

DRC-10

การควบคุมเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติที่ใช้สำหรับตรวจจับการปริ้นตะกั่วไม่เต็มบน แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการประมวลผลจากภาพวิดีโอ

The controlling of automatic optical inspection for solder paste printing defects detection on PCB board by Image processing from video camera

วสันต์ แสงบัวเพื่อน* ณัฐวุฒิ เตไพบัว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

* E-mail: jasan_au@hotmail.com โทรศัพท์ 08-9478-9467

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีกระบวนการปริ้นตะกั่วก่อนที่จะประกอบตัวไอซีลงบนแผ่นวงจร ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบลักษณะและพื้นที่การปริ้นตะกั่วมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ณ จุดจุดนั้นที่มีการปริ้นตะกั่ว ซึ่งบทความนี้ได้ประยุกต์ใช้กล้องวิดีโอ และเทคโนโลยีเกี่ยวกับการประมวลผลภาพเข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหา โดยเราทำการสร้างเครื่องตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมา โดยนำเอาแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปาดตะกั่วมาวางบนตำแหน่งของเครื่องตรวจสอบ อ่านค่าด้วยกล้อง Camera แบบ Real-Time ที่ควบคุมบนแกน X และ Y ด้วย AC เซอร์โวมอเตอร์ และเขียนโปรแกรมควบคุมบน Visual Studio ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้สามารถแสดงถึงความเป็นไปได้ในการตรวจสอบเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปาดตะกั่วไม่เต็มมาไว้ในอุตสาหกรรมรวมถึงการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปในอนาคต

คำหลัก: การประมวลผลภาพ, การตรวจสอบ PCB, การตรวจสอบอัตโนมัติ

Abstract

This paper presents the research of the PCB boards which have the process for printing solder paste onto PCB boards before assembling IC on the circuit board. This PCB boards which would be necessary to examine the physical characteristic and the areas of solder paste printing more than 80 percents at the solder paste deposited. This present study is employed the video camera and technologies of image processing which could be help to reduce the defects of solder paste printing on PCB boards. The automatic optical inspection was constructed and determined the defects of the solder paste printing PCB boards by the real-time video camera on the x and y axis with AC servo motor control and design program for analysis on Visual Studio. The result of this study is provide the information and possibilities of the automatic optical inspection to determine the defects of solder paste printing on PCB boards compare with the industrial prototype include the process of designing and developing of the electronics product manufacturing industry in the future.

DRC-10

Keywords: Image processing, printed Circuit Board Inspection, Automated optical inspection.

1. บทนำ

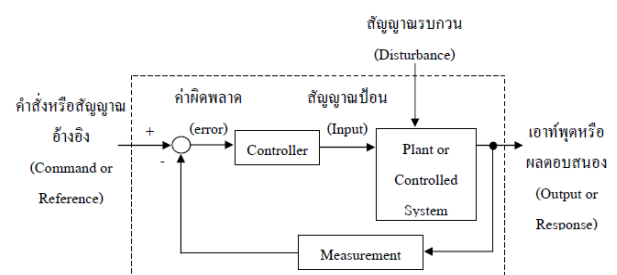
กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีกระบวนการปริ้นตะกั่ว (Solder paste printing) ที่เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณภาพงาน SMT เมื่อปริมาณปริ้นตะกั่วบนแผ่น Stencil ส่งผ่านลงแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณไม่พอดีทำให้เกิดข้อบกพร่องในการประกอบตัวไอซี ดังนั้นจึงได้คิดค้นสร้างเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ เพื่อหาปริมาณการปริ้นตะกั่วบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภาพวิดีโอ เพื่อมาเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ ถ้าพบว่ามีปริมาณปริ้นตะกั่วต่อพื้นที่มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่ามีความภาพไม่มีข้อบกพร่องใดๆ

ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากนำกล้องเว็บแคม camera ของไมโครซอฟต์ (1920x1080) CMOS เซนเซอร์ ติดด้วยเลนส์ขนาด 40X เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มม. เพื่อขยายภาพ ยึดติดกับ Robo Cylinder 2 แกน X-Y (กล้องยึดติดเคลื่อนที่บนแกน Y) มอเตอร์ที่ใช้เป็น AC เซอร์โวมอเตอร์แบบ (Synchronous) ควบคุมด้วยคอนโทรลเลอร์แบบ (สัญญาณพัลส์) ทั้งกล้องเว็บแคม Camera และ กล้องคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อ USB 2.0 กับคอมพิวเตอร์ จากนั้นเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์, โปรแกรมการรับภาพจากกล้องและโปรแกรมตรวจสอบอัตโนมัติ ด้วย Visual Studio 2010 ที่ใช้สำหรับตรวจจับการปริ้นตะกั่วไม่เต็มบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ แล้วดูปริมาณปริ้นตะกั่วต่อพื้นที่จากกราฟฮิสโตแกรมและแสดงเปอร์เซ็นต์ สมเกียรติ อุดมธรรษากุล [1] ได้เรียบเรียงเรื่องการประมวลผลจากภาพดิจิทัลไว้ว่าการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งกับภาพต้นฉบับเพื่อให้ได้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์มีลักษณะภาพที่ต้องการ การแยกแยะประเภทและคุณลักษณะการกระทำกับภาพ จะช่วยคาดคะเนภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำในแต่ละแบบ ต่อมาได้ศึกษางานวิจัยต่างๆ เพื่อสร้างสมมุติฐานให้แก่งานวิจัย และ [2, 3] ได้เสนอวิธีการตรวจสอบข้อบกพร่องแผ่น

แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เปล่าโดยวิธีหาขอบภาพแสดงถึงโครงร่างของวัตถุภายในภาพด้วยเครื่องตรวจสอบ จึงเห็นข้อบกพร่องได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบต่อมา [4, 5] ได้พบว่ามึระบบตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการแยกส่วนของภาพลักษณะจุดเด่นออกจากพื้นหลัง ด้วยเทคนิคการทำเทรซโซลด์ภาพที่ได้เป็นภาพแบบไบนารี ที่มีระดับความเข้มเทาเพียง 2 ระดับเท่านั้นคือขาวและดำ [6] ปัญหาบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีข้อบกพร่องจากฟลักซ์และตรวจจับด้วยกล้อง Camera และภาพผลลัพธ์ที่ได้มีสี RGB ผิดไปจากภาพต้นแบบจึงได้ทำการปรับภาพให้เรียบและลดสัญญาณลบกวนลง นอกจากนี้ยังต้องศึกษาระบบควบคุมเพื่อความแม่นยำในการตรวจจับภาพ [7, 8] การควบคุมแบบป้อนกลับในระบบปิดและแบบ PID สามารถตอบสนองการควบคุมตำแหน่ง, ความเร็วและการเคลื่อนที่ได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและการควบคุม

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ AC เซอร์โวมอเตอร์และควบคุมด้วยวิธีแบบป้อนกลับ (Feedback Control) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนกำลังงานทางไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่ง Servo motor ได้ถูกออกแบบให้มีความแม่นยำและความเร็วสูง



รูปที่ 1 แสดงระบบควบคุมตำแหน่งป้อนกลับ

PID controller ประกอบไปด้วย 3 เทอม คือ Proportion, Integral และ Derivative

DRC-10

จาก $u(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \cdot \int e(t)dt + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt}$

$$e(t) = r(t) - c(t)$$

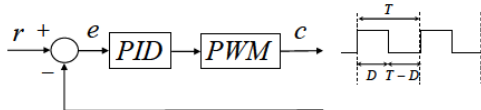
ลาปลาซ ทรานฟอร์ม

$$U(s) = (K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s) \cdot E(s)$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = (K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s) \cdot E(s)$$

$$G_c(s) = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s} \quad (1)$$

ตัวควบคุมแบบควบคุมความกว้างของพัลส์
(Pulse-Width-Modulation Control: PWM)



รูปที่ 2 แสดงตัวควบคุมแบบความกว้างของพัลส์

การทำงานของสัญญาณ PWM

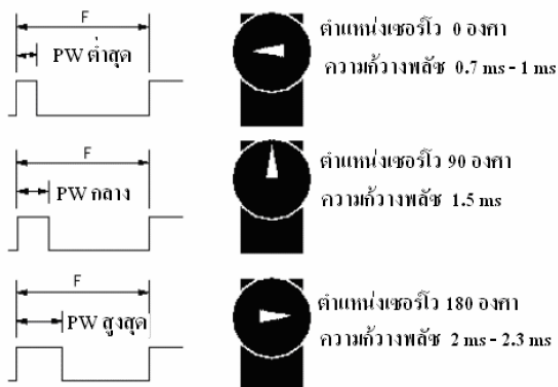
จากความถี่ 1 MHz : $T = 1/F = 1/1\text{MHz} = 1 \text{ uS}$

หมายความว่าถ้านับสัญญาณนี้ 1 ไชเคิลจะได้เวลา 1 uS ดังนั้นถ้าต้องการเวลา 20mS ต้องใช้ = $20\text{mS}/1\text{uS} = 20000$ ไชเคิล ความกว้างของพัลส์ของโมดูล PWM เท่ากับ 20000 ด้วยเช่นกัน

ที่มุม 0 องศา ต้องการเวลา 0.7 mS ต้องใช้ = $0.7 \text{ mS}/1\text{uS}=700$

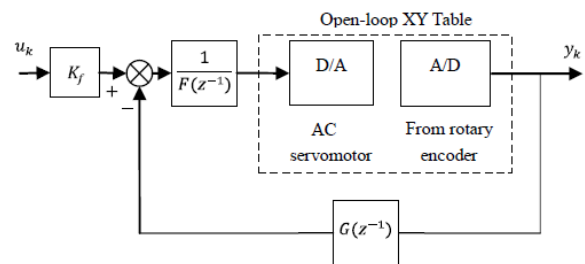
ที่มุม 90 องศา ต้องการเวลา 1.5 mS ต้องใช้ = $1.5 \text{ mS}/1\text{uS}=1500$

ที่มุม 180 องศา ต้องการเวลา 2.3 mS ต้องใช้ = $2.3 \text{ mS}/1\text{uS}=2300$



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pulse ของโมดูล PWM กับมุมเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมแบบป้อนกลับค่าพารามิเตอร์ [7] ดังในรูปที่ 4 ได้ออกแบบโดยใช้ตำแหน่งที่โพล จำนวนของเส้นทางเดินของรากจะมีค่าเท่ากับจำนวนโพลของระบบเปิด (Open-loop poles)



รูปที่ 4 โครงสร้างการควบคุมแบบป้อนกลับ

วิธีนี้จะช่วยให้โพลทั้งหมดของระบบปิดที่ในตำแหน่งให้ประสิทธิภาพการแสดงผลออกมาที่ดี ระบบปิดทรานเฟอร์ฟังก์ชันของการป้อนกลับเขียนได้โดย :

$$\frac{y_k(z^{-1})}{u_k(z^{-1})} = \frac{K_f B_0(z^{-1})}{A_0(z^{-1})F(z^{-1}) + B_0(z^{-1})G(z^{-1})} \quad (2)$$

$$K_f = \frac{\sum T}{\sum B_0}$$

เมื่อ

$$A_0(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}$$

$$B_0(z^{-1}) = 1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}$$

$$F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \dots + f_m z^{-m-1}$$

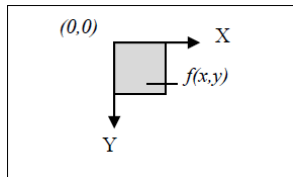
$$G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2} + \dots + g_n z^{-n-1}$$

3. ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล

โดยทั่วไปแล้วรูปภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ รูปภาพแบบบิตแมป และรูปภาพแบบเวกเตอร์ โดยรูปภาพแบบบิตแมปจะแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ เล็กๆ ที่เรียกว่าพิกเซล (Pixels) มี

DRC-10

ฟังก์ชัน 2 มิติ $f(x, y)$ ของความเข้มของมาสีแสง RGB (Red, Green, Blue) f ที่ตำแหน่งจุดภาพ (x, y) ในภาพ



รูปที่ 5 แสดงการกำหนดตำแหน่งของพิกเซล

3.1 ภาพสีและขนาดไฟล์ภาพ

ภาพแต่ละจุดภาพหรือพิกเซลจะมีระดับค่าความเข้มเทาที่มีระดับเทาต่ำไปยังระดับสีขาว ระดับสีเทาจะมีความเข้มเท่ากับ 8 บิต ความเข้มแสงจะถูกแบ่งออกเป็น 256 ระดับ ขนาดไฟล์ภาพคือ

$$S = f(x) * f(y) * L \quad (3)$$

เมื่อ S = ขนาดไฟล์ภาพ (Bit)

L = จำนวนบิตที่ใช้ในควอนไทซ์

หากเมื่อภาพที่พิจารณาเป็นภาพสีขนาด 512x512

พิกเซล ความละเอียด 8 บิต

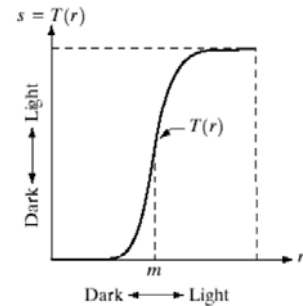
$$\begin{aligned} 512 \times 512 \times 8 \times 3 &= 6,291,456 \text{ บิต (Bit)} \\ &= 786,432 \text{ ไบต์ (Byte)} \\ &= 0.786 \text{ เมกะไบต์ (MB)} \end{aligned}$$

การเปลี่ยนแปลงระดับสีเทาเป็นการแปลง Intensity ของภาพตั้งต้นไปเป็น Intensity ของภาพผลลัพธ์ โดยใช้ฟังก์ชัน :

$$s = T(r) \quad (4)$$

โดย r คือ ความเข้มของภาพตั้งต้น

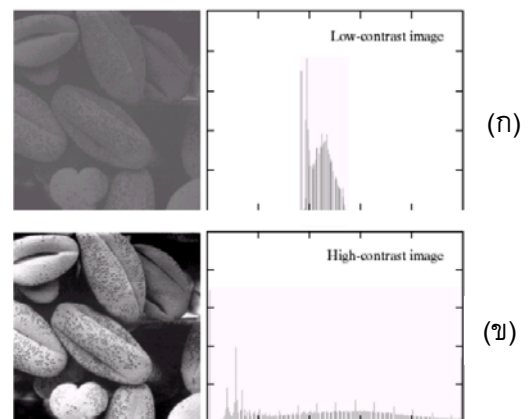
s คือ ความเข้มของภาพผลลัพธ์



รูปที่ 6 แสดงความเข้มระดับเทา

3.2 กราฟฮิสโตแกรม

ภาพฮิสโตแกรม หมายถึงกราฟที่แสดงจำนวนพิกเซลของสีหรือค่าความเข้มต่างๆ [9]



รูปที่ 7 (ก) จะมีฮิสโตแกรมกระจุกกันอยู่ในช่วงแคบๆ
(ข) จะมีฮิสโตแกรมกระจายกันอยู่ในช่วงกว้าง

ฮิสโตแกรม จะมีความหมายใกล้เคียงกับฟังก์ชันความหนาแน่นที่น่าจะเป็น ให้ s และ r เป็นตัวแปรสุ่มที่มีความหนาแน่นที่น่าจะเป็น $p_s(s)$ และ $p_r(r)$ ให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง s และ r ตามลำดับ จากสมการที่ 4 จะได้ว่า

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| \quad (5)$$

กำหนดให้

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w) dw \quad (6)$$

จะได้

DRC-10

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| = p_r(r) \left| \frac{1}{\frac{ds}{dr}} \right|$$

$$= p_r(r) \left| \frac{1}{\frac{d \left(\int_0^r p_r(w) dw \right)}{dr}} \right| = p_r(r) \left| \frac{1}{p_r(r)} \right| = 1$$

4. ขั้นตอนและระเบียบวิธีการทดลอง

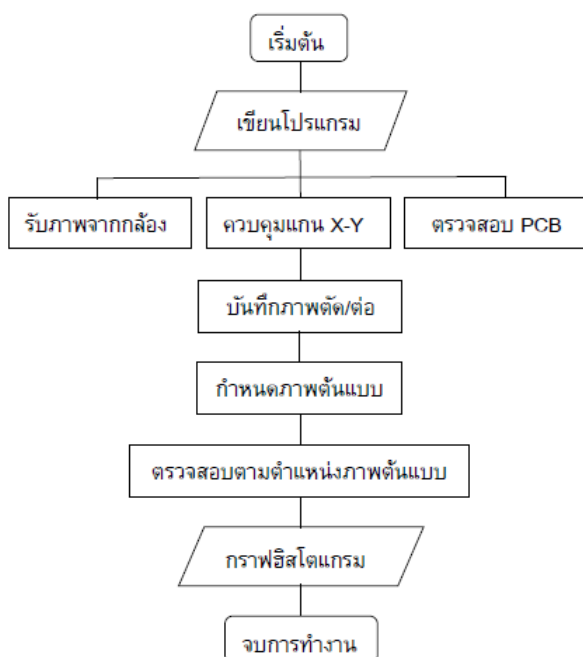
การตั้งค่าการทดลองโดยสร้างทดสอบและเซตตำแหน่งของแผ่น PCB ให้ขนาดและตั้งฉากแกน X-Y



(ก)

(ข)

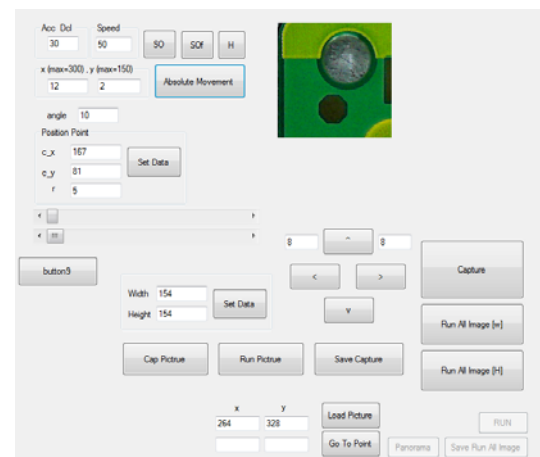
รูปที่ 8 (ก) แสดงเครื่องทดลองตรวจจับการปริ้นตะกั่ว
ไม่เต็มแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
(ข) แสดงแนวแกนตรวจสอบด้วยกล้อง



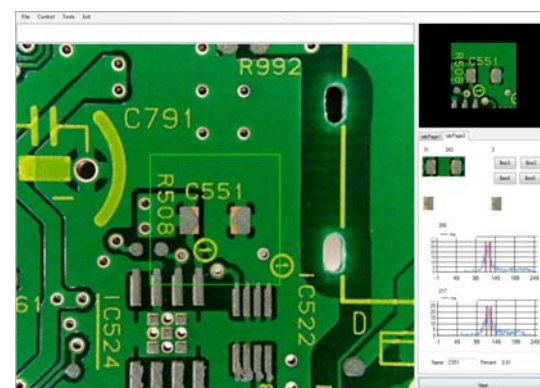
รูปที่ 9 Flow chart แสดงขั้นตอนการตรวจจับการ
ปริ้นตะกั่วไม่เต็มแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

หน้าต่างโปรแกรมการตรวจสอบโดยที่เริ่มต้น :

ทำการกดปุ่ม SO (Servo ON) เพื่อสตาร์ท
จากนั้นกด H (Home) ก่อนทุกครั้งก่อนเริ่มต้นใช้งาน
เพื่อให้ Robo Cylinder อยู่ที่ตำแหน่ง X=0, Y=0
จากนั้นทำการ Move กล้องไปยังตำแหน่งที่ต้องการ
ตรวจสอบโดยใช้ปุ่ม ขึ้น-ลง และ ซ้าย-ขวา แล้วกดปุ่ม
Set point ไว้ ใช้เมาส์ลากกรอบคลุมภาพตรงจุดที่
ต้องการตรวจสอบแล้วกดปุ่ม Cap Picture ตรวจสอบ
ดูภาพถ้าตรงตามตำแหน่ง กด Save Picture แล้วกด
ปุ่ม Button9 เพื่อบันทึกเป็น Point แล้วจึงย้ายไป
ตำแหน่งถัดไป หลังจากได้ภาพต้นแบบแล้วเปลี่ยน
แผ่น PCB ที่มีการปริ้นตะกั่ว วางที่ตำแหน่งเดิม หน้า
โปรแกรมถัดไป ตามรูปที่ 10 (ข) กด BOX1 กล้อง
ตรวจจับจะเลื่อนไปตำแหน่งที่เซตไว้ประมวลผลภาพ
เปรียบเทียบภาพต้นแบบแสดงเป็นกราฟฮิสโตแกรม
และแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์



(ก)



(ข)

DRC-10

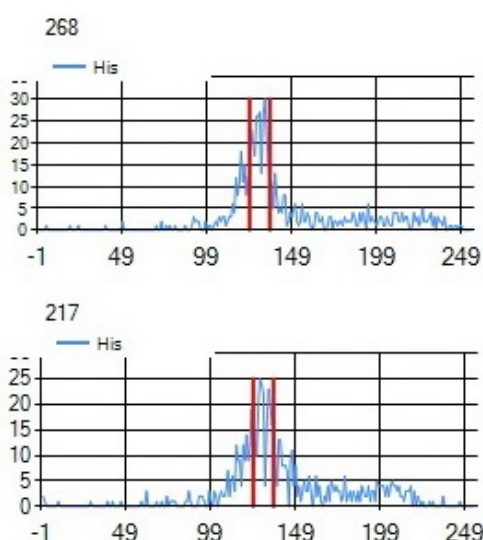
รูปที่ 10 (ก) แสดงโปรแกรมการตรวจสอบ

(ข) แสดงผลที่และตำแหน่งการตรวจสอบ

กราฟฮิสโตแกรมแสดงการเปรียบเทียบภาพต้นแบบกับ
ภาพที่ตรวจสอบจริงจะได้

$$\% \text{ ที่ผิดพลาด} = \left(\frac{268 - 217}{268} \right) \times 100 = 19$$

$$\% \text{ ที่ยอมรับได้ (ต้องมากกว่า 80)} = 100 - 19 = 81\%$$



Name C551 Percent 0.81

รูปที่ 11 แสดงกราฟฮิสโตแกรม

5. สรุปและวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการหาปริมาณ
ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการปรี้นตะกั่วไม่เต็มบน
แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้กล้องวิดีโอเขียน
โปรแกรมตรวจสอบและควบคุมการเคลื่อนที่ของกล้อง
ด้วยโปรแกรม Visual studio 2010 ผลปรากฏว่า
สามารถตรวจจับจุดที่ต้องการตรวจสอบที่มีขนาดเล็ก
ขนาด 0.55 มม. ได้ตรงตำแหน่งที่กำหนด 25 จุด

ตรวจสอบและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่บันทึกไว้แสดง
เปรียบเทียบกันเป็นกราฟฮิสโตแกรมตรงตาม
สมมุติฐานที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามยังพบจุดบกพร่องใน
การทดลองในครั้งนี้บางประการจากกล้องเว็บแคม
Camera เนื่องจากประสิทธิภาพของกล้องที่นำมาใช้
ตรวจสอบไม่สามารถเทียบเท่ากับกล้องตรวจจับใน
อุตสาหกรรม (Industrial Camera) ได้ เมื่อกล้องมีการ
เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว การบันทึกภาพในแต่ละ Step
บริเวณขอบภาพที่ทำการตัด/ต่อ มักเกิดปัญหาสี
ขอบภาพไม่เป็นขนาดเดียวกัน การทดลองแก้ไขโดย
ปรับความการถ่ายภาพให้ช้าลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายอมรรัตน์ พันสา วิศวกร
อิเล็กทรอนิกส์ บริษัท พานาโซนิค เอวีซี เน็ตเวิร์คส์
(ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำในการ
ในการสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองและการเขียน
โปรแกรม Visual C# เพื่อประมวลผลภาพด้วยกล้อง
วิดีโอ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมเกียรติ อุดมธรรษากุล. (2554). การประมวลผล
ภาพดิจิทัลเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่1). สำนักพิมพ์ท็อป.
กรุงเทพมหานคร. ISBN 978-974-9918-75-3
- [2] Ajay Pal Singh Chauhan, Sharat Chandra
Bhardwaj. (2011). *Detection of Bare PCB Defects
by Image Subtraction Method using Machine
Vision. Proceedings of the World Congress on
Engineering 2011, Vol. 2, London, U.K.*
- [3] Sonal Kaushik, Javed Ashraf. Automatic PCB
Defect Detection using Image Subtraction
Method. (2012). *International Journal of Computer
Science and Network (IJCSN)*, Vol. 1, Issue 5,
October 2012

DRC-10

- [4] Ismail Ibrahim, Syed Abdul Rahman Syed Abu Bakar, Musa Mohd Mokji, Jameel Abdulla Ahmed Mukrwd, Zulkifli MD Yusof, Zuwairie Ibrahim, Kamal Khalil, Mohd Saberi Mohamad. (2012). A Printed Circuit Board Inspection System with Defect Classification Capability. *International Journal of Innovative Management*, Vol. 3, Number 1, March 2012, pp. 82-87.
- [5] Theingi Aye, Aung Soe Khaing. (2014). Automatic Defect Detection and Classification on Printed Circuit Board. *International Journal of Societal Applications of Computer Science*. Vol. 3 Issue 3, March 2014, pp. 527-533
- [6] Ang TeohOng, Zulkifilie Bin Ibrahim and Suzaimah Ramli, (2013). Computer machine vision inspection on printed circuit boards flux defects. *American Journal of Engineering and Applied Sciences* 6 (3): 7, August 2013, pp. 263-273.
- [7] Michael Jackson Patrick, Norlela Ishak, Ramli Adnan. (2012). Contouring Control of Non-Minimum Phase XY Table System using Trajectory ZPETC. *International Journal Scientific& Technology Research*. Vol. 1, ISSUE 6, July 2012, pp. 80-85
- [8] L.Abdullah, Z.Jamaludin, Chiew T.H., N.A. Rafan, M.Y. Yuhazri. (2012). Extensive Tracking Performance Analysis of Classical feedback control for XY Stage ball screw drive system. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 229-231 (2012). pp. 750-755.
- [9] Ian T. Young, Jan J. Gerbrands, Lucas J. van Vliet, (2007). *Fundamentals of Image Processing. Delft University of Technology. Version 2.3 © 1995-2007*