



การทดสอบระบบและอัลกอริทึมพัฒนาขึ้น

หลังจากที่ได้ทำการสร้างระบบขึ้นมาตามที่ได้ออกแบบไว้และได้พัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจสอบไว้ 2 แบบดังที่กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อนี้จะนำระบบที่สร้างขึ้นมาทดสอบโดยจะทดสอบสมรรถนะด้านต่างๆ ในการตรวจสอบผลจากที่พิมพ์บนขวดของอัลกอริทึมทั้งสอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียต่างๆของอัลกอริทึมแต่ละแบบว่าเป็นอย่างไร รวมทั้งพิจารณาความเป็นไปได้ของการนำระบบไปใช้ในขบวนการผลิตของโรงงานจริงๆ ด้วย

5.1 โปรแกรมการตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบระบบที่สร้างขึ้นนอกจากจะทำการทดสอบการทำงานโดยรวมของระบบ เช่น การควบคุมฮาร์ดแวร์ , การทำงานขั้นตอนต่างๆของระบบ เป็นต้น สิ่งที่สำคัญมากที่สุดในการทดสอบของบทนี้ก็คือการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นว่ามีความสามารถเพียงพอที่นำไปใช้งานในระบบการผลิตได้จริงหรือไม่ และเพื่อให้สามารถทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมได้จึงทำการสร้างซอฟต์แวร์โปรแกรมการตรวจสอบจากเทคนิคอัลกอริทึมในแต่ละแบบที่ได้อธิบายไปในบทที่แล้ว โดยที่โปรแกรมการตรวจสอบที่สร้างขึ้นนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 โปรแกรมตามลักษณะของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นทั้ง 2 แนวทางดังที่กล่าวมาแล้ว คืออัลกอริทึมแบบที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานทั่วไป (แนวทางที่ 1) และอัลกอริทึมเฉพาะสำหรับการตรวจสอบผลจากที่พิมพ์บนขวด (แนวทางที่ 2) และที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ว่าโปรแกรมการตรวจสอบนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนที่สำคัญคือ ส่วนของการเซ็ทระบบ (setting phase) และส่วนการตรวจสอบ (running phase) โดยในส่วนการเซ็ทระบบนี้จะแตกต่างกันไปตามพารามิเตอร์ในการทำงานของอัลกอริทึมและจะต้องทำการติดต่อกับผู้ใช้งานเพื่อให้สามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ สำหรับในส่วนการตรวจสอบจะทำงานในการประมวลผลตามวิธีการของอัลกอริทึมนั้นๆเป็นหลักซึ่งได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 4 โดยจะมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในการแสดงผลพิธีในการตรวจสอบเท่านั้น สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมการตรวจสอบทั้งสองที่พัฒนาขึ้นจะขอกกล่าวไว้ในส่วนของภาคผนวก

5.2 สภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นในการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะของระบบในด้านต่าง ๆ นั้น เพื่อความสะดวกแล้วก็จะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพราะการที่จะนำระบบไปทดสอบกับกระบวนการผลิตจริงนั้นค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กล้อง, แหล่งกำเนิดแสง, กลไกการป้อนชิ้นงาน, ส่วนเชื่อมต่อกับ PLC ที่ควบคุมระบบ และอื่นๆ ซึ่งต้องใช้เวลานานในการออกแบบและสร้าง และส่วนนี้ไม่ได้ถือเป็นหัวข้อสำคัญในวิทยานิพนธ์นี้ที่มุ่งเน้นในการพัฒนาระบบในส่วนที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลภาพเท่านั้น และเพื่อให้ผลการทดสอบต่างๆ นั้นเชื่อถือได้ว่าอาจจะสามารถนำไปใช้ในระบบการผลิตจริงๆ ได้ จึงได้พยายามจัดสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาพของกระบวนการผลิตจริงให้มากที่สุด โดยสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่จัดสร้างขึ้น มีดังนี้

• ขวดที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดลองนี้ขวดเป้าหมายที่จะใช้ในการทดสอบตัวแปรต่างๆ นั้นจะใช้ขวดน้ำยาซักแห้ง ยี่ห้อ "ESSENCE" ขนาด 500 ซม³ ซึ่งลักษณะของขวดจะมีพื้นผิวสีขาว สีของฉลากที่พิมพ์มีสีม่วง ซึ่งตัวอย่างของขวดแสดงดังรูปที่ 5.1(ก)

• สถานีการตรวจสอบจำลองที่จัดสร้างขึ้นในการทดสอบ

เพื่อให้สภาพแวดล้อมในการทดสอบใกล้เคียงกับสภาพของการตรวจสอบที่เป็นไปได้ของระบบการผลิตในโรงงานจริงๆ จึงได้ทำการจัดสร้างสถานีในการตรวจสอบจำลองขึ้นมาดังรูปที่ 5.2 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- แท่นยึดชิ้นงาน (Jig)

ในกระบวนการผลิตและตรวจสอบชิ้นงานนั้นจะต้องมีส่วนของกลไกที่ทำการป้อนชิ้นงานเข้ามาตรวจสอบ ซึ่งในกระบวนการพิมพ์ฉลากบนขวดแล้วนั้นจะทำการป้อนขวดที่ต้องการพิมพ์มาบนแท่นยึด ที่มีลักษณะเป็นฐานรองที่พอดีกับขนาดของขวด โดยสมมติฐานว่าเมื่อขวดถูกป้อนเข้ามาบนแท่นยึดแล้วก็จะไม่มีการเลื่อนตำแหน่ง ยกเว้นแต่อาจจะมีการหมุนรอบแกนของขวดได้เล็กน้อย เพราะส่วนฐานของแท่นยึดจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของขวดเล็กน้อยเพื่อให้ขวดสามารถสวมลงบนฐานได้ ดังนั้นในส่วนของการตรวจสอบก็จะสมมติว่าขวดจะถูกป้อนเข้ามาตรวจสอบต่อหน้ากล้องในลักษณะเช่นเดียวกับในกระบวนการพิมพ์ และปัญหาเนื่องจากการหมุนของขวดนี้เองที่กลายเป็นปัญหาสำคัญในการพัฒนาอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจสอบดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อของการพัฒนาอัลกอริทึม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์จึงทำการสร้างแท่นยึดชิ้นงานแบบ



จำลองขึ้นมาใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.1ก โดยพบว่าเมื่อขดลวดสวมอยู่บนแท่นยึดชิ้นงานนี้แล้วสามารถหมุนไปมาได้ประมาณ ± 4 องศา

- แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองนี้ จะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีลักษณะแบบวงแหวน (ring light) ที่จ่ายไฟด้วยแหล่งจ่ายไฟความถี่สูง เพื่อป้องกันการกระพริบของแสงในการถ่ายภาพเข้ามาแต่ละครั้ง และการวางตำแหน่งของหลอดไฟนั้นจะวางในตำแหน่งทางด้านบนของขดลวดเพื่อลดแสงสะท้อนโดยตรงจากผิวของขดลวด

- กล้องวิดีโอสำหรับถ่ายภาพ

ตำแหน่งของกล้องในการทดสอบนี้จะถูกติดตั้งโดยการวางตั้งฉากกับแกนตั้งของขดลวด และ ห่างจากตำแหน่งของขดลวด 19 ซม

- ฉากหลัง (background)

เนื่องจากในการตรวจสอบนั้นจำเป็นต้องใช้ส่วนของภาพที่เป็นขอบขดลวดมาใช้ในการประมวลผล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดให้ภาพที่ถ่ายเข้ามาได้มีตำแหน่งของขอบขดลวดที่ชัดเจน โดยในการทดสอบนี้จะใช้ฉากหลังสีดำเพื่อให้เกิดความแตกต่างกับขดลวดที่มีสีขาวทำให้ภาพในส่วนขอบขดลวดชัดเจนยิ่งขึ้น

- แผ่นสะท้อนแสง (reflector)

ลักษณะของแสงที่จัดขึ้นในการทดสอบนั้นจะอยู่บริเวณตรงกลางของขดลวดทำให้ภาพบริเวณของขอบขดลวดมีความสว่างไม่เท่ากับบริเวณตรงกลาง จึงทำให้ภาพที่เกิดขึ้นไม่มีความแตกต่าง (contrast) ของภาพที่ดี ดังนั้นจึงทำการเพิ่มแผ่นสะท้อนแสงสีขาวบริเวณด้านข้างทั้งสองของขดลวด ซึ่งจะทำให้ภาพที่ถ่ายเข้ามาได้มีการกระจายของแสงสม่ำเสมอตลอดทั้งภาพ

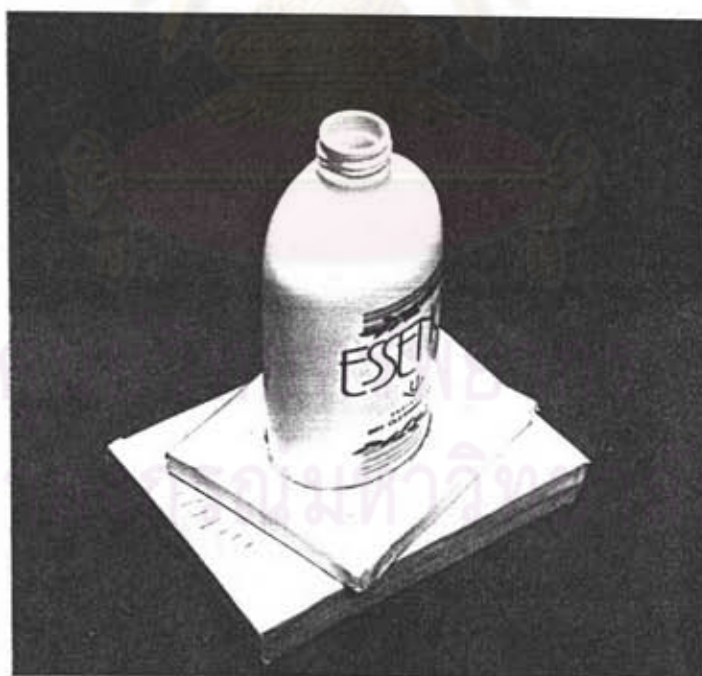
เมื่อทำการจัดสภาพแวดล้อมด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังกล่าว ได้ทำการทดลองถ่ายภาพขดลวดเข้ามาซึ่งลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.1 และพบว่าภาพที่ถ่ายเข้ามาได้จะมีขนาดของภาพวัตถุที่ปรากฏบนความละเอียดของภาพขนาด 480x512 พิกเซล (ขนาดความละเอียดของการ์ดเก็บภาพ) เท่ากับ 6 ซม. x 7.5 ซม.

● คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดลองนี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์ รุ่น 486 DX-4 100MHz ,RAM 8 MB ,cache memory 256KB เป็นฐานของระบบ และประกอบด้วยการ์ดเก็บภาพ DT-2851 , การ์ดดิจิทัลอินพุทเอาต์พุท PCL-725 , กล้องซีซีดี , จอมอนิเตอร์ , แหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน

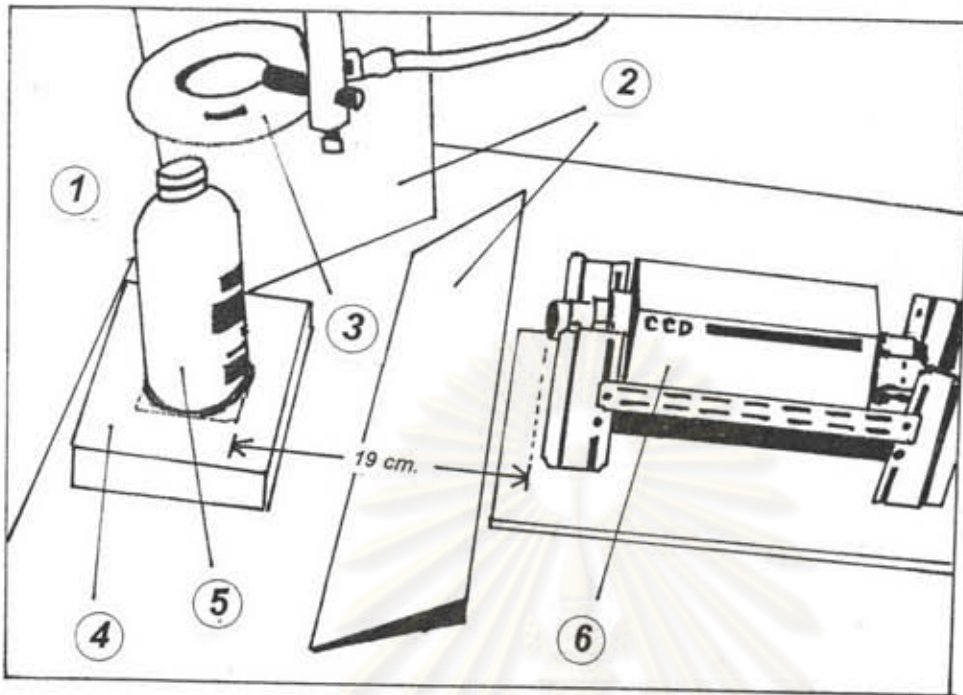


(ก)

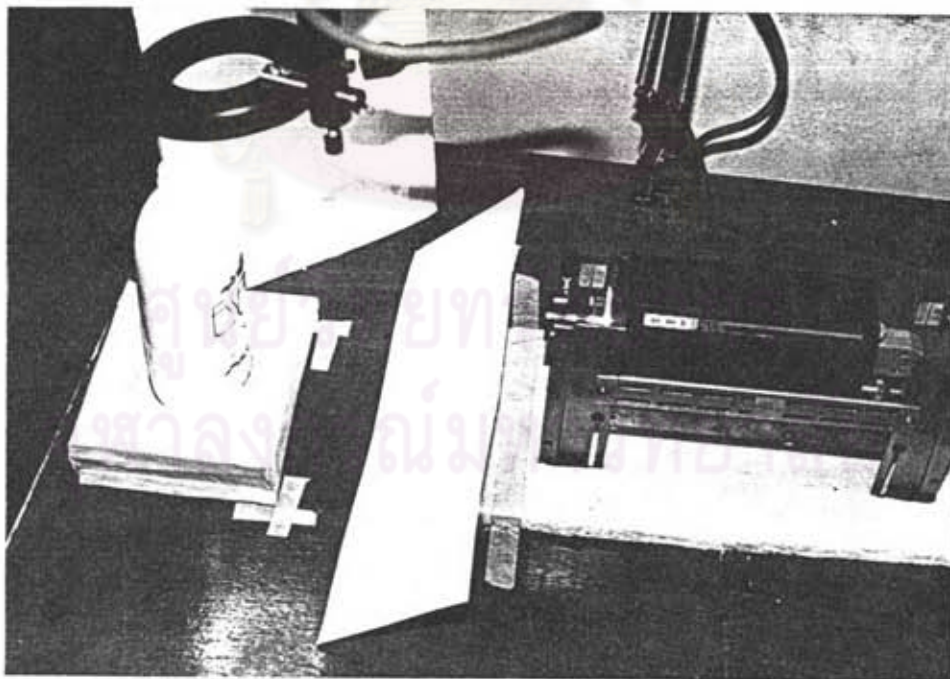


(ข)

รูปที่ 5.1 (ก) ขวดเป้าหมายและแท่นยึดชิ้นงานขวดจำลองที่สร้างขึ้นมาใช้ในการทดสอบ (ข) แท่นยึดชิ้นงานขวดจำลองที่สามารถหมุนได้ภายใต้มุมการหมุนที่รู้ค่าแน่นอน



- (1) ขากหลัง
- (2) แผ่นสะท้อนแสง
- (3) แหล่งกำเนิดแสง
- (4) แท่นยึดขวด
- (5) ขวดที่ตรวจสอบ
- (6) กล้อง



รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายสถานีในการตรวจสอบจำลองที่สร้างขึ้นมาในการทดสอบ

5.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาและทดสอบ

สำหรับตัวแปรที่จะทำการศึกษาในการทดสอบเปรียบเทียบผลของอัลกอริทึมทั้งสองที่ทำการพัฒนาขึ้น มีดังนี้

- ขนาดจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจสอบได้

ค่านี้จะทำการทดลองเพื่อหาขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจสอบได้ โดยจะนำอัลกอริทึมทั้งสองมาทดลองตรวจสอบกับชุดที่มีหลากหลายจุดบกพร่องหลายๆขนาด โดยจะลดขนาดของจุดบกพร่องลงไปจนถึงขนาดเล็กที่สุดที่ไม่สามารถตรวจสอบได้

- ความซ้ำได้ (Repeatability)

เป็นค่าที่บอกถึงว่าในการตรวจสอบชิ้นงานเดียวกันในแต่ละครั้งนั้นค่าเป้าหมายที่ทำการวัดออกมาจากข้อมูลภาพชิ้นงานเพื่อนำมาตัดสินใจในการตรวจสอบนั้นมีค่าใกล้เคียงหรือแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งในระบบการตรวจสอบที่ตีนั้นค่าที่วัดออกมาได้จากชิ้นงานเดียวกันในแต่ละครั้งควรมีค่าใกล้เคียงกัน หรือถ้ามองในแง่สถิติก็คือชุดข้อมูลที่วัดออกมาได้จากชิ้นงานเดียวกันควรมีค่าความแปรปรวน (Variance) ต่ำ สำหรับความซ้ำได้นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นแล้วยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบด้วย เช่น กล้องวิดีโอ, การ์ดเก็บภาพ, แหล่งกำเนิดแสง เป็นต้น เพราะจะมีผลทำให้ข้อมูลภาพที่ถ่ายเข้ามาได้จากชิ้นงานเดียวกันในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด

- อัตราในการตรวจสอบผิด (Error Rate)

ค่านี้จะบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (อัลกอริทึม) ว่าสามารถทำการตรวจสอบที่สภาวะการทำงานปกติได้ถูกต้องเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด โดยจะนำระบบที่สร้างขึ้นไปทดลองตรวจสอบกับชุดตัวอย่างชุดจำนวนหนึ่งที่มีทั้งชุดที่พิมพ์ผลากดีและเสียและการทำงานต่างๆจะจำลองให้เหมือนกับสถานการณ์ในการตรวจสอบจริงๆ และทำการวัดค่าอัตราการตรวจผิดออกมา ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ค่าคือ

- อัตราการตรวจสอบผิดเนื่องจากตรวจชิ้นงานเสียเป็นดี (Misdetction Rate)

เป็นค่าที่วัดว่าระบบมีการตรวจสอบชิ้นงานที่จริงๆแล้วเป็นชิ้นงานที่ดีแต่เนื่องด้วยการทำงานผิดพลาดทำให้ตัดสินใจว่าเป็นชิ้นงานที่เสีย โดยค่านี้หาได้โดย

$$\text{Misdetction Rate} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่เสียแต่ตรวจสอบเป็นดี}}{\text{จำนวนชิ้นงานเสียทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \times 100 \%$$

- อัตราการตรวจสอบผิดเนื่องจากตรวจชิ้นงานดีเป็นเสีย (False-Alarm Rate)

เป็นค่าที่ระบุว่าระบบทำการตรวจสอบผิดพลาดเนื่องจากการตรวจสอบชิ้นงานที่จริงๆ แล้วเป็นชิ้นงานที่ดี แต่ระบบตรวจสอบได้ว่าเป็นเสีย ซึ่งค่านี้หาได้โดย

$$\text{False-Alarm Rate} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ดีแต่ตรวจสอบเป็นเสีย} \times 100 \%}{\text{จำนวนชิ้นงานดีทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

สำหรับค่าทั้งสองนี้จะเป็นค่าที่บอกว่าระบบมีความสามารถเพียงพอกับข้อกำหนดในการตรวจสอบของระบบควบคุมคุณภาพ (quality control) หรือไม่ เพราะโดยทั่วไปแล้วในการควบคุมคุณภาพของการผลิต จะทำการระบุ 2 ค่านี้ไว้ว่าต้องการให้มีค่าเท่าใด และจะทำการปรับพารามิเตอร์ต่างๆของอัลกอริทึมการตรวจสอบแบบต่างๆให้เหมาะสม จนทำให้ค่าทั้งสองนี้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด

- เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบต่อชิ้นงาน

สำหรับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลการตรวจสอบต่อชิ้นงานนั้น ส่วนใหญ่จะขึ้นกับพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมในการตรวจสอบ เช่น ขนาดพื้นที่ของกรอบวินโดวส์ที่ทำการตรวจสอบ เป็นต้น สำหรับในวิทยานิพนธ์จะทำการวัดเวลาในการทำงานที่สภาวะที่ทำการตรวจสอบปกติ โดยที่พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการตั้งค่านั้นจะต้องสามารถนำไปตรวจสอบชิ้นงานได้จริง

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าตัวแปรต่างๆที่ทำการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่จัดขึ้นสำหรับการทดสอบ และถ้าสภาพแวดล้อมในการทดสอบนั้นเปลี่ยนไปก็อาจจะทำให้ค่าที่วัดได้เปลี่ยนไป แต่เนื่องจากในการทดสอบนี้ต้องการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของอัลกอริทึมทั้งสองแบบ ซึ่งการทดลองต่างๆอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน เพียงแต่จะแตกต่างกันที่เทคนิควิธีการที่ใช้ในแต่ละอัลกอริทึม สำหรับในส่วนของอัลกอริทึมแบบใช้งานทั่วไป แนวทางที่ 1) ที่มีฟังก์ชันในการตรวจสอบให้ใช้งานหลายแบบ ได้แก่ ฟังก์ชันนับพิกเซลบนเส้น , ฟังก์ชันนับพิกเซลในกรอบวินโดวส์ และฟังก์ชันเปรียบเทียบรูปแบบ ซึ่งจากการทดลองนำฟังก์ชันแบบต่างๆมาใช้งานกับการตรวจสอบหาจุดบกพร่องของฉลากที่พิมพ์บนขวดพบว่า ฟังก์ชันนับพิกเซลในกรอบวินโดวส์ จะทำงานได้ผลดีที่สุด ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบนี้จะใช้การทำงานของฟังก์ชันนับพิกเซลในกรอบวินโดวส์เป็นหลักในการตรวจสอบ

5.3.1 ขนาดจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจสอบได้

ในการทดลองนี้จะนำเอาอัลกอริทึมทั้ง 2 แบบมาทำการทดลองด้วยขวดที่มีจุดบกพร่องที่สร้างขึ้นเอง (artificial defect) 2 ประเภทที่มีขนาดต่างๆกัน คือ จุดบกพร่องแบบที่พิมพ์ไม่ครบ (misprint defect) และจุดบกพร่องแบบที่พิมพ์สกปรก (dirty defect) หลากๆขนาดตั้งแต่ขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กที่สุดที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ และดังที่กล่าวมาแล้วว่าในการตรวจสอบนั้นจะมีปัญหาเรื่องการหมุนของขวด ดังนั้นในการทดสอบจึงทำการทดสอบหาจุดบกพร่องขนาดเล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ภายใต้มุมการหมุนของขวดที่รู้ค่าโดยใช้แทนยัดขวดที่สามารถหมุนได้ภายใต้มุมการหมุนที่รู้ค่าดังรูปที่ 5.1 ซึ่งในการทดลองนี้จะทดลองในช่วงมุม ± 15 องศา (ถ้าขวดนี้ใช้ในการทดลองหมุนไปเกินช่วง ± 15 องศา พบว่าจะทำให้ส่วนของฉลากที่ตรวจสอบจะหมุนไปอยู่ด้านข้างขวดทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพเข้ามาตรวจสอบได้หมด) สำหรับรายละเอียดและเกณฑ์ในการหาค่านี้จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

5.3.1.1 การทดลองหาขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ของอัลกอริทึมแบบที่ 1

หลักการในการหาขนาดเล็กสุดที่สามารถตรวจสอบได้นั้น จะใช้การถ่ายภาพชิ้นงานเดียวกันหลายๆครั้ง เพื่อทำการเก็บค่าจำนวนพิกเซลภายในกรอบวินโดวส์ที่กำหนดของการถ่ายภาพแต่ละครั้ง หลังจากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และจะนำค่าทั้งสองมาคำนวณหาช่วงขอบเขต $mean \pm 3 * SD$ โดยอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าข้อมูลที่วัดได้มีการกระจายแบบปกติ (normal distribution) ช่วงขอบเขต $mean \pm 3 * SD$ จะครอบคลุม 95% ของกลุ่มข้อมูลของค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ขนาดของจุดบกพร่องที่ไม่สามารถตรวจได้ก็คือขนาดที่ทำให้จำนวนพิกเซลที่วัดเข้ามาได้จากภาพฉลากที่บกพร่องนั้นมีช่วงขอบเขต $mean \pm 3 * SD$ เหลือมกับช่วง $mean \pm 3 * SD$ ของจำนวนพิกเซลที่นับได้จากภาพฉลากที่ไม่มีจุดบกพร่อง ดังนั้นขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ก็จะเป็นขนาดเล็กที่สุดที่ทำให้ช่วงดังกล่าวไม่เหลื่อมกัน

ในการทดลองนี้จะทำการถ่ายภาพและวัดค่าจำนวนพิกเซลที่วัดได้จากฉลากบนขวดที่มีจุดบกพร่องขนาดต่างๆจำนวน 200 ครั้ง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเริ่มจากขนาด 1×1 , 0.8×0.8 , 0.7×0.7 , 0.6×0.6 ตร.ซม. จนถึงขนาดเล็กที่สุดที่ทำให้ไม่สามารถตรวจได้ (ช่วง $mean \pm 3 * SD$ เหลือมกับชิ้นงานของฉลากที่ดี) และในแต่ละขนาดของจุดบกพร่องที่ทำการทดลอง จะบันทึกค่าที่มุม -15 , -10 , -5 , 0 , 5 , 10 , 15 องศา เพื่อดูการกระจายของจำนวน

พิกเซลที่วัดได้ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.2 และ 5.3 ในกรณีของฉลากที่พิมพ์บกพร่องแบบพิมพ์สกปรก (dirty) และฉลากที่พิมพ์บกพร่องแบบพิมพ์ขาด (misprint) ตามลำดับ โดยพารามิเตอร์ในการตรวจสอบของฟังก์ชันต่างๆที่ตั้งขึ้นในการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์การตรวจสอบของฟังก์ชันในอัลกอริทึมแบบใช้งานทั่วไปที่ตั้งค่าสำหรับการทดลองหาขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้

Preprocessing Function Parameter	DISABLE
Thresholding Function Parameter	threshold value : 180
Positioning Function Parameter	DISABLE
Inspecting Function Parameter	Window Pixel Counting : - Object pixel to count : BLACK (0) - lower/upper limit of number of pixel count : 16050 - 20025 pixels - vertical / horizontal position adjustment : NOT ADJUST - Window Type : Rectangle , Window Position : (116,46) - (351,426) (Window size : 235x380 pixels)

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงช่วงขอบเขต $mean \pm 3 \cdot SD$ ของจำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์จากภาพฉลากที่พิมพ์บกพร่องแบบพิมพ์สกปรก (dirty defect) ที่ขนาดของจุดบกพร่องแบบต่างๆ และมุมการหมุนของขวด -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15

ขนาดของจุดบกพร่อง	ช่วงขอบเขต $mean \pm 3 \cdot SD$ ของจำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์ จำนวน 200 ครั้ง (พิกเซล)					
	0x0 cm ² (good)	1x1 cm ²	0.7x0.7 cm ²	0.6x0.6 cm ²	0.5x0.5 cm ²	0.4x0.4 cm ²
มุม						
-15	16746-16872	20136-20256	19486-19648	18286-18532	17441-17591	17143-17275
-10	17331-17505	21073-21193	20172-20310	18950-19106	18300-18444	17840-17966
-5	17879-17993	21764-21914	20672-20804	19602-19746	18833-18989	18470-18966
0	18331-18475	22206-22332	21091-21241	19852-20014	19281-19419	19107-19227
5	18558-18666	22528-22636	21230-21362	20027-20183	19546-19696	19147-19279
10	18366-18492	22570-22750	21014-21134	20041-20209	19459-19585	19160-19304
15	18477-18591	22529-22739	21186-21336	20012-20180	19160-19304	19355-19517

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงช่วงขอบเขต $mean \pm 3 \cdot SD$ ของจำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์จากภาพฉลากที่พิมพ์บกพร่องแบบพิมพ์ขาด (misprint defect) ที่ขนาดของจุดบกพร่องแบบต่างๆ และมุมการหมุนของขวด -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15

ขนาดของจุดบกพร่อง	ช่วงขอบเขต $mean \pm 3 \cdot SD$ ของจำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์ จำนวน 200 ครั้ง (พิกเซล)					
	0x0 cm ² (good)	0.8x0.8 cm ²	0.7x0.7 cm ²	0.6x0.6 cm ²	0.5x0.5 cm ²	0.4x0.4 cm ²
มุม						
-15	16345-16471	13826-13958	14579-14657	15211-15373	15614-15836	15711-15855
-10	17017-17119	14468-14582	15080-15194	15963-16677	16370-16502	16435-16531
-5	17520-17658	15093-15186	15666-15780	16515-16623	16804-16948	16911-17043
0	18115-18229	15423-15561	16109-16205	16987-17089	17298-17412	17389-17497
5	18328-18382	15829-15887	16449-16557	17149-17251	17529-17637	17633-17771
10	18282-18408	15770-15986	16437-16527	17143-17233	17562-17670	17613-17727
15	18681-18813	16042-16198	16584-16722	17561-17681	17789-17843	17780-17954

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงช่วงขอบเขตที่ครอบคลุมช่วง $mean \pm 3 \cdot SD$ ในช่วงมุมการหมุนต่างๆ (± 5 , ± 10 , ± 15) ของค่าจำนวนพิกเซลที่นับได้จากภาพฉลากที่พิมพ์บกพร่องแบบที่พิมพ์สกปรก (dirty defect) ขนาดต่างๆ

	ช่วงขอบเขตที่ครอบคลุมช่วง $mean \pm 3 \cdot SD$ ของจำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์ใน 200 ครั้ง (พิกเซล)		
	กรณีขวดหมุน ± 5 องศา	กรณีขวดหมุน ± 10 องศา	กรณีขวดหมุน ± 15 องศา
ฉลากที่พิมพ์ดี	17879-18666	17331-18492	16746-18591
จุดบกพร่องขนาด 1x1 cm ²	21764-22636	21073-22750	20136-22739
จุดบกพร่องขนาด 0.7x0.7 cm ²	20672-21362	20172-21134	19486-21336
จุดบกพร่องขนาด 0.6x0.6 cm ²	19602-20183	18959-20201	18286-20180
จุดบกพร่องขนาด 0.5x0.5 cm ²	18833-19696	18300-19585	17741-19696
จุดบกพร่องขนาด 0.4x0.4 cm ²	18470-19279	17840-19304	17143-19517

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงช่วงขอบเขตที่ครอบคลุมช่วง $mean \pm 3 \cdot SD$ ในช่วงมุมการหมุนต่างๆ (± 5 , ± 10 , ± 15) ของค่าจำนวนพิกเซลที่นับได้จากภาพฉลากที่พิมพ์บกพร่องแบบที่พิมพ์ไม่ครบ (misprint defect) ขนาดต่างๆ

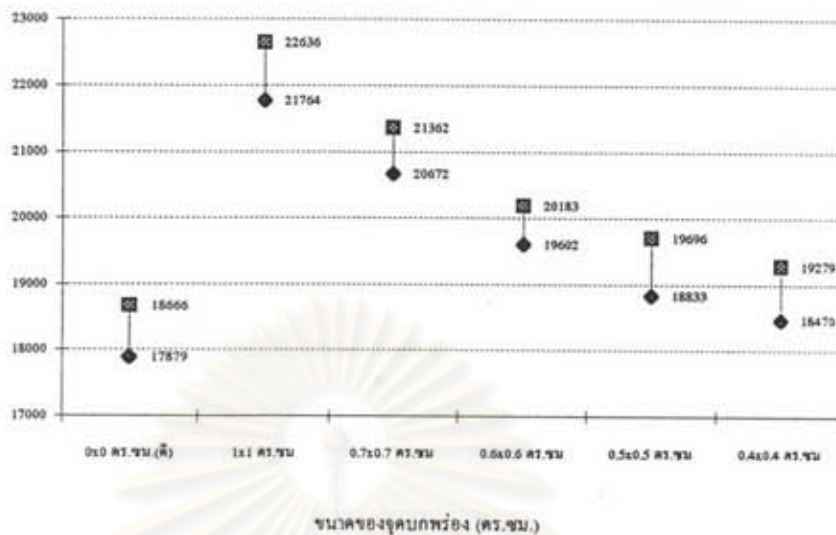
	ช่วงขอบเขตที่ครอบคลุมช่วง $mean \pm 3 \cdot SD$ ของจำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์ใน 200 ครั้ง (พิกเซล)		
	กรณีขนาดมุม ± 5 องศา	กรณีขนาดมุม ± 10 องศา	กรณีขนาดมุม ± 15 องศา
ฉลากที่พิมพ์ดี	17520-18382	17017-18408	16345-18813
จุดบกพร่องขนาด $0.8 \times 0.8 \text{ cm}^2$	15093-15887	14468-15986	13826-16198
จุดบกพร่องขนาด $0.7 \times 0.7 \text{ cm}^2$	15666-16557	15080-16527	14579-16722
จุดบกพร่องขนาด $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$	16515-17251	15963-17233	15211-17681
จุดบกพร่องขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$	16804-17637	16370-17670	15614-17843
จุดบกพร่องขนาด $0.4 \times 0.4 \text{ cm}^2$	16911-17771	16435-17727	15711-17954

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.2 และ 5.3 เมื่อนำมาพิจารณานาขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ในช่วงมุมการหมุนของขนาด ± 5 , ± 10 , ± 15 โดยนำมาหาช่วงขอบเขตที่ครอบคลุมช่วง $mean \pm 3 \cdot SD$ ที่ช่วงมุมการหมุนของขนาดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.4 และ 5.5 และแสดงด้วยรูปภาพ ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4

ซึ่งพบว่าในกรณีฉลากที่มีจุดบกพร่องแบบพิมพ์สกปรก (dirty defect) จากตารางที่ 5.4 และกราฟรูปที่ 5.3 (ก),(ข),(ค) จะเห็นได้ว่าในกรณีขนาดมุม ± 5 องศา ขนาดของจุดบกพร่อง 0.4×0.4 ตร.ซม. จะทำให้ช่วงขอบเขต $mean \pm 3 \cdot SD$ เหลื่อมล้ำกับช่วงที่วัดได้จากภาพฉลากที่ดี ดังนั้นขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ คือ ขนาด 0.5×0.5 ตร.ซม. และพิจารณาเช่นเดียวกัน ในกรณีขนาดมุม ± 10 , ± 15 องศา ขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจสอบได้ คือ 0.6×0.6 ตร.ซม. และ 0.7×0.7 ตร.ซม. ตามลำดับ สำหรับในกรณีจุดบกพร่องแบบพิมพ์ขาด (misprint) จากตารางที่ 5.5 และกราฟรูปที่ 5.4 (ก),(ข),(ค) ใช้การพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีจุดบกพร่องแบบพิมพ์สกปรก พบว่า กรณีขนาดมุม ± 5 , ± 10 และ ± 15 องศา ขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุด คือ 0.6×0.6 ตร.ซม. 0.7×0.7 ตร.ซม. และ 0.8×0.8 ตร.ซม. ตามลำดับ

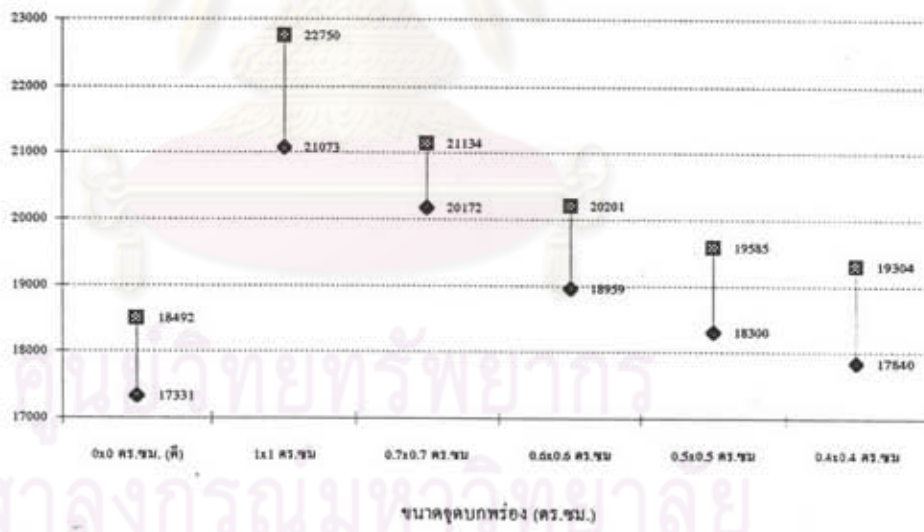
ดังนั้นโดยสรุปแล้วสำหรับอัลกอริทึมแบบนี้ขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ เมื่อขนาดมีการหมุน ± 5 , ± 10 และ ± 15 องศา คือ 0.6×0.6 ตร.ซม. 0.7×0.7 ตร.ซม. และ 0.8×0.8 ตร.ซม. ตามลำดับ

ช่วงขอบเขต mean \pm 3*SD ของจำนวนพืชชนิดที่นับได้ (พืชชนิด)



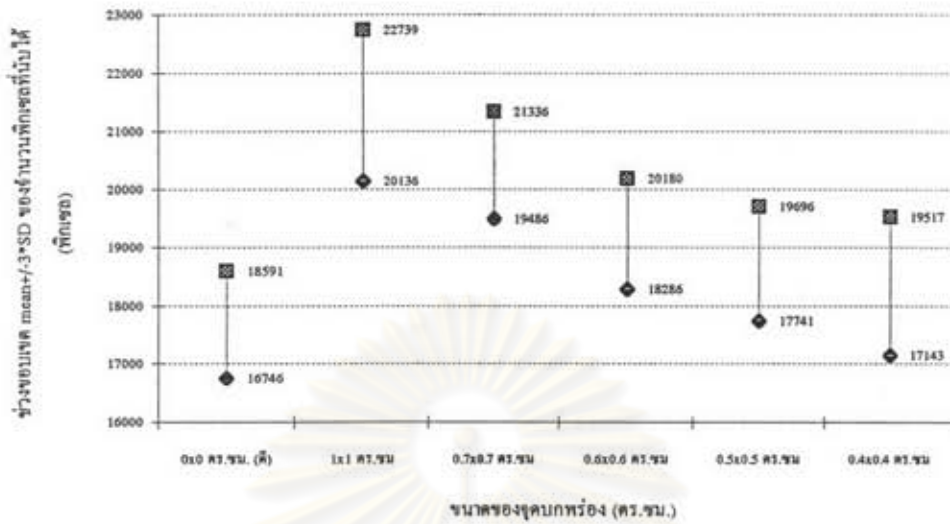
(ก)

ช่วงขอบเขต mean \pm 3*SD ของจำนวนพืชชนิดที่นับได้ (พืชชนิด)



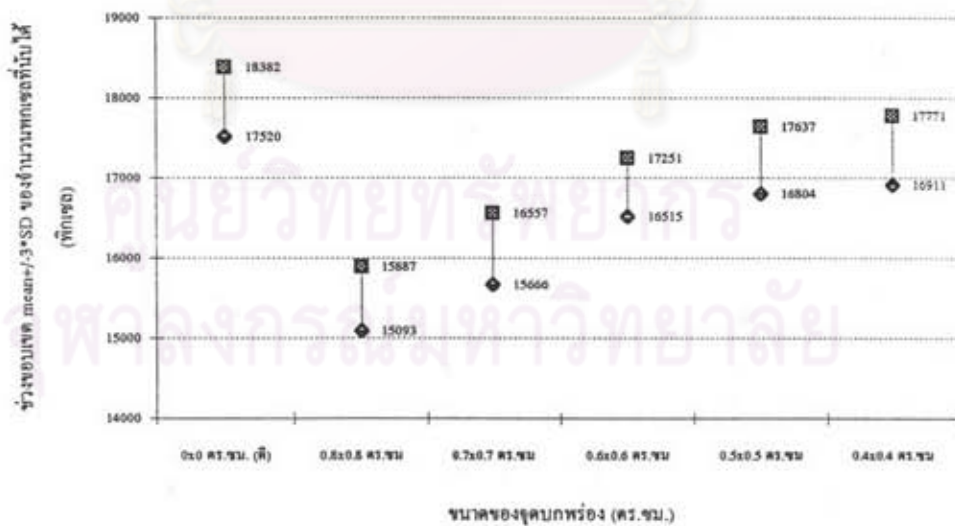
(ข)

รูปที่ 5.3 (ก-ค) (มีต่อ)



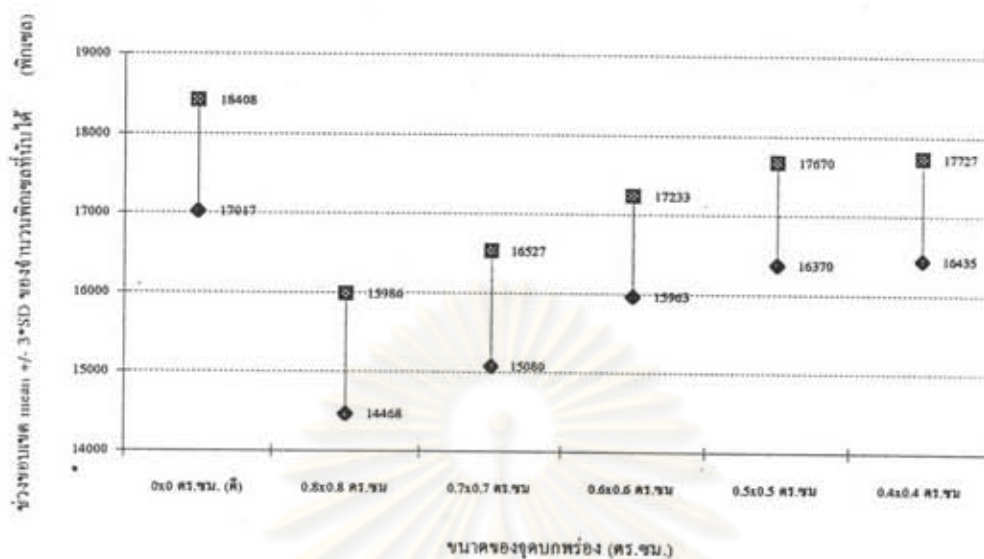
(ค)

รูปที่ 5.3 กราฟแสดงช่วงขอบเขต $mean \pm 3 \cdot SD$ ของค่าจำนวนพิบก.ชุดที่นับได้ในกรอบวินโดวส์จากภาพผลากที่พิมพ์บกพร่องแบบที่พิมพ์สกปรก (dirty defect) ภายในช่วงมุมการหมุน (ก) ± 5 องศา (ข) ± 10 องศา (ค) ± 15 องศา

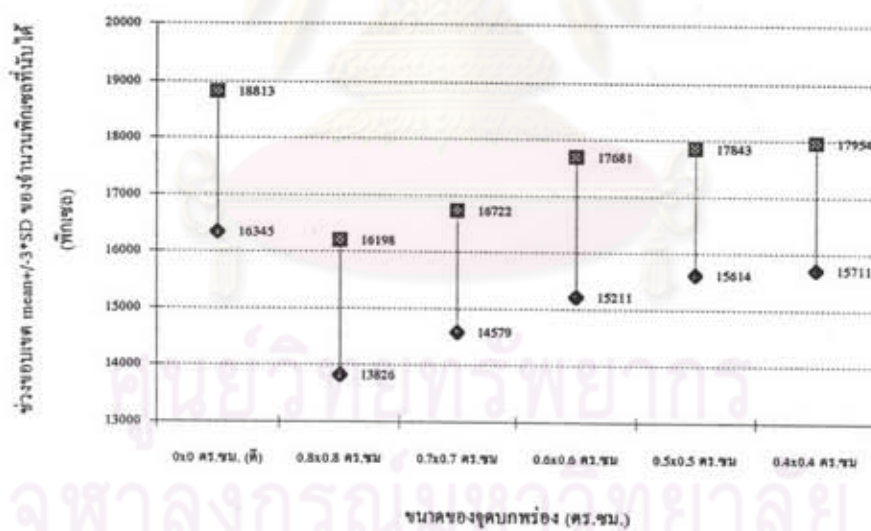


(ก)

รูปที่ 5.4 (ก-ค) (มีต่อ)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงช่วงขอบเขต mean \pm 3*SD ของค่าจำนวนพิทเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์จากภาพลากที่พิมพ์บกพร่องแบบที่พิมพ์ขาด (misprint defect) ภายในช่วงมุมการหมุน (ก) ± 5 องศา (ข) ± 10 องศา (ค) ± 15 องศา

5.3.1.2 การทดลองหาขนาดที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ของอัลกอริทึมแบบที่ 2

เนื่องจากอัลกอริทึมแบบที่ 2 นี้จะทำการตรวจสอบโดยวัดค่าจำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่อง (defective pixel count) มาเป็นค่าในการตัดสินใจ ดังนั้น การหาขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่ยังสามารถตรวจสอบได้ จะดูจากค่าจำนวนพิกเซลจุดบกพร่องที่วัดได้ ภายใต้ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ตั้งไว้ใน การตรวจสอบ กล่าวคือ จะทำการทดสอบกับฉลากที่มีจุดบกพร่องหลายขนาด จนถึงขนาดที่วัดค่าจำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องที่มีค่าน้อยจนไม่สามารถตัดสินใจได้ และในการทดลองนี้ได้ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการตรวจสอบดังตารางที่ 5.6 โดยทำการเก็บภาพฉลากอ้างอิงที่ไม่มีจุดบกพร่องไว้ห่างกันทุกๆ 5 องศา คือ เก็บภาพที่ -15,-10,-5,0,5,10,15 และทำการทดสอบกับฉลากที่มีจุดบกพร่องทั้งสองแบบ (พิมพ์สกปรกและพิมพ์ขาด) ที่ขนาด 1 x1,0.5x0.5,0.1x0.1 และ 0.05x0.05 ตร.ซม. และฉลากที่ดีไม่มีจุดบกพร่อง ภายในมุม ± 15 องศา ทุกความละเอียดที่ละ 1 องศา (-15,-14,13,.....,13,14,15 องศา) และทำการวัดค่าจำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องออกมา ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ขนาด 0.05x0.05 ตร.ซม. นั้นค่าที่วัดออกมาได้มีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ (20 พิกเซล) จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ ดังนั้นในอัลกอริทึมแบบที่ 2 นี้ ภายใต้มุมการหมุนของขวด ± 15 องศา สามารถตรวจสอบจุดบกพร่องที่ขนาดเล็กที่สุด คือ 0.1x0.1 ตร.ซม.

ตารางที่ 5.6 พารามิเตอร์การตรวจสอบของอัลกอริทึมแบบที่ 2 (แบบเฉพาะ) ที่ตั้งค่าสำหรับการทดลองหาขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้

Label Extraction Parameter	inspection window : (145,43) - (415,477) (window size = 270x434 pixels) positioning window : DISABLE threshold value for sobeled image : 100 number of pixel to scan label edge : 3 pixels
Coarse Inspection Parameter	DISABLE
Fine Inspection Parameter	Set of reference image : - number of reference image : 7 (each reference 5 degree apart at 0,±5,±10,±15) Model fitting Parameter number of iteration loop : 1 times, control point period : 30 pixels, find offset : ±5 pixels , BMC window size : 65 pixels Image Comparison Parameter threshold value for different image : 100 , defective pixel count threshold for judgement : 20 pixels

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงค่าจำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องจากภาพผลากที่พิมพ์บกพร่องแบบที่พิมพ์ไม่ครบ (misprint defect) และแบบที่พิมพ์สกปรก (dirty) ขนาดต่างๆ ภายในมุม ± 15

ขนาดของจุดบกพร่อง	ค่าจำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่อง (defective pixel count) (พิกเซล)								
	0x0 cm ² (ดี)	1x1 cm ²		0.5x0.5 cm ²		0.1x0.1 cm ²		0.05x0.05 cm ²	
ชนิดของจุดบกพร่อง		misprint	dirty	misprint	dirty	misprint	dirty	misprint	dirty
มุม									
-15	0	1495	3634	578	671	29	34	8	0
-14	0	1556	3608	572	565	25	34	6	0
-13	0	1615	3795	1107	1321	28	31	7	0
-12	0	1847	3617	597	831	50	32	7	0
-11	0	1768	3736	590	775	39	37	7	0
-10	0	1877	3810	599	670	36	27	8	0
-9	0	1928	3793	597	662	27	35	6	0
-8	0	1875	3874	571	637	20	34	8	0
-7	0	2068	3816	558	782	49	36	7	0
-6	0	2064	3909	574	776	50	38	8	0
-5	0	2099	3905	565	755	40	34	8	0
-4	0	2072	3931	563	768	38	38	8	0
-3	0	2126	3983	589	895	67	39	7	1
-2	0	2151	4038	560	890	59	34	7	0
-1	0	2341	4060	571	877	54	36	8	0
0	0	2306	4058	570	829	53	35	9	0
1	0	2329	4081	591	772	55	33	6	0
2	0	2302	4026	550	785	54	37	9	0
3	0	2505	4001	534	936	64	32	8	0
4	0	2474	4014	550	936	58	34	8	0
5	0	2491	4067	556	918	57	29	8	0
6	0	2383	4049	562	928	60	32	9	0
7	0	2515	4077	550	926	58	30	9	0
8	0	2508	3911	529	1021	62	34	11	0
9	0	2531	3973	532	1002	63	37	13	0
10	0	2486	3997	525	976	57	33	12	0
11	0	2462	3970	527	985	58	34	11	0
12	0	2456	4075	525	1000	57	43	13	0
13	0	2458	3908	510	1100	55	31	12	0
14	0	2500	3900	501	1086	57	35	9	0
15	0	2495	3972	502	1086	56	37	9	0

5.3.2 อัตราในการตรวจผิด (Error Rate)

การทดลองหาอัตราการตรวจผิดของอัลกอริทึมทั้งสองจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่แท้จริงของอัลกอริทึมว่าสามารถตรวจสอบได้ถูกต้องแม่นยำเท่าใด ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดลองในสภาพที่เหมือนนำไปใช้งานจริง โดยชิ้นงาน(ขวด)จะถูกป้อนต่อหน้ากล้องลงไปในพื้นที่ยึดชิ้นงาน (jig) ที่สร้างขึ้น ซึ่งพบว่าสามารถทำให้ขวดหมุนได้เล็กน้อย (± 4 องศา) และโดยชุดตัวอย่างขวดที่นำมาทดลองนี้จะใช้ขวดที่พิมพ์ถูกต้องไม่มีจุดบกพร่องจำนวน 100 ขวด มาสร้างจุดบกพร่องเทียม (artificial defect) แบบต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ขวดที่พิมพ์ฉลากถูกต้องไม่มีจุดบกพร่อง จำนวน 18 ขวด
2. ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่อง จำนวน 82 ขวด โดยสร้างจุดบกพร่องขึ้นเอง ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามประเภทของจุดบกพร่อง ดังนี้

2.1 ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ครบ (misprint) จำนวน 23 ขวด โดยสามารถแบ่งย่อยตามขนาดพื้นที่ของจุดบกพร่องได้เป็น 3 ขนาด คือ

- 2.1.1 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดใหญ่ จำนวน 2 ขวด
- 2.1.2 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดกลาง จำนวน 3 ขวด
- 2.1.3 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก จำนวน 18 ขวด

2.2 ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ชัด (blur printing) จำนวน 24 ขวด โดยสามารถแบ่งย่อยตามขนาดพื้นที่ของจุดบกพร่องได้เป็น 3 ขนาด คือ

- 2.2.1 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดใหญ่ จำนวน 2 ขวด
- 2.2.2 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดกลาง จำนวน 3 ขวด
- 2.2.3 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก จำนวน 19 ขวด

2.3 ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์สกปรก (dirty printing) จำนวน 24 ขวด โดยสามารถแบ่งย่อยตามขนาดพื้นที่ของจุดบกพร่องได้เป็น 3 ขนาด

- 2.3.1 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดใหญ่ จำนวน 2 ขวด
- 2.3.2 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดกลาง จำนวน 3 ขวด
- 2.3.3 พื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก จำนวน 19 ขวด

2.4 ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากทั้งพิมพ์ไม่ครบและพิมพ์สกปรก จำนวน 11 ขวด โดยแบ่งย่อยเป็น 3 ประเภท

- 2.4.1 พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์ไม่ครบ มากกว่า พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์สกปรก จำนวน 3 ขวด

2.4.2 พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์ไม่ครบ น้อยกว่า พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์สกปรก จำนวน 4 ขวด

2.4.3 พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์ไม่ครบ เท่ากับ พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์สกปรก จำนวน 4 ขวด

โดยการนิยาม ขนาดพื้นที่ของจุดบกพร่อง ขนาดเล็ก, กลาง และใหญ่ คือ

- พื้นที่ของจุดบกพร่องขนาดใหญ่ = พื้นที่มากกว่า 60% ของพื้นที่ในการตรวจสอบ
- พื้นที่ของจุดบกพร่องขนาดกลาง = ขนาดพื้นที่ระหว่าง 10% ถึง 60% ของพื้นที่ในการ

ตรวจสอบ

- พื้นที่ของจุดบกพร่องขนาดเล็ก = ขนาดพื้นที่น้อยกว่า 10% ของพื้นที่ในการตรวจสอบ

ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองกับขวดน้ำยาซักแห้ง " ESSENCE " ขนาด 500 ซม² บริเวณพื้นที่ของฉลากเป้าหมายที่ทำการตรวจสอบนั้นจะมีพื้นที่ประมาณ 4x8 ตร.ซม. และภาพถ่ายตัวอย่างขวดที่มีจุดบกพร่องประเภทต่างๆแสดงดังรูปที่ 5.5

หลังจากที่ทำการสร้างจุดบกพร่องแบบต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว จะนำชุดตัวอย่างขวดเหล่านี้ไปทดสอบกับการตรวจสอบของอัลกอริทึมทั้งสองแบบ โดยที่พารามิเตอร์ในการตรวจสอบของทั้งสองอัลกอริทึมจะใช้ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้สามารถตรวจสอบได้ ซึ่งพารามิเตอร์ในการตรวจสอบของแต่ละอัลกอริทึมแสดงดังตารางที่ 5.8 และ 5.9 และทำการบันทึกจำนวนขวดที่ตรวจผิดซึ่งได้แก่ฉลากบนขวดที่เป็นฉลากที่พิมพ์ดีแต่ตรวจได้ว่าเสียและฉลากบนขวดที่เป็นฉลากที่พิมพ์เสียแต่ตรวจได้ว่าดีและนำมาคำนวณหาอัตราการตรวจผิดแบบต่างๆ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.8 พารามิเตอร์การตรวจสอบของฟังก์ชันในอัลกอริทึมแบบใช้งานทั่วไปที่ตั้งค่า สำหรับการทดสอบอัตราการตรวจผิด

Preprocessing Function Parameter	DISABLE
Thresholding Function Parameter	threshold value : 110
Positioning Function Parameter	DISABLE
Inspecting Function Parameter	Window Pixel Counting : <ul style="list-style-type: none"> - object pixel to count : BLACK (0) - lower/upper limit of number of pixel count : 14971 - 17662 pixels - vertical / horizontal position adjustment : NOT ADJUST - Window Type : Rectangle , window position : (120,51) - (360,437) <p style="text-align: right;">(window size = 240x386 pixels)</p>



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.5 (มีต่อ)



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.5 (มีต่อ)



(จ)

รูปที่ 5.5 รูปถ่ายภาพตัวอย่างขวดที่มีจุดบกพร่องแบบต่างๆ (ก) ฉลากที่พิมพ์ถูกต้อง (ข) ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ครบ ที่มีพื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก, กลาง, ใหญ่ (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา) (ค) ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ชัด ที่มีพื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก, กลาง, ใหญ่ (ง) ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์สกรปรก ที่มีพื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก, กลาง, ใหญ่ (จ) ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ครบและพิมพ์สกรปรก ที่มีพื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์ไม่ครบ มากกว่า, เท่ากับ, น้อยกว่า พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์สกรปรก (เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 พารามิเตอร์การตรวจสอบของอัลกอริทึมแบบที่ 2 (แบบเฉพาะ) ที่ตั้งค่าสำหรับการทดสอบอัตราการผลิต

Label Extraction Parameter	inspection window : (110,23)-(370,455) (window size=260x432 pixels) positioning window : DISABLE threshold value for sobeled image : 100 number of pixel to scan label edge : 3 pixels
Coarse Inspection Parameter	DISABLE
Fine Inspection Parameter	Set of reference image : - number of reference image : 3 images Model fitting Parameter - number of iteration loop : 1 times , control point period : 30 pixels , find offset : ± 5 pixels , BMC window size : 65 pixels Image Comparison Parameter threshold value for different image : 100 , defective pixel count threshold for judgement : 20 pixels

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าการทำงานของอัลกอริทึมแบบที่ 1 จะทำการตรวจสอบผิดพลาดเมื่อในกรณีของฉลากที่มีจุดบกพร่องขนาดเล็กและในกรณีของฉลากที่มีจุดบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ครบและพิมพ์สกปรกโดยที่พื้นที่ของจุดบกพร่องทั้งสองเท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าเทคนิคการนับจำนวนพิกเซลในกรอบวินโดวส์มาตรวจสอบจะทำงานผิดพลาดในกรณีจุดบกพร่องที่มีจำนวนพิกเซลที่เพิ่มเข้ามาและจำนวนพิกเซลที่ขาดหายไปเท่ากัน ส่วนในอัลกอริทึมแบบที่ 2 ที่ใช้เทคนิคการเปรียบเทียบภาพแบบจุดต่อจุดนั้นจะตรวจสอบผิดพลาดในกรณีจุดบกพร่องขนาดเล็กโดยเฉพาะที่เกิดเนื่องจากการพิมพ์ไม่ชัด ซึ่งเหตุที่ตรวจสอบผิดพลาดเป็นเพราะว่าจุดบกพร่องแบบนี้จะทำให้ความแตกต่างทางระดับความสว่างระหว่างภาพฉลากอ้างอิงและภาพฉลากที่ตรวจสอบในบริเวณจุดบกพร่องไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนจึงทำให้ไม่สามารถตัดสินเป็นพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องได้ สำหรับค่า Misdetection rate และ False-alarm rate นั้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ในการตรวจสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้ในการตัดสินว่าชิ้นงานใดดีหรือเสีย โดยที่ค่าตัวเลขผลการทดลองที่แสดงนั้นเป็นค่าที่ได้เมื่อมีการปรับพารามิเตอร์ในการตรวจสอบต่างๆที่เหมาะสมที่สามารถนำไปตรวจสอบได้



ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองแสดงจำนวนขวดที่ตรวจผิดและอัตราการตรวจผิดของอัลกอริทึมทั้ง 2 แบบ

ประเภทของจุดบกพร่อง	จำนวนขวดที่ตรวจผิด (ขวด)	
	อัลกอริทึมแบบที่ 1	อัลกอริทึมแบบที่ 2
ขวดที่พิมพ์ฉลากถูกต้องไม่มีจุดบกพร่อง (18 ขวด)	4	0
ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ครบ (23 ขวด) <ul style="list-style-type: none">• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดใหญ่ (2 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดกลาง (3 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก (18 ขวด)	0	0
ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์ไม่ชัด (24 ขวด) <ul style="list-style-type: none">• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดใหญ่ (2 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดกลาง (3 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก (19 ขวด)	0	0
ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากการพิมพ์สกปรก (24 ขวด) <ul style="list-style-type: none">• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดใหญ่ (2 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดกลาง (3 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก (19 ขวด)	0	0
ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่องเนื่องจากทั้งพิมพ์ไม่ครบและพิมพ์สกปรก (11 ขวด) <ul style="list-style-type: none">• พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์ไม่ครบ มากกว่า พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์สกปรก (3 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์ไม่ครบ น้อยกว่า พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์สกปรก (4 ขวด)• พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์ไม่ครบ เท่ากับ พื้นที่จุดบกพร่องที่เกิดจากการพิมพ์สกปรก (4 ขวด)	1	0
ผลการตรวจสอบรวม <ul style="list-style-type: none">• ขวดที่พิมพ์ฉลากถูกต้อง (18 ขวด)• ขวดที่พิมพ์ฉลากบกพร่อง (82 ขวด)	4 ขวด	0 ขวด
อัตราการตรวจผิด (Error Rate) <ul style="list-style-type: none">• อัตราตรวจผิดเนื่องจากตรวจชิ้นงานเสียเป็นดี (Mis-detection Rate)• อัตราตรวจผิดเนื่องจากตรวจชิ้นงานดีเป็นเสีย (False-Alarm Rate)	25 ขวด	5 ขวด
	30 %	6 %
	22 %	0 %

5.3.3 ความซ้ำได้ (Repeatability)

การเปรียบเทียบค่าความซ้ำได้ของอัลกอริทึมที่ทำงานนั้น จะใช้การพิจารณาจากค่าทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากกลุ่มข้อมูลของค่าเป้าหมายที่วัดออกมาได้จากชิ้นงานเพื่อใช้ในการตัดสินใจจากการถ่ายภาพชิ้นงานเดียวกันเข้ามาตรวจสอบหลายๆ ครั้ง ซึ่งในอัลกอริทึมแบบที่ 1 ก็คือ ค่าจำนวนพิกเซล (ขาว/ดำ) ในกรอบวินโดวส์ ส่วนในอัลกอริทึมแบบที่ 2 คือค่าจำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่อง โดยในการพิจารณาระบบ (อัลกอริทึม) แบบใดดีกว่ากัน ก็จะใช้พิจารณาจากข้อมูลที่ทำกรวัดออกมาได้ในแต่ละครั้งควรที่จะอยู่ใกล้เคียงกันหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานควรจะมีค่าต่ำ เพื่อจะได้มีผลในการเลือกค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมในการตัดสินใจเป็นชิ้นงานดีหรือเสียได้ง่าย และผลการตรวจสอบเชื่อถือได้

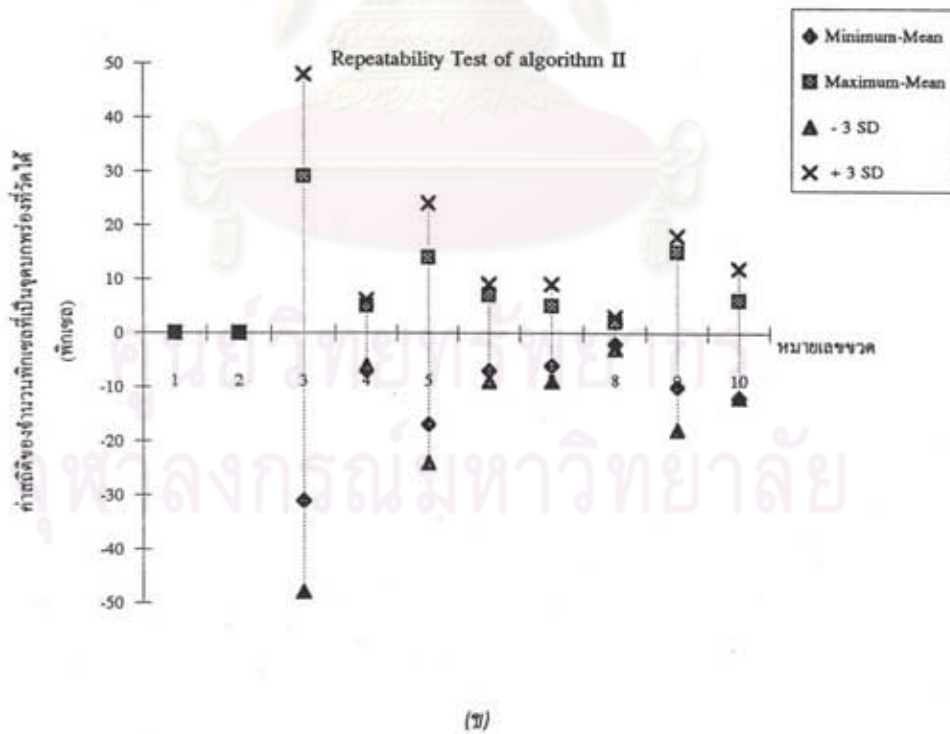
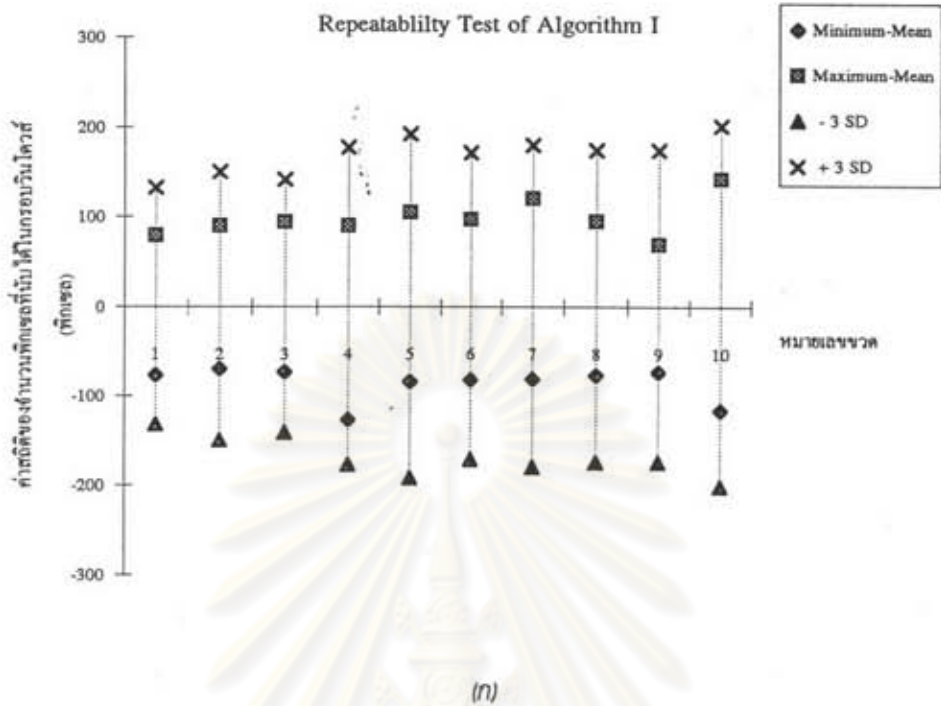
สำหรับการทดลองหาค่าความซ้ำได้ของแต่ละอัลกอริทึมในวิทยานิพนธ์นี้ จะทดลองโดยใช้ตัวอย่างขนาด 10 ขวด ซึ่งมีทั้งขวดที่มีขี้ลวกที่พิมพ์บกพร่องและขวดที่มีการพิมพ์ถูกต้อง โดยในแต่ละขวดจะทำการถ่ายภาพ 30 ครั้ง และในแต่ละครั้งก็จะทำการคำนวณหาค่าจำนวนพิกเซลในกรอบวินโดวส์สำหรับอัลกอริทึมแบบที่หนึ่งและค่าจำนวนพิกเซลจุดบกพร่องสำหรับอัลกอริทึมแบบที่สอง โดยที่พารามิเตอร์ในการตรวจสอบของแต่ละอัลกอริทึมจะเป็นพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้จนเหมาะสมที่นำไปตรวจสอบได้ในสภาพแวดล้อมที่ทำการทดลอง (พารามิเตอร์ของทั้งสองอัลกอริทึมในการทดลองนี้จะเป็นพารามิเตอร์เดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองอัตราการตรวจผิดในข้อที่แล้ว) และเมื่อเก็บค่าครบตามจำนวนที่กำหนดแล้วก็นำมาคำนวณหาค่าทางสถิติได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ,ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ,ค่าน้อยสุด (min) และค่ามากที่สุด (max) ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.11 และกราฟรูปที่ 5.6 ก และ ข

จากผลการทดลองถ้ามาพิจารณาในแต่ละอัลกอริทึมแล้วอัลกอริทึมที่ใช้ได้ควรจะมีช่วง $mean \pm 3 * SD$ ครอบคลุมค่าน้อยสุดและค่ามากที่สุด (Okabe,T et.al 1993) ซึ่งผลการทดลองของอัลกอริทึมทั้งสองจากตารางที่ 5.11 และกราฟรูปที่ 5.6 ก และ ข พบว่า ช่วง $mean \pm 3 * SD$ นั้นจะครอบคลุมค่าน้อยสุดและค่ามากที่สุด แสดงว่าการทำงานของอัลกอริทึมทั้งสองนั้นใช้ได้ และสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมทั้งสองนั้นจะใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งอัลกอริทึมที่ดีควรจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลที่วัดได้มีค่าต่ำ ซึ่งถ้าพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัลกอริทึมที่ 1 และ อัลกอริทึมที่ 2 แบบขวดต่อขวด จากตารางที่ 5.11 ก็พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัลกอริทึมที่ 2 นั้นจะน้อยกว่าแบบที่ 1 ทุกขวด

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงค่าทางสถิติของจำนวนทิกเซลที่นับได้สำหรับอัลกอริทึมแบบที่ 1 และของจำนวนทิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องสำหรับอัลกอริทึมแบบที่ 2

ชนิดที่	อัลกอริทึมแบบที่ 1					อัลกอริทึมแบบที่ 2				
	ค่าทางสถิติของจำนวนทิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์ในการตรวจซ้ำกัน จำนวน 30 ครั้ง (ทิกเซล)					ค่าทางสถิติของจำนวนทิกเซลจุดบกพร่องที่วัดออกมาได้ในการตรวจซ้ำกัน จำนวน 30 ครั้ง (ทิกเซล)				
	mean	SD	min	max	mean \pm 3SD	mean	SD	min	max	mean \pm 3SD
1	19379	44	19302	19457	19241-19511	0	0	0	0	0
2	19957	50	19887	20046	19807-20107	0	0	0	0	0
3	25881	47	25805	25974	25670-26022	5026	16	4995	5055	4978-5074
4	21757	59	21630	21846	21580-21934	524	2	517	529	518-530
5	24145	64	24061	24249	23953-24337	2986	8	2969	3000	2962-3010
6	21229	57	21147	21325	21058-21400	209	3	202	216	200-218
7	21965	60	21884	22085	21785-22145	195	3	189	200	186-204
8	20099	58	20022	20193	19925-20273	309	1	307	311	306-312
9	14639	58	14566	14707	14465-14813	4711	6	4701	4726	4693-4729
10	19803	67	19687	19945	19602-20004	84	4	72	90	72-96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่าทางสถิติในการทดสอบความซ้ำได้ ของ (ก) จำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์จาก อัลกอริทึมแบบที่ 1 (ข) จำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องที่วัดได้จากอัลกอริทึมแบบที่ 2

ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงเวลาในการประมวลผลของแต่ละฟังก์ชันของอัลกอริทึมแบบที่ 1

ฟังก์ชัน	เวลาในการประมวลผล (วินาที)
● เวลาในการเก็บภาพ (Image Reading Time)	0.44
● ฟังก์ชันประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing Function)	
- Spatial Highpass Filter	0.78
- Spatial Lowpass Filter	0.77
- Median Filter	1.71
- Laplacian Edge Detection	0.59
- Sobel Edge Detection	0.91
- Prewitt Edge Detection	0.91
● ฟังก์ชันแปลงภาพสองระดับ (Thresholding Function)	0.21
● ฟังก์ชันปรับตำแหน่ง (Positioning Function)	
- ฟังก์ชันปรับตำแหน่งแนวตั้ง (Vertical Positioning Function)	0.26
- ฟังก์ชันปรับตำแหน่งแนวนอน (Horizontal Positioning Function)	0.26
● ฟังก์ชันตรวจสอบ (Inspecting Function)	
- ฟังก์ชันนับพิกเซลบนเส้น (Line Pixel Counting)	
* เส้นตรงแนวตั้ง (Vertical Line)	0.05
* เส้นตรงแนวนอน (Horizontal Line)	0.05
* เส้นตรงหลายเหลี่ยม (Polygon Line)	0.06
* เส้นวงกลม (Circle Line)	0.05
- ฟังก์ชันนับพิกเซลในกรอบวินโดวส์ (Window Pixel Counting)	
* กรอบวินโดวส์แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle)	0.16
* กรอบวินโดวส์แบบหลายเหลี่ยม (Polygon)	0.13
* กรอบวินโดวส์แบบวงกลม (Circle)	0.13
- ฟังก์ชันเปรียบเทียบรูปแบบในกรอบวินโดวส์ (Window Pattern Matching)	0.14
● เวลาในการตรวจสอบต่อ 1 ชิ้นงาน	เวลาในการเก็บภาพ (0.44 s) + เวลาในการประมวลผลของแต่ละฟังก์ชันที่เลือกใช้งาน

หมายเหตุ เวลาในการประมวลผลของแต่ละฟังก์ชันนั้นเป็นเวลาที่ใช้โดยที่แต่ละฟังก์ชันทำการประมวลผลบนพื้นที่ภาพขนาด 480 x 512 พิกเซล

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.14 ตารางสรุปผลการทดลอง

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	อัลกอริทึมแบบที่ 1	อัลกอริทึมแบบที่ 2
<ul style="list-style-type: none"> • ขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจสอบได้ 		
ขนาดที่มีการหมุน ± 5 องศา	0.6x0.6 cm ²	0.1x0.1 cm ²
ขนาดที่มีการหมุน ± 10 องศา	0.7x0.7 cm ²	0.1x0.1 cm ²
ขนาดที่มีการหมุน ± 15 องศา	0.8x0.8 cm ²	0.1x0.1 cm ²
<ul style="list-style-type: none"> • ความซ้ำได้ 		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูลของค่าเป้าหมายที่ทำการวัดมาตรวจสอบ	สูงกว่า	ต่ำกว่า
<ul style="list-style-type: none"> • อัตราในการตรวจผิด 		
Misdetection rate	30%	6%
False-alarm rate	22%	0%
<ul style="list-style-type: none"> • เวลาเฉลี่ยในการตรวจสอบต่อหนึ่งชิ้นงาน (วินาที) 	0.82	30

จากการทดลองต่างๆในข้อที่ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆของอัลกอริทึมทั้งสองซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5.14 และทำการพิจารณาตัวแปรต่างๆที่ละข้อได้ดังนี้

- จุดบกพร่องขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจได้

ในกรณีของอัลกอริทึมแบบที่ 1 นั้นจะขึ้นอยู่กับมุมในการหมุน เพราะว่าถ้าขนาดมีการหมุนไปก็จะทำให้ภาพที่ถ่ายเข้ามาในแต่ละครั้งมีการเพี้ยนไปจากภาพที่ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทำให้จำนวนพิกเซลที่นับได้ในกรอบวินโดวส์นั้นมีช่วงค่อนข้างกว้าง โอกาสที่ช่วงของจำนวนพิกเซลของชิ้นงานที่ดีกับชิ้นงานที่มีจุดบกพร่องมาเหลื่อมกัน (overlapped) มีค่อนข้างสูง ทำให้การตรวจสอบผิดพลาดได้ ส่วนอัลกอริทึมแบบที่ 2 นั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับมุมของการหมุนเท่าใดนัก เพราะว่าหลักการอัลกอริทึมนั้นจะทำการเก็บภาพอ้างอิงไว้เพิ่มเติมด้วยในกรณีที่มีมุมการหมุนของขนาดเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นในกรณีของขนาดของจุดบกพร่องที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจได้ของอัลกอริทึมแบบที่ 2 จะมีขนาดเล็กกว่าแบบที่ 1

- ค่าความซ้ำได้

เนื่องจากพื้นฐานของอัลกอริทึมแบบที่ 1 เป็นการประมวลผลบนภาพสองระดับ ซึ่งภาพนี้จะขึ้นอยู่กับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้ในการแปลงภาพ และถ้าภาพที่ถ่ายเข้ามาได้มีความแปรปรวน

ของแสงก็จะทำให้ภาพสองระดับที่ได้มาจากการถ่ายภาพแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน ทำให้ค่าที่วัดได้ มีการกระจายค่อนข้างสูง แต่เมื่อเทียบกับอัลกอริทึมแบบที่ 2 ที่ทำการประมวลผลบนภาพ 256 ระดับ โดยทำการลบภาพกันเพื่อจะวัดค่าส่วนที่เป็นจุดบกพร่องเท่านั้น ทำให้ค่าที่วัดได้มีการกระจายต่ำกว่าแบบที่ 1 ดังนั้นการทำงานของอัลกอริทึมแบบที่สองนั้นจึงเชื่อถือได้ดีกว่าแบบแรก

- อัตราในการตรวจผิด

ค่าอัตราในการตรวจผิดนั้นโดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับชุดของตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ แต่เนื่องจากในการทดลองนี้เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของสองอัลกอริทึม ซึ่งใช้ชุดตัวอย่างชุดเดียวกัน โดยผลการทดลองของอัลกอริทึมแบบที่ 1 นั้นผลยังไม่ค่อยดีพอที่จะนำไปในการตรวจสอบได้จริงเพราะอัตราในการตรวจผิดทั้ง 2 ประเภท (mis-detection rate และ false-alarm rate) ค่อนข้างสูง ส่วนในอัลกอริทึมแบบที่ 2 นั้นอัตราการตรวจสอบผิดต่ำกว่า และน่าจะสามารนำไปใช้งานได้จริง โดยชุดที่ทำการตรวจผิดส่วนใหญ่จะเป็นชุดที่มีจุดบกพร่องแบบที่มีขนาดเล็กและมีสีจางเท่านั้น

- เวลาในการประมวลผล

เวลาในการประมวลผลต่อ 1 ชิ้นงาน ของอัลกอริทึมแบบที่ 1 นั้นสั้นมากจนสามารถนำไปใช้ในการผลิตจริงได้ เพราะพื้นฐานของอัลกอริทึมไม่ต้องใช้การคำนวณมากมายนัก ส่วนอัลกอริทึมแบบที่ 2 นั้นใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างมาก ซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้ในระบบการผลิตจริงได้ แต่เวลานี้สามารถลดลงได้โดยอาจจะทำการพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับการประมวลผลของอัลกอริทึมโดยเฉพาะ ดังเช่น Waltz, F.M. 1993 ซึ่งอาจจะทำให้เวลาในการคำนวณเร็วขึ้น จนสามารถนำไปใช้งานได้จริง และเวลาในการประมวลผลของอัลกอริทึมแบบที่ 2 นั้น จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ตั้งขึ้นไว้มาก เช่น ระยะที่ทำการหาตำแหน่งตรงกันจากจุดควบคุม ซึ่งถ้ามีค่าน้อยก็จะใช้เวลาในการคำนวณสั้น ซึ่งตรงจุดนี้จะขึ้นอยู่กับข้อมูลภาพที่ถ่ายเข้ามาได้ว่าการเพี้ยนไปจากภาพอ้างอิงมากน้อยเพียงใด ซึ่งถ้าเพี้ยนไปไม่มากก็สามารถลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้ทำงานน้อยลง ทำให้เวลาในการคำนวณสั้นลงด้วย

ถ้ามองโดยรวมแล้ว อัลกอริทึมแบบที่ 1 นั้น ความถูกต้องแม่นยำในการตรวจสอบยังไม่เหมาะที่นำมาใช้กับการตรวจสอบผลากที่พิมพ์บนขวดเท่าใดนัก โดยเฉพาะในกรณีที่ผลากมีจุดบกพร่องในการพิมพ์ขนาดเล็ก แต่เวลาในการประมวลผลนั้นค่อนข้างสั้น ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้จริง ดังนั้น อาจจะนำเอาอัลกอริทึมแบบที่ 1 นี้ไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบแบบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการความละเอียดในการตรวจสอบมากนัก เช่น การตรวจสอบว่าผลากมีการพิมพ์บนขวดหรือไม่ เพราะว่าจำนวนพิกเซลที่นับเข้ามาได้ระหว่างชุดที่มีการพิมพ์กับไม่มีการพิมพ์จะแตกต่าง

กันอย่างชัดเจน ส่วนในอัลกอริทึมแบบที่ 2 ความถูกต้องแม่นยำนั้นเชื่อถือได้เหมาะที่จะนำมาใช้ ในการตรวจสอบผลากที่พิมพ์บนขวดได้จริง แต่จะมีปัญหาเรื่องความเร็วในการตรวจสอบที่ยังต่าง จากความเร็วของสายการผลิตมาก ซึ่งตรงนี้ก็เป็นที่จุดหนึ่งในการวิจัยต่อไปที่จะทำการลดเวลาใน การประมวลผลให้สั้นลง เพื่อให้ทันกับความเร็วของระบบการผลิต ไม่ว่าจะด้วยวิธีการปรับปรุงอัล กอริทึม หรือ การพัฒนาฮาร์ดแวร์ที่ทำงานเร็วขึ้นมาทำการตรวจสอบ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย