ระบบโฟกัสภาพโดยอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรมด้วยการจับคู่
ค่าความพร่ามัวและระยะห่างของวัตถุ

นายพิพัฒน์ ณรงค์วณิชย์ วศ.บ. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ประดิษฐ์ มิตราปิยานุรักษ์)	วิทยานิพนธ์ร่วม
.....	กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รศ.ดร.วุฒิพงษ์ คำวิลัยศักดิ์)	
.....	กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รศ.ดร.ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์)	
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.สุวัฒน์ ภัทรมาลัย)	

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบโฟกัสภาพโดยอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรมด้วยการจับคู่ค่าความพร่ามัวและระยะห่างของวัตถุ
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายพิพัฒน์ ณรงค์วณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.วุฒิพงษ์ คำวิลัยศักดิ์ ดร.ประดิษฐ์ มิตราปิยานุรักษ์ รศ. ดร.ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

ภาพไม่โฟกัสเป็นปัญหาหนึ่งที่มักพบในการถ่ายภาพด้วยเครื่องจักร วิธีการที่นำเสนอจะเป็นการโฟกัสภาพโดยอัตโนมัติด้วยกล้องเพียงตัวเดียวสำหรับการถ่ายภาพวัตถุในแนวระนาบเดียวกัน และการประมาณค่า PSF (Point spread function) เพื่อใช้ในการวัดค่าความพร่ามัวของภาพ จากนั้นทำการบันทึกค่าความพร่ามัวและระยะวัตถุจากโฟกัสของภาพ เมื่อทำการถ่ายภาพที่ไม่ทราบระยะวัตถุแล้วจะนำภาพที่ได้ไปวัดความพร่ามัวและเปรียบเทียบด้วยค่าที่ทำการบันทึกไว้ เพื่อใช้ในการปรับระยะวัตถุให้ได้ภาพที่มีโฟกัส ซึ่งข้อดีของวิธีการดังกล่าว คือ ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นมาช่วยในการหาโฟกัสของภาพ อีกทั้งยังสามารถหาระยะวัตถุที่ทำให้ได้ภาพที่มีโฟกัสด้วยการถ่ายภาพไม่เกินสองครั้ง

คำสำคัญ: การประมาณค่า PSF / ความพร่ามัว / โฟกัสภาพโดยอัตโนมัติ

Thesis Title	Autofocusing System using Matching Blurry and Working Distance for Industrial Application
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Pipat Narongvanich
Thesis Advisors	Assoc. Prof. Dr. Wuttipong Kumwilaisak Dr. Pradit Mittrapiyanuruk Assoc. Prof. Dr. Pakorn Kaewtrakulpong
Program	Master of Engineering
Field of Study	Electrical Engineering
Department	Electronic and Telecommunication Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2554

Abstract

Out of focus is one of the problems typically found in machine vision. The proposed approach is to use the autofocusing algorithm using a single camera for capturing same plane objects and using the PSF (Point spread function) estimation for measuring blurry value of an image. The blurry value and the working distance from the focal point were recorded. For a case of pictures with unknown working distance, the blurry values were measured and compared with the recorded database to adjust the lens to a focal point. The advantage of this model is that it does not need an extra focal point detecting device and can also adjust the lens to the focal point within two shots.

Keywords: Autofocusing / Blurry Value / Point Spread Function Estimation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.วุฒิพงษ์ คำวิลัยศักดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร. ประดิษฐ์ มิตราปิยานุรักษ์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ รศ.ดร.ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ตลอดจนให้แนวคิดและวิธีแก้ไขปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังให้ความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ผศ.ดร.สุวัฒน์ ภัทรมาลัย ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่คอยห่วงใย เป็นกำลังใจ และสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนๆนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาตรีทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
รายการตาราง ช
รายการรูปประกอบ ซ
รายการสัญลักษณ์ ฎ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1
1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 1
1.4 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

2. แนวคิด ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต 3
2.2 แบบจำลองการเกิดภาพเบลอ 4
2.3 ระบบออโต้โฟกัสแบบผ่านเลนส์ในกล้อง SLR (Single-lens reflex) 6
2.3.1 แอ็คทีฟออโต้โฟกัส (Active Auto Focus) 8
2.3.2 พาสซีฟออโต้โฟกัส (Passive Auto Focus) 9
2.4 การโฟกัสและชัดลึก ชัดตื้น ในกล้อง DSLR (Digital single-lens reflex) 11
2.4.1 การทำงานของระบบโฟกัสในกล้อง 11
2.4.2 โหมด AF และแพทเทิร์น 13
2.4.3 ชัดลึกชัดตื้น (Depth of Field) 15

3. แบบจำลองที่นำเสนอ **16**

3.1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง 16

3.1.1 กรณีตำแหน่งไกลกว่าก่อนหรือหลังโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ 18

3.1.2 กรณีตำแหน่งก่อนระยะโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ 21

3.1.3 กรณีตำแหน่งหลังระยะโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ 23

3.1.4 กรณีตำแหน่งที่ระยะโฟกัสของเลนส์ 24

3.2 การเลือกวิธีการวัดความพร่ามัว 26

3.2.1 การวัดโฟกัสภาพ 26

3.2.2 การโฟกัสภาพโดยอัตโนมัติ 31

3.2.3 การแยกบริเวณของภาพที่ชัดและพร่ามัว 33

3.2.4 การขจัดความพร่ามัวของภาพ 38

4. การทดลองและการวิเคราะห์ **46**

4.1 การทดลองถ่ายภาพ Slider bar 46

4.2 การทดลองถ่ายภาพ Computer Graphic Card 53

5. สรุปงานวิจัยและแนวทางการพัฒนา **55**

5.1 สรุปงานวิจัย 55

5.2 แนวทางการพัฒนา 55

เอกสารอ้างอิง **56**

ภาคผนวก **58**

ก อัลกอริทึมที่ใช้ในการวัดความพร่ามัว 58

ประวัติผู้วิจัย **61**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	ตัวอย่างตารางการบันทึกค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส	17
3.2	คำอธิบายการวัดค่าโฟกัสด้วยโมเมนต์ที่ 1 ถึง 5	28
4.1	ค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส ที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวัดของ Fergus และ Q. Shan	48
4.2	ค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส ที่ได้จากการถ่ายภาพโดยที่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2	50
4.3	ค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส ที่ได้จากการสมมุติให้ถ่ายภาพโดยที่ไม่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2	50
4.4	ค่าความพร่ามัวที่ระยะต่างๆ ด้วยเคอร์เนลที่มีขนาด 3x3	51
4.5	ค่าความพร่ามัวที่ระยะต่างๆ ด้วยเคอร์เนลที่มีขนาด 5x5	52
ก.1	Parameter Definition	59
ก.2	Parameter Tuning	60

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ภาพที่เกิดจากเลนส์นูน	3
2.2	ลักษณะของ h(x, y) ที่มีแนวการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	4
2.3	ลักษณะของ h(x, y) ที่เกิดการจำลองเหตุการณ์รถวิ่งขณะถ่ายภาพ	5
2.4	ลักษณะของ f(x, y) ที่เกิดจากการที่วัตถุอยู่นิ่ง	6
2.5	ภาพจำลองเหตุการณ์รถวิ่งขณะถ่ายภาพซึ่งเกิดจากการคอนโวลูชั่นระหว่าง f(x, y) และ h(x, y)	6
2.6	การหาโฟกัสผ่านเลนส์ของกล้อง SLR	7
2.7	กล้อง PENTAX ME F (ปี 1981)	8
2.8	ระบบออโต้โฟกัสแบบพาสซีฟ	10
2.9	แพคเทิร์นของเซ็นเซอร์ระบบโฟกัสอัตโนมัติ	11
2.10	การทำงานของระบบโฟกัสอัตโนมัติแบบ contrast-detect	12
2.11	สถานการณ์ที่ภาพโดยรวมคอนทราสต่ำ	13
2.12	ภาพไดอะแกรมแสดงรูปแบบของระบบ AF ทั่วไปและแบบ tracking AF systems	14
2.13	ตัวอย่างภาพถ่ายแนวชัดตื้น	15
2.14	การถ่ายภาพชัดตื้น หน้าชัดหลังเบลอ	15
3.1	ตัวอย่างการถ่ายภาพเรียนรู้ค่าความพร่ามัวและระยะห่างจากจุดโฟกัสจำนวน 5 ระยะ	17
3.2	การปรับตำแหน่งวัตถุที่เหมาะสม	19
3.3	การปรับตำแหน่งวัตถุที่ไม่เหมาะสม	19
3.4	การปรับตำแหน่งวัตถุจากระยะก่อนโฟกัสของเลนส์	20
3.5	การปรับตำแหน่งวัตถุจากระยะหลังโฟกัสของเลนส์	20
3.6	แผนภาพแบบจำลองที่ตำแหน่งไกลกว่าก่อนหรือหลังระยะโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ	21
3.7	แสดงวัตถุที่ตำแหน่งก่อนระยะโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ	22
3.8	แผนภาพแบบจำลองที่ตำแหน่งก่อนระยะโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ	22
3.9	แสดงวัตถุที่ตำแหน่งหลังระยะโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ	23
3.10	แผนภาพแบบจำลองที่ตำแหน่งหลังระยะโฟกัสของเลนส์ 1 ระยะ	24
3.11	แสดงวัตถุที่ระยะโฟกัสของเลนส์	25
3.12	แผนภาพแบบจำลองที่ระยะโฟกัสของเลนส์	25
3.13	ค่าที่ได้จากการวัดโฟกัสสำหรับภาพที่พร่ามัวด้วย Gaussian และ salt-and-pepper noise	27

3.14	ตัวอย่างภาพ Lena ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.15	ผลการวัดค่าโฟกัสของภาพ Lena ด้วย Energy of Laplacian	29
3.16	ผลการวัดค่าโฟกัสของภาพ Lena ด้วย Daubechies wavelet	29
3.17	ภาพที่ใช้ในการทดลอง	30
3.18	กราฟแสดงค่าโฟกัสที่ค่าความพร่ามัวต่างๆ	30
3.19	ขั้นตอนในการค้นหาระยะโฟกัสของภาพ	31
3.20	แสดงค่าความคมชัดของวัตถุต่างชนิดกันที่ระยะต่างๆ	32
3.21	แสดงวิธีการหาโฟกัสโดยอัตโนมัติของ C.Y. Chen และคณะ	32
3.22	ผลการเปรียบเทียบที่ได้จากวิธีการ local power spectrum slope	34
3.23	ภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์	35
3.24	ภาพตัวอักษร 500 บนธนบัตร	35
3.25	ภาพตัวอักษรทั่วไป	35
3.26	ผลการเปรียบเทียบภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 ระยะ	36
3.27	ผลการเปรียบเทียบภาพตัวอักษร 500 บนธนบัตรทั้ง 3 ระยะ	36
3.28	ผลการเปรียบเทียบภาพตัวอักษรทั่วไปทั้ง 3 ระยะ	37
3.29	ผลการเปรียบเทียบทุกภาพในระยะที่ 1 และ 2	37
3.30	ผลการเปรียบเทียบทุกภาพในระยะที่ 2 และ 3	38
3.31	ผลการเพิ่มขนาดของภาพเพื่อประมาณค่า PSF ของ Fergus	39
3.32	ผลการทำซ้ำเพื่อประมาณค่า PSF ของ Q. Shan	39
3.33	กระบวนการขจัดความพร่ามัวของภาพของ Q. Shan	45
4.1	ตัวอย่างภาพบางส่วนของ slider bar ที่ระยะจุดโฟกัส	46
4.2	ขั้นตอนการถ่ายภาพด้วยกล้อง Basler scA750-60fm	46
4.3	กล้อง Basler scA750-60fm ที่ทำการยึดติดกับอุปกรณ์ปรับระยะ	47
4.4	แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากวิธีการของ Fergus และ Q. Shan	48
4.5	แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากการถ่ายภาพโดยที่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2	49
4.6	แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากการสมมุติให้ถ่ายภาพโดยที่ไม่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2	49
4.7	ตัวอย่างภาพ Computer Graphic Card ที่ระยะห่างจากจุดโฟกัส 1.3 mm	53
4.8	แสดงภาพตัวอักษร SC15 และ SC167	54

4.9 แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากการถ่ายภาพโดยที่ทราบระยะจากจุดโฟกัส ในการทดลองที่ 4 54

รายการสัญลักษณ์

$p_g(L)$	=	the global latent image prior
$p_l(L)$	=	the local latent image prior
α_o	=	slope of power spectrum for the whole image
α_p	=	slope of power spectrum for each local block of image

ประมวลศัพท์และคำย่อ

AF	=	Autofocus
CCD	=	Charge-Coupled Device
DFT	=	Discrete Fourier transform
DOF	=	Depth of field
DSLR	=	Digital single-lens reflex
FD	=	Face detection
PSF	=	Point spread function
SLR	=	Single-lens reflex