

การใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ตรวจสอบคุณภาพและ คัดแยกผลผลิตทางการเกษตร

ศิริลักษณ์ วงศ์เกษม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม

e-mail : siriluk.w@msu.ac.th

บทคัดย่อ

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ประกอบด้วยกระบวนการรับภาพ การวิเคราะห์ภาพ และทำความเข้าใจภาพ ทำงานเลียนแบบการมองเห็นและรับรู้ของมนุษย์ ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ บทความนี้รวบรวม งานวิจัยที่ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการตรวจสอบคุณภาพและคัดแยกผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งแบ่งเป็น ผลไม้ ผัก และ ถั่ว จากงานวิจัยต่างๆพบว่า คอมพิวเตอร์วิทัศน์ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์จนเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในงานตรวจสอบและคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ สามารถลดแรงงาน และประหยัดเวลาในการทำงานได้ ประโยชน์อีกทางหนึ่งของการตรวจสอบโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ คือ เป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและบันทึกค่าการวัดไว้ เพื่อดูบันทึกย้อนหลังได้ ส่วนจุดด้อยของการใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ คือ การจัดระบบการรับภาพเพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์แบบทำไต่ยาก และยังคงมีผลผลิตทางการเกษตรอีกมากมายที่ต้องการการพัฒนาเทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการตรวจสอบ คุณภาพและคัดแยก นอกจากนี้ เพื่อตอบสนองภาคส่วนอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาการพัฒนาภาพสี 3 มิติในระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์จะช่วยเพิ่มความถูกต้องและตอบโจทย์ของอุตสาหกรรมเกษตรและอาหารได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

คำสำคัญ : คอมพิวเตอร์วิทัศน์ เครื่องจักรกลวิทัศน์ การตรวจสอบคุณภาพ การคัดแยก

Using computer vision for inspection and sorting of agricultural products

Siriluk Wongkasem

Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham, Thailand

e-mail : siriluk.w@msu.ac.th

Abstract

Computer vision has become one of the most active research topics in decades. It has been originally developed to mimic human visual perception by using electronic components. Thus, it involves acquiring, analyzing, and understanding images. A myriad of published contributions have led to technological advances in both hardware and software. One of the most well-known applications of computer vision is inspection and sorting of agricultural products. It currently becomes an indispensable tool for quality evaluation and product sorting since it provides high accuracy, reduces labor costs, and never gets tired and bored. Furthermore, the great advantage of applying computer vision to product inspection is that it is a non-destructive technique and all inspection data can be recorded and retrieved as required. However, the burden of using computer

vision is the difficulty in setting up image acquisition systems. Image quality can be degraded by many factors, e.g., the effect caused by illumination changing. Although computer vision is now well understood and mature in its field, many unsolved problems of agricultural product inspection still exist. Hence, the objective of this paper is to update literature on inspection and sorting of agricultural products using computer vision, including fruits, vegetables and nuts. Besides, due to high competition and dramatic changes in agricultural business, reconstruction of 3D color images may become a potential solution since it improves accuracy of quality evaluation of food and agricultural products.

keywords : computer vision, machine vision, inspection, sorting

บทนำ

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ ประกอบด้วยการรับภาพ การวิเคราะห์ภาพ และการทำความเข้าใจภาพ โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลที่ได้จากการรับภาพจะถูกแปลงเป็นตัวเลขหรือข้อมูลเชิงสัญลักษณ์เพื่อใช้วิเคราะห์ และทำความเข้าใจผ่านแบบจำลองต่างๆที่สร้างขึ้นจากความรู้ทางเรขาคณิต ฟิสิกส์ สถิติ และทฤษฎีต่างๆ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ทำงานเลียนแบบการมองเห็นและการรับรู้ของมนุษย์ โดยรับรู้และทำความเข้าใจการมองเห็นด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนั้น คอมพิวเตอร์วิทัศน์ ยังได้รับการอธิบายว่าเป็นระบบอัตโนมัติที่บูรณาการมาจากระบบการที่หลากหลาย คอมพิวเตอร์วิทัศน์เริ่มมีการคิดค้นและใช้งานมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 จากนั้นมีผู้นำไปประยุกต์ใช้งานอย่างมากมาย ทฤษฎีต่างๆของคอมพิวเตอร์วิทัศน์จึงได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง มีงานวิจัยและพัฒนาทั้งส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อใช้งานในอุตสาหกรรมเกษตรและกระบวนการผลิตอาหาร สำหรับตรวจสอบและคัดแยกผลผลิต หรือหาค่าต่างๆตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ตามปกติแล้วการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคน ซึ่งการตรวจโดยคนนี้ ต้องใช้เวลานานและต้องลงทุนไปกับแรงงานจำนวนมาก ยิ่งกว่านั้น คือไม่สามารถรับประกันความแม่นยำของผลการตรวจสอบได้ ในทางตรงกันข้ามพบว่าคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ให้ผลที่น่าเชื่อถือ สามารถตอบสนองวัตถุประสงค์การใช้งานได้ดี คุ่มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ มีความรวดเร็ว

และความแม่นยำสูง ในช่วงหลังๆ มีงานวิจัยที่นำคอมพิวเตอร์วิทัศน์ไปใช้งานในทางการเกษตรหลายรูปแบบ เช่น การวิเคราะห์พฤติกรรมสัตว์ (Pinkiewicz et al., 2011) การดำเนินงานในฟาร์ม และการนำทางของเครื่องจักรกลเกษตร (Xue et al., 2012) การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของต้นกล้า (Nakarmi & Tang, 2012)

จากความก้าวหน้าและความหลากหลายทางด้านงานวิจัยของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ทำให้มีมูลค่าทางการค้าและมีการพัฒนาจนเป็นเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร กล่าวกันว่าอุตสาหกรรมเกษตรและผลิตอาหารที่ทันสมัยและมีขนาดใหญ่ มักจะเลือกใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในกระบวนการผลิต เพื่อการตรวจสอบคุณภาพและคัดแยกผลผลิต เพื่อความมั่นใจและรับประกันในคุณภาพสินค้าก่อนส่งออกสู่ตลาดการค้า

บทความนี้ประมวลและรวบรวมงานตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อตรวจสอบคุณภาพและคัดแยกผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะแบ่งเป็น ผลไม้ ถั่วต่างๆ ผัก ซึ่งแต่ละประเภทจะมีพัฒนาการทางเทคโนโลยีและขั้นตอนวิธีการของคอมพิวเตอร์วิทัศน์แตกต่างกันไป เกณฑ์ที่ใช้ในการตรวจสอบและการคัดแยกก็แตกต่างกันด้วย นอกจากการตรวจสอบและคัดแยกแล้ว ยังกล่าวถึงการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในงานด้านอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้กับการเก็บเกี่ยว การประยุกต์ใช้เพื่อประเมินอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้

ส่วนสุดท้ายของบทความเป็นการสรุปและการใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการตรวจสอบคุณภาพและคัดแยกผลผลิตทางการเกษตร

การใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการตรวจสอบและคัดแยกผลไม้

มีการนำคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาใช้งานอย่างกว้างขวางในการตรวจสอบและคัดแยกผลไม้ชนิดต่างๆ การวัดค่าคุณสมบัติจะแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของผลไม้ เช่น ขนาด ความกลม สี หัวข้อนี้รวบรวมการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์กับลูกพีชและลูกแพร์ แอปเปิ้ล ส้ม มะเขือเทศ และสตรอเบอร์รี่

ลูกพีชและลูกแพร์

มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อคัดแยกลูกพีชดิบและสุก โดยการประเมินหาขนาดพื้นที่สีแดง ส่วนมากอาศัยเทคนิคการแยกแยะจากสีเพื่อบ่งบอก ความสุก ความแน่นของเนื้อ ตลอดจนรอยขีด จากงานวิจัยที่ได้รวบรวมพบว่า มีความแม่นยำไม่ต่างจากการแยกด้วยคนและยังสามารถแยกลูกพีชได้เป็นกลุ่มต่างๆที่มีความสุกต่างกันด้วย Miller & Delwiche (1989) ทดสอบคัดแยกลูกพีช จำนวน 160 ลูกจากขนาดพื้นที่สีแดงของลูกพีชพบว่ามีความแม่นยำเพียงร้อยละ 54 เมื่อเทียบกับคน ต่อมา Lleó et al. (2009) วิเคราะห์ความแน่นของเนื้อลูกพีชและเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว โดยใช้ภาพความยาวคลื่นขนาดต่างๆ แบ่งลูกพีชที่ระดับความสุกต่างๆกัน นอกจากนั้น ยังใช้การสะท้อนของแสงบ่งบอกความแน่นของเนื้อลูกพีช นอกจากนั้น มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาความแน่นและรอยขีดของเนื้อลูกแพร์ ปรากฏว่า มีความแม่นยำมากกว่าร้อยละ 90 Dewulf et al. (1999) ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์โดยใช้เทคนิครวมภาพแบบไพน์ตอลิเมนต์ Zhang & Deng (1999) ได้ทดลองใช้ความเข้มสีแดงตรวจจับรอยขีด Roberto et al. (2009) หาเงื่อนไขการเกิดเอนไซม์สีน้ำตาลในชั้นลูกแพร์ โดยคำนวณพื้นผิวฟูรีเยร์ (fourier) แบบ

เศษส่วนเพื่อแสดงถึงความซับซ้อนของการกระจายของสี และวิเคราะห์สีของชั้นลูกแพร์ที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถวิเคราะห์การเกิดเอนไซม์ได้เป็นอย่างดี

มะเขือเทศ

คุณภาพและราคาของมะเขือเทศขึ้นกับรูปร่าง ขนาดและผิวที่ปราศจากรอยขีด นักวิจัยส่วนมากมักใช้ ขนาด สี รูปร่าง รอยขีด มาเป็นเงื่อนไขในการคัดแยก โดยพัฒนาวิธีวิเคราะห์ต่างๆกัน เช่น ฟัซซีลอจิก โครงข่ายประสาทเทียม เป็นต้น จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทุกงานวิจัยพบว่าระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์สามารถวัดสีมะเขือเทศได้ดีกว่าคนและใช้เวลาน้อยกว่า Nielsen et al. (1998) พัฒนาเทคนิคเพื่อตรวจสอบคุณภาพของมะเขือเทศโดยใช้ฟัซซีลอจิก Morimoto et al. (2000) ศึกษาการเรียงตัวของเมล็ดเป็นขนาดเล็กและวิเคราะห์โดยโครงข่ายประสาทเทียม ทำให้ได้ผลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น Jahns et al. (2011) ประเมินคุณภาพจากการวิเคราะห์ภาพร่วมกับแบบจำลองฟัซซี Velioğlu et al. (2011) หาคุณภาพของมะเขือเทศที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม มีงานวิจัยที่ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของมะเขือเทศเพื่อนำไปออกแบบหุ่นยนต์เก็บเกี่ยวผลมะเขือเทศ (Zhiguo et al., 2011) โดยหาแรงเสียดทานและค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของผลมะเขือเทศเมื่อให้มะเขือเทศเคลื่อนที่แบบเลื่อนและกลิ้ง จากการทดลองพบว่า หุ่นยนต์เก็บเกี่ยวมะเขือเทศได้อย่างแม่นยำ นอกจากนั้นคอมพิวเตอร์วิทัศน์ยังถูกนำไปใช้วัดขนาดต้นมะเขือเทศ (Ling & Ruzhitsky, 1996) ด้วยการใช้พื้นที่ใบ พบว่าความแตกต่างของการวัดพื้นที่ใบเปรียบเทียบระหว่างการวัดโดยคนกับคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีค่าต่างกันระหว่าง -2.6 ถึง +2.3 ตารางมิลลิเมตร

สตรอเบอร์รี่

คุณภาพของสตรอเบอร์รี่ขึ้นกับปัจจัยก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัด

แยกสตรอเบอร์รี่ ที่มีคุณภาพต่างกันออกจากกัน โดยส่วนใหญ่จะใช้ขนาดและรูปร่างเป็นเกณฑ์ โดยมากมีความแม่นยำมากกว่าร้อยละ 90 และยังมีงานวิจัยที่สร้าง ระบบคัดแยกอัตโนมัติ โดยเครื่องคัดแยกมีความรวดเร็วและความแม่นยำในการคัดแยกเช่นกัน Nagata et al. (1997) ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อแยกสตรอเบอร์รี่สดโดยขนาดและรูปร่าง ผลการทดลองคัดแยกสตรอเบอร์รี่ 600 ผล โดยรูปร่าง และโดยขนาดให้ความแม่นยำร้อยละ 94 และ 98 ตามลำดับ อีกงานวิจัยหนึ่งเป็นระบบคัดแยกสตรอเบอร์รี่อัตโนมัติที่พัฒนาโดย Bato et al. (2000) ใช้รูปร่างและขนาดเป็นเกณฑ์ งานวิจัยนี้ให้ความแม่นยำถึงร้อยละ 98 และ 100 ตามลำดับ และใช้เวลาในการคัดแยก 1.18 วินาทีต่อผล Xu & Yanchao (2010) พัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อคัดแยกสตรอเบอร์รี่ โดยพิจารณาจากรูปร่าง ขนาด และสี ในเครื่องคัดแยกประกอบด้วยสายพาน กล้อง เซ็นเซอร์แสง สกรูที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ มือจับ ลิ้มิตสวิตช์ ผลการทดลองแสดงให้เห็น ความถูกต้องจากการแยกสีคือร้อยละ 88.8 และความแม่นยำจำแนกรูปร่างร้อยละ 90 ใช้เวลาเฉลี่ยในการคัดแยกสตรอเบอร์รี่หนึ่งลูกต่ำกว่ากว่า 3 วินาที ในงานวิจัยอื่นที่ประยุกต์ใช้ความยาวคลื่น ประเมินคุณภาพของสตรอเบอร์รี่ พบว่าสามารถใช้วิเคราะห์ได้ดี ElMasry et al. (2007) ใช้ภาพความยาวคลื่น 400-1000 นาโนเมตร วิเคราะห์หาความชื้น และความเป็นกรด นอกจากนั้น Hayashi et al. (2011) พัฒนาหัวดูดผลสตรอเบอร์รี่ โดยใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ประเมินทิศทางของผลไม้และวางแผนเครื่องดูดตามแนวของผลไม้ ซึ่งประสบความสำเร็จในการเก็บสตรอเบอร์รี่ร้อยละ 95

นอกจากการตรวจสอบคุณภาพของสตรอเบอร์รี่ Pertot et al. (2012) พัฒนาเครื่องมือที่ใช้สำรวจการเกิดโรคในต้นสตรอเบอร์รี่จากระยะไกล วิธีนี้ช่วยเกษตรกรในการระบุโรคต่างๆที่เกิดขึ้นกับต้นสตรอเบอร์รี่ โดยการประมวลผลข้อมูลและวิเคราะห์ผลด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เกษตรกรสามารถดูภาพและผลการวิเคราะห์ จากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหรือ

โทรศัพท์เคลื่อนที่ การประเมินผลพบว่าเครื่องมือมีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกษตรกรระบุโรคในต้นสตรอเบอร์รี่ได้ถูกต้อง

สัม

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ใช้ประยุกต์เพื่อคัดแยกผลส้ม ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักอ้างอิงจากลักษณะภายนอก เช่น เปลือก รอยขีด รูปร่าง สิ่งที่เป็นปัญหาที่สำคัญในการคัดแยกส้ม คือ การแยกกันส้มออกจากรูปได้ งานวิจัยที่คัดแยกส้มมีการใช้เทคนิควิเคราะห์ที่มีความหลากหลาย เช่น ใช้หลักการวิเคราะห์เชิงเส้น การแยกเส้นขอบรูป การใช้ความยาวคลื่น แต่โดยรวมแล้วทุกเทคนิคมีความแม่นยำในการคัดแยกมากกว่าร้อยละ 90 Kondo (1995) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างลักษณะกับความหวานของส้มพันธุ์ “lyokan” ผลแสดงให้เห็นว่าการทำนายความหวานของส้มมีความถูกต้องร้อยละ 87 เมื่อเทียบกับการวัดหาปริมาณน้ำตาลในผลส้ม ต่อมา Naoshi et al. (2000) ได้พัฒนาเครื่องตรวจสอบคุณภาพของส้มพันธุ์ “lyokan” โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าเทคนิคนี้หาปริมาณน้ำตาลในส้มได้อย่างแม่นยำ Ruiz et al. (1996) วิเคราะห์ภาพ 3 มิติ โดยมีเทคนิคการลบกันส้มประกอบด้วย หลักการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น การวิเคราะห์เส้นโค้ง และ กระบวนการลดรูป พบว่าเทคนิคเหล่านี้ใช้ลบกันส้มได้อย่างแม่นยำ โดยพบว่าแต่ละเทคนิคมีความถูกต้องร้อยละ 93 90 และ 98 ตามลำดับ Blasco et al. (2007) ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์หารอยตำหนิที่เปลือกส้มแมนดาริน เพื่อแยกผลส้มที่มีตำหนิออกจากสายการบรรจุด้วยขั้นตอนวิธีการแยกเส้นขอบรูป พบว่าแยกส้มที่มีตำหนิออกได้แม่นยำถึงร้อยละ 95 Li et al. (2011) ตรวจสอบหารอยตำหนิของส้ม เช่น รอยแมลงกัดรอยที่เกิดจากเพลี้ยไฟ โดยเปลือกจะมีลักษณะเปื่อยไหม้ ด้วยภาพสะท้อนความยาวคลื่นระหว่าง 400 - 1000 นาโนเมตร วิธีการตรวจสอบหารอยตำหนิใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักควบคู่ไปกับวิธีการ “thresholding” สำหรับการตรวจสอบตัวอย่าง

ผลสัม พบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 91.5 และ 93.7 เมื่อใช้ภาพสะท้อนที่ความยาวคลื่น 691 และ 769 นาโนเมตร ตามลำดับ

แอปเปิล

คอมพิวเตอร์วิทัศน์นำมาใช้เพื่อแยกรูปร่าง ตรวจหารอยขีด รอยตำหนิ คัดแยก ตลอดจนประเมิน คุณภาพของแอปเปิลพันธุ์ต่างๆ มีการพัฒนาเทคนิค ให้มีความซับซ้อนมากขึ้น เพื่อความแม่นยำในการ คัดแยก และหารอยตำหนิต่างๆ เกิดจากโรคต่างๆ Heinemann et al. (1995) ใช้วิธี “Global approach” เพื่อแยกรอยขีดในแอปเปิลพันธุ์ “Golden Delicious” โดยคำนวณค่าของสี ปรากฏ ว่าค่าความแม่นยำในการแยกมีถึงร้อยละ 82.5 Yang (1996) ประเมินความเป็นไปได้ของการใช้ คอมพิวเตอร์วิทัศน์สำหรับการแยกกัน ขั้ว และ รอยตำหนิ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม จากการ ทดสอบด้วยแอปเปิลพันธุ์ “Golden Delicious” และ พันธุ์ “Granny Smith” ได้ค่าความแม่นยำ โดยรวมร้อยละ 95 ต่อมา Paulus et al. (1997) ใช้ การวิเคราะห์แบบฟูรีเยร์เป็นเทคนิคในการจำแนก และการตรวจสอบลักษณะของภายนอกแอปเปิล พบว่าเลียนแบบการจำแนกของมนุษย์ได้ดี Leemans et al. (1998) ศึกษาการจำแนกรอยขีด ของแอปเปิลพันธุ์ “Golden Delicious” โดย เปรียบเทียบกับแบบจำลองของแอปเปิล โดย วิธี “Mahalanobis distances” พบว่าวิธีนี้มี ประสิทธิภาพในการแยกรอยตำหนิต่างๆ เช่น รอยขีด สีน้ำตาลปนแดง ตกสะเก็ด และเชื้อรา Paulus (1999) พัฒนาวิธีการประมวลผลภาพโดยใช้หลักการ ของฟูรีเยร์ เพื่อที่จะแยกรูปร่างและบ่งบอกความ แตกต่างของลักษณะภายนอกของแอปเปิล ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพ 4 ภาพ เพื่อหาค่ารูปร่างเฉลี่ย ของแอปเปิลหนึ่งผล พบว่าการวิเคราะห์โดยใช้ขนาด และการรู้จำรูปร่างทำได้ผลที่แม่นยำ Li et al. (2002) ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์หารอยขีดที่ผิวแอปเปิล ด้วยวิธีแยกรอยขีดออกจากพื้นหลังและแยกแยะว่า ส่วนใดเป็นก้านหรือขั้ว ต่อมา Leemans & Destain

(2004) พัฒนาแยกแอปเปิลที่มีรอยขีดออกจาก แอปเปิลที่ไม่ใช่แบบเวลาจริง (real time) พบว่ามีความแม่นยำถึงร้อยละ 73 ซึ่งสาเหตุความผิดพลาด ส่วนหนึ่งมาจากความผิดพลาดจากการวิเคราะห์สีที่ ขั้วกับส่วนที่ซ้ำ Unay & Gosselin (2007) ใช้เทคนิค การรู้จำกันและขั้วร่วมกับเทคนิค “thesholding” นี้ทดสอบกับแอปเปิลพันธุ์ “Jonagold” พบว่า สามารถจดจำและแยกบริเวณขั้วได้ถูกต้องถึงร้อยละ 99 ส่วนก้านนั้น แยกได้ถูกต้องร้อยละ 100 นอกจากนั้น ยังมีในการแยกแอปเปิลพันธุ์ “Golden Delicious” ออกเป็นกลุ่มสีเหลือง สีเขียว โดยใช้ระบบสี “HIS” (Tao et al., 1995) เมื่อ ทดสอบกับแอปเปิลจำนวน 120 ผล พบว่าค่าความ แม่นยำมีมากกว่าร้อยละ 90 Steinmetz et al. (1999) ศึกษาการใช้ตัวตรวจวัดแบบผสม ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ และตัวตรวจวัดชนิด “near-infrared spectrophotometric” เข้าด้วยกัน เพื่อทำนายปริมาณน้ำตาลในแอปเปิลเทคนิคการ คัดแยกนี้มีความแม่นยำถึงร้อยละ 78 ในเวลาต่อมา ตรวจหาปริมาณของเอนไซม์สีน้ำตาลในชั้นแอปเปิล โดยใช้ภาพฟูรีเยร์ พบว่า จลนศาสตร์ของการเปลี่ยน สีของชั้นแอปเปิลสามารถวัดได้โดยใช้เทคนิค คอมพิวเตอร์วิทัศน์และแสดงผลได้เร็วกว่าวิธีที่วัดด้วย เครื่องแบบเดิม 14.3 ถึง 23.2 เท่า

การใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการตรวจสอบและคัด แยกผัก

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ใช้ในการตรวจสอบและ คัดแยกผักหลายชนิด เนื่องจากผักมักจะมีรอยขีดที่เกิดจากการเก็บเกี่ยว หรือเน่าเสียเนื่องจากแมลง กัดกินหรือติดเชื้อ ในหัวข้อนี้ยกตัวอย่างการใช้ คอมพิวเตอร์วิทัศน์คัดแยกผักที่มีมูลค่าทางการ เศรษฐกิจในตลาดสากล อาทิเช่น มันฝรั่ง หอมใหญ่ เห็ด และแครอท

มันฝรั่ง

มันฝรั่งมีรูปร่างและขนาดหลายแบบ ในทางการค้าจำเป็นต้องมีการคัดแยก โดยจัดกลุ่ม

มันฝรั่งที่มีรูปร่างและขนาดให้เท่าๆกัน เพื่อกำหนดราคาและส่งไปยังอุตสาหกรรมที่ต่างกันๆไป เครื่องจักรกลวิทัศน์สำหรับคัดแยกมันฝรั่งได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และพบว่า มีความแม่นยำสูงขึ้นเรื่อยๆ Tao et al. (1995) ใช้เครื่องจักรกลวิทัศน์ สำหรับการคัดแยกมันฝรั่งแบบอัตโนมัติ โดยแบ่งแยกรูปร่างด้วยพื้นฐานและนิยามการแปลงภาพแบบ “harmonic” จากการทดสอบมันฝรั่ง 120 ตัวอย่าง พบว่า มีความแม่นยำในการคัดแยกถึงร้อยละ 89 เมื่อเทียบกับการคัดแยกของคน Wooten et al. (2000) เชื่อมระบบการรับภาพติดกับเครื่องมือเก็บเกี่ยวมันฝรั่งหวาน เพื่อใช้ในการเก็บเกี่ยวและคัดแยก พบว่า ผลของการคัดแยกมีความแม่นยำร้อยละ 84 งานวิจัยของ ElMasry et al. (2012) ศึกษาและพัฒนาระบบเครื่องจักรกลวิทัศน์ที่มีความรวดเร็วและแม่นยำในการตรวจหามันฝรั่งที่มีลักษณะผิดปกติแบบเวลาจริง มันฝรั่งถูกจำแนกเป็นกลุ่มที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน โดยใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตที่สำคัญ ได้แก่ จุดศูนย์กลาง พื้นที่ โมเมนต์ความเฉื่อย ความยาวและความกว้างของวัตถุ จากการทดสอบด้วยมันฝรั่งจำนวน 228 หัวพบว่า เครื่องจักรกลวิทัศน์มีประสิทธิภาพในการตรวจจ็บรอยตำหนิและคัดแยกออกมีถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 96.5 ขณะเดียวกันมันฝรั่งที่ถูกคัดแยกด้วยขนาดมีความถูกต้องร้อยละ 100 Razmjoooy et al. (2012) พัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับตรวจสอบมันฝรั่งแบบเวลาจริง เพื่อคัดแยกมันฝรั่ง โดยให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีการตรวจหารอยตำหนิภายนอกของมันฝรั่งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการ คัดแยกมันฝรั่งถูกคัดแยกจากรอยตำหนิและขนาด ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์และแปลงเป็นเลขฐานสอง งานวิจัยนี้อ้างอิงมาตรฐานตรวจสอบจากภาควิชาเกษตรของสหรัฐอเมริกา แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียและมาตรฐานอุตสาหกรรมอาหารของแคนาดา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คอมพิวเตอร์วิทัศน์มีความแม่นยำสูงและรวดเร็วในการคัดแยก นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์กับอุตสาหกรรมมันฝรั่งทอดโดย

Pedreschi et al. (2006) ออกแบบและใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ที่ราคาไม่แพง เพื่อวัดบันทึกจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีในชิ้นมันฝรั่งทอด พบว่าสามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจน

เห็ด

เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือในการวัดระยะการเจริญเติบโตใช้เลือกเก็บเห็ด ประเมินคุณภาพของเห็ด นอกจากนั้น ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่พัฒนาสำหรับการตรวจจับ การเลือก การหยิบ และการหาเส้นทางการเก็บเห็ด Williams & Heinemann (1998) ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์แบบอัตโนมัติ วัดการเจริญเติบโตของเห็ด และ ประเมินคุณภาพของเห็ดพันธุ์ “White Agaricus bisporus” โดยวิเคราะห์จากรูปร่างของเห็ด จากการทดสอบเห็ดจำนวน 25 ตัวอย่างพบว่า มีเห็ดที่ไม่สามารถแยกชนิดได้ร้อยละ 8 ถึง 56 และผลการคัดแยกเห็ดไม่สอดคล้องกันกับผลการคัดแยกโดยคนร้อยละ 14-36 Reed et al. (1995) พบว่า คอมพิวเตอร์วิทัศน์สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องมือในการเลือกเก็บเห็ดโดยใช้ขนาด และสามารถใช้ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดผ่านคอมพิวเตอร์วิทัศน์พบว่า การบานของดอกเห็ดสัมพันธ์กับระยะเจริญเติบโต ยกเว้นเห็ดชนิดตูมนอกจากนั้น ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่พัฒนาเทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์สำหรับวิเคราะห์เห็ดเน่าเสีย มีการใช้การวิเคราะห์รังสีจากสีที่แตกต่างกัน อันเนื่องจากเห็ดเน่าเสีย Vizhanyó & Tillett (1998) สรุปว่าสีน้ำตาลของเห็ดที่เริ่มแก่จะแตกต่างจากสีน้ำตาลที่มาจากส่วนเน่าเสียซึ่งเกิดจากการติดเชื้อ เช่นเดียวกับงานวิจัยที่มีการพัฒนาระบบการรวมชุดสีเพื่อแยกเห็ดเน่าเสียและเห็ดที่เริ่มแก่ Vizhanyó & Felföldi, 2000 ประยุกต์ใช้เทคนิคความเข้มแสงและการแปลงภาพ เพื่อหาความแตกต่างของสีในเห็ดเน่าเสียและเห็ดแก่ จากการทดลองของทั้งสองงานวิจัยพบว่า เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ใช้มีความแม่นยำสูงในการจำแนกเห็ดแก่ และเห็ดเน่าเสีย

ผักอื่นๆ

มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการตรวจสอบคุณภาพในผักอื่นๆ จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาพบว่า โดยมากมีความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพมากขึ้น แต่เทคนิคต่างๆ มีความซับซ้อนขึ้นและยังสามารถใช้ทำนายคุณสมบัติอื่นๆ ของผักได้อีกหลายประการ นอกจากการคัดแยก ตรวจสอบสีและรอยขีดของพริกหยวก (Shearer & Payne, 1990) คอมพิวเตอร์วิทัศน์ใช้ทำนายความชื้นและสีที่เปลี่ยนไปของพริกหยวกระหว่างการอบแห้ง (Romano et al., 2012) ได้ด้วย Batchelor & Searcy (1989) ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อหาตำแหน่งของรากแครอท ส่วน Howarth & Searcy (1992) ใช้เทคนิคการสกัดแยกลักษณะและการจดจำรูปแบบเพื่อหาคุณลักษณะรอยขีดที่ผิว ความโค้งและรอยแตกในแครอท เมื่อทดสอบกับแครอท 250 ตัวอย่างพบว่าอัตราการจัดแยกผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 15 Horgan et al. (2011) ใช้การวิเคราะห์สถิติทางภาพมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หารอยขีดภายในหัวหอม ในขณะที่ Tollner et al. (1999) ใช้ภาพเอ็กซ์เรย์ในการหารอยขีดภายในหัวหอม ผลความแม่นยำในการคัดแยกโดยรวมคือร้อยละ 90 Wang et al. (2012) ใช้ภาพแบบความยาวคลื่นสั้นในการแยกหัวหอมติดเชื้อออกจากหัวหอมปกติพบว่ามีความแม่นยำร้อยละ 87.14

การใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการตรวจสอบและคัดแยกถั่วต่างๆ

การเก็บเกี่ยวถั่วมักมีถั่วหลายพันธุ์ผสมปนเปกัน ดังนั้น ในการเก็บรักษาหรือการนำไปจำหน่าย การคัดแยกและการตรวจสอบคุณภาพเป็นสิ่งที่จะต้องทำ (Pearson & Slaughter, 1996) ออกแบบและสร้างเครื่องสำหรับแยกเมล็ดถั่วแตกของถั่วพิสตาชิโอเซีย (pistachio nuts) โดยทดสอบถั่วจำนวน 180 เมล็ด การคัดแยกถั่วแตกพบว่ามีผลสำเร็จร้อยละ 100 และจากการคัดแยกพันธุ์ถั่วได้ผลความแม่นยำร้อยละ 99 งานวิจัยของ Ghazanfari et al. (1996) ใช้โครงข่ายประสาท

เทียม แยกถั่วพิสตาชิโอ 4 สายพันธุ์ เมื่อทดสอบกับตัวอย่างถั่ว 150 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยความแม่นยำร้อยละ 95.9 ต่อมา Pearson & Toyofugu (2000) พัฒนาเครื่องจักรกลวิทัศน์อัตโนมัติเพื่อแยกถั่วพิสตาชิโอที่ยังไม่ปอกเปลือกออกจากกระบวนการผลิตในเครื่องจักรประกอบด้วยเครื่องมือลำเลียงถั่วไปผ่านกล้องโดยไม่ให้ถั่วกระเด็น คัดแยกถั่วที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกโดยการเปรียบเทียบสี มีความแม่นยำของการคัดแยกร้อยละ 95 ระบบทำงานได้ 40 เมล็ดต่อวินาที Omid et al. (2009) พัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับคัดแยกพันธุ์ของถั่วพิสตาชิโอเซีย โดยรวมการวิเคราะห์คลื่นเสียง องค์ประกอบหลัก และโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อคัดแยกถั่วพิสตาชิโอเซียพันธุ์พื้นเมือง 4 พันธุ์ จำนวน 3,200 เมล็ด ทดลองหาค้นเสียงโดยให้ถั่วเลื่อนลงรางที่เอียง 60 องศา เมล็ดถั่วจะตกกระทบแผ่นเหล็ก ส่งสัญญาณเสียงและบันทึกไว้สำหรับวิเคราะห์ จากการคัดแยกพบว่าความแม่นยำของระบบร้อยละ 97.5 Huang (2011) ตรวจสอบและจำแนกถั่วหมากด้วยเครื่องจักรกลวิทัศน์ โดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมและเทคนิคการประมวลผลภาพ และตรวจหาถั่วที่มีโรคหรือแมลง จำแนกประเภทของถั่วหมากจากคุณสมบัติทางเรขาคณิต เช่น ความยาวแกนหลัก พื้นที่ จำนวนแกน จากการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของการจำแนกถั่วหมากมีความแม่นยำร้อยละ 90.9 Nakariyakul & Casasent (2011) จำแนกประเภทของความเสียหายภายในอัลมอนด์โดยใช้ภาพความยาวคลื่นสูงกับหลักการอัตราส่วนของการตอบสนองของความยาวคลื่นสองช่วงที่ต่างกัน พบว่ามีความแม่นยำร้อยละ 97

สรุป

บทความนี้รวบรวม งานวิจัยที่ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อตรวจสอบและการคัดแยกผลไม้ ผัก และ ถั่วต่างๆ ได้แก่ ลูกพีช ลูกแพร์ มะเขือเทศ สตอเบอร์รี่ ส้ม และแอปเปิ้ล มันฝรั่ง เห็ด ถั่วพิสตาชิโอเซีย ถั่วหมากและอัลมอนด์ ซึ่งการคัดแยกผักผลไม้และถั่วต่างๆ เหล่านี้มักใช้ สี ขนาด

และรูปร่างเป็นเกณฑ์ในการชี้วัด ตัวอย่างการใช้สีเป็นเครื่องมือคัดแยกหรือประเมินคุณภาพคือ การหาความสุขของเนื้อลูกแพร์ การหารอยขีดของมะเขือเทศและแอปเปิล การแยกแยะเห็ดเน่าเสียจากราและเห็ดแก่ เป็นต้น การใช้สีมีความชัดเจนมักจะทำให้ผลความแม่นยำในการประเมินคุณภาพร้อยละ 90 ขึ้นไป ส่วนขนาดจะใช้คัดแยกขนาดผลผลิตเป็นหลัก เกณฑ์รูปร่างของผลผลิตจะใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ร่วมกับสีและขนาดเช่น การคัดแยกมะเขือเทศ สตรอเบอร์รี่ แอปเปิล และเห็ด รูปร่างจะแสดงค่าในรูปทรงของเรขาคณิต เช่น ความยาว ความเป็นทรงกลม วงรี นอกจากนั้นยังมีการวิจัยใช้ฟลูออเรสเซนต์แสดงค่ารูปร่างอีกด้วย เป็นต้นว่า การจำแนกลักษณะภายนอกของแอปเปิล ในการคัดแยกมันฝรั่งและถั่วต่างๆพบว่าจะใช้ขนาดและรูปร่างเป็นปัจจัยหลักในการคัดแยก จากการรวบรวมบทความวิจัยพบว่าผลประเมินคุณภาพและคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรมักให้ความแม่นยำสูงกว่าร้อยละ 90 นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมและ ฟัซซีลอจิกในการประเมินข้อมูลภายในระบบเพื่อความเร็วและแม่นยำมากขึ้น

จากการศึกษา พบว่างานวิจัยที่ใช้ระบบการจัดภาพและเทคนิคความเข้มแสงที่ซับซ้อน งานวิจัยเหล่านี้ใช้ภาพที่มีความยาวคลื่นต่างกันเพื่อวิเคราะห์ภาพ เช่น งานวิจัยในการแยกเห็ดแก่ และเห็ดเน่าเสีย การหารอยตำหนิของส้ม จากผลการทดลองจะพบว่างานวิจัยเหล่านี้สามารถหาความเหมาะสมในการทำนายในผลผลิตที่มีความซับซ้อนได้ดี แต่ข้อเสียคือการตั้งค่าที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ภาพนั้นทำได้ยากและลงทุนสูง อีกทั้งเทคนิคการวิเคราะห์ก็มีกระบวนการความซับซ้อนด้วยเช่นกัน

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลจึงต้องมีคุณภาพสูงจึงได้ผลออกมาอย่างแม่นยำคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เป็นเครื่องมือที่สามารถแปลงและวิเคราะห์ข้อมูลของภาพได้อย่างแม่นยำ ในงานตรวจสอบหรือประเมินคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานเทคโนโลยีเครื่องจักรอัตโนมัติ ได้มีการนำคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาใช้งาน

เพิ่มขึ้นและกว้างขวางขึ้น เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ให้ความรวดเร็วและสามารถวัดคุณสมบัติต่างๆของผลผลิตได้เช่น รูปร่าง สี ขนาด ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่มีติดตั้งกลไกการคัดแยกอัตโนมัติ สามารถลดการทำงานที่น่าเบื่อของคนได้ เนื่องจากงานคัดแยกและตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตมักจะเป็นงานที่หนัก ซ้ำซาก และใช้แรงงานมาก นอกจากนั้นค่าใช้จ่ายยังสูง และคนเรายังมีการตัดสินใจที่แตกต่างกันในแต่ละวันอีกด้วย ในทางตรงกันข้ามการตรวจสอบผลผลิตโดยคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายน้อย คอมพิวเตอร์วิทัศน์จึงเป็นที่นิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมทางการเกษตร อีกทั้งยังมีการพัฒนาเทคนิคและขั้นตอนวิธีการต่างๆ จนกระทั่งในปัจจุบัน ผลอยู่ในระดับที่แม่นยำมาก ในด้านราคาก็มีความคุ้มค่าในการลงทุน จากการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องทำให้ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ให้ผลการดำเนินงานที่รวดเร็ว แม่นยำ น่าเชื่อถือ ประโยชน์อีกทางของระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ก็คือเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและมีศักยภาพที่จะช่วยเหลือคน ในงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานที่ทำให้สายตาล้า ว่าคุณสมบัติที่น่าสนใจของคอมพิวเตอร์วิทัศน์อีกข้อหนึ่ง คือ การบันทึกค่าการวัด ที่ตำแหน่งต่างๆ และเวลาใด ๆ ไปได้ ดังนั้นผู้ใช้สามารถเรียกดูบันทึกการวัดย้อนหลังได้ ส่วนจุดด้อยของการใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์คือ การจัดระบบการรับภาพให้ได้ภาพที่มีคุณภาพทำได้ยาก เนื่องจากต้องคำนึงถึงแหล่งกำเนิดแสง วัตถุ และพื้นหลังของภาพ เป็นต้น หากภาพที่รับมาจากระบบรับภาพไม่ชัดเจน จะทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้ผลผลิตทางการเกษตรเป็นสิ่งที่เกิดจากธรรมชาติที่ไม่มีโครงสร้างรูปร่าง ขนาด สี รูปแบบ ที่แน่นอน ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์มีมากและทำได้ยาก คอมพิวเตอร์วิทัศน์จะมีประสิทธิภาพสูงและแม่นยำ แต่ยังไม่มีการนำคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาใช้ในทุกภาคส่วน ยังมีผลผลิตทางการเกษตรอีกมากมายที่ต้องการการพัฒนาเทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อตรวจสอบ ประเมิน และคัดแยก ฯลฯ ยิ่งไปกว่านั้น การพัฒนา มุมมอง 3 มิติและสีจะเพิ่มความถูกต้อง และสามารถ

ตอบสนองความต้องการด้านการตรวจสอบคุณภาพและความจำเป็นในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

เอกสารอ้างอิง

- Batchelor S. 1989. Computer vision determination of stem-root joint on processing carrots. *Journal of Agricultural Engineering Research* 43(4): 259-269.
- Bato PM, Nagata M, Cao QX, Hiyoshi K, Kitahara T. 2000. Study on sorting system for strawberry using machine vision (part 2): development of sorting system with direction and judgement functions for strawberry (Akihime variety). *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery* 62(2): 101-110.
- Blasco J, Aleixos N, Gómez J, Moltó E. 2007. Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision. *Journal of Food Engineering* 83(3): 384-393.
- Dewulf W, Jancsok P, Nicolai B, De Roeck G. 1999. Determining the firmness of a pear using finite element model analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74(3): 217-224.
- ElMasry G, Cubero S, Moltó E, Blasco J. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, Corrected Proof. [online].
- ElMasry G, Wang N, Elsayed A, Ngadi M. 2007. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal Food Engineering* 81(1): 98-107.
- Ghazanfari A, Irudayaraj J, Kusalik A. 1996. Grading pistachio nuts using a neural network approach. *Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers* 39(6): 2319-2324.
- Hayashi S, Takahashi K, Yamamoto S, Saito S, Komeda T. 2011. Gentle handling of strawberries using a suction device. *Biosystems Engineering* 109(4): 348-356.
- Heinemann PH, Varghese ZA, Morrow CT. 1995. Machine vision inspection of Golden Delicious apples. *Applied Engineering in Agriculture Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers* 11(6): 901-906.
- Howarth MS, Searcy SW. 1992. Inspection of fresh carrots by machine vision. *Food Processing Automation II Proceedings of the 1992 Conference Paper No. 897502*
- Horgan G, Mike T, Jonathan C . 2011. Use of statistical image analysis to discriminate carrot cultivars. *Computers and Electronics in Agriculture* 31(2): 191-199.
- Huang KY. 2011. Detection and classification of areca nuts with machine vision. *Computers & Mathematics with Applications* 64(5): 739-746.
- Jahns G, Henrik MN, Wolfgang P. 2011. Measuring image analysis attributes and modelling fuzzy consumer aspects for tomato quality grading. *Computers and Electronics in Agriculture* 31(1): 17-29.
- Kondo N. 1995. Quality evaluation of orange fruit using neural networks. *Food Processing Automation IV. Proceedings of the FPAC Conference, of the American Society of Agricultural & Biological Engineers*.
- Leemans H, Magein, Destain MF. 1998. Defects segmentation on 'Golden Delicious' apples by using colour machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 20: 117-130.
- Leemans V, Destain M-F. 2004. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering* 61(1): 83-89.
- Li J, Rao X, Ying Y. 2011. Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging. *Computers and Electronics in Agriculture* 78(1): 38-48.
- Li Q, Maohua W, Weikang G. 2002. Computer vision based system for apple surface defect

- detection. *Computers and Electronics in Agriculture* 36(2–3): 215-223.
- Ling PP, Ruzhitsky VN. 1996. Machine vision techniques for measuring the canopy of tomato seedling. *Journal of Agricultural Engineering Research* 65: 85–95.
- Lleó L, Barreiro P, Ruiz-Altisent M, Herrero A. 2009. Multispectral images of peach related to firmness and maturity at harvest. *Journal of Food Engineering* 93(2): 229-235.
- Miller MK , Delwiche MJ. 2000. A colour vision system for peach grading. *Transaction of the American Society of Agricultural & Biological Engineers* 32(4): 1484–1490.
- Morimoto T, Purwanto W, Suzuki W, Hashimoto Y. 2000. Optimization of heat treatment for fruit during storage using neural networks and genetic algorithms *Computers and Electronics in Agriculture* 19 (1) : Pages 87-101.
- Nagata M, Cao Q, Bato PM, Shrestha BP, Kinoshita O. 1997. Basic study on strawberry sorting system in Japan. 1997. *American Society of Agricultural & Biological Engineers Annual International Meeting Technical Papers Paper No. 973095*, the American Society of Agricultural & Biological Engineers, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085-9659, USA.
- Nakarmi AD, Tang L. 2012. Automatic inter-plant spacing sensing at early growth stages using a 3D vision sensor. *Computers and Electronics in Agriculture* 82: 23-31.
- Nakariyakul S, Casasent D. 2011. Classification of internally damaged almond nuts using hyperspectral imagery. *Journal of Food Engineering* 103(1): 62-67.
- Naoshi K, Usman A, Mitsuiji M, Haruhiko M. 2000. Machine vision based quality evaluation of lyokan orange fruit using neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture* 29(1–2): 135-147.
- Nielsen HM, Paul W, Munack A, Tantau HJ. 1998. Modelling image processing parameters and consumer aspects for tomato and quality grading. *Mathematical and Control Application in Agriculture and Horticulture. Proceedings of the Third IFAC Workshop*, Pergamon/Elsevier, Oxford, UK : 141-146.
- Omid M, Asghar MO, Mohammad H. 2009. An intelligent system for sorting pistachio nut varieties. *Expert Systems with Applications* 36(9): 28-35.
- Paulus SE. 1999. Shape characterisation of new apple cultivars by fourier expansion of digital images. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 113–118.
- Paulus R, Busschers D, Schrevers E. 1997. Use of image analysis to investigate human quality classification of apples. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68: 341–353.
- Pedreschi F, León J, Domingo M, Pedro M. 2006. Development of a mputer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International* 39(10): 1092-1098.
- Pearson T, Toyofugu N. 2000. Automated sorting of pistachio nuts with closed shells. *Applied Engineering in Agriculture* 16(1): 91–94.
- Pearson TC, Slaughter DC. 1996. Machine vision detection of early split pistachio nuts. *Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers* 9 (3): 1203–1207.
- Pertot I, Kufluk T, Gordon I, Freeman S, Elad Y. 2012. Identifier: A web-based tool for visual plant disease identification, a proof of concept with a case study on strawberry. *Computers and Electronics in Agriculture* 84: 144-154.
- Pinkiewicz T, Purser G, Williams R. 2011. A computer vision system to analyse the swimming behaviour of farmed fish in commercial aquaculture facilities: a case study using cage-held Atlantic salmon. *Aquacultural Engineering* 45(1): 20-27.
- Razmjoo N, Somayeh M. 2012. A real-time mathematical computer method for potato inspection using machine vision. *Computers & Mathematics with Applications* 63 (1): 268-279.

- Reed JN, Crook S, He W. 1995. Harvesting mushrooms by robot. Science and cultivation of edible Fungi. Rotterdam, Balkema : 385–391.
- Roberto Q, Oscar D, Arnaldo C, Betty R, Aguilera JM. 2009. Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L* color information from digital images. LWT - Food Science and Technology 42(8): 1367-1373.
- Romano G, Argyropoulos D, Nagle M, Khan MT, Müller J. 2012. Combination of digital images and laser light to predict moisture content and color of bell pepper simultaneously during drying. Journal of Food Engineering 109(3): 438-448.
- Ruiz LA, Molto E, Juste F, Pla F, Valiente R. 1996. Location and characterization of the stem-calyx area on oranges by computer vision. Journal of Agricultural Engineering Research 64: 165–172.
- Shearer SA, Payne FA. 1990. Color and defect sorting of bell peppers using machine vision. Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers 3(6): 2045–2050.
- Steinmetz V, Roger JM, Molto E, Blasco J. 1999. On-line fusion of colour camera and spectrophotometer for sugar content prediction of apples. Journal of Agricultural Engineering Research 73: 207–216.
- Tao Y, Heinemann PH, Varghese Z, Morrow CT, Sommer HJ. 1995. Machine vision for colour inspection of potatoes and apples. Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers 38(5): 1555–1561.
- Tollner EW, Shahin MA, Maw BW, Gilaitis RD, Summer DR. 1999. Classification of onions based on internal defects using imaging processing and neural network techniques. International Meeting, Toronto, Onteroi Paper no. 993165, ASAF.
- Unay D, Gosselin B. 2007. Stem and calyx recognition on ‘Jonagold’ apples by pattern recognition. Journal of Food Engineering 78(2): 597-605.
- Velioglu HM, Ismail HB, Sefik K. 2011. Determination of visual quality of tomato paste using computerized inspection system and artificial neural networks Computers and Electronics in Agriculture 77(2): 147-154
- Vizhányó T, Felföldi J. 2000. Enhancing colour differences in images of diseased mushrooms. Computers and Electronics in Agriculture 26(2): 187-198.
- Vizhányó T, Tillett RD. 1998. Analysis of mushroom spectral characteristics. Proceedings of AgEng'98 International Conference on Agricultural Engineering, Oslo, 24–27 August 1998 paper No. 98-F08019981-7.
- Wang W, Changying L, Ernest W, Ronald D, Glen C. 2012. Shortwave infrared hyperspectral imaging for detecting sour skin (*Burkholderia cepacia*) - infected onions. Journal of FoodEngineering 19(1): 38-48.
- Williams AL, Heinemann PH. 1998. Detection, tracking, and selection of mushrooms for harvest using image analysis. American Society of Agricultural & Biological Engineers Annual International Meeting, Orlando, FL, USA, 12–16 July 1998 American Society of Agricultural & Biological Engineers paper no. 983041.
- Wooten JR, White JG, Thomasson JA, Thompson PG. 2000. Yield and quality monitor for sweet potato with machine vision. American Society of Agricultural & Biological Engineers Annual International Meeting Paper No. 001123,
- Xu L, Yanchao Z. 2010. Automated strawberry grading system based on image processing. Computers and Electronics in Agriculture 71(1): S32-S39.
- Xue J, Zhang L, Tony EG. 2012. Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot. Computers and Electronics in Agriculture 84: 85-91.

- Yang CC. 1996. An approach to apple surface feature detection by machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 11: 249–264.
- Zhang T, Deng JZ. 1999. Application of computer vision to detection bruising on pears. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 15(1): 205–209.
- Zhiguo L, Pingping L, Jizhan L. 2011. Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to robot's harvesting. *Journal of Food Engineering* 103(2): 170-178.