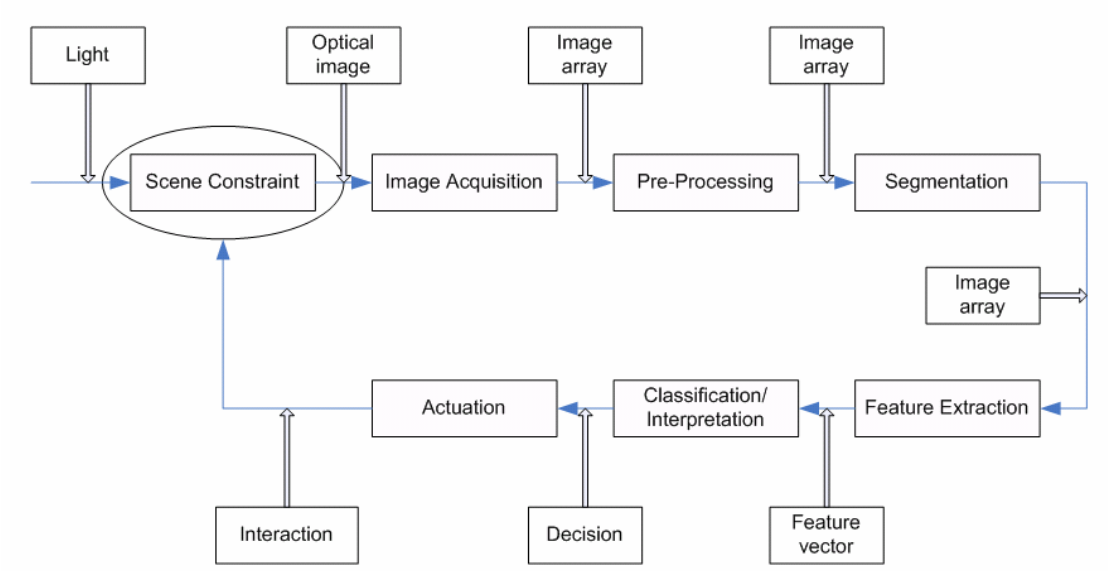
บทที่ 1

Introduction to Machine Vision

Machine Vision เป็นวิธีการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processor, DSP) มีความสามารถในการ “รับรู้” ภาพ ซึ่งรวมทั้ง การทำให้อุปกรณ์ประมวลผลนั้นๆ สามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่างๆได้ จากข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นๆ จุดมุ่งหมายสูงสุดของ Machine Vision คือ ทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ มีความสามารถให้ได้เทียบเท่ากับระบบการมองเห็นของมนุษย์ ที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่องกันมาหลายสิบล้านปี อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีในปัจจุบันยังคงไม่สามารถทำให้เครื่องจักรสามารถ “มองเห็นและรับรู้” ได้เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น ผู้อ่านที่เป็นมนุษย์ที่มีสภาพร่างกายปกติ จะสามารถแยกแยะสิ่งของที่ต้องการจากกองสิ่งของหลายอย่างๆได้ หรือ สามารถแยกแยะหน้าคนที่คุ้นเคยได้ จากกลุ่มคนที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีฝนตก หรือหมอกลงจัด การทำกิจกรรมดังกล่าวนั้น ผู้อ่านจะสามารถทำได้โดยแทบจะไม่ต้องใช้ความพยายามมากเท่าไรนัก ซึ่งหากต้องการให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลมีความสามารถที่จะทำกิจกรรมดังกล่าวได้นั้น นอกจากจะต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมากแล้ว ยังต้องใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลและสมองมนุษย์ ที่แม้อุปกรณ์ประมวลผลจะมีความเร็วในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์สูงกว่าสมองของมนุษย์มาก ดังจะเห็นได้ง่ายๆ จากการบวกเลข 20 หลักเข้าด้วยกัน จะพบว่าคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือแม้กระทั่งเครื่องคิดเลขธรรมดาๆทั่วไป จะสามารถทำงานดังกล่าวได้โดยใช้เวลาเพียงเศษเสี้ยววินาทีเท่านั้น ซึ่งต่างกับสมองของมนุษย์ที่เป็นหน่วยประมวลผลอย่างง่ายๆ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหน่วยย่อยๆของสมองมนุษย์เหล่านี้ มีจำนวนมากมายมหาศาล และทำงานไปพร้อมๆกัน (Parallel processing) แทนที่จะทำงานทีละขั้นตอน (Serial processing) ซึ่งเป็นวิธีการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองมนุษย์สูงกว่าอุปกรณ์ประมวลผลที่อยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

แม้ว่า ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันจะไม่สามารถพัฒนาความสามารถการ “มองเห็นและรับรู้” ของเครื่องจักรให้ได้เทียบเท่ากับของสมองมนุษย์ แต่ผลที่ได้จากการพัฒนาความรู้เรื่อง Machine Vision ก็สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การนำไปใช้กับระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย หรือแม้กระทั่งการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เป็นต้น

ระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ (Automated visual inspection system) เป็นการนำเอาความรู้เรื่อง Machine Vision ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหัวข้อในการตรวจสอบอยู่หลายๆหัวข้อด้วย เช่น การตรวจสอบการปนเปื้อนบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ (Contamination) การผิดเพี้ยนของสีของผลิตภัณฑ์ (Discoloring) การนับจำนวนชิ้นส่วนต่างๆ ที่อยู่บนผลิตภัณฑ์ (Part counting) เป็นต้น ซึ่งผลของการตรวจสอบดังกล่าวอาจจะใช้เพื่อคัดแยกงานดีออกจากงานเสีย หรือใช้เพื่อคัดเลือกเกรดของชิ้นงานก็ได้เช่นกัน และจากความต้องการจากด้านของอุตสาหกรรมที่ต้องการระบบที่สามารถทำงานได้รวดเร็วมากที่สุด ทำให้การทำงานของระบบอัตโนมัติ ซึ่งโดยหลักแล้วก็คือ การทำงานของโปรแกรมที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ประมวลผล จะต้องใช้เวลาที่สั้นที่สุด ดังนั้นวิธีการคำนวณต่างๆจะต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด นอกจากนั้น ความรู้ต่างๆที่มีอยู่ในผู้ที่ปฏิบัติงานกับผลิตภัณฑ์นั้นๆมาก่อน จะต้องถูกนำมาใช้เพื่อ “ช่วย” ให้ระบบสามารถตัดการคำนวณที่ไม่จำเป็นออกไปให้ได้มากที่สุด และก่อนที่เราจะกล่าวล่วงไปถึงเนื้อหาในส่วนดังกล่าว ผู้เขียนจะขอกล่าวถึง ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบ Machine vision เสียก่อน ดังในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 : ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ

1.1 การจัดสภาพแวดล้อม (Scene constraint)

จุดมุ่งหมายหลักของการจัดสภาพแวดล้อมของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ คือ เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลให้มากที่สุด ทั้งนี้ ก็เนื่องจากการที่ความสามารถการ “มองเห็นและรับรู้” ของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัด และไม่เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ เราจึงต้อง “ช่วย” ลดความยุ่งยากของการประมวลผล ทั้งนี้ ก็เพื่อให้อุปกรณ์ประมวลผลใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับงานที่ไม่ซับซ้อนและเท่าที่มีความจำเป็นเท่านั้น ซึ่งเราจะสามารถทำได้หลายๆวิธีร่วมกัน ยกตัวอย่างเช่น

-การจัดการกับชิ้นงาน ในสภาพแวดล้อมจริงในโรงงานอุตสาหกรรม ชิ้นงานแต่ละชิ้นที่จะถูกป้อนให้กับระบบตรวจสอบจะต้องถูกจัดให้วางตัวในทิศทางเดียวกัน ซึ่งหากไม่มีการจัดการเกี่ยวกับการวางตัวของชิ้นงานเหล่านี้แล้ว อุปกรณ์ประมวลผลจะต้องหาทิศทางของชิ้นงานแต่ละชิ้นเอง ก่อนที่จะเริ่มทำการการตรวจสอบชิ้นงานจริงๆ นอกจากนั้น ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ให้ระบบอัตโนมัติทำการ

ตรวจสอบนั้นจะต้องถูกจำกัดด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ในสายการผลิตหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่จะสามารถใช้ระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบอัตโนมัติจะถูกกำหนดรุ่นไว้อย่างแน่นอน โดยไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นมาตรวจสอบกับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ได้

-ระยะระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ และทิศทางของกล้อง ตัวแปรเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดของชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติ “มองเห็น” เช่น หากระยะดังกล่าวสั้นลงแล้ว ชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติมองเห็นก็จะมีขนาดใหญ่ ดังนั้น สำหรับระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยทั่วไปแล้ว ตัวแปรเหล่านี้จะต้องถูกกำหนดไว้ตายตัว มิฉะนั้นแล้ว การวัดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจัดเป็นการตรวจสอบพื้นฐานของการตรวจสอบชิ้นงานก่อนจะทำการตรวจสอบในหัวข้ออื่นๆ ก็จะผิดเพี้ยนไป

-การจัดการเรื่องแสง แสงจัดเป็นองค์ประกอบสำคัญมาก เนื่องจากการมองเห็นภาพของระบบอัตโนมัตินั้น เกิดจากการที่มีแสงมาตกกระทบวัตถุ แล้วสะท้อนผ่านเลนส์มาเข้าตัวเซนเซอร์รับภาพของกล้องที่ใช้กับระบบอัตโนมัติ ซึ่งการจัดการเกี่ยวกับแสงนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาทั้งเรื่องการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง การกระเจิงของแสง และคุณสมบัติอื่นๆ สำหรับการตรวจสอบชิ้นงานโดยทั่วไปแล้วจะทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงไว้ที่ด้านเดียวกับตัวกล้องแล้วส่องไปที่วัตถุที่ต้องการจับภาพ ซึ่งเรียกกันว่า Front lighting อย่างไรก็ตามจะพบว่า สำหรับงานตรวจสอบชิ้นงานบางอย่าง อาจจำเป็นจะต้องใช้การส่องแสงมาจากด้านหลังของวัตถุที่ใช้พิจารณาที่เรียกกันว่า Back lighting แล้วใช้ภาพที่ได้ทั้ง 2 ภาพมาประมวลผลเพื่อตรวจสอบวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยเพื่อหาอัตราการปลอมปนข้าวราคาต่ำในข้าวหอมมะลิ ที่ชื่อว่า โครงการการประเมินคุณภาพของเมล็ดข้าวโดยใช้ระบบวิเคราะห์ทางภาพ (Image Processing for Rice Kernel Quality Evaluation) ของนางสาวศิริลักษณ์ แสนสมบูรณ์สุข และ Dr. Nitin V Afzulpurkar

นอกไปจากการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานให้กับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนจากภาพแบบอัตโนมัติแล้ว งานบางประเภทอาจจะต้องมีการใช้ภาพจากกล้องหลายๆ ตัวเพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานจากหลายๆ มุมมอง บางกรณีอาจจะเป็นการใช้กล้องเพียงตัวเดียว แต่ตัวกล้องสามารถเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่างๆ ของชิ้นงานได้ และสำหรับบางกรณีอาจจะมีการเก็บภาพของวัตถุเดียวกัน ที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงหลายๆ แหล่ง หลายๆประเภทก็เป็นได้

1.2 การดึงข้อมูลภาพ (Image acquisition)

หากจะกล่าวอย่างง่ายๆแล้วกระบวนการดึงข้อมูลภาพ คือ กระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การถ่ายภาพโดยกล้อง ตลอดจนถึงการดึงภาพซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ประมวลผล เพื่อที่จะได้ประมวลผลและตัดสินใจสั่งงานจากผลที่ได้ต่อไป กระบวนการดังกล่าวมีรายละเอียดปลีกย่อยที่สำคัญดังนี้

1. ประเภทของกล้องที่ใช้ในงานตรวจสอบชิ้นส่วนในเชิงอุตสาหกรรม กล้องที่ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนในปัจจุบันนั้น จะเป็นกล้องดิจิตอลซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกกันว่า เซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) เพื่อใช้ในการรับภาพ เซ็นเซอร์ดังกล่าวมีขนาดเล็กมากเท่าเล็บมือคนเท่านั้น ซึ่งจะประกอบด้วยไดโอดที่มีความไวต่อแสงเรียงตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก และในทันทีทันใดที่แสงมีการตกกระทบไดโอดเหล่านี้ ไดโอดแต่ละตัวจะทำการจดจำความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบไดโอดแต่ละตัวไว้ โดยปริมาณประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวไดโอดซึ่งแปรผันกับแรงดันตกคร่อมตัวไดโอดนั้น จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งความเข้มแสงที่ได้จดจำไว้ในไดโอดแต่ละตัว จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลที่เป็นดิจิตอลและเก็บไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในตัวกล้อง เพื่อรอส่งต่อให้อุปกรณ์ที่อยู่ภายนอกกล้องต่อไป

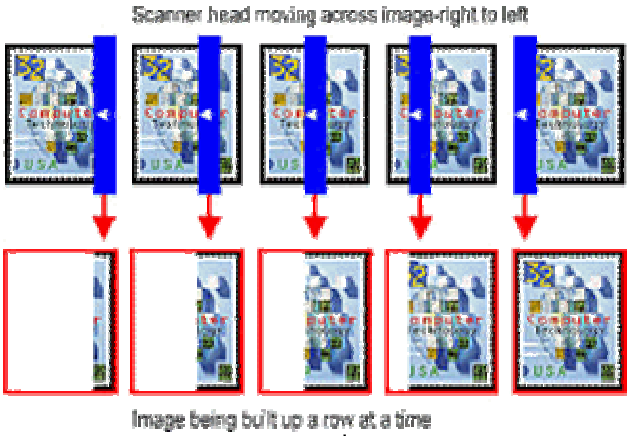
สำหรับไดโอดนี้เรียกกันว่า เซลล์รับภาพ (พิกเซล pixel) ซึ่งหนึ่งเซลล์รับภาพจะให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพจะมีค่าระหว่าง 0-255 เท่านั้น (ช่วงข้อมูลดังกล่าว สามารถแทนด้วยข้อมูลขนาด 1 byte หรือ 8 บิต ที่จะให้ความละเอียด 2^8 หรือ 256 ระดับ ซึ่งเป็นความละเอียดของกล้องที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในท้องตลาด อย่างไรก็ตาม จะมีกล้องบางประเภทที่ให้ค่าความเข้มแสงที่มีความละเอียดสูงถึง 16 บิตเลยทีเดียว) โดยหากค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าที่เซลล์รับภาพนั้น มีความเข้มแสงต่ำสุดหรือเป็นด้านมืด และหากมีค่าเท่ากับ 255 ก็แสดงว่าที่เซลล์รับภาพที่ตำแหน่งนั้นมีความเข้มแสงสูงสุดหรือเป็นด้านสว่าง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.2

รูปที่ 1.2 : แสดงความเข้มแสงเทียบกับค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพ

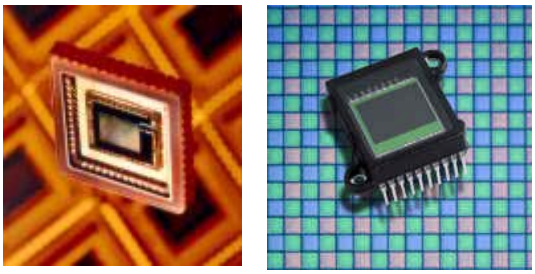
เมื่อพิจารณากระบวนการทั้งหมด จะพบว่าเซลล์รับภาพแต่ละเซลล์นั้นจะให้ค่าความเข้มแสงออกมาเป็นตัวเลขที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เท่านั้น ซึ่งทำให้ได้ภาพที่เป็นโทนขาวดำหรือเรียกว่า Gray scale image เท่านั้น จึงมีคำถามว่าแล้วกล้องถ่ายภาพสีนั้นมีหลักการทำงานอย่างไร คำตอบก็คือว่า กล้องสีก็ยังใช้เซลล์รับภาพเหล่านี้เช่นกัน โดยทำการแยกสีหลัก 3 สี ได้แก่ สีแดง เขียว และน้ำเงินออกจากกัน โดยการติดตั้งตัวกรองแสงสี (filter) แต่ละสีไว้หน้าเซลล์รับภาพแล้วทำการวัดความเข้มของแต่ละสีนั่นเอง

กล้องสำหรับงานตรวจสอบชิ้นส่วนนั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กล้องประเภท Area scan และกล้องประเภท Line scan ข้อแตกต่างของกล้องทั้ง 2 ประเภทคือ กล้องประเภท Line scan นั้นเซลล์รับภาพสำหรับรับความเข้มแสง (สำหรับกล้องที่ให้ภาพออกมาเป็น gray scale) หรือความเข้มสี (ในกรณีที่เป็นกล้องที่ใช้ถ่ายภาพสี) จะเรียงตัวเป็นแถวยาว ที่อาจจะมีจำนวนมากถึง 12000 เซลล์ ทำให้การที่จะสามารถจับภาพของทั้งวัตถุได้ กล้องจะต้องมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับวัตถุ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.3 ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะออกแบบให้กล้องตรึงอยู่กับที่ และตัววัตถุถูกเลื่อนไปโดยการใช้ระบบสายพาน (Conveyer) ข้อดีของกล้องประเภทนี้คือ จะให้ความละเอียดของภาพสูง

มาก อย่างไรก็ตามสำหรับงานตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยทั่วไป จะใช้กล้องประเภท Area scan ที่เซลล์รับภาพมีการเรียงตัวกันอยู่ในพื้นที่ ซึ่งโดยมากเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะทำการแปลงค่าความเข้มแสงหรือความเข้มสีให้ออกมาเป็นค่าตัวเลขในเวลาพร้อมๆกัน และถึงแม้ว่า กล้องชนิดนี้จะให้ภาพที่มีความละเอียดน้อยกว่าของกล้องประเภท Line scan เป็นอย่างมาก แต่กล้องประเภทนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวกง่ายดาย โดยไม่จำเป็นต้องออกแบบให้มีการเคลื่อนไหวสัมพัทธ์ระหว่างตัวกล้องกับชิ้นงาน จึงทำให้กล้องชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ตัวอย่างของเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องแบบ Area scan นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.3 : แสดงการทำงานของกล้องประเภท Line scan ซึ่งตัวกล้องและวัตถุจะต้องมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน



รูปที่ 1.4 : แสดงเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องประเภท Area scan ของกล้องถ่ายภาพ Gray scale และของกล้องถ่ายภาพสี ซึ่งเซลล์รับภาพมีการเรียงตัวกันเต็มพื้นที่ของเซ็นเซอร์

จากรูปที่ 1.4 ซึ่งแสดงเซ็นเซอร์ที่ใช้กับกล้องถ่ายภาพสี สำหรับพื้นหลังของรูปดังกล่าวแสดงรูปแบบการเรียงตัวของเซลล์รับภาพที่วัดความเข้มสี จะพบว่า ตัวกรองแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน ได้ถูกติดเข้ากับเซลล์รับภาพแต่ละเซลล์ และมีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้เซลล์รับภาพซึ่งสามารถวัดได้เพียงความเข้มแสง สามารถนำมาใช้วัดความเข้มสีได้ สำหรับเซ็นเซอร์ภาพบางรุ่นอาจจะมีกลไกการเปลี่ยนตัวกรองแสงสีที่อยู่ด้านหน้าเซลล์รับภาพ แทนที่จะติดตัวกรองแสงสีแบบตายตัวในลักษณะดังกล่าว

2. ภาพที่อุปกรณ์ประมวลผล “มองเห็น” หลักการทำงานของกล้องก็เป็นเช่นเดียวกับระบบการมองเห็นของมนุษย์ นั่นคือ ภาพเกิดจากการที่มีแสงตกกระทบวัตถุแล้วมีแสงสะท้อนจากวัตถุ ผ่านเลนส์เข้ามาตกกระทบเซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) ของกล้อง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รับภาพ (pixel) จำนวนมาก เซลล์รับภาพแต่ละเซลล์จะทำหน้าที่แปลงความเข้มแสงสำหรับกรณีที่เป็นกล้องขาวดำหรือแปลงความเข้มสีของแสงสีแดง, เขียวและน้ำเงิน สำหรับกรณีของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพสี ให้อยู่ในรูปของค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลอีกทีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การทำงานของเซลล์รับภาพของกล้องจะแตกต่างจากเซลล์รับภาพของมนุษย์อยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ

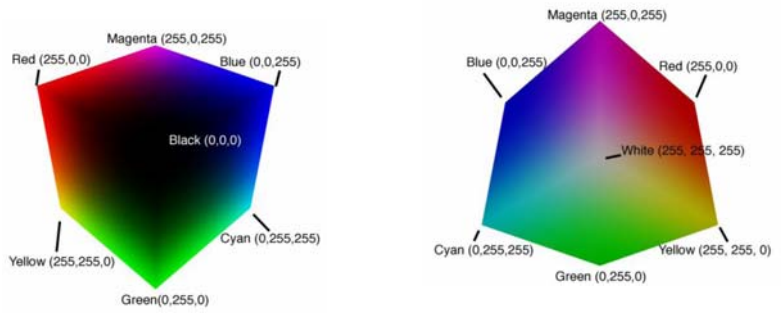
- จำนวนเซลล์รับภาพที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องนั้น มีจำนวนน้อยกว่าของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทำให้ภาพที่ได้จากกล้องนั้นมีความละเอียดน้อยกว่าของมนุษย์เป็นอย่างมาก ภาพที่ได้จากกล้องจึงเกิดการสุ่มจับภาพจริงด้วยจำนวนที่จำกัดของเซลล์รับภาพ (Spatial sampling) นั่นเอง
- ค่าความเข้มแสงที่ได้จากเซลล์รับภาพ (หรือความเข้มสีในกรณีของกล้องถ่ายภาพสี) ของเซ็นเซอร์รับภาพที่อยู่ในกล้องนั้น จะเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete value) เนื่องจากเป็นการทำงานของอุปกรณ์ดิจิตอล ซึ่งจะเป็นการสุ่มขนาดของความเข้มแสงที่ตกกระทบ (Amplitude sampling) ไม่เหมือนกับของมนุษย์ที่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นการทำงานของสารเคมีที่อยู่ในเซลล์รับภาพ

จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงทำให้ข้อมูลของภาพ Gray scale ที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น มีลักษณะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ โดยที่ค่าแต่ละช่องของอาร์เรย์จะแทนความเข้มแสงหรือความเข้มสีที่ตกกระทบเซลล์รับภาพที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งค่าความเข้มแสงดังกล่าวจะเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องและโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เท่านั้น ดังสมการที่ 1.1 ซึ่งเป็นตัวอย่างภาพที่มีจำนวนแถวหรือความสูงของภาพเท่ากับ m แถว และมีจำนวนหลักหรือความกว้างของภาพเท่ากับ n หลัก

$$\text{Image} = \begin{bmatrix} I(1,1) & I(1,2) & . & . & I(1,n) \\ I(2,1) & . & & & . \\ . & & & . & . \\ . & & & . & . \\ I(m,1) & I(m,2) & . & . & I(m,n) \end{bmatrix} \qquad (1.1)$$

เมื่อ I(m,n) คือ ค่าความเข้มแสง ณ แถว m และหลัก n ของเซ็นเซอร์รับภาพ ซึ่งเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง

สำหรับกรณีที่เป็นกล้องถ่ายภาพสีนั้น ข้อมูลของภาพจะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติจำนวน 3 อาร์เรย์ด้วยกัน และโดยทั่วไปแล้วอาร์เรย์เหล่านี้ จะเก็บค่าความเข้มสีของสีแดง เขียว น้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งแต่ละช่องของอาร์เรย์เหล่านี้ก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นกัน ดังนั้น การแทนสีที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติของอุปกรณ์ประมวลผล จะแทนด้วยค่าความเข้มสี ณ ตำแหน่งเดียวกันของอาร์เรย์ทั้งสามมาผสมกัน สำหรับตัวอย่างสีที่เกิดจากการผสมกันของสีทั้งสามนั้น แสดงไว้ในรูปที่ 1.5 จะพบว่า การผสมแสงสีดังกล่าว จะคล้ายคลึงกับวิชาศิลปะที่เป็นการผสมสีของแม่สีเข้าด้วยกันนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การรวมกันของแสงสีที่อยู่ในอุปกรณ์ประมวลผลนั้นเรียกว่า Additive color system ที่หากมีการรวมกันของแสงสีต่างๆด้วยค่าสูงสุดแล้ว จะให้แสงสีขาวออกมา ในขณะที่การผสมสีในวิชาศิลปะนั้น เมื่อผสมแม่สีทั้งสามเข้าด้วยกันด้วยปริมาณที่เท่าๆกัน จะได้สีดำออกมา ซึ่งเรียกระบบสีนี้ ว่า Subtractive color system



รูปที่ 1.5 : แสดงการแทนสีจริงด้วยค่าสีแดง สีเขียวและน้ำเงิน
(a) เมื่อพิจารณาจากด้านสีดำ จะพบว่าค่าของสีทั้งสามเท่ากับ 0
(b) เมื่อพิจารณาจากด้านสีขาว จะพบว่าค่าของสีทั้งสามเท่ากับ 255

ในรูป 1.5(a) นั้น หากสีที่เซลล์รับภาพนั้นได้รับมาเป็นสีแดงล้วน ค่าความเข้มสีของอาร์เรย์สีแดง ณ ตำแหน่งดังกล่าว จะมีค่าสูงสุดคือ 255 ในขณะที่ ณ ที่ตำแหน่งเดียวกันของอาร์เรย์อื่นๆที่เหลือจะมีค่าเป็น 0 ซึ่งจะพบว่าแบบจำลองการแทนสีดังกล่าว มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมด้านเท่า โดยที่แต่ละด้านจะมีความยาว 255 หน่วย และเรียกการแทนสีที่เกิดขึ้นจริงด้วยการผสมระหว่างสีแดง เขียว และน้ำเงินนี้ว่า RGB color space ซึ่งเป็นวิธีแทนสีที่เกิดขึ้นจริงของคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผลโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีวิธีการระบุสีที่เกิดขึ้นจริงในหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบก็เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะอย่าง ซึ่งจะได้นำเสนอต่อไปในหัวข้อ นะครับ

สำหรับในทางปฏิบัตินั้น หากพิจารณาจากแง่ของโปรแกรม การส่งข้อมูลภาพจากกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์ จะไม่ได้อยู่ในรูปของอาร์เรย์ 2 มิติ แต่จะอยู่ในรูป Byte stream ที่เป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องเรียงต่อกัน โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลค่าแรก จะเป็นค่าความเข้มแสงของเซลล์รับภาพที่อยู่มุมล่างขวาของเซ็นเซอร์รับภาพในกรณีที่เป็นกล้องถ่ายภาพแบบ Gray scale และสำหรับกรณีที่เป็นกล้องที่ถ่ายภาพสีนั้น ข้อมูลค่าแรกจะเป็นสีน้ำเงินของเซลล์รับภาพที่อยู่มุมล่างขวาของเซ็นเซอร์รับภาพ ซึ่งจะตามด้วยสีเขียวและสีแดงของจุดเดียวกันเป็นลำดับต่อเนื่องกันไป ดังนั้น โปรแกรมจะต้องทำการจัดเรียงข้อมูลที่มีความต่อเนื่องเหล่านี้ให้อยู่ในรูปอาร์เรย์ 2 มิติเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการอ้างถึงตำแหน่งของข้อมูลของกระบวนต่อไปนั่นเอง

วิธีการดึงข้อมูลภาพภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์

สำหรับวิธีการดึงข้อมูลจากกล้องเข้ามาสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ หรืออีกนัยหนึ่งคือ การดึงค่าข้อมูลจากกล้องเข้ามาสู่โปรแกรมนั้น โดยทั่วไปนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีด้วยกัน

1. การดึงข้อมูลโดยการใช้เครื่องมือในการโปรแกรม (Programming tool) ที่ผู้ผลิตกล้องให้มา โดยมากแล้ว สำหรับกล้องที่มีความละเอียดสูง (hi-resolution camera) ผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายนั้นอยากให้ผู้ใช้นำกล้องไปใช้งานอยู่แล้ว ดังนั้น หลังจากซื้อกล้องแล้ว ผู้ผลิตมักจะแถมเครื่องมือในการโปรแกรม เพื่อใช้ดึงข้อมูลภาพออกจากตัวกล้องมาสู่ตัวโปรแกรมหลักเสมอ โดยทั่วไป เครื่องมือดังกล่าวจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ dll และ activeX นอกจากนั้น ผู้ผลิตยังอาจจะให้ตัวโปรแกรมอย่างง่ายมาให้ด้วย ซึ่งก่อนที่จะซื้อกล้องชนิดนั้นๆ โปรแกรมเมอร์จะต้องทำการพิจาณาเสียก่อนว่า ตัวแปลงภาษา (Compiler) ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมอยู่นั้น รองรับการทำงานของเครื่องมือที่ผู้ผลิตให้มาหรือไม่ สำหรับเรื่องนี้ ตอนที่ทำโครงการวิจัยอยู่นั้น ผู้เขียนได้ประสบกับปัญหาที่ว่า การติดต่อซื้อกล้องจากผู้จัดจำหน่ายในเมืองไทยนั้น ผู้จัดจำหน่ายไม่สามารถให้รายละเอียด เกี่ยวกับเครื่องมือในการโปรแกรมที่ใช้สำหรับดึงข้อมูลภาพมาสู่โปรแกรมที่กำลังพัฒนาอยู่ได้เลย สาเหตุของเรื่องนี้เป็นที่เข้าใจได้ง่าย เพราะผู้จัดจำหน่ายกล้องความละเอียดสูงสำหรับใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานในประเทศไทยนั้น โดยมากแล้วจะเป็นผู้จัดจำหน่ายระบบตรวจสอบชิ้นงานทั้งระบบ ที่รวมทั้งส่วนที่เป็นกล้องความละเอียดสูงและโปรแกรมที่ติดมาด้วย ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักของผู้จัดจำหน่ายในประเทศไทยคือ ขายทั้งระบบเพื่อให้ลูกค้าสามารถนำไปใช้งานได้เลย โดยไม่ได้มุ่งหวังว่า ลูกค้าจะซื้อกล้องเพื่อไปพัฒนาโปรแกรมเอง ผู้เขียนได้แก้ปัญหาโดยการสั่งซื้อกล้องจาก website ต่อไปนี้ ซึ่งจะให้เครื่องมือในการโปรแกรมสำหรับดึงข้อมูลภาพมาสู่ตัวโปรแกรมมาด้วย นอกจากนั้น การสนับสนุนในกรณีที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการโปรแกรมก็ทำได้ค่อนข้างดีทีเดียว

   http://www.theimagingsource.com/en/welcome/

2. การดึงข้อมูลโดยการใช้เครื่องมือในการโปรแกรมของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เช่น Video For Window (VFW) หรือ DirectShow

   สำหรับ Video For Window (VFW) นั้นเป็นเครื่องมือที่ใช้การดึงข้อมูลภาพจากกล้อง และสามารถใช้อ่านไฟล์วีดีโอประเภท AVI (Audio Video Interleave) ได้อีกด้วย เครื่องมือดังกล่าวเป็นเครื่องมือในการโปรแกรมที่มีมาให้อยู่แล้ว ตั้งแต่ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 3.1 ซึ่งฟังค์ชั่นการทำงานของเครื่องมือในการโปรแกรมชนิดนี้ ถูกฝังอยู่ในไลบรารี่ 2 ตัวด้วยกัน คือ msvfw32.dll และ avicap32.dll และถึงแม้ว่าในปัจจุบัน จะมีเครื่องมือในการโปรแกรมสำหรับดึงข้อมูลภาพจากกล้องมาสู่โปรแกรมตัวใหม่ของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ คือ DirectShow มาแทนที่ แต่ระบบปฏิบัติการวินโดวส์รุ่นต่างๆ ส่วนใหญ่ก็ยังสนับสนุนการทำงานของ VFW อยู่นั้นเอง จึงอาจกล่าวได้ว่า ใน*ปัจจุบัน VFW จัดเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนา* เนื่องจาก ทั้งผู้ผลิตกล้อง รวมทั้งระบบปฏิบัติการวินโดว์รุ่นต่างๆ ยังคงยึด VFW เป็นหลักอยู่ นอกจากนั้น เนื่องจาก VFW มีการใช้งานมานานและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ข้อผิดพลาดต่างๆ ได้ถูกแก้ไขไปเกือบหมด สำหรับตัวอย่างโปรแกรม รวมทั้งเอกสารต่างๆที่เกี่ยวกับการเรียกใช้งาน VFW นั้น ผู้อ่านสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ที่ the Microsoft Developer Network Online (MSDN) ที่ website ของไมโครซอฟท์นะครับ

ข้อสังเกตหนึ่งของการเรียกใช้งานเครื่องมือในการโปรแกรมของระบบปฏิบัติการวินโดวส์คือ สามารถใช้งานได้อย่างยืดหยุ่นมากที่สุด ซึ่งทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถเข้าถึงหน่วยความจำทั้งหลัง และก่อนแสดงภาพเลยทีเดียว นอกจากนั้น ด้วยการใช้งานเครื่องมือดังกล่าวนี้ ยังสามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือในการโปรแกรมแบบเดียวกับทางเลือกแรก และทางเลือกที่สามที่สามารถนำไปจำหน่ายในทางการค้าได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของการใช้งานคือ ความยุ่งยากและซับซ้อนของการใช้งานเครื่องมือดังกล่าวนั่นเอง ซึ่งหากมีโอกาสจะได้นำเสนอต่อไปนะครับ

3. การดึงข้อมูลภาพโดยการใช้เครื่องมือในการโปรแกรมที่อยู่ในรูปของ activeX หรือ dll ซึ่งมีจำหน่ายในเชิงการค้า หรือที่เรียกกันว่า Third party activeX ในปัจจุบันมีผู้ผลิตและจำหน่ายหลายๆ รายด้วยกัน เช่น videoOCX (http://www.videoocx.de/) เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เครื่องมือในการโปรแกรมลักษณะนี้มักจะถูกออกแบบให้มีความสามารถหลายๆอย่าง เช่น การดึงข้อมูลภาพ การประมวลภาพเบื้องต้น และการเปิดไฟล์วีดีโอ นอกจากนั้น การใช้งานยังสามารถทำได้อย่างง่ายดายอีกด้วย เช่น การอ่านข้อมูลภาพจากกล้อง ที่สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมเพียงไม่กี่บรรทัด อย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่องมือในการโปรแกรมชนิดนี้ มักจะประสบปัญหาบางประการคือ ขาดความยืดหยุ่นในการปรับแก้การทำงาน นอกจากนั้น เมื่อต้องการส่งต่อหรือจำหน่ายโปรแกรมที่เขียนขึ้น ไปสู่ผู้ใช้งานจริง อาจจะต้องจ่ายเงินเพิ่มขึ้น ถ้าเป็นการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม ที่ไม่ใช่เป็นการใช้เพื่อการศึกษา

1.3 การประมวลภาพเบื้องต้น (Pre-processing)

การประมวลผลภาพมีด้วยกันหลากหลายกระบวนการด้วยกัน กระบวนการเหล่านี้เป็นความรู้ที่สามารถพบได้ทั่วไปในสาขาเรื่อง การประมวลภาพดิจิตอล (Digital image processing) ซึ่งจะพบว่าในสาขาวิชานี้มีความรู้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพอยู่มากมายที่นำประยุกต์ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ เช่น

- การลดทอนสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในภาพ
- การตรวจจับขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพ
- การแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของภาพ เช่น การหมุน การเลื่อน การย่อและขยายภาพ เป็นต้น
- การแปลงสี (color space conversion)
- การวิเคราะห์ภาพในเชิงความถี่
- การบีบอัดข้อมูลภาพ
- และความรู้อื่นๆ อีกมากมาย

ซึ่งจะพบว่า ระเบียบวิธี (algorithm) ของวิธีประมวลภาพบางอย่างก็ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนแบบอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมที่ต้องการการทำงานที่รวดเร็วที่สุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้ระเบียบวิธีเฉพาะที่ง่ายและใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุด ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้จะสามารถเป็นจริงได้ ก็ด้วยการจัดสภาพแวดล้อมในการจับภาพที่ดี นอกจากนั้นแล้ว ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้นซึ่งมีอยู่แล้วในผู้ปฏิบัติงาน ก็ควรนำมาใช้เพื่อช่วยให้ระบบสามารถทำงานให้ได้เร็วที่สุดด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น

- การระบุบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ (Region Of Interest, ROI) โดยผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งประเภทการตรวจสอบที่ใช้กับบริเวณนั้นๆ จะพบว่า การระบุเฉพาะบริเวณที่สนใจรวมทั้งรูปแบบการวัดหรือการตรวจสอบที่ใช้เฉพาะกับบริเวณนั้นๆ จะทำให้โปรแกรมสามารถตัดการคำนวณของบริเวณที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้เร็วขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์สีที่ผิดเพี้ยน ซึ่งจะต้องมีการแปลงระบบสี (Color conversion -จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อๆไปนะครับ) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก หากทำการแปลงระบบสีของภาพทั้งภาพนั้นจะต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก หากผู้ปฏิบัติงาน “ช่วย” บอกกับระบบว่า เฉพาะบริเวณใดบ้างที่ต้องการตรวจจับสีผิดเพี้ยน โปรแกรมก็จะสามารถทำการแปลงหรือคำนวณเฉพาะบริเวณที่ระบุไว้ โดยละบริเวณที่ไม่ได้ระบุไว้ ซึ่งจะทำการทำงานของระบบมีความรวดเร็วขึ้นมาก
- การนำความรู้เรื่องรูปร่างของผลิตภัณฑ์มาใช้ เช่น การตรวจสอบบริเวณขอบของผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนของเส้นตรง หรือการหารัศมีของชิ้นส่วนหรือบริเวณที่เป็นวงกลม จะพบว่า การตรวจสอบประเภทนี้จะต้องทำการตรวจจับส่วนของเส้นตรงหรือ การตรวจจับวงกลมทั้งวงให้ได้เสียก่อนๆ ที่จะทำการพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ เช่น มุมของเส้นตรง หรือ จุดศูนย์กลางของวงกลม เป็นต้น กระบวนการตรวจจับดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งวิธีที่เป็นที่นิยมกันเป็นอย่างมากในการตรวจจับเส้นตรงหรือวงกลม เรียกว่า Hough transformation ซึ่งเป็นการหาสมการของเส้นตรงหรือสมการของวงกลมโดยไม่ต้องมีข้อมูลใดๆมาช่วย วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมกันมากในการทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมแบบเปิด ที่มีสิ่งของที่ไม่ทราบรูปร่างมาก่อนเข้ามาในระบบ อย่างไรก็ตาม สำหรับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ ที่เป็นการนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่ถูก

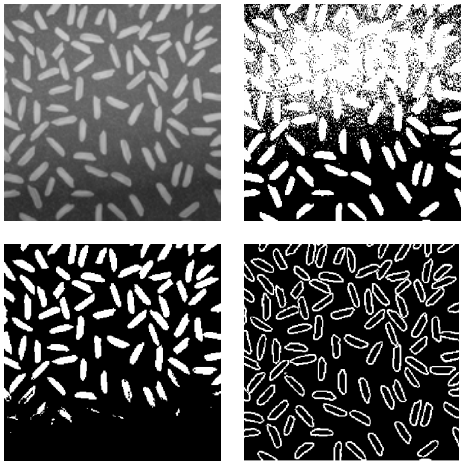
ควบคุมไว้ อีกทั้งการที่รูปร่างของผลิตภัณฑ์และการวางตัวของผลิตภัณฑ์ก็ถูกกำหนดไว้ตายตัวอยู่แล้ว ทำให้เราสามารถใช้วิธีการธรรมดาๆ เช่น linear regression ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยมาก เพื่อใช้หาสมการของเส้นตรงก็ได้เช่นกัน

1.4 การแยกบริเวณ (Segmentation)

กระบวนการนี้เป็นการแยกบริเวณของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมุ่งเน้นว่า จะใช้วิธีใดหรือเงื่อนไขใดในการแยกวัตถุที่สนใจออกจากฉากหลัง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ จะใช้เงื่อนไขใดในการพิจารณาว่า พิกเซลที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น จัดเป็นของของวัตถุ (Objects) ใดที่อยู่ในภาพ หรือบริเวณใดที่จัดเป็นฉากหลัง (back ground) นอกจากนั้น ยังต้องมีการคำนึงถึง การเก็บข้อมูลของวัตถุที่แยกออกมาให้ในรูปแบบใดจึงจะเหมาะสม สำหรับกระบวนการแยกภาพ นี้มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. การแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold ค่า Threshold เป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลที่อยู่ในภาพ Gray scale สำหรับการแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold นั้น จะเป็นการแปลงภาพ Gray scale ให้เปลี่ยนเป็นภาพที่มีเพียงสองระดับ (binary image) โดยการใช้เงื่อนไขว่า ถ้าค่าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ให้ค่าพิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นด้านมืดไป และถ้าพิกเซลใดมีค่าสูงกว่าค่า Threshold แล้วให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็นค่า 255 หรือเปลี่ยนเป็นด้านสว่างไป ซึ่งการแยกบริเวณด้วย Threshold นี้ยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้ Threshold ค่าเดียวกับทั้งภาพ เรียกกันว่า Global threshold และการแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อยที่มีขนาดเล็กๆ ซึ่งแต่ละภาพย่อยก็จะมีค่า Threshold เป็นของตัวเอง หรือเรียกว่า Local Threshold ซึ่งจากการทำงานทั้งสองแบบจะมีคำถามเกิดขึ้นว่า เราจะใช้วิธีการใดในการเลือกค่า Threshold ที่เหมาะสมกับทั้งภาพ หรือภาพย่อยนั้นๆ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป และเนื่องจากการแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold นั้น ผลที่ได้คือ บริเวณ*พื้นที่*ที่มีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกัน จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า Area based segmentation

2. การแยกบริเวณโดยการใช้ขอบของวัตถุ (Edge based segmentation) สำหรับการแบ่งบริเวณวิธีนี้ จะต้องคำนวณหาขอบของวัตถุเสียก่อน ซึ่งขอบในความหมายของการประมวลผลภาพแบบดิจิตอลนั้นคือ พิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนดนั้นเอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถตรวจจับได้โดยการใช้ตัวตรวจจับขอบ (Edge detector) ที่มีอยู่หลากหลายชนิด สำหรับเนื้อหาส่วนนี้จะขอในเสนอในเรื่องของการประมวลผลภาพแบบดิจิตอลเบื้องต้นนะครับ ผลของการแยกบริเวณออกเป็นส่วนๆ ทั้งสองวิธีนั้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.6



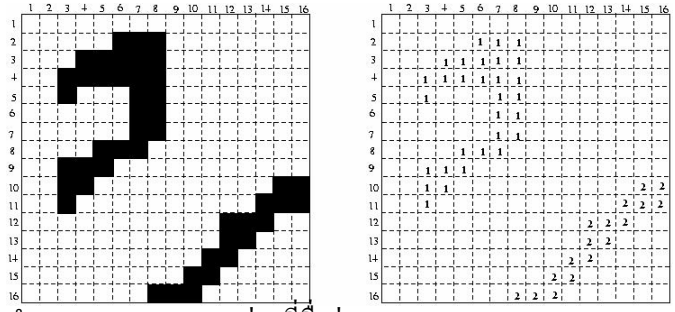
รูปที่ 1.6 : แสดงการแยกบริเวณทั้งสองวิธี
(a) รูป Gray scale ดั้งเดิม
(b) Binary image โดยการใช้ค่า Threshold เท่ากับ 100
(c) Binary image โดยการใช้ค่า Threshold เท่ากับ 153
(d) Binary image ที่เกิดจากการใช้ตัวตรวจจับขอบแบบ Sobel และใช้ค่า Threshold เท่ากับ 153

ผู้อ่านจะสังเกตเห็นว่า การใช้ค่า Threshold ค่าเดียวกับทั้งภาพ (Global Thresholding) เพื่อแยกเม็ดข้าวออกจากฉากหลังนั้น จะพบว่า ไม่ว่าจะเลือกใช้ค่า Threshold เท่าใด เม็ดข้าวบางเม็ดก็จะ “หายไป” จาก binary image ทั้งนี้เนื่องจาก แสงในภาพ Gray scale นั้น มีการกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความสว่างของแต่ละบริเวณภายในภาพไม่เท่ากัน และในทางกลับกัน การแยกขอบของเม็ดข้าวโดยการใช้ตัวตรวจจับขอบแบบ Sobel นั้นเราจะได้ขอบของเม็ดข้าวครบทุกเม็ด

แม้ว่า การใช้ค่า Threshold ค่าเดียวกับทั้งภาพ (Global Thresholding) เพื่อแบ่งวัตถุในภาพออกเป็นส่วนๆนั้น จะให้ผลที่ไม่ดีเท่ากับวิธีการแบ่งวัตถุในภาพโดยการใช้ตัวตรวจจับขอบ อย่างไรก็ตามจะพบว่า *วิธีนี้จะเหมาะสมกับการนำไปใช้เพื่อการตรวจสอบผลิตภัณฑ์มากกว่า* เนื่องจากได้ตัดขั้นตอนการตรวจจับขอบ (Edge detection) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องเสียเวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก และผลที่ได้จากวิธีแรกนั้นสามารถนำไปคำนวณหาคุณสมบัติพื้นฐาน เช่น พื้นที่หรือจุดศูนย์กลางของบริเวณ ได้อย่างสะดวกมากกว่าด้วย (ลองคิดเทียบกันดูนะครับถ้าผู้อ่านรู้แค่ขอบของวัตถุ แต่จะต้องคำนวณหาพื้นที่ คงเป็นเรื่องยุ่งยากน่าดูใช่ไหมครับ) นอกจากนั้น ในการทำงานจริงๆ นั้น เราสามารถจัดแสงให้มีความสม่ำเสมอมากกว่านี้ เพื่อขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นกับการใช้วิธี Global Thresholding ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การตรวจจับขอบก็เป็นวิธีการที่ต้องเรียนรู้ควบคู่ไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้ในสภาพแบบเปิดที่มีความแตกต่างระหว่างวัตถุและฉากหลังไม่สม่ำเสมอ เช่น ระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์เตะบอล หรือหุ่นยนต์กู้ภัยได้

ผลที่ได้จากกระบวนการข้างต้นคือ บริเวณของภาพที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ซึ่งทำให้เกิดการแยกบริเวณที่เป็นวัตถุ (Object) ออกจากบริเวณที่เป็นฉากหลัง (Background) ด้วย ซึ่งผลที่ได้จริงๆทางกายภาพคือ ภาพที่มีความเข้มแสงเพียง 2 ระดับ (binary image) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.7(a) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะงานแต่ละอย่างว่า ส่วนที่จัดเป็นวัตถุนั้นจะเป็นสีดำหรือสีขาว และขั้นตอนต่อไปนั้น เราจะทำการพิจารณาว่าพิกเซลใดบ้างที่มีการ

“เชื่อมต่อ (Connect)” กัน เพื่อที่จะจัดให้พิกเซลเหล่านั้นให้อยู่ในบริเวณหรือวัตถุเดียวกัน กระบวนการย่อยนี้เรียกว่า Connected components labeling หรือ Connected component extraction (ขออนุญาตทับศัพท์นะครับ) ที่จะได้กล่าวถึงการทำงานโดยละเอียดต่อไป ซึ่งผลที่ได้จากการทำงานของกระบวนการย่อยนี้ คือ จะทำให้เราจะรู้ว่าพิกเซลในแต่ละตำแหน่งนั้น จัดเป็นของวัตถุชิ้นใด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.7(b) ซึ่งแสดงหมายเลขของชิ้นวัตถุที่พิกเซลตำแหน่งนั้นๆ เป็น “สมาชิก” อยู่



รูปที่ 1.7 : แสดงการทำงานของกระบวนการย่อยที่ชื่อว่า Connected Components Labeling หรือ Connected Components Extraction

(a) ภาพ Binary image ที่ได้จากวิธี Global Thresholding ซึ่งในที่นี้ เป็นการพิจารณาวัตถุสีดำที่มีพื้นหลังเป็นสีขาว

(b) ผลที่ได้จากการทำงานของ Connected Components Labeling ที่ทำให้เราทราบว่า พิกเซลในแต่ละตำแหน่งนั้นเป็นของวัตถุชิ้นใด ซึ่งในรูปนั้นจะมีวัตถุอยู่ 2 ชิ้นด้วยกัน คือวัตถุหมายเลข 1 และ 2

หลังจากที่ เราทราบว่าพิกเซลแต่ละตำแหน่งเป็นของบริเวณหรือวัตถุใดแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญต่อมาคือ เราจะทำการเก็บพิกัดของพิกเซลที่จัดอยู่ในบริเวณหรือวัตถุเดียวกันเหล่านี้ได้อย่างไร สำหรับเรื่องนี้ มีประเด็นที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 เรื่องด้วยกัน คือ

2.1 วิธีการเก็บพิกัดของกลุ่มพิกเซล ซึ่งจัดเป็นการบีบอัดข้อมูล (Data compression) แบบหนึ่ง ที่จะต้องเลือกใช้วิธีที่ใช้เนื้อที่หน่วยความจำน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ วิธีการเก็บพิกัดของกลุ่มพิกเซลมีหลายแบบด้วยกัน เช่น Chain code, Run-length encoding เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันออกไป และจะได้นำเสนอในหัวข้อต่อไปนะครับ

2.2 โครงสร้างของข้อมูล (Data structure) ส่วนนี้จะเป็นกล่าวถึงการเก็บข้อมูลที่ได้จากหัวข้อก่อนหน้าเข้าด้วยกัน เพื่อความสะดวกในการอ้างถึง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างที่เลือกใช้ในภาษา C++ จะเป็น Linked list ที่มีลักษณะเป็นอาร์เรย์แบบเปิด ที่สามารถเก็บข้อมูลเพิ่มได้ไม่จำกัด ทั้งนี้ เนื่องจากจำนวนพิกเซลที่จัดอยู่ในวัตถุเดียวกันนั้น เราไม่สามารถรู้จำนวนที่แน่นอนล่วงหน้าได้

การแยกบริเวณออกเป็นส่วนๆนั้น จะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลักด้วยกัน คือ การเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นแสงใกล้เคียงกับความไว (Sensitivity) หรือความสามารถในการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของตัวกล้อง อีกทั้งความเข้มแสงจะต้องไม่มากหรือน้อยจนเกินไป และต้องไม่ทำให้เกิดเงามืดของวัตถุขึ้นในภาพ นอกจากนั้น อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ การจัดฉากหลัง (Background) ให้มีความเข้มแสงต่างกันมากๆ กับตัววัตถุที่พิจารณา เพื่อให้สามารถแยกส่วนที่เป็นวัตถุและส่วนที่เป็นฉากหลังออกจากกันโดยวิธี Global Thresholding ได้อย่างชัดเจนนั่นเอง

1.5 การคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature extraction)

หลังจากที่เราแยกบริเวณที่อยู่ในภาพออกเป็นส่วนๆ ที่แต่ละส่วนมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน และทำการจัดเก็บพิกัดของพิกเซลที่เป็นของบริเวณเดียวกันโดยเลือกใช้รูปแบบการเก็บที่เหมาะสมแล้ว เราจะทำการคำนวณหาหรือวัดคุณสมบัติต่างๆของแต่ละบริเวณหรือของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในรูป ซึ่งในทางปฏิบัติ การคำนวณหาคุณสมบัติบางประการนั้น สามารถทำไปพร้อมๆกันกับกระบวนการ Connected Components Labeling ได้เลย เช่น การคำนวณหาพื้นที่ ซึ่งเป็นเพียงการนับจำนวนพิกเซลที่เป็นของบริเวณหรือวัตถุนั้นๆ หรือการหาเส้นรอบวงของวัตถุที่เป็นการนับจำนวนพิกเซลของวัตถุที่มีด้านใดด้านหนึ่งติดอยู่กับบริเวณที่เป็นฉากหลัง แต่คุณสมบัติบางประการก็จะต้องทำหลังจากที่เสร็จสิ้นกระบวนดังกล่าวไปแล้ว เพื่อให้ทราบพื้นที่ทั้งหมดของวัตถุเสียก่อน เช่น การหาจุดศูนย์กลางของวัตถุ หรือ การหาเฉดสีเฉลี่ย (Average hue) หรือความเข้มแสงเฉลี่ย (Average intensity) ของวัตถุทั้งชิ้น เป็นต้น และด้วยการที่บางบริเวณอาจมีค่าคุณสมบัติบางอย่างคล้ายคลึงกัน เช่น บริเวณที่เป็นสาลี่และบริเวณที่เป็นแอปเปิ้ลต่างก็มีขนาดและเส้นรอบรูปเท่าๆกัน หากเราต้องการนับจำนวนผลไม้แต่ละชนิดที่อยู่ในภาพ เราจำเป็นต้องใช้คุณสมบัติอื่นๆมาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อให้เห็นความแตกต่างของบริเวณที่เป็นผลไม้ทั้งสองชนิด ซึ่งหมายถึงเวลาที่โปรแกรมใช้คำนวณจะต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกลักษณะเด่น (Salient features) เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถใช้จำแนกผลไม้ออกจากกันได้อย่างชัดเจน แทนที่จะทำการวัดคุณสมบัติทุกอย่างของทุกบริเวณที่มีอยู่ในภาพ ทั้งนี้ก็เพื่อลดความสิ้นเปลืองดังกล่าว

ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ ค่าคุณสมบัติต่างๆของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในภาพ ซึ่งถ้าหากนำมาจัดวางในรูปแบบเวคเตอร์ เราก็จะได้ *Feature vector* ซึ่งเป็นการแสดงค่าคุณสมบัติทั้งหมดที่วัดจากวัตถุนั้นๆที่อยู่ในรูปของเวคเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น วัตถุชิ้นที่หนึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 120 พิกเซลและเส้นรอบวงยาว 50 พิกเซล และวัตถุชิ้นที่สองที่ปรากฏในภาพมีพื้นที่เท่ากับ 200 พิกเซลและเส้นรอบวงยาว 30 พิกเซล เราจะสามารถเขียน Feature vector ของวัตถุชิ้นแรก (Obj_1) และของวัตถุชิ้นที่สอง (Obj_2) ซึ่งเป็นเวคเตอร์ขนาด 2 มิติทั้งคู่ได้ดังนี้

$$Obj_1 = \begin{bmatrix} 120 \\ 50 \end{bmatrix} \tag{1.2}$$

$$Obj_2 = \begin{bmatrix} 200 \\ 30 \end{bmatrix} \tag{1.3}$$

เมื่อ

ตำแหน่งแรก คือ พื้นที่ของวัตถุที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

ตำแหน่งที่สอง คือ ความยาวรอบรูปของวัตถุที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

1..6 การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย (Classification and Interpretation)

คำว่า “วัตถุ” ในที่นี้หมายถึง บริเวณของภาพที่มีความเข้มแสงค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นบริเวณๆ หรือเป็นชิ้นๆ แยกออกจากพื้นหลังด้วยกระบวนการแยกบริเวณ (Segmentation) ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุที่ได้มาจากกระบวนการคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature extraction) จะถูกนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของเวคเตอร์ซึ่งเรียกว่า Feature vector และเมื่อมาถึงขั้นตอนนี้ เราจะสามารถแทนวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในภาพด้วย Feature vector 1 เวคเตอร์ต่อ 1 วัตถุ ซึ่งการตัดสินใจต่างๆ ของระบบต่อจากนี้ไป จะกระทำโดยการพิจารณาค่าที่อยู่ใน Feature vector เหล่านี้*เท่านั้น* นอกจากนั้น ยังมีข้อสังเกตบางประการคือ เมื่อขั้นตอนก่อนหน้าเสร็จสิ้นลง โปรแกรมจะสามารถแยกวัตถุหรือบริเวณที่สนใจออกจากฉากหลัง และรู้เพียงคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุแต่ละชิ้นเท่านั้น *แต่ไม่*

สามารถจะรู้ได้ว่า วัตถุชิ้นนั้นๆคืออะไร เช่น หากในภาพที่มีฉากหลังเป็นสีดำ ซึ่งทำให้สามารถแบ่งแยกวัตถุออกจากฉากหลังได้อย่างชัดเจน และมีเพียงส้มและกล้วยอย่างละลูกอยู่ในภาพ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature extraction) ลง โปรแกรมก็จะได้ Feature vector ของบริเวณที่เป็นกล้วยและส้มอย่างละเวคเตอร์เท่านั้น แต่โปรแกรมจะไม่สามารถระบุได้ว่าเวคเตอร์ใดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือวัตถุใด เป็นผลไม้ชนิดใดกันแน่ แต่ด้วยกระบวนการจำแนกวัตถุ (Classification) นี้เองที่จะทำให้โปรแกรมสามารถ “จำแนก” ได้ว่า บริเวณแต่ละบริเวณนั้นจัดเป็นผลไม้ชนิดใด

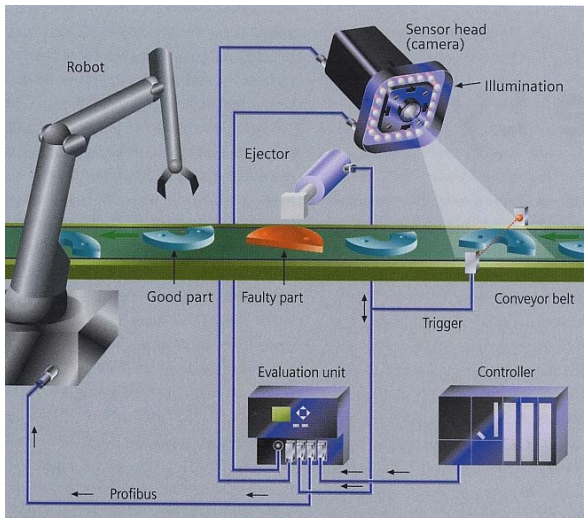
การจำแนก (Classification) คือ *กระบวนการจัดกลุ่มให้วัตถุ*ที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ว่าเป็นวัตถุที่อยู่ในกลุ่มที่ 1, 2 หรือกลุ่มอื่นๆ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม ดังนั้น ก่อนที่ระบบจะสามารถทำการตัดสินใจดังกล่าวได้ ระบบจะต้องมีตัวอย่างของวัตถุในแต่ละกลุ่ม รวมทั้งหมายเลขกลุ่มหรือชื่อเรียกของแต่ละกลุ่มเสียก่อน สำหรับการตัดสินใจว่า จากคุณสมบัติของวัตถุที่กำลังพิจารณาเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่มนั้น วัตถุที่กำลังพิจารณาจะจัดอยู่กลุ่มใด โปรแกรมหรือส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ดังกล่าวเรียกว่า Classifier (ขอทับศัพท์นะครับ) ซึ่งหากพิจารณาการเข้าออกของข้อมูลนั้น ตัว Classifier จะรับ Feature vector เข้าไป และให้หมายเลขหรือชื่อกลุ่มที่วัตถุที่กำลังพิจารณานั้นๆ จัดว่าเป็นสมาชิกอยู่ออกมา

Classifier มีหลักการทำงานแตกต่างกันออกไป ในปัจจุบัน สำหรับงานวิจัยแล้วมี 2 วิธีที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ ระเบียบวิธีของ k-Nearest Neighborhood classifier (ขอเรียกชื่อย่อว่า kNN นะครับ) ซึ่งเป็นตัวจำแนกที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบระยะห่างระหว่าง Feature vector ของวัตถุกับของกลุ่มตัวอย่าง และจะจำแนกวัตถุนั้นๆ เข้ากับกลุ่มที่มีระยะทางใกล้ที่สุด และ Classifier อีกแบบหนึ่งคือ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural network, ขอเรียกชื่อย่อว่า ANN นะครับ) ที่เป็นการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ แต่เนื่องจากเนื้อหาและระยะเวลาของการอบรม จึงขอนำเสนอวิธีจำแนกด้วยกระบวนการทางสถิติ (statistical pattern classification) ซึ่งจัดเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและสามารถนำไปใช้งานได้จริง

ผลของการทำงานของ Classifier นั้น จะทำให้สามารถทราบได้ว่า บริเวณที่แยกออกมานั้นเป็นวัตถุชนิดใด ซึ่งจะทำให้สามารถตีความหมายภาพ (Interpretation) และตัดสินใจสั่งการส่วนเคลื่อนไหวต่างๆได้ เช่น กรณีตัวอย่างข้างต้น ที่เป็นการนับสาลี่และบริเวณที่เป็นแอปเปิ้ลที่อยู่ภาพเดียวกัน หลังจากที่ใช้ classifier ในการจำแนกวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในภาพว่า บริเวณใดเป็นสาลี่ และบริเวณใดเป็นแอปเปิ้ลได้แล้ว โปรแกรมก็จะสามารถตีความหมายโดยการนับจำนวนลูกดี ลูกเสีย หรือการคัดเกรดของผลไม้แต่ละชนิดที่อยู่ในภาพได้

1.7 กลไกเคลื่อนไหว (Actuation)

กระบวนการนี้โปรแกรมจะสั่งการส่วนกลไกเคลื่อนไหวต่างๆ ให้กระทำการบางอย่างกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการก่อนหน้าข้างต้น เช่น การสั่งให้สายพานเลื่อนชิ้นงานชิ้นต่อไปเข้ามา หรือการสั่งให้แขนหุ่นยนต์ทำการหยิบจับชิ้นงานที่ผ่านตรวจสอบแล้วไปวางไว้ในที่ๆจัดไว้ เป็นต้น นอกจากนั้นในบางกรณี อาจจะมีสั่งให้ตัวกล้องเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่นๆของชิ้นงานที่กำลังพิจารณาอยู่อีกด้วย ซึ่งในส่วนนี้งานหลักๆ จะเป็นการติดต่อและสั่งงานระหว่างอุปกรณ์ประมวลผลและ Programmable Logic Control ที่สามารถใช้สั่งการส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ เช่น มอเตอร์ แขนหุ่นยนต์ หรืออื่นๆ ได้อย่างง่ายดาย ตัวอย่างการทำงานของส่วนกลไกต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของอุปกรณ์ประมวลผลที่รับภาพของผลิตภัณฑ์เข้ามานั้น แสดงไว้ในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 : การทำงานจริงที่ประกอบด้วยกลไกต่างๆ

เมื่อพิจารณาการทำงานของแต่ละกระบวนการแล้ว จะพบว่า เมื่อเสร็จสิ้นแต่ละขบวนการลง ข้อมูลที่ได้จากแต่ละขบวนการจะมีความหนาแน่นของข้อมูลมากขึ้นเรื่อยๆ พร้อมๆกับขนาดของข้อมูลที่เล็กลงเรื่อยๆ ตามลำดับของกระบวนการที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่ได้จากการประมวลภาพเบื้องต้น (Pre-processing) ก็คือ ภาพที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลดังกล่าวต่อไปที่กระบวนการแยกบริเวณ (Segmentation) ผลที่ได้คือ บริเวณของวัตถุที่สนใจโดยละฉากหลังไว้ นอกจากนั้น แต่ละบริเวณก็มีการบีบอัดพิกัดของพิกเซลไว้ในรูปแบบที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อส่งต่อไปให้กระบวนการคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature Extraction) ก็จะได้ Feature vector ซึ่งเป็นคุณสมบัติของแต่ละบริเวณออกมา และท้ายที่สุด เมื่อส่งเวคเตอร์เหล่านี้ไปให้กระบวนการจำแนกและตีความหมาย (Classification and Interpretation) ก็จะได้ข้อมูลที่สำคัญที่สุดออกมา คือ การตัดสินใจว่าจะจัดการกับตัวผลิตภัณฑ์อย่างไร เช่น จัดเป็นชิ้นงานดี-ชิ้นงานเสีย หรือจัดเป็นเกรด 1-เกรด 2 เป็นต้น

จากลักษณะการทำงานของกระบวนการย่อย ในแต่ละขบวนการของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัตินั้น ผู้อ่านจะสังเกตเห็นว่า ระบบไม่ได้มุ่งเน้นที่การประมวลภาพแบบดิจิตอล (Digital Image Processing, DIP) แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น หากทว่า การที่จะทำให้ระบบดังกล่าว สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องอาศัยความรู้จากหลายๆ สาขาด้วยกัน เช่น

- การประมวลภาพแบบดิจิตอล (Digital Image Processing, DIP)
- ระบบจำแนก (Classification system) ที่ทำให้โปรแกรมสามารถตัดสินใจได้อย่างชาญฉลาด
- ความรู้เรื่อง Computer graphics ซึ่งจะนำมาใช้ทั้งในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ และส่วนที่ทำการตรวจสอบชิ้นงาน
- การติดต่อกับ Programmable Logic Control เพื่อสั่งงานส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ

เหล่านี้เป็นต้น

การอบรมนี้จะนำท่านผู้อ่านมาเรียนรู้ร่วมกันในเรื่อง รายละเอียดของกระบวนการที่เป็นการทำงานโดยโปรแกรม *ทั้งหมด* ตั้งแต่ในส่วนของการดึงข้อมูลภาพ การประมวลภาพแบบดิจิตอลเบื้องต้น เรื่อยมาจนถึงการจำแนกโดยใช้วิธีทางสถิติ โดยการนำเสนอผ่านโปรแกรม MATLAB และโปรแกรมภาษา C++ ซึ่งในบทความนี้ผู้อ่านจะแทบไม่ได้เรียนรู้ฟังค์ชั่น “สำเร็จรูป” ของ MATLAB มากเท่าใดนัก เนื่องจากผู้เขียนจะพยายามใช้แค่เพียงความสามารถในการแสดงผลของ MATLAB เท่านั้น โดยจะพยายามแสดงแนวคิดการคำนวณต่างๆ พร้อมทั้ง Source code ของโปรแกรมแบบ “ลูกทุ่ง” ที่ได้เขียนขึ้นเอง ทั้งนี้ก็เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำความรู้ที่ได้ ไปปรับใช้กับการเขียนโปรแกรมภาษา C++ ที่สามารถนำไปใช้สร้างระบบจริงในทางปฏิบัติได้