....75 $\alpha=3 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=4 \text{ rad/s}$	
5.24 แสดงโปรไฟล์ของคำสั่งที่ความเร่ง-ความเร็ว-ความหน่วง คงที่.....76 $\alpha=2 \text{ rad/s}^2$ และ $\omega=6 \text{ rad/s}$	
ก.1 แสดงการยึดติดเอ็นโคดเดอร์	80
ก.2 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งของเอ็นโคดเดอร์.....	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งของไมโครสวิทช์ป้องกันการเคลื่อนที่เกินขีดจำกัด.....	81
ก.4 แสดงตำแหน่งการติดตั้งพรอกซิมิตี้สวิทช์สำหรับการเข้าตำแหน่งโฮม.....	82
ก.5 แสดงเซอร์โวแอมป์ไฟที่ใช้ในการควบคุม.....	83
ก.6 แสดงพี.ซี. แล็บคาร์ตรุ่น 812PG ที่ใช้ในการควบคุม.....	85
ก.7 แสดงดิจิทัลอินพุทและเอาต์พุทคาร์ด.....	85
ก.8 แสดงวงจรแบ่งสัญญาณคาร์ดจากระบบจริง.....	86
ก.9 แสดงวงจรดีโคดเดอร์ของระบบจริง.....	86
ก.10 แสดงระบบควบคุมหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ล้อโดยรวม.....	87
ข.1 แสดงหน้าจอของเมนูหลักในการควบคุม.....	88
ข.2 แสดงเมนูของการสร้างไฟล์คำสั่งทางเดินแบบแบ่ง-แบ่ง.....	94
ข.3 แสดงหน้าจอสมรรถนะของการสร้างไฟล์คำสั่งทางเดิน.....	94
ข.4 แสดงหน้าจอของเมนูซิมูเลชัน(Simulation menu).....	113
ข.5 แสดงหน้าจอผลลัพธ์ของการทดลองเดินบนหน้าจอ.....	113
ข.6 แสดงหน้าจอการควบคุมที่ระบบวิ่งเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้น.....	129
ข.7 แสดงหน้าจอของการควบคุมระบบจริง.....	130
ข.8 แสดงลำดับการเดินของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ล้อ.....	153