หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์ (computer vision)*

ในสมัยก่อนการตรวจสอบการประเมินคุณภาพอาหารทำโดยใช้สายตาของพนักงานที่ผ่านการอบรมมาแล้ว แต่เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น ความถูกต้องแน่นอนและรวดเร็วเป็นสิ่งสำคัญจึงทำให้มีการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์กำลังเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหารและอยู่ในระหว่างการพัฒนาให้มีความน่าเชื่อถือและมีราคาที่ไม่แพงเกินไปนัก ระบบนี้เปิดโอกาสให้สามารถทำงานอย่างอัตโนมัติได้อย่างปลอดภัยและน่าเชื่อถือ

<u>เปรียบเทียบทัศนภาพคอมพิวเตอร์กับทัศนภาพของมนุษย์ (human vision)</u>

ทัศนภาพคอมพิวเตอร์มีทั้งข้อดีและข้อด้อยเปรียบเทียบกับทัศนภาพของมนุษย์ ข้อได้เปรียบที่เด่นที่สุดคือความไม่ลำเอียงและความสามารถทำงานได้อย่างแน่นอนในระยะเวลานาน ความลำเอียงของสายตามนุษย์เกิดจากข้อจำกัดโดยธรรมชาติของการรับรู้ของสายตามนุษย์ สายตามนุษย์สามารถรับรู้ความยาวคลื่นในช่วง 380-700 nm. เท่านั้นโดยมีจุดที่รับรู้ดีที่สุดที่คือความยาวคลื่น 550 nm. และมนุษย์สามารถแยกระดับสีเทาได้น้อยกว่า 100 ระดับเมื่อเทียบกับระบบทัศนภาพกลที่มีความสามารถแยกได้หลายร้อยระดับ

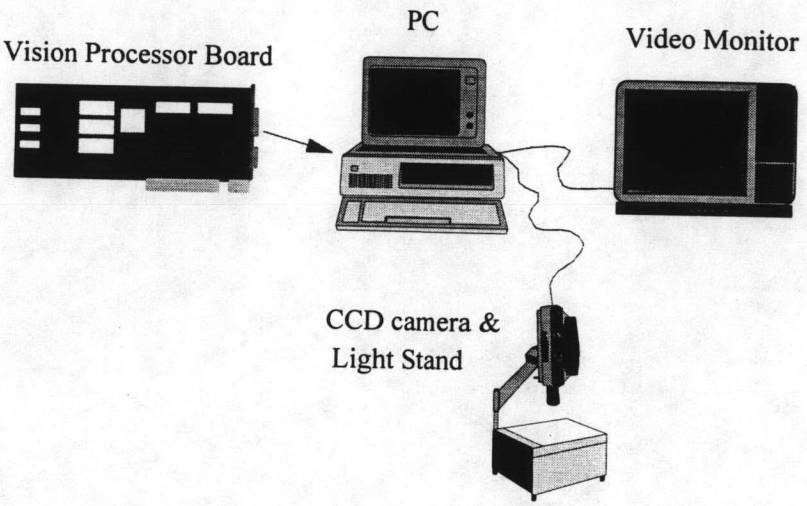
ในระบบการเห็นภาพของมนุษย์ การรับรู้ความสว่างไม่ได้แปรกับความเข้มของแสงเท่านั้น สายตามนุษย์มีการประเมินที่สูงเกินไป (overshoot) หรือต่ำเกินไป (undershoot) ในบริเวณขอบเขตของพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงแตกต่างกันซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ Mach band effect ยังมีที่เรียกว่า simultaneous contrast ซึ่งคือการรับรู้ความสว่างของวัตถุจะได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อม วัตถุสองชิ้นที่ได้รับแสงเท่ากัน(ความเข้มของแสง)แต่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันอาจทำให้เห็นว่ามีความสว่างแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามระบบทัศนภาพของมนุษย์ได้รับการสนับสนุนจากสมองที่มีความเฉลียวฉลาด ทำให้สามารถตัดสินใจในสิ่งที่ยุ่งยากซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันนี้ระบบ

---

* เนื้อความและภาพประกอบจาก Gunasekaran และ Ding (1994)

ทัศนภาพคอมพิวเตอร์ได้ติดตั้งระบบปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligent) เช่น นิวรัลเนตเวอร์ก และระบบฐานความรู้ (knowledge-based system) อื่น ๆ เข้าไปด้วย อย่างไรก็ดีระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์ต้องใช้เวลาในการตัดสินใจจำนวนหนึ่งซึ่งขึ้นกับความซับซ้อนของการตัดสินใจ ระบบนี้จุกจิกมากในเรื่องของแสงสว่างและอาจพบกับความยุ่งยากเมื่อมีการสะท้อนและความแปรผันสุ่มเล็ก ๆ น้อย ๆ ของวัตถุที่กำลังตรวจสอบ



รูปที่ 2.1 ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์แผ่นวงจรเดี่ยวที่เป็นคอมพิวเตอร์แบบ PC AT

<u>การประมวลภาพเชิงเลข</u>

ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์มีส่วนประกอบสำคัญต่อไปนี้

1. กล้องรับภาพ (charge-couple-device (CCD) camera) และแผ่นวงจรประมวลภาพ (vision processor board) ใช้ในการรับภาพ
2. แผ่นจานแม่เหล็กหรือแถบแม่เหล็กสำหรับการเก็บข้อมูล
3. เครื่องคอมพิวเตอร์และซอฟท์แวร์สำหรับการประมวลผล
4. สายสัญญานและซอฟท์แวร์สำหรับการติดต่อสื่อสาร
5. จอภาพวีดิโอและเครื่องพิมพ์สำหรับการแสดงผล

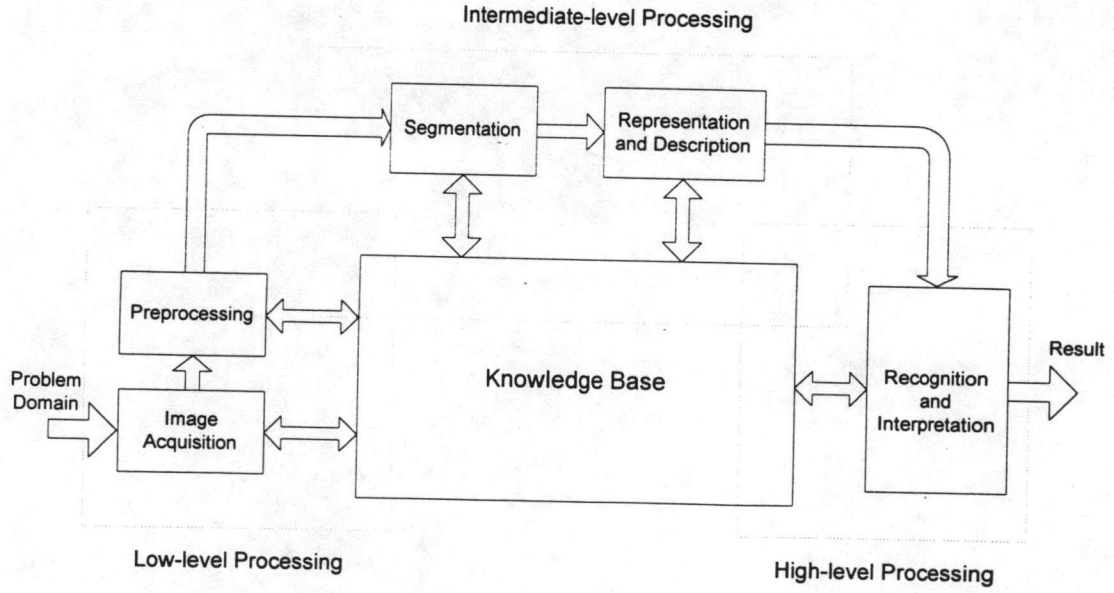
ภาพเชิงเลข (digital image) คืออาเรย์ 2 มิติซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของความเข้มแสง กล่าวคือค่าหรือก็คือแอมปลิจูดของฟังก์ชั่นที่จุดใด ๆ ในภาพจะแทนความเข้มแสงหรือความสว่าง ค่าเหล่านี้เป็นที่รู้จักในชื่อของ<u>ระดับสีเทา</u> (gray level) หรือ<u>เกรย์สเกล</u> (gray scale) เกรย์สเกลมีค่าอยู่ในช่วง

0 (pure black) ถึงค่าสูงสุด (pure white) ซึ่งขึ้นกับความสามารถในการแยก (resolution) ของอุปกรณ์รับภาพ ตัวอย่างเช่นอุปกรณ์จับภาพ 8-bit frame grabber สามารถให้ค่าเกรย์สเกลอยู่ในช่วง 0-255 ($2^8 = 256$)

บริเวณตำแหน่งในภาพเรียกว่าจุดภาพ (pixel) จำนวนจุดภาพทั้งหมดขึ้นกับขนาดของอาเรย์ 2 มิติในการถ่ายภาพ จุดภาพเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของภาพเชิงเลขในระบบซึ่งสามารถให้ค่าเกรย์สเกลกับมัน ระบบส่วนมากจะมีความสามารถในการแยกจุด 512 x 480 หรือ 640 x 480 จุด เพื่อให้ได้ผลดีที่สุดควรให้ความสามารถในการแยกจุด (spatial resolution) ของกล้องถ่ายภาพและวงจรวิเคราะห์ภาพมีค่าเท่ากัน

จุดประสงค์ของการใช้ระบบประมวลภาพ ส่วนใหญ่ก็เพื่อหาข้อมูลที่มีความหมายจากภาพ บางกรณีใช้เพื่อแสดงข้อมูลเพื่อมิให้ผู้ใช้เกิดลำเอียงในการตรวจสอบ ส่วนมากระบบประมวลภาพจะให้ข้อมูลเชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ ข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้นำไปใช้ในเครื่องตรวจวัดอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการตัดสินใจต่อไป

ส่วนประกอบที่มีอยู่ทั่วไปในระบบวิเคราะห์หรือประมวลผลแสดงในรูปที่ 2.2 กลุ่มของส่วนประกอบแสดงด้วยเส้นประ เส้นนี้ใช้ในการจัดประเภทของเทคนิคการประมวลผลต่าง ๆ ในรูปแสดงกลุ่มของ การประมวลผลระดับต่ำ (low-level processing) การประมวลผลระดับกลาง (intermediate-level processing) และการประมวลผลระดับสูง (high-level processing) ซึ่งจะเห็นว่ามีส่วนที่คาบเกี่ยวกันระหว่างกลุ่ม



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบวิเคราะห์ภาพ

การประมวลผลระดับต่ำ

ประกอบด้วยการรับภาพและการประมวลผล การรับภาพคือการถ่ายภาพในรูปเชิงเลข ส่วนนี้จะเป็นขั้นตอนแรกในระบบทัศนภาพใด ๆ การทำงานของการประมวลผลขั้นต้นประกอบด้วยการเพิ่มความคมชัด (enhancement) และการนำส่วนที่ขาดหายไปของภาพกลับคืนมา (restoration) กระบวนการเหล่านี้จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพแบบไม่เจาะจง รวมทั้งมีการแก้ไขเชิงปริมาณเพื่อชดเชยกับการสูญเสียคุณภาพในขั้นตอนของการรับภาพ

การประมวลผลระดับกลาง

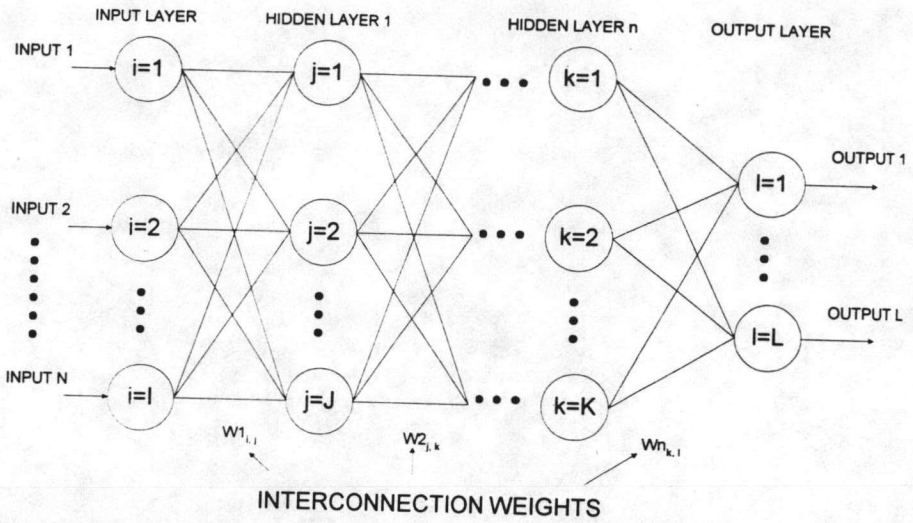
ประกอบด้วย การแบ่งส่วนภาพ (image segmentation) และการแทนรูปภาพและคำอธิบายภาพ (image representation and description) การแบ่งส่วนภาพช่วยในการแยกภาพออกเป็นพื้นที่ของวัตถุที่มีความหมายทางกายภาพ กระบวนการนี้มักใช้เพื่อแยกวัตถุออกจากข้อมูลที่เป็นฉากหลัง การแบ่งส่วนภาพทำให้เกิดกลุ่มของจุดภาพซึ่งต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลในขั้นต่อไป การแทนภาพและคำอธิบายเกี่ยวข้องกับการแยกเอาคุณสมบัติซึ่งเป็นข้อมูลเชิงประมาณที่น่าสนใจบางอย่างออกมา ซึ่งเป็นพื้นฐานในการแยกประเภทวัตถุ

การประมวลผลระดับสูง

เกี่ยวข้องกับการรู้จำ (recognition) และการตีความ (interpretation) ขั้นตอนของการรู้จำจะกำหนดชื่อให้กับวัตถุโดยมีพื้นฐานอยู่บนข้อมูลจากคำอธิบายวัตถุ การตีความจะเป็นการให้ความหมายกับวัตถุที่ได้ผ่านกระบวนการของการรู้จำ อย่างไรก็ตาม ความรู้และความเข้าใจในเรื่องของหลักการพื้นฐานในเรื่องของการรู้จำและการตีความยังเป็นเรื่องที่ไม่ชัดเจนนักและมักมาจากการคาดคะเน ความคลุมเครือของความเข้าใจนี้ทำให้เกิดข้อจำกัดและแนวความคิดมักจะพยายามลดความซับซ้อนของงานให้อยู่ในระดับที่จัดการได้

ในการประมวลผลทุกระดับ การปฏิสัมพันธ์กับฐานความรู้ทำให้การตัดสินใจมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นความรู้ในขอบเขตของปัญหาควรจะเข้ารหัสไว้ในระบบประมวลผลภาพในรูปแบบของฐานข้อมูลความรู้

ดังที่กล่าวมาแล้วจุดอ่อนหลักข้อหนึ่งของระบบการเห็นภาพก็คือไม่สามารถคิดและตัดสินใจอย่างเฉลียวฉลาด ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงต้องใช้ฐานความรู้ภายในเพื่อช่วยตัดสินใจเช่นการเรียงลำดับคุณภาพและการคัดระดับ (grading) ระบบการรู้จำลวดลาย (pattern recognition) ระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) นิวรัลเนตเวอร์ค (neural network) เป็นตัวอย่างของการสร้างฐานความรู้ในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ ทำให้มันสามารถยอมรับรูปแบบและตีความภาพ การใช้งานนิวรัลเนตเวอร์ค่วมกับระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์กำลังได้รับความนิยม มีการจำหน่ายระบบที่เป็นเชิงพาณิชย์ใช้สำหรับการเรียงขนาดแอปเปิ้ล



รูปที่ 2.3 นิวรัลเนตแบบ Multilayer, Error Back-Propagation

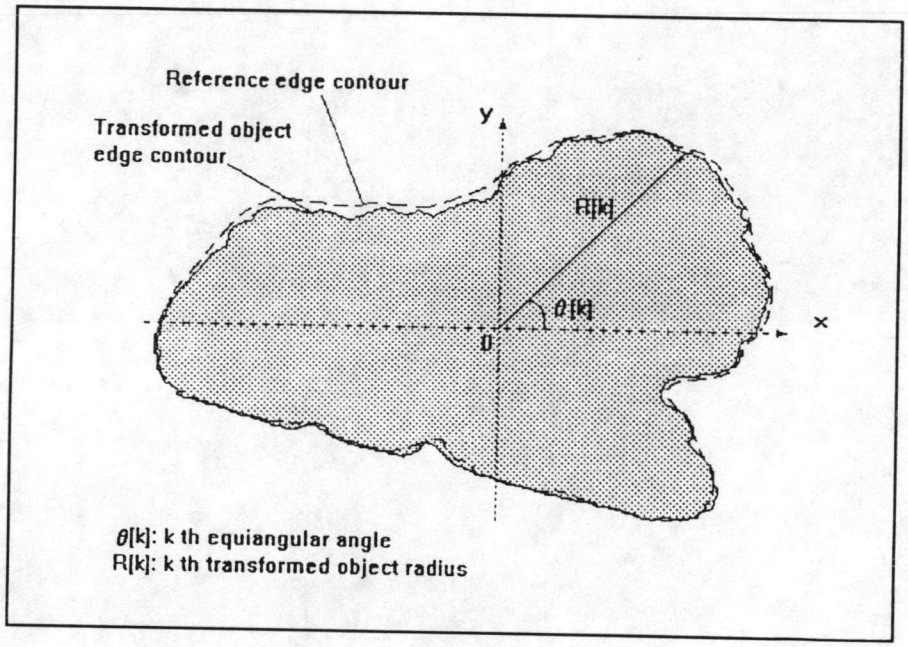
<u>การประยุกต์ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์</u>

เป็นเวลานานแล้วที่นิยมใช้ระบบทัศนภาพมากที่สุดในงานตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ การตรวจสอบขนาด การคัดระดับคุณภาพ และการจัดวางตัวของผลิตภัณฑ์ การใช้ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังได้รับความนิยมในการประเมินคุณภาพภายในของผลิตภัณฑ์โดยการศึกษาผลของการแปรขององค์ประกอบ (composition) และพารามิเตอร์ในการผลิต การนำมาใช้อื่น ๆ ในอุตสาหกรรมอาหารมีแนวโน้มมากว่าจะใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ เช่นการการควบคุมการเรียงตัวของผลิตภัณฑ์ การจัดเรียงขนาด การบรรจุ และระบบการจัดส่ง

รูปร่างของวัตถุเป็นเงื่อนไขคุณภาพที่ใช้กันมากที่สุด อาหารส่วนมากเช่น เมล็ดพืช ผลไม้ พืชผัก นัท และของทานเล่นอื่น ๆ จะมีลักษณะสัณฐาน (shape feature) อันหนึ่งที่จะระบุคุณภาพโดยรวม ความเสียหายที่เกิดกับอาหารเหล่านี้มักเกิดกับขอบและรูปร่าง ดังนั้นการตรวจสอบรูปร่างมีความจำเป็นมากในอุตสาหกรรมอาหาร

การแยกแครกเกอร์หักออกจากแครกเกอร์สมบูรณ์เป็นตัวอย่างการใช้ระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์ร่วมกับนิวรัลเนต ความคิดพื้นฐานก็คือเมื่อหาลักษณะสัณฐานของแครกเกอร์อ้างอิงมาแล้วจะสามารถแยกระหว่างแครกเกอร์ที่สมบูรณ์กับแครกเกอร์ที่แตกหักโดยการเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานเดียวกันของแครกเกอร์ที่ทำการตรวจสอบกับแครกเกอร์อ้างอิง ภาพของแครก

เกอร์อ้างอิงก็คือค่าเฉลี่ยของแครกเกอร์สมบูรณ์หลาย ๆ อัน ลักษณะสัณฐานต่าง ๆ เช่น พื้นที่ อัตราส่วนปรากฏ (aspect ratio) (อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้าง) ความโค้ง ความต่อเนื่องของขอบ และรัศมี(จากศูนย์กลางไปยังขอบ) พื้นที่ของแครกเกอร์หาได้จากการนับจุดภาพที่แทนพื้นผิวในภาพ ซอฟท์แวร์ประมวลผลภาพหลายโปรแกรมสามารถนับจำนวนจุดภาพและให้พื้นที่ออกมา ตัวอย่างเช่น Optimus (Bioscan, Inc., Edmands, Wash.) การคำนวณอัตราส่วนปรากฏต้องหาความกว้างและความยาวของวัตถุ กรณีวัตถุมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (nonhomogeneous shape) เช่นแครกเกอร์ หาความยาวได้จากระยะทางที่ยาวที่สุดที่ผ่านจุด ๆ หนึ่ง ความกว้างเป็นระยะทางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับความยาว



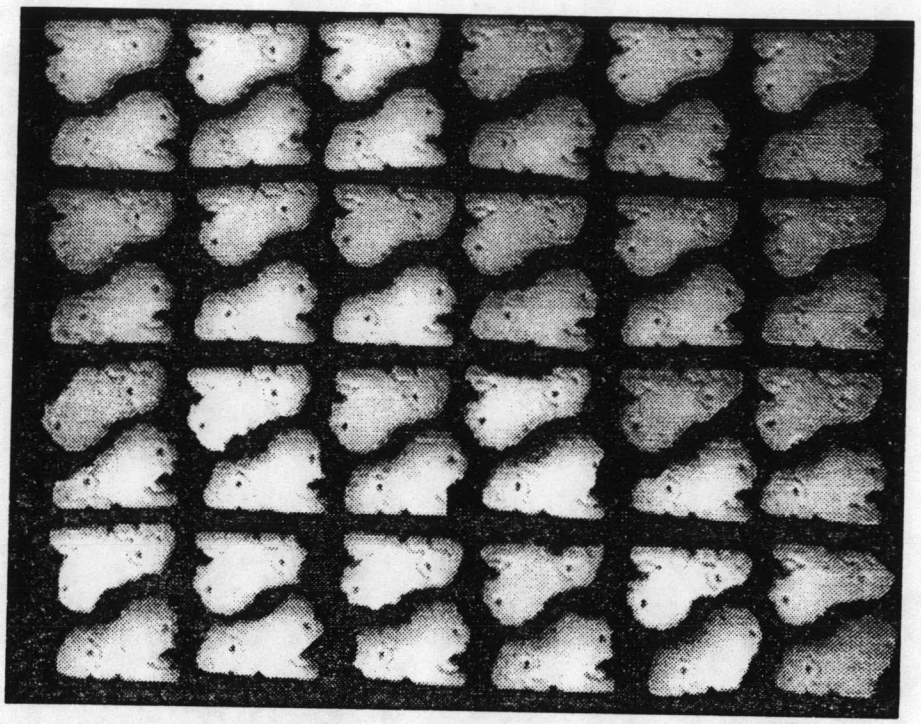
รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบเส้นขอบของแครกเกอร์ที่สุ่มตัวอย่างมา(พื้นที่สีเทา)กับแครกเกอร์อ้างอิง(เส้นประ)

ความโค้ง ความต่อเนื่อง และรัศมีเป็นคุณสมบัติที่มีข้อแตกต่างไปจากพื้นที่และอัตราส่วนปรากฏ คือเป็นคุณสมบัติที่มีค่าเฉพาะกับจุดใด ๆ และอาจขึ้นกับจุดข้างเคียงบนขอบด้วย ตัวอย่างเช่น เลือกจุดบนขอบวัตถุทำมุมห่างเท่า ๆ กัน 32 จุดหลังจากจัดวางแครกเกอร์ให้อยู่ในตำแหน่ง ทิศทาง และมาตราส่วนอ้างอิง ไม่จำเป็นต้องใช้จุดจำนวนมากเพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ เมื่อ R คือรัศมีหรือระยะทางจากจุดศูนย์กลางไปยังขอบ ณ แต่ละจุด k จะได้ความ

สัมพันธ์ว่า ดัชนีรัศมีคือ R(k) ดัชนีความต่อเนื่องมีค่าเป็น R(k+1) - R(k) และดัชนีความโค้งมีค่าเป็น R(k-1) - 2R(k) + R(k+1)

แนวคิดเรื่องพลังงานภาพ (image energy) ถูกใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติรูปร่างของแครกเกอร์ที่ทำการตรวจสอบกับแครกเกอร์มาตรฐาน พลังงานภาพคือค่าผลรวมของความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีชนิดเดียวกัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของแครกเกอร์ที่ตรวจสอบกับแครกเกอร์อ้างอิง ดังนั้นแครกเกอร์อ้างอิงจะมีค่าพลังงานภาพต่ำสุดเท่ากับศูนย์ ค่าพลังงานต่าง ๆ เช่นของรัศมีความต่อเนื่อง และความโค้งก็สามารถหาได้เช่นเดียวกัน

เมื่อหาค่าพื้นที่ อัตราส่วนปรากฏ และพลังงานภาพออกมาแล้วก็จะสามารถใช้ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ในการจัดประเภทว่าวัตถุมีสภาพสมบูรณ์หรือเสียหาย การทดลองได้ใช้ตัวจัดประเภทชนิด 3-layer BP neural net ที่มีโหนดเข้า (input node) 5 จุด มีโหนดซ่อน (hidden node) อยู่ 5 จุด และมีโหนดออก (output node) 2 จุด อินพุทประกอบด้วยดัชนีสัณฐาน 5 ชนิด และเอาท์พุทเป็นการจัดประเภทว่าดีหรือเสีย นิวรัลเนตจะถูกฝึก (train) ด้วยแครกเกอร์จำนวน 3 ชุด แต่ละจุดประกอบด้วยแครกเกอร์ดี 24 ชิ้นและแครกเกอร์หัก 24 ชิ้น รูปที่ 5 แสดงแครกเกอร์ชุดที่ 1 การทดลองใช้แครกเกอร์ที่ซื้อมาจากร้านและทำให้หักด้วยมือเพื่อให้เกิดการความเสียหายในระดับต่าง ๆ ปริมาณความเสียหายที่ใช้จะมีขนาดน้อย ๆ เพื่อให้การทดสอบอยู่ในระดับเดียวกับการใช้งานที่ต้องการ ทำการฝึกนิวรัลเนต 3 ครั้งโดยในแต่ละครั้งจะฝึกด้วยแครกเกอร์ชุดหนึ่งแล้วใช้อีก 2 ชุดเป็นชุดทดสอบ ได้ผลลัพธ์ในรูปของความผิดพลาดในการจัดกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 1 ในทุกกรณีได้ค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 10 %



รูปที่ 2.5 ภาพของแครกเกอร์รูปสิงโต แถวบนสี่แถวเป็นแครกเกอร์ที่สมบูรณ์และแถวล่างสี่แถวเป็นแครกเกอร์ที่เสียหาย

Training image set	Testing image set	Classification error (%)					
		Area	Aspect ratio	Radius	Curvature	Continuity	All indices combined [a]
1	2	37	31	4	25	6	4
	3	48	23	6	27	4	4
2	1	40	29	12	8	15	6
	3	33	29	15	15	19	6
3	1	40	23	6	29	6	2
	2	27	17	4	31	4	2
Average		38	25	8	23	9	4

[a] โดยการใช้ BP นิวรัลเนตเวอร์ก

ตารางที่ 2.1 ค่าผิดพลาดในการจัดประเภทโดยใช้ดัชนีสัณฐาน (shape index) ต่าง ๆ

ในดัชนีสัณฐานหนึ่ง ๆ สามารถใช้ตัวจัดประเภทได้ 2 ชนิดคือ Bayes classifier ซึ่งทำงานได้เร็วกว่าและใช้ง่ายกว่าการใช้ BP classifier ดังนั้นจะใช้ Bayes classifier ในการตรวจการความเสียหายด้วยคุณสมบัติรูปร่าง 5 ชนิด ความผิดพลาดของการจัดประเภทแสดงไว้ในตารางที่ 1 ในทุกกรณี BP classifier ให้ผลทดสอบที่ดีกว่า Bays classifier เมื่อเรียงลำดับค่าผิดพลาดในการจัดกลุ่มตามคุณสมบัติรูปร่างจากน้อยไปมากตามลำดับคือ ความต่อเนื่อง รัศมี ความโค้ง อัตราส่วนปรากฏ และพื้นที่ น่าประหลาดใจว่าพื้นที่เป็นคุณสมบัติในการทดสอบที่ได้ผลน้อยที่สุดในการแยกแครกเกอร์ที่เสียหาย ทั้งนี้ก็เนื่องจากความผันแปรเล็กน้อยในเรื่องของขนาดที่เกิดระหว่างการตัดและการอบ จะเห็นข้อดีของการใช้คุณสมบัติรูปร่างหลายอย่างในนิวรัลเนตได้อย่างชัดเจน

ตัวอย่างที่กล่าวมาแสดงความสามารถในการประยุกต์ของระบบทัศนภาพในงานการประเมินคุณภาพที่ต้องทำเป็นประจำ รวมถึงการคัดขนาดในอุตสาหกรรมอาหาร งานการคัดคุณภาพเกือบทั้งหมดสามารถนำระบบทัศนภาพคอมพิวเตอร์ไปใช้แทนการทำงานของมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีความปลอดภัยมากกว่ารวมทั้งสามารถขยายขอบข่ายการตรวจสอบไปในงานที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้อีกด้วย