การพัฒนาซอฟต์แวร์การตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์

นายนิคม กุญชรศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4807-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB) INSPECTION SOFTWARE

Mr.Nikom Kunchonsil

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 974-17-4807-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาซอฟต์แวร์การตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์
โดย	นายนิคม กุญชรศิลป์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ จงชัยกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ จงชัยกิจ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

นิคม กุญชรศิลป์ : การพัฒนาซอฟต์แวร์การตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์
(DEVELOPMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB) INSPECTION SOFTWARE)
อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.สมบูรณ์ จงชัยกิจ, 64 หน้า. ISBN 974-17-4807-8.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์การตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อหาจุดบกพร่องของลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ จุดบกพร่องของลายวงจรสามารถแบ่งออกเป็น 6 แบบ ได้แก่ ลายวงจรเปิด (Open Circuit) ลัดวงจร (Short Circuit) รอยนูน (Spur) รอยเว้า (Mouse bite) รูลึก (Pinhole) และส่วนเกิน (Excess copper)

ขั้นตอนการตรวจสอบเริ่มจากการถ่ายภาพลายวงจรของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ไม่มีจุดบกพร่องเพื่อใช้เป็นภาพอ้างอิง (Reference Image) จากนั้นทำการถ่ายภาพลายวงจรของแผ่นวงจรที่ต้องการตรวจสอบหาจุดบกพร่องด้วยการนำมาเปรียบเทียบกับภาพอ้างอิง โดยก่อนนำภาพลายวงจรของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ต้องการตรวจสอบมาเปรียบเทียบต้องนำภาพไปผ่านกระบวนการที่สำคัญหลักๆ ดังต่อไปนี้ การทำภาพให้เป็นภาพ 256 ระดับ (Gray Scale), การปรับระดับสีภาพให้เป็น 2 ระดับ (Threshold) การลดสัญญาณรบกวน การปรับตำแหน่ง แล้วจึงนำภาพทั้งสองมาเปรียบเทียบแบบจุดต่อจุด

การทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการใช้ภาพอ้างอิงจากโรงงานจำนวน 15 รูปแบบๆละ 1 ภาพ แต่ละภาพอ้างอิงนำไปตรวจสอบภาพลายวงจรทดสอบที่มีจุดบกพร่องจำลองจำนวน 3 ภาพ แต่ละภาพลายวงจรที่ทดสอบมีจุดบกพร่องจำลองทั้ง 6 แบบ จำนวน 10-12 จุด ผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ โปรแกรมสามารถแสดงจุดบกพร่องจำลองทุกแบบบนหน้าจอได้ร้อยละร้อย และสามารถจำแนกจุดบกพร่องจำลองที่แสดงบนหน้าจอว่าเป็นแบบลายวงจรเปิด และลัดวงจรได้ถูกต้องถึงร้อยละ 81 เวลาในการตรวจสอบมีค่าประมาณ 25 วินาทีต่อภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548

4470707021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : RECOGNITION / PATTERN DEFECT / PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB)

NIKOM KUNCHONSIL: DEVELOPMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB) INSPECTION SOFTWARE. THESIS ADVISOR : SOMBOON CHONGCHAIKIT, D.Ing., 64 pp. ISBN 974-17-4807-8

This thesis presents a development of Printed Circuit Board (PCB) inspection software to detect the defects on PCB. The defects on PCB can be classified into 6 types: Open Circuit, Short Circuit, Spur, Mouse bite, Pinhole, and Excess Copper.

The testing stage starts with taking digital image of non – defect PCB which is used to be a reference image. Then, take digital image of testing PCB and detect the defects by comparing to the reference image. Before comparing, the testing image is processed by converting into 256 levels of gray scale, thresholding, reducing noise, and then comparing to the reference image point – to point.

The program is tested in laboratory by using 15 patterns of reference images from factory. One pattern is contained in one image. Each reference image is used to test 3 containing simulated defects test images. Each test image has 10 – 12 points of all 6 types of simulated defects. The result is satisfactory. The program can detect all types of defects and can classify simulated defects as Open Circuit and Short Circuit correctly up to 81%. The program takes, in average, 25 seconds for inspecting an image.

Department Electrical Engineering Student's Signature.....

Field of study Electrical Engineering Advisor's Signature.....

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ อ.ดร.สมบูรณ์ จงชัยกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีในการทำงานวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณน้องๆ นิสิตในสังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ได้เข้ามาศึกษาและทำงานวิจัย

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ของข้าพเจ้าที่ได้เลี้ยงดูสนับสนุนด้านการศึกษาด้วยดีตลอดมา และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1. แนวคิดและความเป็นมา 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3. ขอบเขตของการวิจัย 1

1.4. ขั้นตอนในการวิจัย 2

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2. แผ่นวงจรพิมพ์ และจุดบกพร่องของลายวงจร(Defect) 3

2.1. แผ่นวงจรพิมพ์ 3

2.1.1 แบบของแผ่นวงจรพิมพ์ 3

2.1.1.1 แผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียว (Single Sided PCB) 3

2.1.1.2 แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้า (Double Sided PCB) 3

2.1.1.3 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหลายชั้น (Multi-layer PCB) 4

2.1.1.4 แผ่นวงจรพิมพ์แบบอ่อน (Flexible PCB หรือ Flex PCB) 4

2.1.1.5 แผ่นวงจรพิมพ์แบบฟีโนลิก (Phenolic PCB) 5

2.1.2 องค์ประกอบสำคัญของแผ่นวงจรพิมพ์ 6

2.1.2.1 วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ 6

2.1.2.2 ความกว้างของลายทองแดง (Trace Width Guidelines) 7
2.2 จุดบกพร่อง(Defect)ของลายวงจร 8

3. ทฤษฎี และแนวคิดในการออกแบบ 12
3.1 ระบบตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์ 12
3.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) 12
3.1.2 โปรแกรม (Software) 13
3.2 การประมวลผล และการรู้จำภาพ 13
3.2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) 14
3.2.1.1 การดิจิไทซ์ข้อมูล (digitization) 14
3.2.1.2 การแบ่งส่วน (Segmentation) 15
3.2.1.3 กระบวนการแทน และการบรรยาย
(Representation and Description) 15
3.2.1.4 ฟังก์ชันปรับตำแหน่ง (Positioning Function) 17
3.2.1.5 การสร้างภาพใหม่ (Image Restoration) 24
3.2.1.6 การดึงคุณลักษณะสำคัญ (Extraction),
การให้คำอธิบาย (Description) 24
3.2.1.7 การรู้จำ(Recognition), การเข้าคู่ (Matching) 25
3.3 เทคนิค และระเบียบวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบภาพชิ้นงานอัตโนมัติ 28
3.3.1 วิธีการเปรียบเทียบภาพแบบจุดต่อจุด 28
3.3.2 วิธีตรวจสอบคุณลักษณะสำคัญ 28
3.3.3 วิธีทวนสอบคุณสมบัติ 29
3.4 งานวิจัยที่ใกล้เคียง 29

4. ซอฟต์แวร์ตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์ 32
4.1 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์ 32
4.1.1 ส่วนตั้งระบบ (Setting Phase) 32
4.1.1.1 ส่วนเก็บภาพอ้างอิง 32
4.1.1.2 ส่วนการแบ่งส่วน 32
4.1.2 ส่วนการตรวจสอบ (Running Phase) 32
4.1.2.1 การจับภาพ (Grabbing Image) 33

4.1.2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing) 33
- ฟังก์ชันเลือกภาพแผ่นวงจรพิมพ์อ้างอิง (Referent Picture) 33
- การปรับระดับ (Threshold) 33
4.1.2.3 การเปรียบเทียบภาพ (Image Comparison) 33
- การลบภาพ (Image Subtraction 34
- การดึงส่วนที่เป็นจุดบกพร่องและการตัดสิน (Defect Extraction and Judgement) 34
4.1.2.4 การแสดงผล (Operator Display) 38

5. การทดสอบ และผลการทดสอบ 41
5.1 โปรแกรมการตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น 41
5.2 การทดสอบการทำงานโปรแกรม 42
5.2.1 ภาพที่ใช้ทำการทดสอบ 42
5.2.2 โปรแกรมที่ใช้ทดสอบ 43
5.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา และทดสอบ 46
5.3.1จุดบกพร่องจำลองที่สามารถตรวจสอบได้ 46
5.3.2 ผลการทดสอบ 49
5.3.2.1 เก็บข้อมูลเพื่อหาค่าตัวแปรที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจำแนก 49
5.3.2.2 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของโปรแกรม 51
5.3.3 อัตราในการตรวจผิด (Error Rate) 52
5.3.4 เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบต่อหนึ่งชิ้นงาน 53
5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 54

6. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 55
6.1 สรุปผลการทดลอง 55
6.2 ข้อเสนอแนะ 56

รายการอ้างอิง 57

ภาคผนวก หน้า

ภาคผนวก ก แสดงตารางของ FR-1 58
ภาคผนวก ข แสดงตารางของ FR-4 61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 64

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางระยะการใช้งานของแผ่นวงจรพิมพ์ที่อุณหภูมิต่างๆ 6
ตารางที่ 2.2 ขนาดลายทองแดงผิวหน้าแผ่นวงจรพิมพ์ (External Conductors) 7
ตารางที่ 2.3 ขนาดลายทองแดงชั้นในแผ่นวงจรพิมพ์ (Internal Conductors) 8
ตารางที่ 5.1 สถิติการเกิดจุดบกพร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ 50
ตารางที่ 5.2 สถิติรายละเอียดของระยะส่วนเว้า และรูสึก เทียบกับกระแส 50
ตารางที่ 5.3 รายละเอียดของข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบโปรแกรม 51
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม 52
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม 52

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 แผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียว(Single Sided PCB) 3

รูปที่ 2.2 แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้า(Double Sided PCB) 3

รูปที่ 2.3 แผ่นวงจรพิมพ์หลายชั้น(Multi-layer PCB) 4

รูปที่ 2.4 แผ่นวงจรพิมพ์แบบอ่อน(Flexible PCB หรือ Flex PCB) 4

รูปที่ 2.5 แผ่นวงจรพิมพ์แบบฟีโนลิก(Phenolic PCB) 5

รูปที่ 2.6 ลายวงจรเปิด (Open Circuit) 8

รูปที่ 2.7 ลัดวงจร (Short Circuit) 9

รูปที่ 2.8 ส่วนยื่น (Spur) 9

รูปที่ 2.9 ส่วนเว้า (Mouse bite) 10

รูปที่ 2.10 รูลึก (Pinhole) 10

รูปที่ 2.11 ส่วนเกิน (Excess copper) 10

รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบการตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์ 12

รูปที่ 3.2 การหาค่าการเลื่อนตำแหน่งโดยเริ่มจากจุด (0,0) แบบก้นหอย 18

รูปที่ 3.3 การประมาณค่าแบบเส้นตรง 22

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งของพิกเซลใหม่ที่ไม่เป็นเลขจำนวนเต็ม จึงไปตกอยู่ในบริเวณ
พิกเซลอื่นๆ อีก 4 พิกเซล 23

รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบของระบบรู้จำ 25

รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบการรู้จำโดยใช้ทฤษฎีทางด้านการตัดสินใจ 27

รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบการรู้จำโดยใช้วิธีทางโครงสร้าง/ไวยากรณ์ 27

รูปที่ 3.8 กราฟมาตรฐาน และ กราฟที่ตรวจสอบ 30

รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ (Image Processing) 35

รูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) ภาพสองระดับ โดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน 36

รูปที่ 4.3 (ก) ส่วนหนึ่งของภาพแผ่นวงจรพิมพ์อ้างอิง 37

(ข) ส่วนหนึ่งของภาพแผ่นวงจรพิมพ์อ้างอิง 37

(ค) ส่วนหนึ่งของภาพแผ่นวงจรพิมพ์อ้างอิง 37

(ง) ส่วนหนึ่งของภาพแผ่นวงจรพิมพ์อ้างอิง 37

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.3 (จ) ภาพที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวน 37
(ฉ) ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านการลบภาพอ้างอิง 38
รูปที่ 4.4 (ก) ภาพแผ่นวงจรพิมพ์อ้างอิง 38
(ข) ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบ 39
(ค) ภาพจุดบกพร่องจำลองที่เกิดขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ 39
(ง) ภาพจุดบกพร่องจำลองแบบวงจรเปิดที่ตรวจพบ 39
(จ) ภาพจุดบกพร่องจำลองที่เกิดขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ 40
(ฉ) ภาพจุดบกพร่องจำลองแบบลัดวงจรที่ตรวจพบ 40
รูปที่ 5.1 ภาพที่ใช้ในการทดสอบ
(ก) ภาพอ้างอิง (ข) ตัวอย่างภาพทดสอบที่เกิดจุดบกพร่องจำลอง 43
รูปที่ 5.2 แบ่งระดับการเปลี่ยนสี 44
รูปที่ 5.3 ภาพที่ผ่านกระบวนการกรอง 44
รูปที่ 5.4 แสดงภาพที่ตั้งค่าระดับสีที่ 50 44
รูปที่ 5.5 แสดงภาพที่ตั้งค่าระดับสีที่ 150 45
รูปที่ 5.6 แสดงภาพที่ตั้งค่าระดับสีที่ 200 45
รูปที่ 5.7 ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบมีจุดบกพร่องจำลองแบบวงจรเปิด 46
รูปที่ 5.8 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองทั้งหมดที่ตรวจพบ
จากแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทดสอบ 47
รูปที่ 5.9 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองแบบวงจรเปิดที่ตรวจพบ 47
รูปที่ 5.10 ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบมีจุดบกพร่องจำลองแบบลัดวงจร 48
รูปที่ 5.11 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองทั้งหมดที่ตรวจพบจากแผ่นวงจรพิมพ์
จากแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทดสอบ 48
รูปที่ 5.12 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองแบบลัดวงจรที่ตรวจพบ 49