

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปร วิธีการตรวจสอบมีสามขั้นตอนคือ การหาพารามิเตอร์อ้างอิง การหาพารามิเตอร์ทดสอบและการตั้งค่า (threshold) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปรสามแบบจำลองได้แก่ แบบจำลองเกาส์เซียนแบบจำลองเกาส์เซียนทั่วไป และแบบจำลองแอลฟาสเตเบิ้ล ในขั้นตอนแรกทำการจำลองภาพอ้างอิง (ภาพถ่ายของพื้นผิวที่ไม่มีข้อบกพร่อง) ด้วยแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปรเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์อ้างอิง ขั้นตอนที่สองนำภาพถ่ายของพื้นผิวที่ทำการทดสอบมาแปลงเป็นภาพย่อย (ภาพย่อยเป็นภาพขนาดเล็ก ๆ ของภาพทดสอบที่ซ้อนทับกัน) และทำการจำลองภาพย่อยด้วยแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปรเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ทดสอบและเปรียบเทียบภาพอ้างอิงกับภาพทดสอบด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลองทางสถิติจากพารามิเตอร์อ้างอิงและพารามิเตอร์ทดสอบด้วย Kullback-Leibler distance ซึ่งจะได้ภาพระยะความแตกต่างขั้นตอนสุดท้ายนำภาพระยะความแตกต่างมาผ่านการตั้งค่า (การตั้งค่าได้จากค่าระยะทางความแตกต่างสูงสุดของภาพอ้างอิง) เพื่อแยกภาพถ่ายของพื้นผิวที่ปกติกับพื้นผิวที่มีข้อบกพร่อง วัดประสิทธิภาพของวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยการทดลองโดยใช้ภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะจำนวน 20 ภาพและภาพถ่ายของพื้นผิวผ้าจำนวน 40 ภาพ ผลการตรวจสอบพบว่าการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองที่มีการแจกแจงแบบเกาส์เซียนทั่วไปหลายตัวแปรมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยให้ร้อยละความถูกต้องในการตรวจสอบภาพถ่ายทั้งหมดเท่ากับ 96.67

Abstract

This thesis proposes the method of defect inspection on texture image using multivariate statistical models. The method of defect inspection has reference parameter, test parameter and threshold. The thesis studies and compares three multivariate statistical models: multivariate Gaussian distribution (MGD), multivariate generalized Gaussian distribution (MGGD), and multivariate symmetric alpha stable distribution (MS α S). Firstly, the reference image (image of non-defective textured) is modeled with multivariate statistical models to obtain the reference parameters. Secondly, the test image (image of non-defective and defective texture) is transformed to subimages and is modeled with multivariate statistical models to obtain the test parameters. Then, the difference image is obtained from the comparison of the reference image and the test image using reference parameter and test parameter by Kullback-Leibler distance. Finally, the defect detection step or the thresholding step uses maximum-valued distance obtained from the reference image as a threshold. The efficiency of the proposed method is evaluated with experiments on twenty metallic images and forty fabric images. The experiment results show that the defect inspection on texture images using multivariate generalized Gaussian distribution is the best among the three distributions with 96.67% accuracy.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยการสนับสนุนจาก รศ. ดร. สัณญา มิตรเอน อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งท่านเป็นผู้ดูแลเอาใจใส่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งการช่วยวิเคราะห์ผลการทดลอง นอกจากนี้ท่านยังเป็นผู้เสียสละเวลาเพื่อร่วมทำงานวิจัยนี้ และผลักดันให้มีความตั้งใจในการทำงานตลอดมา ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ ผศ. ดร. นภดล อุซายภิชาติ และ ผศ. ดร. วุฒิพงษ์ คำวิสัยศักดิ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ใหม่ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในเรื่องของวิธีการวัดประสิทธิภาพของงานวิจัย ทำให้การทดลองครบถ้วนและสมบูรณ์

ขอขอบคุณ รศ. ดร. สมชาติ โชคชัยธรรม ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการในเรื่องการประมวลผลภาพและชี้ให้เห็นข้อเปรียบเทียบดี ๆ ในหลาย ๆ แง่มุม และ ดร. ดามพ์เมษ บุญยะเวศ ที่ให้คำแนะนำเรื่องแบบจำลองทางสถิติเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณบุญเรือน กล้าสุข และคุณบุษราภรณ์ พูลภักดี บุคคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับความช่วยเหลือให้คำปรึกษาด้านงานเอกสาร กำหนดการสำคัญต่าง ๆ รวมทั้งความช่วยเหลือด้านการทบทวนเอกสารให้มีความถูกต้อง และชัดเจน

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

นัตตพล จูรีกานนท์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพประกอบ	(9)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	5
2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิว ที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติ	6
2.1 แบบจำลองทางสถิติแบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปร (Univariate and multivariate statistical models).....	6
2.1.1 การแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution)	7
2.1.2 การแจกแจงแบบเกาส์เซียนทั่วไป (Generalized Gaussian distribution)	9
2.1.3 การแจกแจงแบบแอลฟาเสตเบิ้ลที่สมมาตร (Symmetric alpha stable distribution).....	12

2.1.4	การแจกแจงแบบเกาส์เซียนหลายตัวแปร (Multivariate Gaussian distribution).....	16
2.1.5	การแจกแจงแบบเกาส์เซียนทั่วไปหลายตัวแปร (Multivariate generalized Gaussian distribution).....	17
2.1.6	การแจกแจงแบบแอลฟาเสเบิลที่สมมาตรหลายตัวแปร (Multivariate symmetric alpha stable distribution).....	17
2.2	Kullback-Leibler distance	18
3.	การตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่ายพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติ	20
3.1	ภาพถ่ายที่ใช้ในการทำวิจัย.....	20
3.1.1	ภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะ (Metallic image).....	20
3.1.2	ภาพถ่ายของพื้นผิวผ้า (Fabric image).....	21
3.2	วิธีการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติ ...	24
3.2.1	การหาพารามิเตอร์อ้างอิง (Reference parameter).....	25
3.2.1.1	การแจกแจงทางสถิติแบบตัวแปรเดียว.....	25
3.2.1.2	การแจกแจงทางสถิติแบบหลายตัวแปร.....	26
3.2.2	การถอดลักษณะเด่น (Feature extraction).....	26
3.2.2.1	การหาพารามิเตอร์ทดสอบ (Test parameter).....	27
3.2.2.2	การหาค่าความแตกต่างระหว่างสองแบบจำลองทางสถิติด้วยวิธี Kullback-Leibler distance.....	27
3.2.3	การตรวจจับข้อบกพร่อง (Defect detection).....	30
4.	ผลการทดลองของการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลอง ทางสถิติ.....	31
4.1	ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิง	31
4.1.1	ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิงด้วยแบบจำลองทางสถิติตัวแปรเดียว ...	35
4.1.2	ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิงด้วยแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปร..	38
4.1.3	ผลการหาการตั้งค่า (Threshold).....	40

4.2 ผลการตรวจสอบข้อบกพร่อง	43
4.2.1 ผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติตัวแปรเดียว...	43
4.2.2 ผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติตัวหลายตัวแปร	44
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61
5.1 บทสรุป	61
5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย	62
5.3 ข้อเสนอแนะ	63
ภาคผนวก.....	64
ผนวก ก การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางสถิติแบบเกาส์เซียนทั่วไป และแบบแอลฟาสเตเบิลที่สมมาตร.....	65
ผนวก ข การหาสมการKLDของฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน แบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปร.....	70
ผนวก ค การหาสมการKLDของฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียนทั่วไป แบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปร	73
ผนวก ง การหาสมการKLDของฟังก์ชันลักษณะเฉพาะแบบแอลฟาสเตเบิลที่ สมมาตรแบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปร	85
ผนวก จ ผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ.....	95
บรรณานุกรม	99
ประวัติการศึกษา.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 พารามิเตอร์อ้างอิงของภาพถ่ายพื้นผิวที่เป็นโลหะด้วย GD, GGD และ $S\alpha S$	35
4.2 พารามิเตอร์อ้างอิงของภาพถ่ายพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วย GD, GGD, $S\alpha S$	36
4.3 พารามิเตอร์อ้างอิงของภาพถ่ายพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่สองด้วย GD, GGD, $S\alpha S$	37
4.4 การตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวที่เป็นโลหะของแบบจำลองทั้งหกแบบ.....	40
4.5 การตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่หนึ่งของแบบจำลองทั้งหกแบบ.....	41
4.6 การตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่สองของแบบจำลองทั้งหกแบบ.....	42
4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นโลหะรูปที่ 1-4.....	45
4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นโลหะรูปที่ 5-8.....	46
4.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นโลหะรูปที่ 9-12.....	47
4.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นโลหะรูปที่ 13-16.....	48
4.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นโลหะรูปที่ 17-20.....	49
4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่หนึ่งรูปที่ 21-24.....	50
4.13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่หนึ่งรูปที่ 25-28.....	51
4.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่หนึ่งรูปที่ 29-32.....	52
4.15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่สองรูปที่ 33-36.....	53
4.16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นผ้ากลุ่มที่สองรูปที่ 37-40.....	54

4.17	ผลการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายจากภาพทดสอบ 60 ภาพ.....	55
4.18	อัตราส่วนค่าความแตกต่างระหว่างพื้นผิวที่มีตำหนิส่วนพื้นผิวปกติ.....	55
4.19	แสดงการเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลที่เป็นข้อบกพร่อง.....	56
4.20	แสดงผลของการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะด้วยขนาดหน้าต่าง 9x9 และ 15x15 พิกเซล.....	57
4.21	แสดงผลของการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วยขนาดหน้าต่าง 9x9 และ 15x15 พิกเซล.....	58
4.22	แสดงผลของการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองด้วยขนาดหน้าต่าง 9x9 และ 21x21 พิกเซล.....	58
4.23	ผลการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวจากภาพทดสอบกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สอง จำนวน 40 ภาพ ด้วยแบบจำลอง MGGD สำหรับหน้าต่างขนาด 9x9, 15x15 และ 9x9 OR 15x15 พิกเซล.....	59
4.24	ผลการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวจากภาพทดสอบกลุ่มที่สามจำนวน 20 ภาพ ด้วยแบบจำลอง MGGD สำหรับหน้าต่างขนาด 12x12, 21x21 และ 12x12 OR 21x21 พิกเซล.....	59
ก.1	แสดงผลการประมาณค่าเบต้า ที่ค่า $\beta = 1, 2, 4$ และ 10 จำนวน 1,000 ครั้ง	66
ก.2	แสดงผลการประมาณค่าแอลฟาสำหรับ $\gamma=10$ จำนวน 1,000 ครั้ง.....	68
ก.3	แสดงผลการประมาณค่าแอลฟาสำหรับ $\gamma=50$ จำนวน 1,000 ครั้ง.....	69

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างภาพอ้างอิง (ไม่มีข้อบกพร่อง) (ก) ภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นโลหะ (ข) ภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นผ้า.....	2
1.2 ตัวอย่างภาพทดสอบ (มีข้อบกพร่อง) (ก) ภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นโลหะ (ข) ภาพถ่ายของพื้นผิวที่เป็นผ้า.....	2
2.1 ลักษณะของสัญญาณแบบเกาส์เซียน.....	8
2.2 ลักษณะของสัญญาณแบบเกาส์เซียนทั่วไป.....	10
2.3 กราฟแสดงลักษณะของ $F^{-1}(x)$	11
2.4 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณแอลฟาสเตเบิลที่สมมาตรด้วยค่า $\alpha = 2, 1.5$ และ 1.0	12
2.5 ลักษณะของสัญญาณแบบแอลฟาสเตเบิลที่สมมาตร.....	14
3.1 ตัวอย่างภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะที่ใช้ในการตรวจสอบ.....	21
3.2 ตัวอย่างภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งที่มีข้อบกพร่อง.....	22
3.3 ตัวอย่างภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองที่มีข้อบกพร่อง.....	23
3.4 ระบบการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลอง ทางสถิติ.....	24
3.5 การสร้างเวกเตอร์แก้ตัวแปรจากแก้พิกเซลที่ติดกัน.....	26
3.6 การแปลงภาพย่อ.....	27
4.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพย่อของพื้นผิวโลหะ.....	32
4.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพย่อของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง.....	33
4.3 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพย่อของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง.....	34
4.4 แสดงการประมาณฮิสโตแกรมของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะด้วยแบบจำลองทางสถิติ แบบตัวแปรเดียว.....	35
4.5 แสดงการประมาณฮิสโตแกรมของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วยแบบจำลอง ทางสถิติแบบตัวแปรเดียว.....	36
4.6 แสดงการประมาณฮิสโตแกรมของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองด้วยแบบจำลอง ทางสถิติแบบตัวแปรเดียว.....	37

4.7	แสดงค่าพารามิเตอร์ covariance matrix ขนาด 9x9 ของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะ	38
4.8	แสดงค่าพารามิเตอร์ covariance matrix ขนาด 9x9 ของภาพถ่ายพื้นผิวผ้า กลุ่มที่หนึ่ง.....	39
4.9	แสดงค่าพารามิเตอร์ covariance matrix ขนาด 9x9 ของภาพถ่ายพื้นผิวผ้า กลุ่มที่สอง.....	39
4.10	รูปภาพแสดงค่าระยะความแตกต่างของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะด้วย MGD.....	40
4.11	รูปภาพแสดงค่าระยะความแตกต่างของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วย MGD	41
4.12	รูปภาพแสดงค่าระยะความแตกต่างของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองด้วย MGD	42
4.13	ผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบตัวแปรเดียว.....	43
4.14	เปรียบเทียบผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติ แบบหลายตัวแปร.....	44
4.15	ผลการเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลที่เป็นข้อบกพร่องด้วย MGD, MGGD, $MS\alpha S$	56
ก.1	แสดงผลการประมาณค่าเบต้าด้วยวิธี MME สำหรับค่าเบต้าในช่วง (0.1-10.0)	65
ก.2	แสดงการประมาณค่า $\beta = 1, 2, 4$ และ 10 จำนวน 100 ครั้ง.....	66
ก.3	แสดงผลการประมาณค่าแอลฟาด้วยวิธี method of sample characteristic function สำหรับค่าแอลฟาในช่วง (0.1-2.0).....	67
ก.4	แสดงการประมาณค่า $\alpha = 0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 จำนวน 100 ครั้ง.....	68