

การผสมผสานสนามแรงที่โปรแกรมได้เพื่อการจัดวัตถุบนระนาบแบบเร็ว



นายพีรพงษ์ ธนกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMBINATION OF PROGRAMMABLE FORCE FIELDS
FOR FAST PLANAR PART MANIPULATION

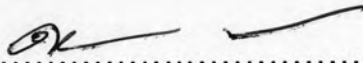
Mr. Peerapong Thonnagith

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2006
Copyright of Chulalongkorn University

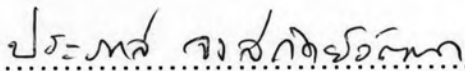
490835

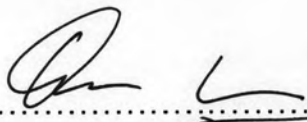
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผสมผสานสนามแรงที่โปรแกรมได้เพื่อการจัดวัตถุบนระนาบแบบเร็ว
โดย นายพีรพงษ์ ธนกิจ
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.อรรณวิทย์ สุดแสง

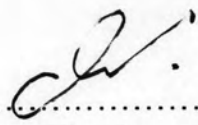
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

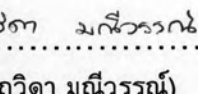

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสิตต์พัฒนา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.อรรณวิทย์ สุดแสง)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยา วัฒนสุโกประสิทธิ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธิดา มณีวรรณ)

พีรพงษ์ ธนกิจ : การผสมผสานสนามแรงที่โปรแกรมได้เพื่อการจัดวัตถุบนระนาบแบบเร็ว
(COMBINATION OF PROGRAMMABLE FORCE FIELDS FOR FAST PLANAR PART
MANIPULATION). อาจารย์ที่ปรึกษา : อ. ดร. อรรถวิทย์ สุดแสง, 74 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติของสนามแรงที่โปรแกรมได้รูปแบบต่างๆ ในการจัดวัตถุบนระนาบโดยไม่ใช้เครื่องมือตรวจจับใดๆ ทั้งในแง่ของผลการจัดวัตถุที่ภาวะสมดุล และเวลาที่ใช้ในการจัดวัตถุนั้น ตลอดจนได้ทำการออกแบบการผสมผสานสนามแรงรูปแบบวงรี 2 สนามแรง และสนามแรงที่พัฒนาขึ้นใหม่อีก 1 สนามแรง ซึ่งแต่ละสนามแรงจะสลับสับเปลี่ยนกันทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด โดยเป็นการนำเอาข้อดีที่ได้จากการวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติของสนามแรงแต่ละรูปแบบมาผสมผสานกัน ซึ่งจากผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ สามารถสรุปได้ว่า ชุดของสนามแรงที่ออกแบบใหม่นี้มีประสิทธิภาพในการจัดวัตถุเข้าสู่ภาวะสมดุล ณ ตำแหน่งและทิศทางที่แน่นอนเพียงทิศทางเดียว อีกทั้งใช้เวลาในการจัดน้อยกว่าสนามแรงที่รับประกันการจัดวัตถุเข้าสู่ตำแหน่งและทิศทางเดียวที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา2549.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

##4770387121 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : PROGRAMMABLE FORCE FIELD/ PART MANIPULATION

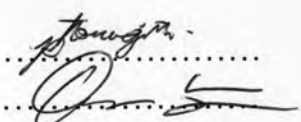
PEERAPONG THONNAGITH : COMBINATION OF PROGRAMMABLE FORCE FIELDS FOR FAST PLANAR PART MANIPULATION. THESIS ADVISOR : ATTAWITH SUDSANG, Ph.D., 74 pp.

This thesis proposes the comparison among the well-known sensorless programmable force fields for part manipulation on a plane, not only about part characteristics at the equilibrium state but also the amount of time spent in manipulation. Then we present a new combination of fields which consists of 2 elliptic fields and 1 newly-developed field. Each of them is activated sequentially, one at a time. By combining their advantages found from the characteristics analysis & test on each field, this new combination of fields shows a great potential in part manipulation: with a unique part configuration at an equilibrium state, and faster than any known fields having the same unique configuration property.

Department Computer Engineering
Field of study Computer Engineering
Academic year 2006

Student's signature

Advisor's signature



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยการสนับสนุนและส่งเสริมเป็นอย่างดีจาก อ.ดร. อรรถวิทย์ สุดแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ แนวคิด อีกทั้งข้อคิดเห็น คำแนะนำ ความห่วงใย และติดตามการทำงานของผู้วิจัยอย่างต่อเนื่องเสมอมา ตลอดจนให้คำปรึกษาในเรื่องอื่นๆ ที่อยู่นอกเหนือจากงานวิจัย ช่วยผลักดันให้ผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ มาได้ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างที่สุด จึงขอเรียนกราบขอบพระคุณอาจารย์ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. ประภาส จงสภิตย์วัฒนา ตลอดจนกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. วิทยา วัฒนสุโขประสิทธิ์ และ อ.ดร. ถวิดา มณีวรรณ ที่ได้กรุณาสละเวลา ตรวจสอบและให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

ที่จะขาดไปเสียมิได้ คือขอขอบคุณเหล่า พี่ๆ เพื่อนๆ และ น้องๆ แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยระบบอัจฉริยะ ISL2 ทุกๆ คน ที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ ทั้งในเรื่องของงานวิจัยและการใช้ชีวิต รวมไปถึงคอยกระตุ้นให้ผู้วิจัยรีบๆ ทำวิทยานิพนธ์นี้ให้เสร็จเสียที โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พี่ม ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยหาแนวทางแก้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่มีมาตั้งแต่เมื่อครั้งทำโครงการปริญญาตรีซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ร่วมกัน จวบจนกระทั่งถึงปัจจุบัน

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ มารดา บิดา ผู้ให้กำเนิด รวมไปถึงญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบคุณอีกหลายๆ ท่าน ที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้ทั้งหมด ณ ที่นี้ด้วยใจจริง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สิ่งที่ได้รับจากงานวิจัย	2
1.4 ลำดับเนื้อหาในงานวิจัย	2
2 สนามแรงที่โปรแกรมได้	3
2.1 จุดแรกเริ่ม : เครื่องจักรวัดถนัดโนมัติ	3
2.2 แนวคิดของสนามแรงที่โปรแกรมได้	4
2.3 กลศาสตร์ของวัตถุภายใต้สนามแรง	5
2.3.1 นิยามเบื้องต้น	5
2.3.2 ผลของสนามแรงที่มีต่อวัตถุ	6
2.3.3 แบบจำลองความเสียดทาน	7
2.3.4 เงื่อนไขการจัดวัตถุ : ภาวะสมดุล	8
2.4 การจัดวัตถุโดยใช้สนามแรงชุดเดียวที่ไม่เปลี่ยนไปตามเวลา	8
2.4.1 Elliptic Field	8
2.4.2 Unit Radial & Constant Field	9
2.4.3 Unit Radial, Radial & Constant Field	10
2.5 การจัดวัตถุโดยใช้สนามแรงหลายชุดที่เปลี่ยนไปตามเวลา	12
2.6 เครื่องมือที่ใช้หลักการของสนามแรงที่โปรแกรมได้	13
3 โปรแกรมจำลองการทำงานของสนามแรงที่โปรแกรมได้	14
3.1 โครงสร้างโดยรวมของโปรแกรม	14
3.2 รูปแบบข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรมจำลองสถานการณ์	16
3.2.1 รูปแบบข้อมูลวัตถุ	16
3.2.2 รูปแบบข้อมูลสนามแรง	17
3.2.3 รูปแบบข้อมูลสภาพแวดล้อมอื่นๆ	18
3.3 การคำนวณเชิงพื้นที่ : การอินทิเกรตเหนือพื้นที่วัตถุ	19

บทที่	หน้า
3.4 การคำนวณเชิงเวลา : การประมาณการเคลื่อนที่และการหมุนของวัตถุ	22
3.5 รูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนประมวลผล	25
4 การทดสอบคุณสมบัติของสนามแรงที่มีอยู่	27
4.1 ข้อมูลวัตถุและภาวะแวดล้อมสำหรับการทดสอบสนามแรง	27
4.2 การทดสอบการจัดวัตถุด้วย Elliptic Field	28
4.2.1 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้	28
4.2.2 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้	28
4.3 การทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial & Constant Field	30
4.3.1 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้	30
4.3.2 การทดสอบในแง่ของเวลาที่ใช้จัดวัตถุให้เข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุล	31
4.4 การทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial, Radial & Constant Field	33
4.4.1 การทดสอบในแง่ของ configuration ที่ภาวะสมดุลที่เป็นไปได้	33
4.4.2 การทดสอบในแง่ของเวลาที่ใช้จัดวัตถุให้เข้าสู่ configuration ที่ภาวะสมดุล	34
5 การผสมผสานสนามแรงแบบใหม่	35
5.1 Algorithm การออกแบบการจัดวัตถุด้วยสนามแรงหลายชุดเบื้องต้น	35
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางที่ configuration เริ่มต้น กับ configuration ที่ภาวะ สมดุลของวัตถุ ภายใต้ Elliptic Field	38
5.3 เวลาที่ใช้ในการจัดวัตถุ โดยใช้ Elliptic Field	40
5.3.1 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ	41
5.3.2 เวลาที่ใช้ในการหมุนรอบศูนย์กลางมวลของวัตถุ	43
5.4 การเลือกสนามแรงสำหรับหมุนวัตถุให้โน้มเข้าทิศทางเดียวและเวลาที่ใช้	49
6 การทดสอบคุณสมบัติของชุดสนามแรงที่ออกแบบขึ้นใหม่	56
6.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับชุดสนามแรงที่ออกแบบใหม่	56
6.2 การทดสอบการจัดวัตถุและผลที่ได้	57
7 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
7.1 สรุปผลการวิจัย	59
7.2 ข้อเสนอแนะ	60
รายการอ้างอิง	61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ตัวอย่าง Format ข้อมูลสนามแรงพื้นฐานที่ใช้ในไฟล์ข้อมูลสนามแรง	18
3.2	รูปแบบ Command-Line สำหรับข้อมูลสภาพแวดล้อมอื่นๆ ในการจำลองสถานการณ์	19
3.3	ตัวอย่างของ $H^*(x)$ สำหรับ $G(x, y)$ บางส่วนที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์	23
3.4	รูปแบบ Command-Line สำหรับพารามิเตอร์ควบคุมการคำนวณเชิงเวลา	25
4.1	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบด้วย Elliptic Field	30
4.2	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบด้วย Unit Radial & Constant Field	32
4.3	ค่า d ที่เหมาะสมกับแต่ละวัตถุ สำหรับ Unit Radial, Radial & Constant Field	33
4.4	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุแต่ละรูปแบบด้วย Unit Radial, Radial & Constant Field	34
6.1	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดวัตถุด้วยชุดสนามแรงแบบใหม่	57
6.2	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดวัตถุด้วยชุดสนามแรงที่ออกแบบใหม่	58
7.1	สรุปคุณสมบัติของสนามแรงแต่ละรูปแบบที่เคยมีการนำเสนอมา	59

สารบัญรูปร่าง

รูปที่	หน้า
1.1 รูปจำลองเครื่องจัดตำแหน่งและทิศทางของชิ้นส่วน	1
2.1 Vibratory Bowl Feeder	3
2.2 แบบจำลองตัวอย่างการจัดวัตถุด้วย Parallel Gripper	4
2.3 แบบจำลองแนวคิดของสนามแรงที่โปรแกรมได้	4
2.4 ตัวอย่างวัตถุที่อยู่ ณ configuration (x_c, y_c, θ)	6
2.5 ตัวอย่างสนามแรง Elliptic Field $(\xi = 1, \eta = 2)$	9
2.6 ตัวอย่างสนามแรง Unit Radial & Constant Field $(h = 1, c = 0.5$ ทิศทาง $\theta_c = 0)$	10
2.7 ตัวอย่าง pivot point ของวัตถุภายใต้ Unit Radial & Radial Field $(h = 10, k = 1, c = 0.01$ (จุด $p)$	11
3.1 ตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมส่วนสร้างข้อมูลวัตถุ	15
3.2 ตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมส่วนแสดงผลการจัดวัตถุ	15
3.3 โครงสร้างโดยรวมของโปรแกรมจำลองสถานการณ์	16
3.4 ตัวอย่างข้อมูลวัตถุ (ซ้าย) รูปร่างวัตถุตัวอย่าง (ขวา) ข้อมูลวัตถุที่ได้	17
3.5 ตัวอย่างข้อมูลสนามแรงสำหรับโปรแกรมรูปแบบเดิม (ก) Elliptic Field $(\xi = 1, \eta = 2)$ (ข) Unit Radial Field $(h = 1)$ & Constant Field ทิศทางตามแกน Y $(c = -0.4)$	17
3.6 ตัวอย่างข้อมูลสนามแรงสำหรับโปรแกรมรูปแบบใหม่ ซึ่งประกอบด้วย Elliptic Field $(\xi = 1, \eta = 2)$ และ Unit Radial Field $(h = 1)$ & Constant Field ทิศทางตามแกน Y $(c = -0.4)$ ทำงานชุดละ 100 วินาที ตามลำดับ	18
3.7 ตัวอย่างของการหา $G^*(y)$ ณ ค่า y ใดในการอินทิเกรตฟังก์ชัน $G(x, y)$ เหนือสามเหลี่ยม T_i ใดๆ	20
3.8 ตัวอย่างการแบ่งสามเหลี่ยมเป็น 2 ส่วน	21
3.9 ตัวอย่างการหาสมการกำกับด้านของสามเหลี่ยมที่ไม่ใช่ด้านที่ถูกแบ่ง	21
3.10 ตัวอย่างผลลัพธ์จากโปรแกรมจำลองสถานการณ์ตัวเดิม	26
3.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ละเอียดจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่ปรับปรุงใหม่	26
4.1 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสนามแรง	28
4.2 ผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Elliptic Field	29
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ทิศทาง ณ ตอนเริ่มต้น กับทิศทางที่ภาวะสมดุลของวัตถุ ภายใต้ Elliptic Field	29
4.4 ตัวอย่างกราฟพลังงานของวัตถุตามเวลา เมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ Elliptic Field	30
4.5 ผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial & Constant Field $(h = 10.0, c = 0.2, \theta_c = 0)$	31
4.6 ผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial & Constant Field ที่เปลี่ยนไป $(h = 10.0, c = 0.8, \theta_c = 0)$	31
4.7 ตัวอย่างกราฟพลังงานของวัตถุตามเวลา เมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ Unit Radial & constant Field	32
4.8 ตัวอย่างผลการทดสอบการจัดวัตถุด้วย Unit Radial, Radial & Constant Field	33
4.9 ตัวอย่างกราฟพลังงานของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ Unit Radial, Radial & constant Field	34

รูปที่	หน้า
5.1 ผลการจัดวัตถุภายใต้ Elliptic Field ที่ทิศทางเริ่มต้นใกล้กับทิศทางที่ภาวะสมดุลด้านใดด้านหนึ่ง ด้วยผลจากสนามแรงชุดอื่น	36
5.2 ตัวอย่างทิศทางที่ภาวะสมดุลภายใต้ Elliptic Field สองชุดที่มีทิศทางตั้งฉากกัน	37
5.3 การจัดวัตถุด้วยสนามแรง 3 ชุด ตาม algorithm 3	38
5.4 ตัวอย่างการหาค่า $\varphi(\theta)$ ของวัตถุที่ configuration (x_c, y_c, θ)	39
5.5 ตัวอย่างกราฟของทอร์กัลฟ์สำหรับวัตถุใดๆ ภายใต้ Elliptic Field	40
5.6 ตัวอย่าง Trajectory ของศูนย์กลางมวลของวัตถุภายใต้ Elliptic Field	43
5.7 (ก) กรณีที่ทิศทางของวัตถุตรงกับทิศทางของ configuration ที่ภาวะสมดุล (ข) กรณีที่ทิศทางเปลี่ยนไปเป็นทิศทางอื่น	44
5.8 แบบจำลองกลศาสตร์ของการแกว่งลูกตุ้มที่มีแรงต้านอากาศ	46
5.9 กราฟของ $U(0, 0, \theta)$ สำหรับวัตถุใดๆ บน Elliptic Field	48
5.10 รูปแสดงแรง ณ จุดต่างๆ ของ Parabolic Field ($k = 1$)	50
5.11 กราฟของ $T_T^*(\theta)$ กับค่า θ	52
5.12 ตัวอย่างการเลือกทิศทางของแกนระนาบสนามแรงใน Step2 (ก) ทิศทางที่วัตถุหยุดจาก Elliptic Field ใน Step1 (ข) ทิศทางของ Parabolic Field ที่ทำให้ได้ทอร์กัลฟ์ในทิศทางที่ต้องการ (ค) ทิศทางของแกนระนาบของ Parabolic Field ที่ได้	54
5.13 ตัวอย่างการประมาณเชิงเส้นของทอร์กัลฟ์เนื่องจาก Parabolic, Radial & Constant Field	55
6.1 รูปแบบ configuration ของวัตถุที่ภาวะสมดุลจากการจัดวัตถุด้วยชุดสนามแรงที่ออกแบบใหม่	57