

การประเมินผลเชิงภาพ (สำหรับงานทางด้านวิทยาศาสตร์)

Image Processing (for Scientific Applications)

นาย กอบ โภค งามรัตน ไพบูลย์

นายภาควิชัย อุยร์อุต

อาจารย์สมเกียรติ วงศิริพิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้นำเสนอหลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีการประมวลผลเชิงภาพ ซึ่งกำลังก้าวเข้ามายืนทบทำสำคัญ ต่อชีวิตประจำวันของเรามากขึ้นทุกขณะ เพราะเทคโนโลยีทางด้านนี้ ได้ช่วยขยายขีดความสามารถทางการมองเห็นของมนุษย์ ให้ก้าวไปกว่าเดิม ก่อนได้เป็นอย่างมาก ทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุที่เล็กกระดับอะตอม มองเห็นวัตถุที่อยู่ห่างไกล เช่นดวงดาวในกาแลคซีอื่น เนื่องจากด้วยความสามารถของการสังเคราะห์อาหารของพืช และการดำเนินไปของกระบวนการทางชีวภาพ ได้อ่านและอธิบายด้วย ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นการเพิ่มขีดความสามารถให้กับงานวิจัยและพัฒนาทางเทคโนโลยี ไปข้างหน้า อย่างต่อเนื่อง รายงานชุดนี้ประกอบไปด้วยสองส่วนด้วยกัน ในส่วนแรกนี้จะเป็นการนำเสนอตัวอย่างงานทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีในสาขาวิชาต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาเนื่องจากเทคโนโลยีทางการประมวลผลเชิงภาพนี้ พร้อมทั้งได้ยกตัวอย่างอุปกรณ์ และกรรมวิธีที่เหมาะสมกับงานแต่ละอย่างอีกด้วย ส่วนเนื้อหาในส่วนที่สองนี้จะเกี่ยวกับ กับหลักการ และความเข้าใจพื้นฐานของการประมวลผลเชิงภาพเพื่องานทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่มีปัจจัย และขั้นตอน อะไรบางที่ควรให้ความสำคัญ และนำเสนอพิจารณาเพื่อให้การดำเนินงานสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต่อไปในที่สุด

Abstract

This report presents the principle technology of Image Processing, continuously play an important role in our lives in these day. From the reason that these technologies broaden the Human Vision better than before, make us see more things than we have ever seen before. Such as atom, Stars in other Galaxy, Energy levels in Botany researches, and dynamic process easily. So these added more advantages for reserches and developments. The contents of this report consist of two sections. In first section, we presents the example of various fields of scientific applications concerning with image processing. In addition, we gives examples of device and methodology that are suitable for each example kinds of task in image processing. Then, in last section, we provides some of basic concepts and recommended factors for consideration to achieve the image processing tasks.

1.) บทนำ

การประมวลผลเชิงภาพ คือการนำภาพที่ถ่ายได้จากกรรมวิธีต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ คำนวณ และตีความออกมาเป็นข้อมูลที่ต้องการในแต่ละสาขาวิชา (Image Processing for Scientific Applications) ตลอดจนการสร้างปรับแต่งและเปลี่ยนแปลงรูปแบบของภาพใหม่ลักษณะต่างๆ ตามที่ต้องการต่อไปได้ดีขึ้น (Enhancing of Image Formation)

การจับภาพ หรือถ่ายภาพ เพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลเชิงภาพนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ การจับภาพแบบ แอคทีฟ (Active) กับการจับภาพแบบ พาสซีฟ (Passive) ซึ่งการจับภาพแบบ แอคทีฟ นั้นการจับภาพจะอาศัยการส่องแสงส่องสว่างหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ไปยังวัตถุ แล้วใช้เซ็นเซอร์ (Sensor) ตรวจจับการสะท้อนกลับหรือหักเหของแสงหรือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นๆ ส่วนการจับภาพแบบพาสซีฟนั้น จะใช้การตรวจจับการแพร่รังสีหรือการเปล่งแสงที่ออกมากจากวัตถุโดยตรง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นิยมใช้ในการจับภาพนั้นมีอยู่มากหลายหลากรายความถี่ ตั้งแต่ความถี่แสงปกติ ความถี่แสงในแต่ละสี คลื่นความถี่อินฟราเรด อัลตราไวโอเลต ไมโครเวฟ ตลอดจนความถี่ในข่ายของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของงานแต่ละชนิด

Introduction

2.) ตัวอย่างงาน

ตัวอย่างรูปแบบงาน และผลงานทางด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่สำคัญ และเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อพัฒนาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปัจจุบัน ซึ่งทำให้เราสามารถค้นพบความจริงต่างๆ ทางธรรมชาติที่เคยเป็นสิ่งเร้นลับ และไม่สามารถหาคำอธิบายได้มาก่อนในอดีต

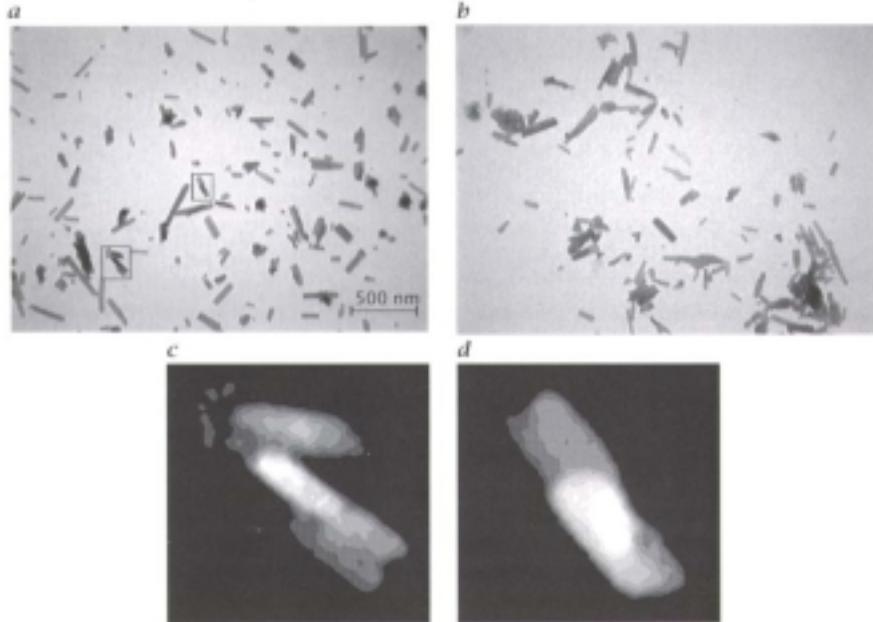
2.1) การวัดเชิงเรขาคณิต เกี่ยวกับการวัดการกระจายตัว การวัดขนาด และการนับจำนวนอนุภาค หรือสิ่งอื่นที่มีขนาดเล็กมากๆ (Geometric Measurement : Gauging & Counting)

2.1.1) การวัดการกระจายขนาดของอนุภาครวงค์ตุ่นในภาพ (Size Distribution of Pigment Particles)

สำหรับงานทางด้านสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับผลงานทางศิลปะ งานกราฟฟิก งานพิมพ์ และการแสกนภาพที่ต้องการความละเอียดสูงมากนั้น การกระจายตัวของอนุภาครองวัตถุหรือเม็ดสีบนชิ้นงานนั้น จะส่งผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติของชิ้นงานเป็นอย่างมาก ซึ่งอนุภาคของเม็ดสีเหล่านี้ก็มีขนาดเล็กมากเกินกว่า ที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงยากที่จะนับและวัดขนาดอนุภาคของเม็ดสีบนชิ้นงานออกมาได้ ดังใน รูปที่ 1

ดังนั้นเพื่อให้สามารถนับและวัดขนาดของแต่ละเม็ดถือกมาได้อย่างชัดเจนนั้น เราจำเป็นจะต้องถ่ายภาพชิ้นงานที่ต้องการนั้นๆ ออกมาราคาหกกล่องๆ ลุกทรรศน์อีกครั้งอีกครั้งก่อน และอาศัยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้ในการวิเคราะห์ผลกระบวนการ และประเมินความพิเศษพิเศษและเสียหายที่เกิดขึ้นกับงาน

- 1.) กำหนดค่าคุณภาพของเม็ดสีที่ช้อนทับกันอยู่
- 2.) จำแนกชั้นของอนุภาคที่ช้อนทับกันอยู่ และแยกออกจากกันเสีย
- 3.) นับจำนวนอนุภาคที่เหลืออยู่ และพิจารณาขนาดของอนุภาคเหล่านั้น
- 4.) คำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคจากภาพในแต่ละชั้น
- 5.) ประเมินผลกระบวนการจากการจับตัวเป็นกลุ่มของเม็ดสี

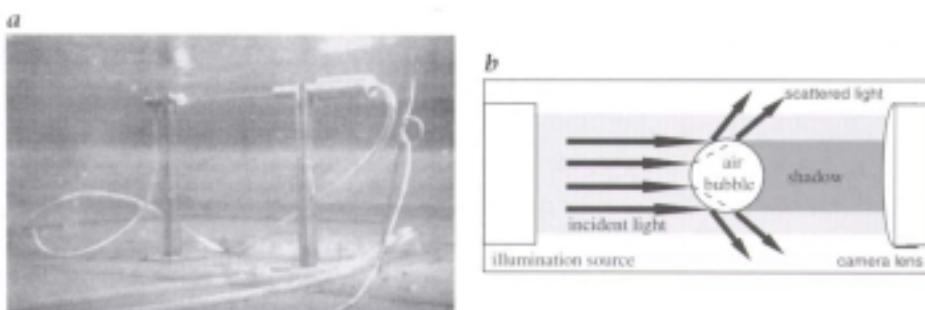


รูปที่ 1 รังควัตุ (เม็ดสี) ที่ถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เด็กตรอนคู่

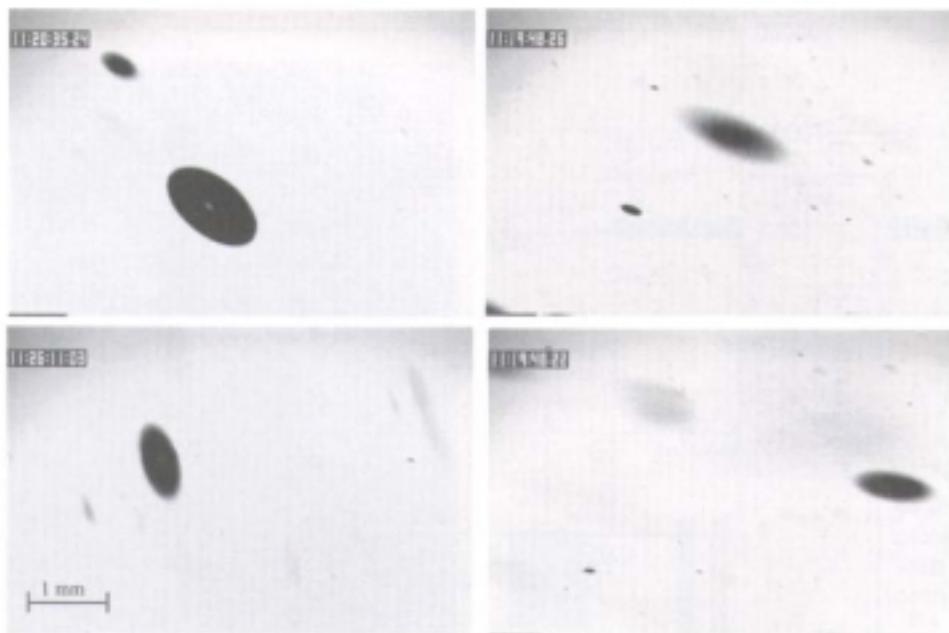
2.1.2) การวัดการกระจายขนาดของฟองกําช (Gas Bubble Size Distributions)

สำหรับงานทางด้านภูมิศาสตร์ และภูมิอากาศทางทะเลนั้น วิธีการวัดในรูปแบบนี้มีความสำคัญ และถูกนำไปใช้อย่างมาก โดยการวัดขนาดและปริมาณฟองกําชเหนือผิวน้ำทะเล แล้วนำมาเทียบกับที่วัดได้ในชั้นบรรยากาศ เพื่อตรวจสอบปริมาณการคาดตัวและคุณสมบัติของห้องทะเลในพื้นที่นั้น นอกจากนี้แล้วในทางวิศวกรรมเคมี ก็ขึ้นนำไปใช้แยกแยะระดับของการเหลวในการทำปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ อีกด้วย

หลักการสำคัญที่ใช้ในกรรมวิธีข้างต้นนี้ จะอาศัยการหักเหของแสงนั้นเอง โดยนำอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่ส่องลำแสงเดเรอร์ขนาดเล็กผ่านเข้าไปในอากาศหรือของเหลวที่ต้องการทดสอบ และนำอุปกรณ์อีกตัวที่ใช้ในการรับแสงมาเป็นตัวจับภาพ ดังตัวอย่างใน รูปที่ 2 เป็นการวัดปริมาตรของฟองกําชใต้ผิวน้ำ ฟองกําชที่ประปนอยู่จะทำให้แสงที่ส่องมาหักเหออกทางส่วนทำให้ปรากฏเป็นเงาลงๆ ของฟองกําช ปรากฏอยู่บนตัวรับภาพ ดังรูปในรูปนี้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจับภาพด้วยกรรมวิธีนี้จะเป็นดังตัวอย่างใน รูปที่ 3



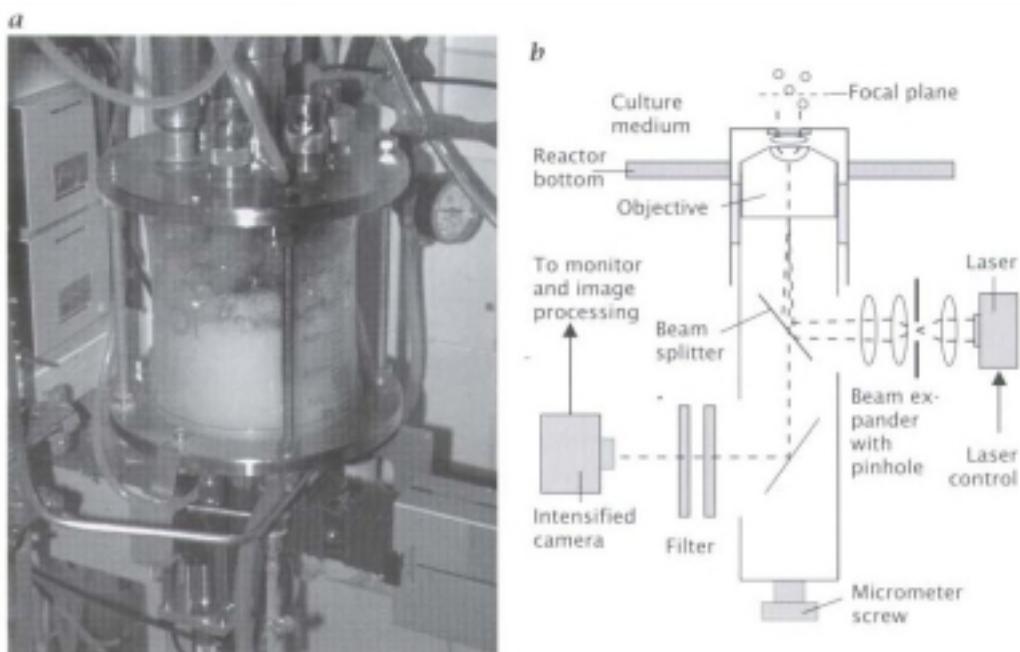
รูปที่ 2 การติดตั้งกล้องจับภาพฟองกําช ใต้ผิวน้ำ



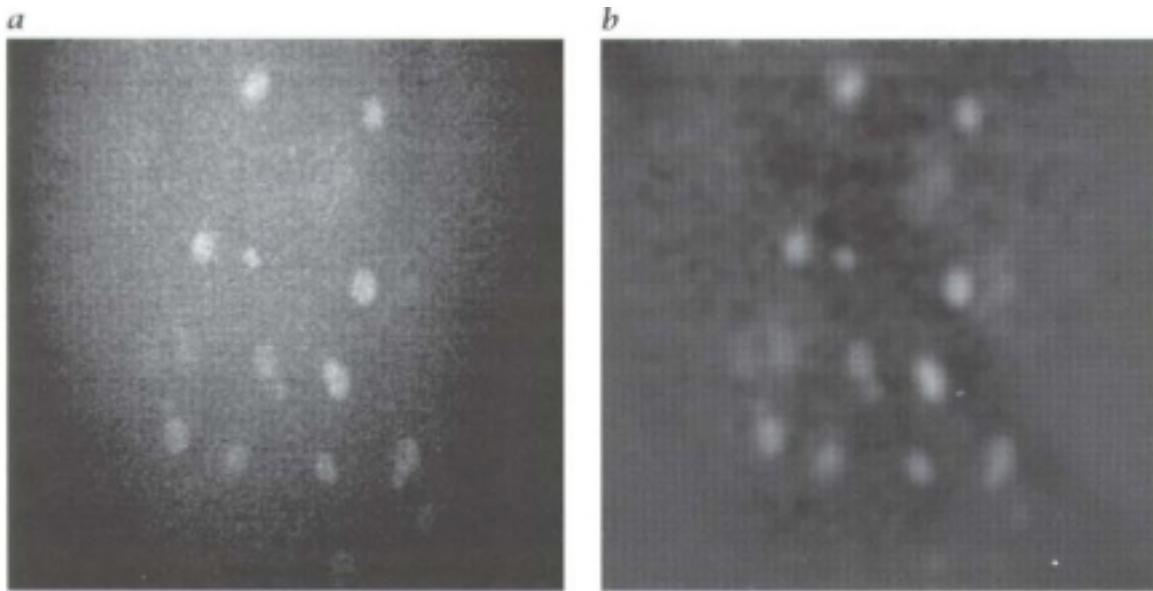
รูปที่ 3 เอกของฟองกําชําติดผิวน้ำ ที่ใช้กล้องใน รูปที่ 2 จับภาพ

2.1.3) การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ในเครื่องทำปฏิกิริยาทางชีวภาพ (In Situ Microscopy of cells in Bioreactors)

แต่เดิมการวัดที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ในเครื่องทำปฏิกิริยาชีวเคมีนั้น ใช้วิธีการที่เรียกว่า “โฟลว์ไซโทเมตري” (Flow Cytometry) ซึ่งมีข้อเสียอยู่ตรงที่ตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดนั้นจะต้องถูกสูบออกจากเครื่องทำปฏิกิริยาซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนและติดเชื้อ ใจหาย วิธีการที่ใช้ในปัจจุบันจึงเปลี่ยนไปเป็นการนำเอาตัววัดไปติดตั้งอยู่กับโครงร่างของเครื่องทำปฏิกิริยาชีวภาพโดย ซึ่งเรียกว่า In situ microscopy ดังที่แสดงเอาไว้ใน รูปที่ 4 ด้านล่างนี้



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ในเครื่องทำปฏิกิริยาทางชีวภาพ



รูปที่ 5 การขับภาพการเรืองแสงของ NADP ในเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยกล้อง *In Situ Microscopy*

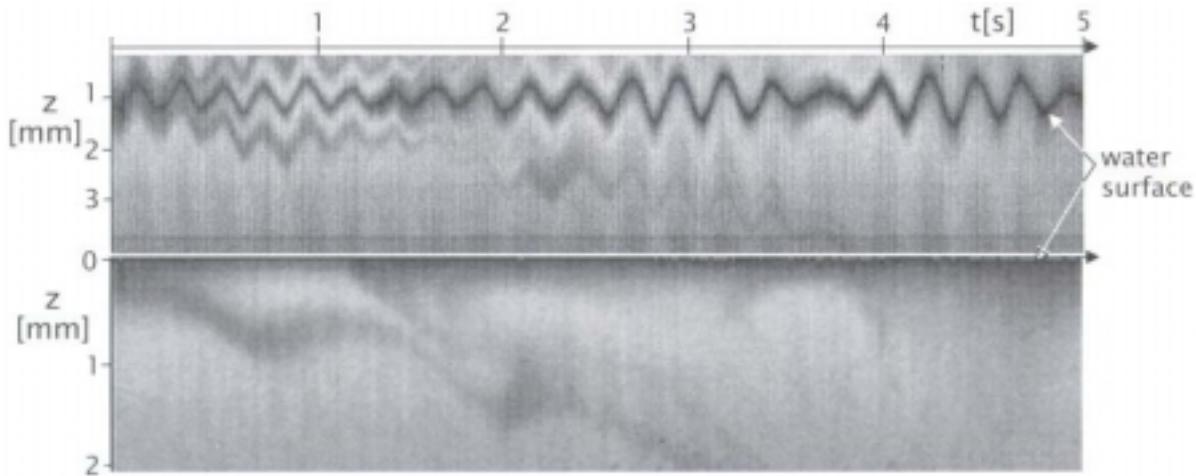
คัวบิวชีการนี้เซลล์จะถูกทำให้มองเห็นได้ โดยการกระตุ้นการเรืองแสงของสารรับส่งไปร่องน้ำที่ใช้ในการสังเคราะห์พลังงาน (NADP : Nicotinamide Adenine Di-nucleotide Phosphate) ของเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยการใช้แสงเลเซอร์ที่เกิดจากไนโตรเจน ซึ่งคัวบิวชีการนี้จะทำให้ความสามารถแยกเซลล์ที่มีชีวิตออกจากเซลล์ที่ตายแล้ว และอนุภาคอื่นๆ ได้ดังในรูปที่ 5 ซึ่งมีปัญหาอยู่ตรงที่แสงที่เรืองของอุบัติจากเซลล์นั้นมีความสว่างต่ำมาก จึงเกิดสัญญาณรบกวน ขึ้นมาได้มากทำให้ภาพเลือนหาย

2.2) การวัดความเข้มของคลื่นพลังงาน (Radiometric Measurement: Revealing the Invisible)

เป็นการถ่ายภาพในรูปแบบที่แตกต่างออกไป คือไม่ใช้รับภาพเข้ามาบังกลองด้วยการใช้แสงสว่างส่องไปยังระบบวัตถุอย่างปกติ แต่จะถ่ายภาพด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่อื่นที่ไม่ใช่ช่วงความของแสง การใช้ตัวอุปกรณ์ที่ตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ต่างๆ เข้ามายึดในการขับภาพการแพทหรือสะท้อนคลื่นรังสีของต่างๆ ของวัตถุนั้น ช่วยให้ความสามารถมองเห็นวัตถุในลักษณะที่เปลกแตกต่างออกไปจากเดิม และสามารถมองเห็นสิ่งต่างๆ ในเชิงคุณสมบัติของเฉพาะในด้านที่ต้องการได้อย่างชัดเจน โดยไม่ต้องอาศัยการคำนวณจากปัจจัยรอบข้างอื่นๆ ที่ยุ่งยากอย่างที่เคยใช้ในอดีตได้อีกด้วย

2.2.1) การวัดการเรืองแสง ในงานที่เกี่ยวกับเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างกําลังของเหลว (Fluorescence Measurement of Air-Water Gas Transfer)

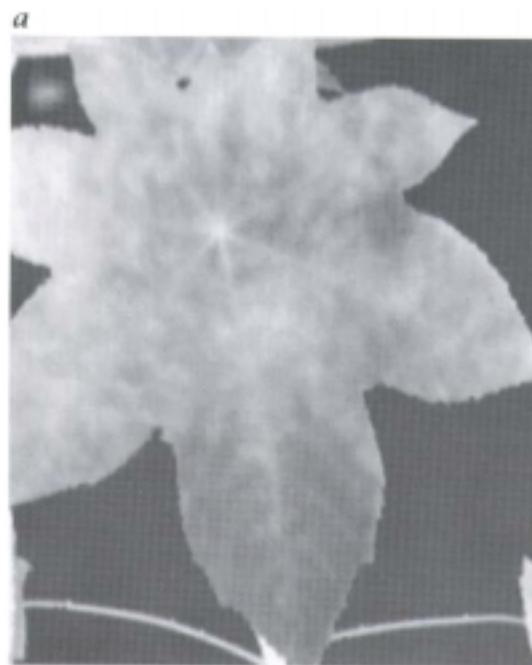
สำหรับงานทางด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ทางเคมี ส่วนใหญ่จะต้องมีการเก็บข้อมูลนี้กับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารออยู่สมอ ในปัจจุบันเราใช้เทคโนโลยีทางคณิตประมวลผลเชิงภาพเพื่อวัดค่าความเข้มข้นของสารในกรณีที่ไม่สามารถนำสารมาทดสอบได้โดยตรง ดังตัวอย่างต่อไปนี้ จะเป็นการแสดงกลไกที่ใช้ศึกษาการแลกเปลี่ยนสารต่างๆ ระหว่างชั้นบรรยากาศเหนือผิวน้ำทะเลกับน้ำในทะเล ที่เรียกว่าผิวน้ำ (Aqueous viscous boundary layer) เพื่อระบุระดับของแพนผิวน้ำในขณะใดก็หนึ่ง ซึ่งชั้นแพนผิวน้ำนี้มีความหนาเพียง 30mm - 300mm เท่านั้น การระบุระดับของแพนผิวน้ำได้นี้ จะอาศัยการวัดหาค่าความเข้มข้นของสารบางชนิดที่ละลายอยู่ในชั้นแพนผิวน้ำนี้ ซึ่งการตรวจสอบในครั้งนี้จะใช้การส่องแสงเลเซอร์จาก LIF (Laser-Induced Fluorescence) ไปยังกําชีวิตรีแอคทีฟ 2 ชนิด คือ HCl (กรดไฮโดรคลอริก) กับ NH_3 และกระบวนการนี้จะมีรายละเอียดที่ซับซ้อนยุ่งยากมากก็ตาม แต่ผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นตรงไปตรงมาและง่ายต่อการนำไปใช้งานมาก เพราะความเข้มของแสงที่วัดจะเปรียบเทียบกับปริมาณกําลังที่ละลายอยู่ในชุดนั้น แทนบางๆ ทั้งที่มีด้วยความเข้มของแสงที่วัด จึงจะสามารถคำนวณค่าความเข้มของสารในชั้นแพนผิวน้ำทะเลออกมายได้อย่างชัดเจนมาก ดังในรูปที่ 6



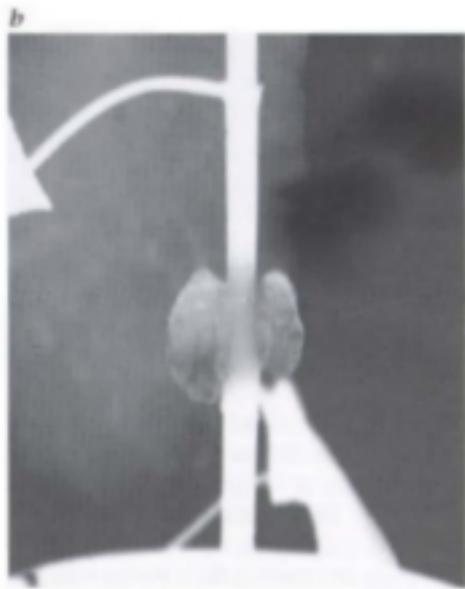
รูปที่ 6 เป็นรูปที่เกี่ยวกับระดับความเข้มของแสงภาคอกมา ซึ่งได้จากการทดลองหาระดับแผ่นพิวน้ำ ณ จุดหนึ่งบนทะเล ในแนวตั้งจากก้นพิวน้ำ โดยทำการทดลองต่อเนื่องกันนาน 5 วินาที การเลื่อนขึ้นๆ ลงๆ ของระดับพิวน้ำที่แสดงในรูปนี้เกิดจากการกระเพื่องของระลอกคลื่นในทะเลนั่นเอง

2.2.2) การจับภาพเชิงความร้อนในงานพุกามาสตร์ (Thermography for Botany)

การนำเอาเทคโนโลยีทางด้านการประมวลผลเชิงภาพ ไปใช้ในงานทางสาขาวิชาพุกามาสตร์ ที่สำคัญ ๆ มีอยู่ด้วยกัน 2 ตัวอย่างคือ การถ่ายภาพความไม่สม่ำเสมอของความร้อนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์อาหารด้วยแสงบันไฟฟ้า (Patchiness of Photosynthesis) ดังในรูปที่ 7 และ การถ่ายภาพซึ่งแสดงจุดที่มีความร้อนต่ำ เนื่องจากกระหายที่ไม่ได้ถูกควบคุมในบริเวณใบเลี้ยงของตอนอ่อนพืช (Uncontrolled Evaporation at Tumor Surface) ดังในรูปที่ 8 ซึ่งทั้งสองงานนี้ใช้หลักการเดียวกัน คือการจับภาพรังสีความร้อนที่เพื่อถูกมาจากการพิชิตกล้องอินฟราเรด ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกรรมวิธีนี้จะออกมาในลักษณะภาพพื้นผิวเชิงความร้อน ดังที่เห็นในรูปทั้งสองนั่นเอง



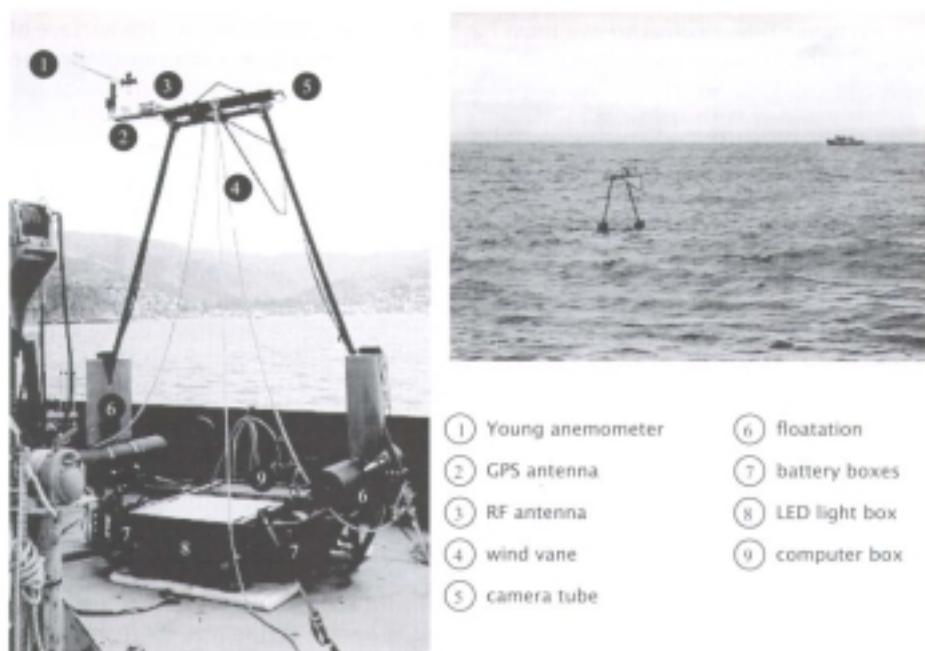
รูปที่ 7 ภาพถ่ายความไม่สม่ำเสมอของความร้อนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์อาหารด้วยแสงบันไฟฟ้า (Patchiness of Photosynthesis)



รูปที่ 8 ภาพถ่ายชี้แสดงจุดที่มีความร้อนต่ำเนื่องจากการระเหยที่ไม่ได้ถูกควบคุมในบริเวณใบเลี้ยงของต้นอ่อนพืช
(Uncontrolled Evaporation at Tumor Surface)

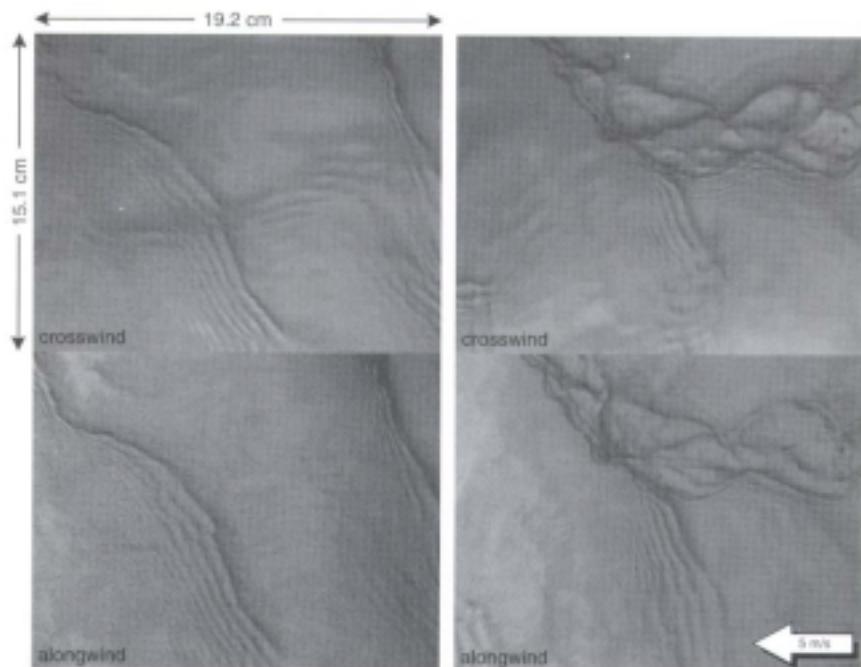
2.2.3) การจับภาพการเคลื่อนที่ของคลื่นลมทะเลและระยะสั้น (Imaging of Short Ocean Wind Waves)

กล้องวิดีโอในการวัดทางแสงมักถูกนำมาใช้ในสภาวะแวดล้อมเชิงปริมาณ เช่น บริเวณผิวน้ำที่สัมผัสนับชั้นบรรยายกาศนั้นก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของสภาวะแวดล้อมเชิงปริมาณ การวัดในลักษณะนี้จริง ๆ แล้วก็เพิ่งจะประสบความสำเร็จและสามารถนำมาใช้ได้เมื่อไม่นานมานี้เอง อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการใช้ในด้านการจำลองสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการวัดอีกด้วย รูปที่ 9 แสดง ทุ่นลอยน้ำ (Wave-riding buoy) ในรูปแบบใหม่ ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการวัดความชันของคลื่นลมทะเลและระยะสั้น โดยเฉพาะ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สำคัญมากตัวอย่างหนึ่งของการนำแสงมาใช้ในการสำรวจสภาวะแวดล้อมเชิงปริมาณ



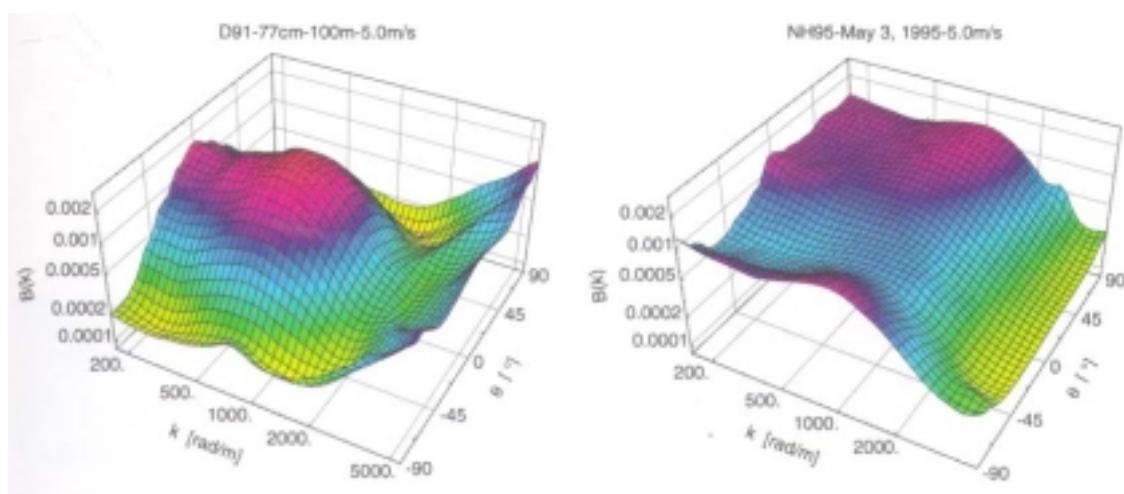
รูปที่ 9 โครงสร้างของเครื่องจับภาพความชันของคลื่นลมทะเลและระยะสั้นที่ประกอบอยู่บนทุ่นลอยน้ำ

จาก รูปที่ 9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจับภาพความชันของคลื่นลมทะกระยะสั้น ซึ่งติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยน้ำนี้ ประกอบด้วย โคมไฟ LED จำนวน 11,000 ตัว ที่มีการจัดเรียงตัวอยู่ในลักษณะที่เป็นอาร์เรย์ 2 มิติ ซึ่งส่องแสงในแนวตั้งหากกัน โดยการเปล่งแสงจากอาร์เรย์ของโคมไฟทั้ง 2 แฉวอกมาเป็นจังหวะ ๆ สลับกันไปนั้น ทำให้สามารถจับภาพของคลื่นพื้นในแนวตามกระแสน้ำและทวนกระแสน้ำพร้อม ๆ กันได้ โดยใช้กล้องเพียงตัวเดียวในการถ่ายภาพที่ได้จะมีลักษณะดังในรูปที่ 10



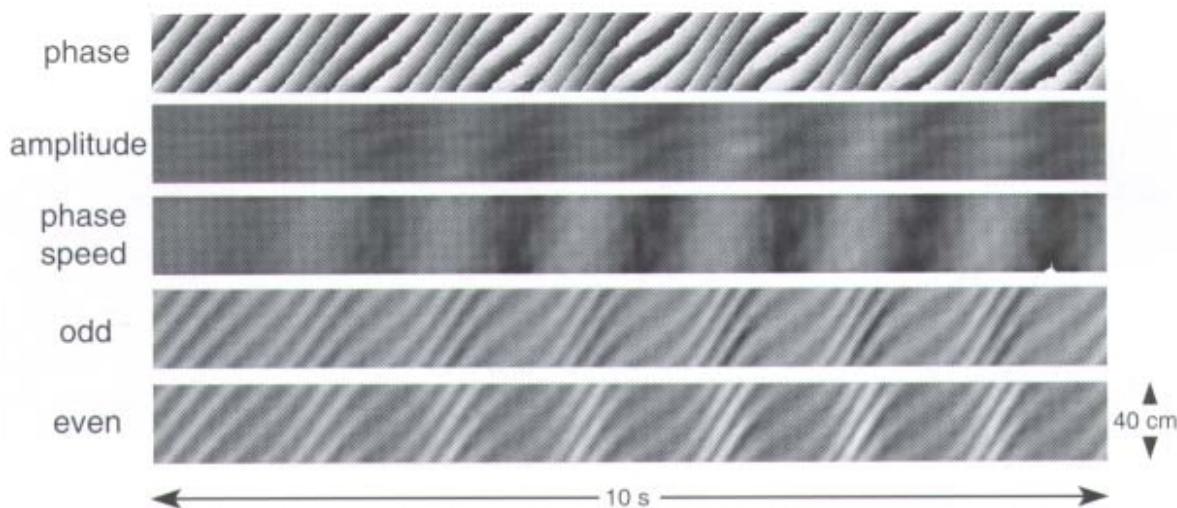
รูปที่ 10 รูปที่ถ่ายโดยเครื่องจับภาพความชันของคลื่นลมทะกระยะสั้นที่ประกอบอยู่บนทุ่นลอยน้ำ

การประเมินความชันของคลื่นทำไว้อ้างจ่ายด้วย โดยการคำนวณ Wave Number Spectrum ในทั้งสองมิติ โดยการใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับ 2-D Fourier Transform ในการวิเคราะห์ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 11 ซึ่งแสดงการกระจายความชันของคลื่นพื้นในแต่ละทิศทาง และตามความยาวคลื่น



รูปที่ 11 ภาพแสดงความชันของระลอกคลื่นที่สร้างขึ้นจากการคำนวณของระบบ Computer Graphics

วิธีการหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อการวิเคราะห์ผลกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างแต่ละระลอกคลื่นนั้น คือวิธีการที่เรียกว่า Hilbert Filter ซึ่งวิธีการนี้จะสังเคราะห์ความสูงของยอดคลื่น(Amplitude) เอาไว้เป็นค่าคงที่ แล้วทำการเลื่อนเฟส (Phase Shifting) ไปข้างหน้า 90° ดังในรูปที่ 12 การเลื่อนเฟสของสัญญาณไป 90° นี้ เป็นการเลื่อนจากสัญญาณเดิมสัญญาณคู่ไปเป็นสัญญาณคี่ ซึ่งทำให้ทั้งความสูงของยอดคลื่นและเฟสสามารถสามารถคำนวณออกมาได้ และเนื่องจากความคลื่นเอียงของความชัดในค่าระดับเสียงในภาพรีมัตตัน ทำให้ความเร็วของเฟสสกัดสามารถคำนวณออกมาได้โดยตรงอีกด้วย ซึ่งเรียกว่า Local Orientation นั่นเอง ซึ่งจะขอละที่มาของวิธีการนี้เอาไว้ เมื่อจากไม่มีความสำคัญต่อเนื้อหามากนัก



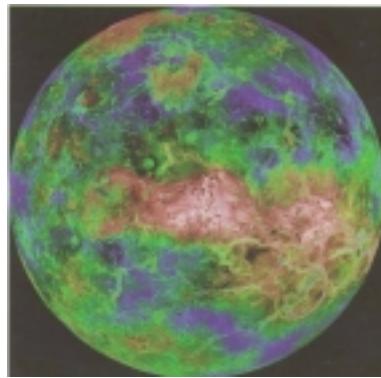
รูปที่ 12 ภาพแสดงการใช้กลวิธีของ Hilbert filtering รวมกับ local orientation ในการวิเคราะห์ระลอกคลื่น

2.2.4 การถ่ายภาพภูมิป่าทราย – ภูมิอากาศของโลกและดวงดาวต่างๆ ด้วยดาวเทียมสำรวจดวงดาว (SAR Imaging for Planetary and Earth Sciences)

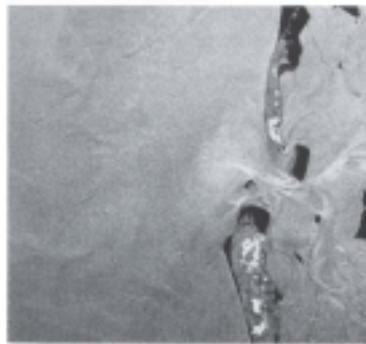
การจับภาพเพื่อใช้กับงานในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ทางกายภาพของโลกและดวงดาว จะอาศัยการถ่ายภาพโดยดาวเทียมในกลุ่ม SAR (Synthetic aperture radar) เป็นสำคัญ ซึ่งดาวเทียมในกลุ่มนี้ จะอาศัยการยิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในท่านความถี่ไมโครเวฟลงไปยังโลกหรือดวงดาวที่ต้องการสำรวจ และรอรับการสะท้อนกลับของคลื่นที่ส่งออกไป งานรับส่งสัญญาณที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม SAR มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงไม่กี่เมตร ซึ่งปกติแล้วจะทำให้ภาพที่ได้มีความละเอียดต่ำ แต่ SAR ใช้กล้องวิชั่นในการจับภาพที่มีขนาดเล็กกว่า ในแต่ละเที่ยวบินที่ SAR เคลื่อนที่ผ่านนั้น SAR จะยิงคลื่นลงไปยังโลกหรือดวงดาว จุดที่ต้องการ เป็นระยะเวลานาน แล้วก็อย่าเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเรื่อย ๆ นั่น ก็จะรอรับสัญญาณสะท้อนกลับมาไปพร้อม ๆ กันไปด้วย ทำให้มีความสามารถในการสร้างภาพที่มีความละเอียดสูงกว่าปกติขึ้นมาใหม่ ไฉน เมื่อนักวิจัยรับสัญญาณขนาดใหญ่นั่นเอง

คุณสมบัติที่น่าสนใจของการขับภาควายคลีนไมโครเวฟบนเครื่องความเที่ยมนั้นก็คือ ความสามารถในการทะลุผ่านห้องอาหารอันหนาทึบได้เป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จาก รูปที่ 13 ซึ่งเป็นรูปถ่ายสภาพพื้นผิวด้านในของภาชนะที่มีชั้นบรรยายการหดหักหนาทึบปกคลุมอยู่ จึงมองเห็นเหมือนเป็นดวงดาวสีขาวสมอ กันตลอดทั้งดวงอยู่บนห้องฟ้า และทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพพื้นผิวด้านในได้ชัดเจนอย่างที่ต้องการ

ภาพในหน้าตัดไปเป็นภาพที่เกิดจากการนำเอาภาพถ่ายทางอากาศ ที่มีความละเอียดอยู่ในขนาด 100×100 ตารางเมตร จำนวนมาก ที่ถ่ายจากความที่อยู่ในกลุ่ม SAR จำนวนหลายสิบตัว มาต่อเข้าด้วยกัน

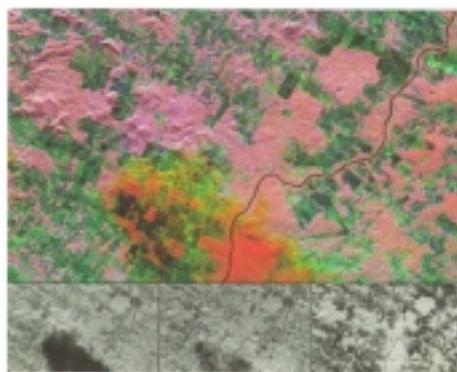


รูปที่ 13 ภาพถ่ายทางอากาศของดาววินสต์ที่ถ่ายโดยดาวเทียม SAR ดวงหนึ่ง



รูปที่ 14 ตัวอย่างภาพถ่ายทางทะเลโดยดาวเทียม SEASAT

รูปที่ 14 เป็นภาพถ่ายทางทะเลที่มีข้อเสียมากในอดีตถูกถ่ายขึ้นในปี ค.ศ. 1978 และใช้ระยะเวลาในการถ่ายนานถึง 3 เดือนติดต่อกัน โดยใช้ดาวเทียม SEASAT ซึ่งเป็นดาวเทียมประเภท SAR ตัวแรกของโลก

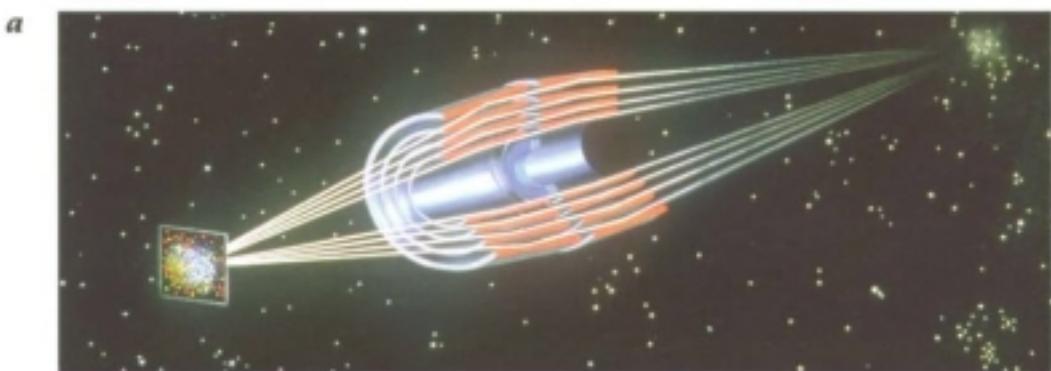


รูปที่ 15 ภาพถ่ายหลายความถี่ (Multi-Frequency image) ของดาวเทียม SAR

ภาพถ่ายหลายความถี่ (Multi-Frequency image) ที่ได้จากการรวมตัวกันของภาพ 3 ภาพเล็กทางด้านล่างของรูปที่ 15 นี้ ถ่ายโดยเรดาร์ 3 ตัว ซึ่งติดตั้งอยู่บนดาวเทียม SAR ดวงหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงผลภาพที่ถ่ายออกมายให้เป็นภาพสีได้ โดยแต่ละสี จะแทนข้อมูลที่มีความหมายแตกต่างกันไป เนื่องจากแต่ละความถี่ที่ใช้ในการสำรวจนั้น จะได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางธรรมชาติที่แตกต่างกันออกไป บางความถี่จะได้รับผลกระทบโดยตรงจากสายฝนที่ตกอยู่บนพื้นที่นั้น ในขณะที่ อีกความถี่หนึ่งอาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ หรือรังสีคосมิก (Cosmic) มากกว่า เป็นต้น 3 ภาพเล็กที่อยู่ข้างใต้ภาพใหญ่เป็นภาพก่อนนำมารวมกัน ซึ่งถ่ายโดยเรดาร์คันละตัว ทางด้านซ้ายเป็นภาพที่ถ่ายด้วยเรดาร์ที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ X-Band ภาพกลางถ่ายด้วยเรดาร์ที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ C-Band ส่วนภาพทางขวาเมื่อสูดถ่ายด้วยเรดาร์ที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ L-Band

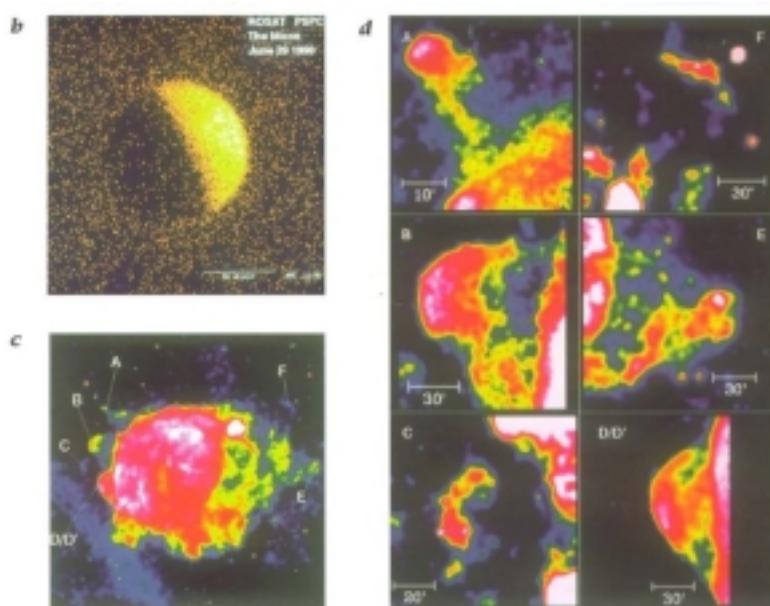
2.2.5) การจับภาพรังสีเอ็กซ์ทางด้านดาราศาสตร์ โดยใช้ดาวเทียมสำรวจอวกาศโรแต (X-Ray Astronomy with ROSAT)

จากการค้นพบของ Konrad W. Roentgen ทำให้มีการนำเอารังสีเอ็กซ์ เข้ามาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในงานทางด้านการแพทย์ งานทางด้านวิทยาศาสตร์ และทางด้านเทคโนโลยีอื่น ๆ อีกมากน้อย การจับภาพจากแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ออกมามาได้นั้นจำเป็นจะต้องมีตัวจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่รังสีเอ็กซ์ อย่างไรก็ตาม มีเพียงวิธีการเดียวเท่านั้นที่จะสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ส่องดูความడิค์กีของการทำให้รังสี หรือแสงที่ได้รับเข้ามาเฉียดผิวกระจากกระออกไปเป็นมุมกว้างๆ เพื่อทำการขยายภาพที่ตัดกระหบลลงบนจอรับภาพให้กว้างขึ้น หรือที่เรียกว่าวิธี Grazing incident ซึ่งตัวอย่างกล้องโทรทรรศน์ที่อาศัยหลักการนี้ได้แก่กล้องโทรทรรศน์ของ Wolters ซึ่งได้ถูกนำมาใช้สำรวจอวกาศตั้งแต่เดือนมิถุนายน ปี ค.ศ. 1990 แล้ว ใน รูปที่ 16 เป็นรูปแสดงโครงสร้างหลักของกล้องโทรทรรศน์ในลักษณะนี้



รูปที่ 16 โครงสร้างหลักของกล้องโทรทรรศน์ Wolters

รูปที่ 17 นี้เป็นรูปที่แสดงภาพถ่ายด้านล่างนี้เป็นตัวอย่างภาพที่จับได้ด้วยกล้องโทรทรรศน์รังสีเอ็กซ์ที่ชื่อ ROSAT ของประเทศไทยมันนี้ โดยในภาพแรก(ภาพ b) เป็นภาพของดวงจันทร์ ส่วนภาพ c และภาพ d เป็นภาพของการระเบิดของดวงดาว (Supernova) ที่อยู่ในหมู่ดาวเวลา (Vela Constellation) ที่อยู่ห่างออกไปถึง 1,500 ปีแสง และมีรัศมีความกว้างของการระเบิดถึง 200 ปีแสงอีกด้วย



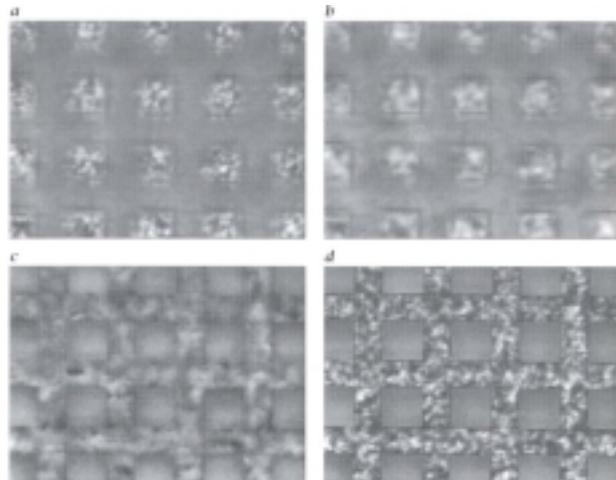
รูปที่ 17 ตัวอย่างภาพที่จับได้ด้วยกล้องโทรทรรศน์รังสีเอ็กซ์ที่ชื่อ ROSAT ของประเทศไทยมันนี้

2.3) การวัดระดับความลึกของภาพ (Depth Measurement : Exploring 3-D Space)

กรรมวิธีในการจับภาพในอดีต มักนิยมการถ่ายภาพลงบนกระดาษจับภาพ ซึ่งทำให้สูญเสียรายละเอียดของข้อมูลเกี่ยวกับความลึกของภาพไป กรรมวิธีในการจับภาพยุคใหม่ที่ประกอบเข้ากับกระบวนการประมวลผลเชิงภาพ ได้ขยายขีดความสามารถในการจับภาพสามมิติ ไม่ว่าจะเป็นการเรียกคืนข้อมูลเชิงความลึกกลับของมาจากภาพถ่ายสองมิติ ทั่วไป (3-D Image Reconstruction) หรือการถ่ายภาพเชิงสามมิติอย่างแท้จริงของมากีต้ามอย่างเช่นระบบที่เรียกว่าโลกความจริงเสมือน (VR : Virtual Reality)

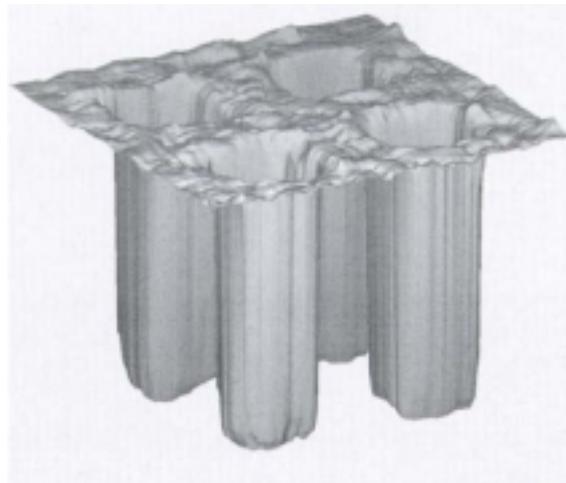
2.3.1) การสำรวจสภาพพื้นผิวภายนอกด้วยแสง (Optical Surface Profiling)

การวัดสภาพพื้นผิวภายนอกทางกายภาพนั้น มีความคล้ายคลึงกับการสำรวจภูมิประเทศของโลก และดวงดาวอยู่บ้าง แต่ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างงานทั้ง 2 ชนิดนี้ก็คือ การวัดสภาพพื้นผิวภายนอกนี้จะกระทำกับวัตถุ ที่มีขนาดเล็ก ไม่ใช่พื้นที่อันกว้างใหญ่ ดังนั้นการวัดในด้านนี้จึงจำเป็นที่จะต้องกระทำการวัดที่มีความละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ ตัวอย่างดังไปนี่ผลงานที่เกิดจากการรวมวิธีใหม่ที่นำเสนอโดยนาย Scheuermann et al. ในปี ค.ศ. 1995 การนำเทคโนโลยีทางการประมวลผลเชิงภาพเข้ามาใช้ประกอบกับกล้องจุลทรรศน์ชนิดใหม่ที่เรียกว่าคอนฟอยล์ (Confocal Microscopy) ซึ่งแนวคิดนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า เมื่อเราสามารถใช้การเลื่อนตำแหน่งของระนาบรวมแสง (Focal Plane) เพื่อจับภาพในระนาบต่างๆ ได้ เราจะสามารถนำอากรเลื่อนที่ของระนาบรวมแสงในระนาบต่างๆ นี้ มารวมรวมเป็นสติ๊กิเพื่อใช้คำนวณหาระดับความลึกของพื้นผิวต่ำๆ หรือชั้นงานต่อไปได้ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการคาดคะเนใน การตรวจสอบสภาพพื้นผิวอย่างที่เคยนิยมใช้กันมาก่อนแต่อย่างใด ข้อได้เปรียบของวิธีการนี้อยู่ตรงที่ เราสามารถนำอากรรวมวิธีนี้ไปใช้กับการวัดระดับพื้นผิวต่ำๆ ได้ ก็ได้ที่ไม่สามารถวัดคุณภาพเชิงแสงเดลเซอร์ตามปกติ นอกจากนี้แล้ว เมื่อเราไม่ได้ใช้การคาดคะเนใน การตรวจสอบสภาพพื้นผิวแล้ว ดังนั้นวัตถุที่นำมาใช้จึงไม่จำเป็นที่จะต้องมี ลวดลายต่างๆ ที่เหมาะสมกับการตรวจจับคุณภาพแสงเดลเซอร์แต่อย่างใด เรายังสามารถนำอากรรวมวิธีนี้ไปใช้ ในการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของวัตถุที่มีผิวเรียบ หรือไม่มีลวดลายใดๆ เลยก็ได้ เพราะการวัดระดับความลึกของพื้นผิว จะอาศัยเพียงการเลื่อนเข้าหรือออกของระนาบรวมแสงแล้วคุ้ว่าชัดหรือไม่เท่านั้น ภาพที่จุดได้ชัดก็แสดงว่าระนาบรวมแสง ได้เลื่อนไปยังระนาบที่แทนความลึกของบริเวณนั้นอยู่พอดี ส่วนภาพในจุดใดที่ยังไม่คุ้มชดมากเท่าได ก็แสดงว่าขึ้นอยู่ห่างจาก ระนาบรวมแสงเพียงเล็กน้อยมาก เช่นกัน แล้วนำมาคำนวณเปรียบเทียบอัตราส่วนต่อไปก็จะได้รับ ความลึกที่แท้จริงของพื้นผิวต่ำๆ ในระดับต่างๆ ของมาในที่สุด ภาพข้างล่างนี้เป็นตัวอย่างการถ่ายภาพโดยกล้องไป เดื่อนระยะของระนาบรวมแสงให้เพียงลึกลงไปยังระดับความลึกที่แตกต่างกันจากผิวต่ำๆ ไป



รูปที่ 18 ภาพที่ถ่ายได้จากการเลื่อนระนาบรวมแสงของกล้องวิดีโอที่ตั้งไว้

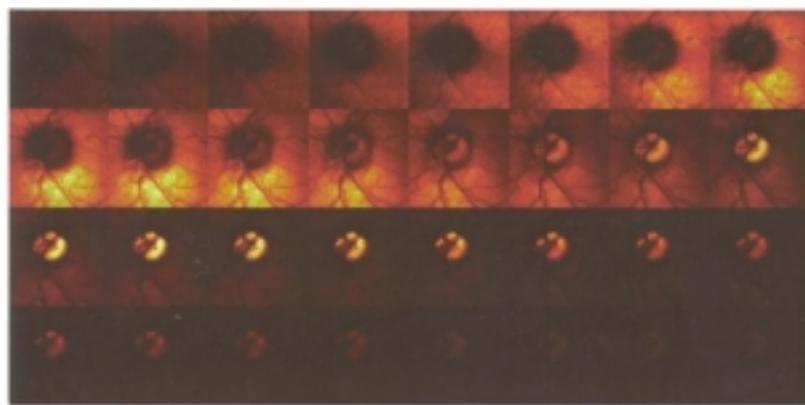
ในรูปที่ 18 นี้ ภาพ a) เป็นการจับภาพที่ความสูง 16 μm จากพื้นหลุม, ภาพ b) เป็นการจับภาพที่ความสูง 160 μm จากพื้นหลุม, ภาพ c) เป็นการจับภาพที่ความสูง 480 μm จากพื้นหลุม, และภาพ d) เป็นการจับภาพที่ความสูง 620 μm จากพื้นหลุมซึ่งอยู่ที่ระดับปากหลุมพอดี



รูปที่ 19 ภาพเค้าโครงพื้นผิวสามมิติ ที่ร่างขึ้นมาจากระบบประมวลผลเชิงภาพควยคอมพิวเตอร์
เมื่อเราได้นำเอาภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบบล็อกไฟฟ้าอยู่ในระบบความลึกต่างๆ มารวบรวมเป็นสิ่งเดียว เมื่อผ่านกระบวนการทางการประมวลผลภาพด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางค้าน การสร้างภาพสามมิติตัวหนึ่งแล้ว เราจะได้ภาพเค้าโครงพื้นผิวของวัตถุในเชิงสามมิติออกมาดังรูปที่ 19 นั่นเอง

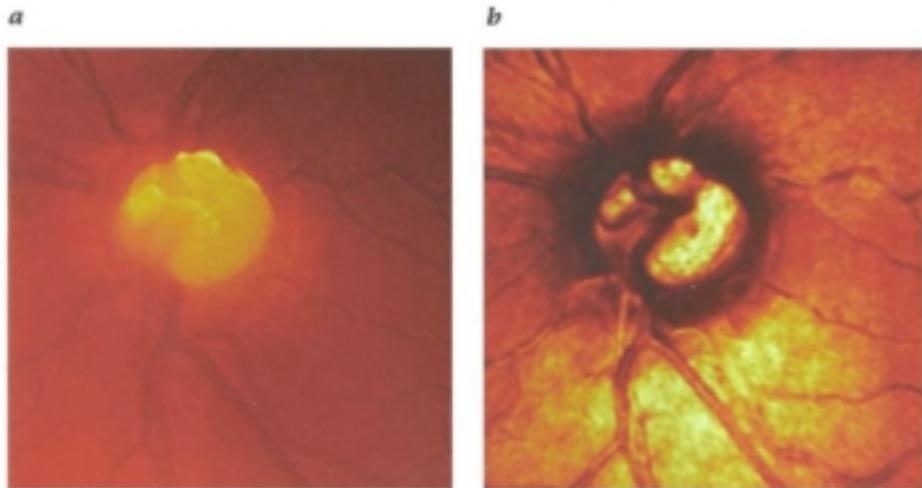
2.3.2) การถ่ายภาพสามมิติของประสาทตา (3-D Retina Imaging)

ต่อมา เมื่อเทคโนโลยีการจับภาพในกล้องจุลทรรศน์ได้รับการพัฒนาขึ้นมา จนสามารถนำแสงเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้กับหลักการจับภาพแบบบล็อกไฟฟ้าอยู่ในตัวอย่างที่แล้วได้ ในปัจจุบันจึงสามารถสร้างภาพสามมิติจริงๆ ที่เกิดจากการซ่อนรวมกันของภาพสองมิติจำนวนหลายชั้น (ดังในรูปที่ 20) ขึ้นมาได้โดยใช้โน้ตและแสงเงาที่คอมพิวเตอร์จะคำนวณจัดเรียงเป็นตัวอย่างของภาพที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ต่อวงการแพทย์เป็นอย่างมากรูปหนึ่ง



รูปที่ 20 ภาพเค้าโครงพื้นผิวสามมิติ ที่ร่างขึ้นมาจากระบบประมวลผลเชิงภาพควยคอมพิวเตอร์

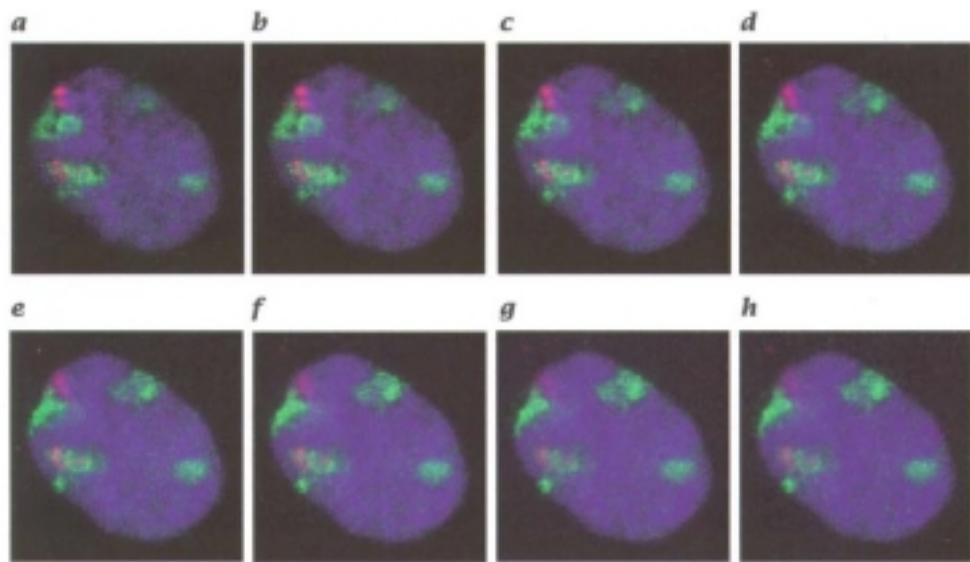
ในรูปที่ 21 นี้ เป็นภาพสามมิติที่แสดงรายละเอียดของประสาทตามนูนย์ ได้อย่างชัดเจนมาก โดยภาพทางซ้าย เป็นการสร้างภาพโดยอาศัยกลิวิชีที่เรียกว่าแพนท์ความลึก (Depth Map) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการเก็บภาพแบบบล็อกไฟฟ้าอยู่ในตัวอย่างที่ผ่านมาด้วยเซ็นเซอร์ ในตัวอย่างนี้ กำหนดให้แพนท์ความลึกเป็นแบบที่ให้แสงของภาพในระดับที่มีความลึกมากกว่ามีความลึกน้อยกว่า ไม่เหลือกันเดียว แสดงถึงความส่วนสูงของภาพในระดับพื้นผิวปกติ ภาพที่ได้ออกมาจึงดูเหมือนกับว่า มีแหล่งกำเนิดแสงสองอันมาจากภายใน ส่วนภาพทางขวาสร้างขึ้นโดยอาศัยการรวมกันของคุณสมบัติการสะท้อนแสงในแต่ละระดับความลึกด้วยซึ่งเป็นกลิวิชีใหม่ที่นำมาใช้กับกล้องจุลทรรศน์เลเซอร์แบบบล็อกไฟฟ้าอยู่นั่นเอง ภาพที่ได้แม้ว่าจะแสดงรายละเอียดของความลึกออกมากได้ไม่เต็มที่ แต่ก็เป็นวิธีที่ดีที่สุดในขณะนี้ เนื่องจากสามารถแสดงรายละเอียดขององค์ประกอบทุกจุดบนภาพออกมาได้อย่างครบถ้วนและชัดเจนมาก



รูปที่ 21 ภาพสามมิติของขอบเขตของนิวเคลียสที่สร้างขึ้นมาโดยกระบวนการประมวลผลเชิงภาพ ภาพ a) เป็นการใช้แพนที่ความลึก ภาพ b) เป็นการซ่อนรวมคุณสมบัติการสะท้อนแสงของแต่ละองค์ประกอบในภาพ

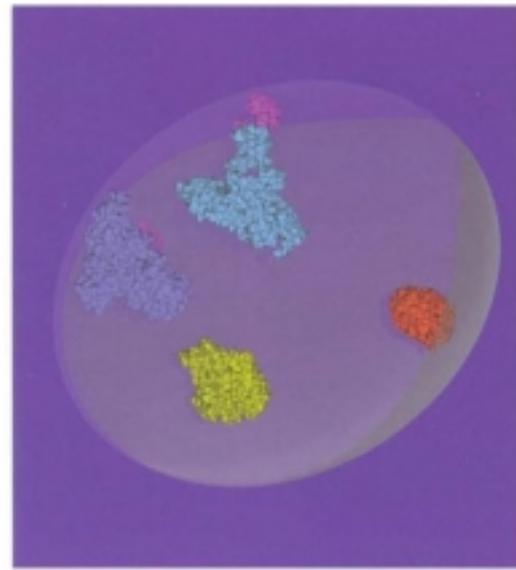
2.3.3) การวัดการกระจายตัวของโครโมโซมในเซลล์ (Distribution of Chromosomes in Cell Nuclei)

งานนี้เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่สำคัญมากของการนำแนวความคิดในการจับภาพแบบคอนฟอยล์เพื่อให้ช่วยลดล้างสมมติฐานเดิม บางอย่างที่เคยพิสูจน์ได้ในรูปที่ 22 นี้ผลงานทางการประมวลผลเชิงภาพนี้หนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นตัวการในการปฏิวัติแนวความคิดเกี่ยวกับทฤษฎีโครโมโซมได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 22 ภาพถ่ายของขอบเขตของนิวเคลียสที่ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนฟอยล์ ภาพโดยแต่ละภาพจะมีความลึกมากขึ้นจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง

ถึงแม้ว่าภาพที่ได้ในรูปที่ 22 นี้จะบังมีปัญหาอยู่บ้างในเรื่องของโครงสร้างข้อที่ของแต่ละองค์ประกอบนั้นไม่ชัดเจนเนื่องจากแต่ละองค์ประกอบในเซลล์นั้นเกิดจากสารเคมีที่มีครอมบัสติเดกต่างกันไป แต่ด้วยการแยกส่วนขององค์ประกอบข้อห้องมาแล้วอย่าง ทำการเก็บภาพขององค์ประกอบข้อห้องนั้นด้วยการจัดปัจจัยที่เหมาะสมในการวัด แล้วนำมาผ่านกระบวนการทางด้านการประมวลผลเชิงภาพที่ซับซ้อนและซุ่มยากอีกเล็กน้อย ก็จะสามารถร่างภาพขององค์ประกอบอย่างเหล่านี้ออกมายได้แม้ว่าจะไม่ใช่ภาพสามมิติที่แท้จริง แต่ก็สามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะขององค์ประกอบเหล่านั้นออกมาได้อย่างสมบูรณ์ในที่สุด ดังในรูปที่ 23

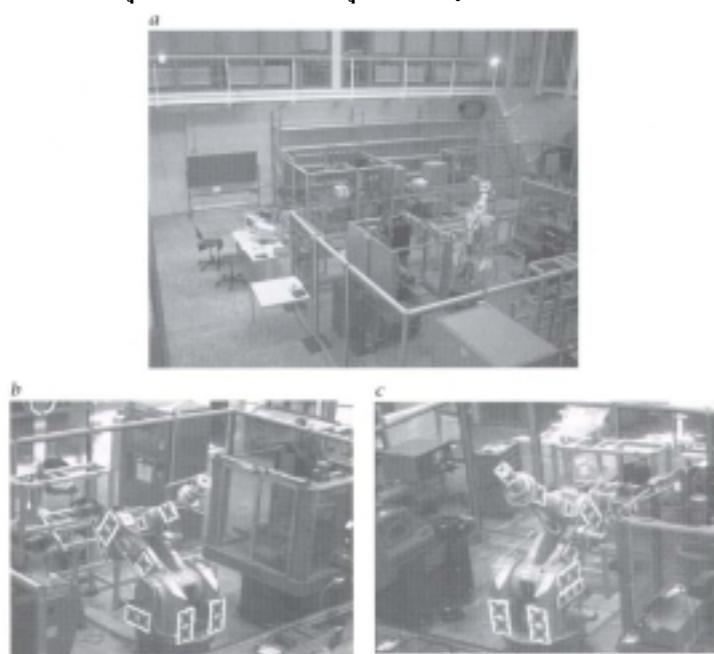


รูปที่ 23 ภาพสามมิติของ โครโน่ โซนในเซลล์นุ่มย์ที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการออกแบบของไฟคอลร่วมกับกลวิธีการประมวลผลเชิงภาพ

2.4) การวัดระดับความเร็ว (Velocity Measurement : Exploring Dynamic Processes)

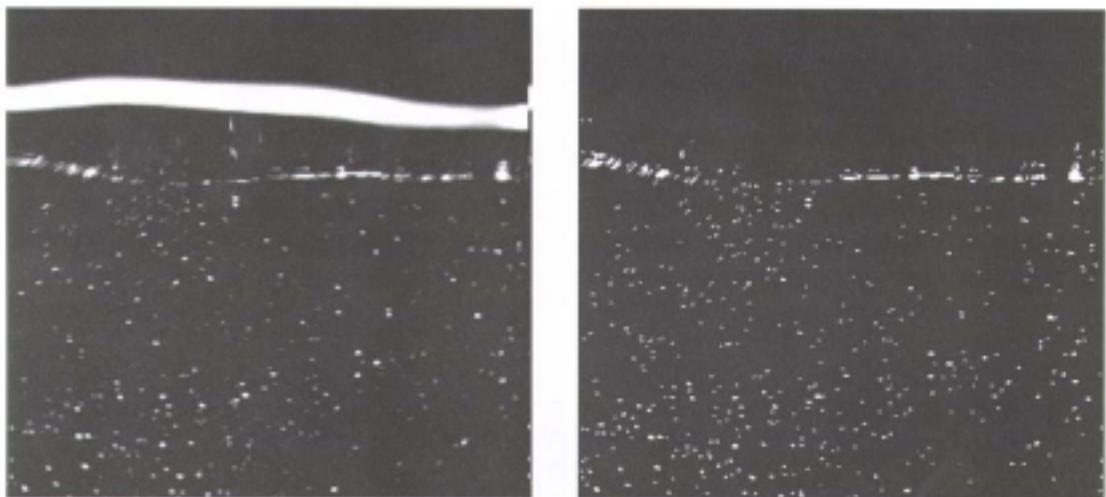
การเปลี่ยนแปลงเป็นประกายภารณ์ที่เกิดขึ้นอยู่เสมอในโลกแห่งวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การถ่ายทอดความปักดิ์ที่เป็นอยู่จริงไม่มีความสามารถเพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการทางเทคโนโลยีในปัจจุบันได้ เทคนิคการถ่ายภาพเคลื่อนไหวจึงได้อีกหนึ่งมิติที่สำคัญ สำหรับการจับภาพการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆ ความคุณภาพเคลื่อนที่ เคลื่อนไหวของวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องจักร การติดตามการเคลื่อนไหวของสิ่งต่างๆ เป็นต้น โดยมักใช้กรรมวิธีในการดำเนินกับเฟรมของภาพนิ่งต่างๆ เป็นหลัก

2.4.1) การวัดและควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ (Dynamic Calibration of Robots)



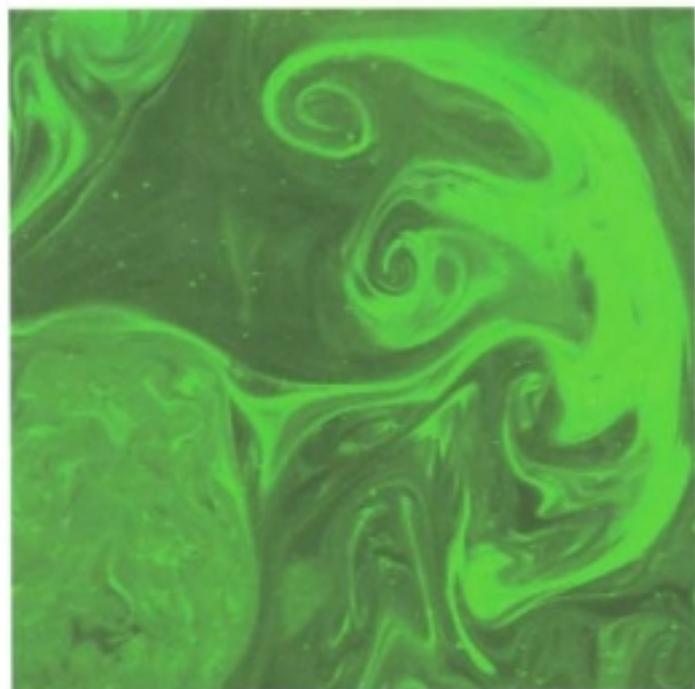
รูปที่ 24 ภาพตัวอย่างหุ่นยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการติดตั้งระบบปรับแต่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Dynamic Calibration System) เอาไว้

2.4.2) การติดตามความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Particle Tracking Velocimetry)

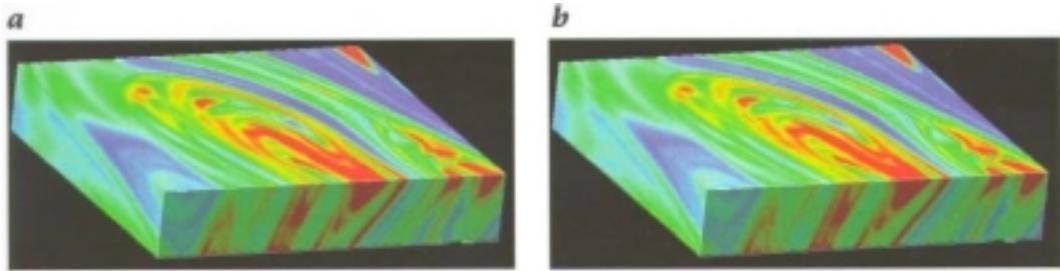


รูปที่ 25 ตัวอย่างการจับภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาค

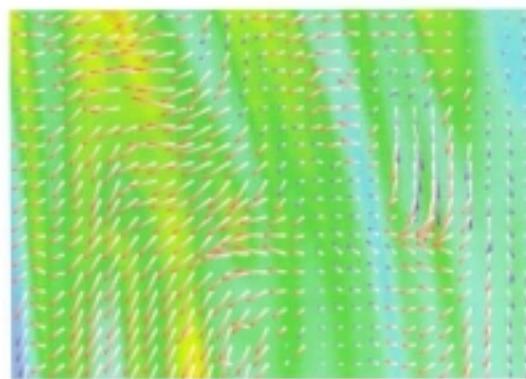
2.4.3) การสร้างภาพตัดขวางของไหลใน 3 มิติ (3-D Flow Tomography)



รูปที่ 26 ภาพแสดงการไหลของของเหลวที่พัฒนาระบีองแสงลงไปเพื่อช่วยในการตรวจจับทิศทางการไหลเวียน



รูปที่ 27 รูปแสดงภาพตัดขวางของการไฟล์ใน 3 มิติ



รูปที่ 28 รูปแสดงการพิจารณาพื้นที่ที่มนวนของ ของไฟล์ โดยใช้เทคนิค least-squares matching

Basic Concepts

3.) พื้นฐานของการประมวลผลภาพแบบดิจิตอล

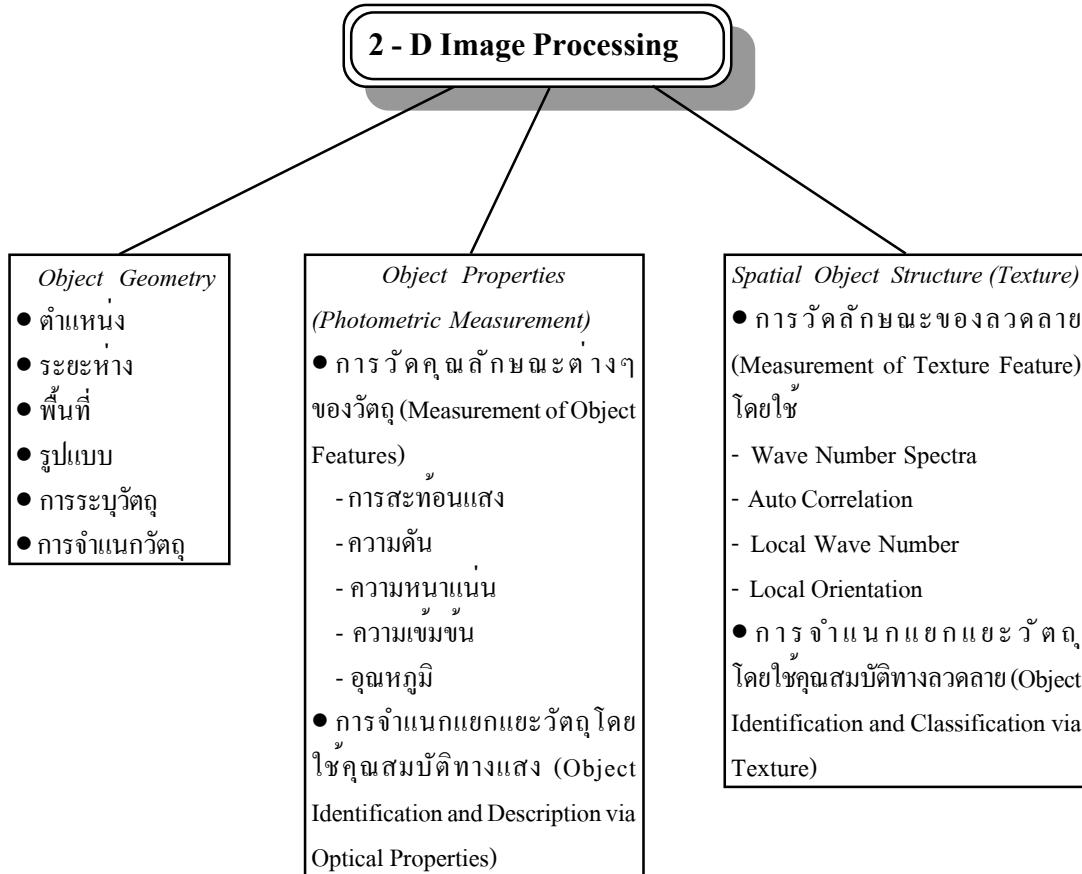
งานทางด้านการวัดและประมวลผลภาพแบบดิจิตอลนั้น เป็นพัฒนามาจาก การวัดโดยใช้ คลื่นเสียง ต่อมาก็เริ่มนี การนำคลื่นแสง คลื่นรังสีฟลังงาน และคลื่นของอนุภาคต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในที่สุด ประดิ่นสำคัญที่่นำใจเกี่ยวกับงานวัด ในด้านนี้คือ ความแตกต่างระหว่าง การมองเห็นของมนุษย์ กับการมองเห็นของเครื่อง (Human Vision vs Machine Vision)

จุดประสงค์หลักของการประมวลผลเชิงภาพในงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Image Processing for Scientific & Technique Applications) คือการนำเอารูปที่ได้จากการวัดต่อไป ให้สามารถจับภาพ (Imaging System) ซึ่งจะทำหน้าที่รับร่วมรังสีต่างๆ ที่ได้จากการวัด ให้สามารถใช้สร้างภาพในแบบต่างๆ ตามที่ต้องการศึกษาในเบื้องต้น ขึ้นมาให้ได้ก่อน หลังจากนั้นกระบวนการประมวลผลเชิงภาพทั้งหลายที่ได้เลือกขึ้นมาใช้ให้เหมาะสมกับงานนั้น ก็จะช่วยขยายขีดความสามารถของ การวัดในมุมมองของสาขาวิชาต่างๆ ตามที่ต้องการต่อไปได้ในที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ ที่ได้จากการวัดนั้น จะมีประสิทธิภาพและรายละเอียดที่เหนือกว่าการวัดเชิงบุคคล หรือเชิงตำแหน่ง เป็นอย่างมาก นี่เองจึงไม่เพียงแค่ช่องทางระหว่างอนุภาคเล็กๆ เท่านั้นที่สามารถตรวจจับและนำมายังเครื่องที่ได้ (ดังตัวอย่างของการนำไปใช้ในงานวัดเชิงเรขาคณิตที่เกี่ยวกับขนาดและจำนวน) รูปร่างของวัตถุในเชิงความร้อนก็ยังสามารถนำมาใช้งานโดยกระบวนการประมวลผลเชิงภาพในบางรูปแบบได้อีกด้วย ดังตัวอย่างการจับภาพเชิงความร้อนในงานด้านพุกามศาสตร์เป็นต้น

ในรูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงรายละเอียดและระบบในการจำแนกคุณลักษณะต่างๆ ที่ดึงออกมาได้จากข้อมูลของภาพ ซึ่งในขั้นแรกนั้น เราได้ทำการแบ่งชนิดของภาพออกเป็น 3 ระบบ ก่อนคือ

1. ระบบภาพ 2 มิติ
2. ระบบภาพ 3 มิติ
3. ระบบภาพเคลื่อนไหว

➤ ระบบภาพ 2 มิติ



รูปที่ 29 แผนภาพแสดงรายละเอียดของระบบภาพ 2 มิติ

ในระบบภาพ 2 มิตินั้น เราสามารถแบ่งรูปแบบของการวัดออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ การวัดเชิงเรขาคณิต (Geometry), การวัดเชิงเทียบแสง (Photometry), และการวัดเชิงลวดลาย (Spatial Structure / Texture)

ในกรณีง่ายๆ ของการวัดทั่วไปนั้น ต้องการแค่เพียง ขนาด ตำแหน่ง และรูปแบบของวัตถุเท่านั้น จากนั้น ระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่องสว่าง - เรืองแสง กับระบบที่เกี่ยวข้องกับการจัดตั้งชุดอุปกรณ์จับภาพก็ถูกยกไปแล้ว ที่ต้องการตามมา เป็นอย่างมาก ทำให้อายุหามาสั้นๆ จึงสามารถทำให้วัตถุหรือจุดที่สนใจ มีความแตกต่างจากพื้นหลังขึ้นมาได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะช่วยทำให้งานง่ายขึ้นมาได้อีกมาก

ในกรณีของงานวัดเชิงเทียบแสงนั้น ก็กำลังเป็นที่สนใจมากขึ้น เนื่องจากการส่องแสงสว่าง ลงบนระบบของภาพ(หรือวัตถุ)นั้น จะช่วยทำให้เห็นคุณลักษณะทางการสะท้อนแสงของวัตถุนั้นๆ ขึ้นมาได้อย่างชัดเจน โดยไม่ขึ้นกับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ รอบข้าง กล่าวอีกอย่างหนึ่ง ก็คือการวัดเทียบแสงนี้สามารถแสดงสิ่งต่างๆ ให้เราได้เห็นได้อีกหลายอย่าง ตามแต่แบบแผนของวิธีการจับภาพที่เลือกใช้ดังต่อไปนี้

1.) จับภาพโดยอาศัยชนิดของการแพร่รังสี (Type of Radiation)

- การแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation)

รังสี gamma (Gamma), รังสีเอ็กซ์ (X-Ray), รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet), รังสีแสง (Light),
รังสีไตรเดค (Infrared), คลื่นไมโครเวฟ (Microwave), คลื่นวิทยุ (Radiowave)

- การแพร่คลื่นอนุภาค (Particle Radiation)

อะลีคตรอน (Electrons), นิวตรอน (Neutrons), โฟตอน (Photons), อนุภาคหนักที่มีประจุ
(Heavy – ions)

- การแพร่สนามพลังงานรวม (สนามความไฟฟ้า : Quasi - Static Fields)

สนามไฟฟ้า (Electric), สนามแม่เหล็ก (Magnetic), สนามความโน้มถ่วง (Gravity)

- การแพร่คลื่นพลังงาน (Elastic / Acoustic Waves)

คลื่นเสียง (Sound), คลื่นเสียงความเร็วสูง (Ultrasound), คลื่นการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว
(Seismic Wave)

2.) จับภาพโดยอาศัยคุณสมบัติทางแสงของวัตถุ (Properties used for imaging)

- คุณสมบัติทางแสงในเชิงพื้นผิว (Surface Related)

2.2.1 การสะท้อนแสง (Reflectance)

การคาดคะเน (Specular), การแพร่กระจายของแสง (Diffuse)

2.2.2 การหักเหของแสง (Refraction)

การเปล่งแสงจากพื้นผิว (Surface Emittance)

- คุณสมบัติทางแสงในเชิงปริมาณ (Volume Relate)

การเปล่งแสง (Emittance), การดูดคลื่นแสง (Absorbency), การเรืองแสง (Scattering), การเปลี่ยนความถี่
(Frequency Shift / Doppler Effect), การแยกหรือเปลี่ยนขั้วของคลื่นแสง (Polarization Changing),
ปรากฏการที่ไม่เป็นเชิงเส้นของแสง (Nonlinear Effects)

3.) จับภาพโดยอาศัยกระบวนการการเกิดภาพ (Imaging Mechanism)

- ภาพที่เกิดจากการทางแสง (Optical System)

การสะท้อน (Reflective), การหักเห (Refractive), การกระจายรังสีแสง (Diffractive), การรวมแสง
(Hybrid)

- ภาพที่เกิดจากการถ่ายทอดแสงเงา (Shadow Casting)

การถ่ายเทเงาแบบขนาน (Parallel Projection), การถ่ายเทเงาแบบรวมศูนย์ (Central Projection)

- ภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพ (Scanning)

1-มิติ, 2-มิติ, 3-มิติ Near – Field Imaging

- ภาพที่เกิดในทางอ้อม (Indirect Imaging)

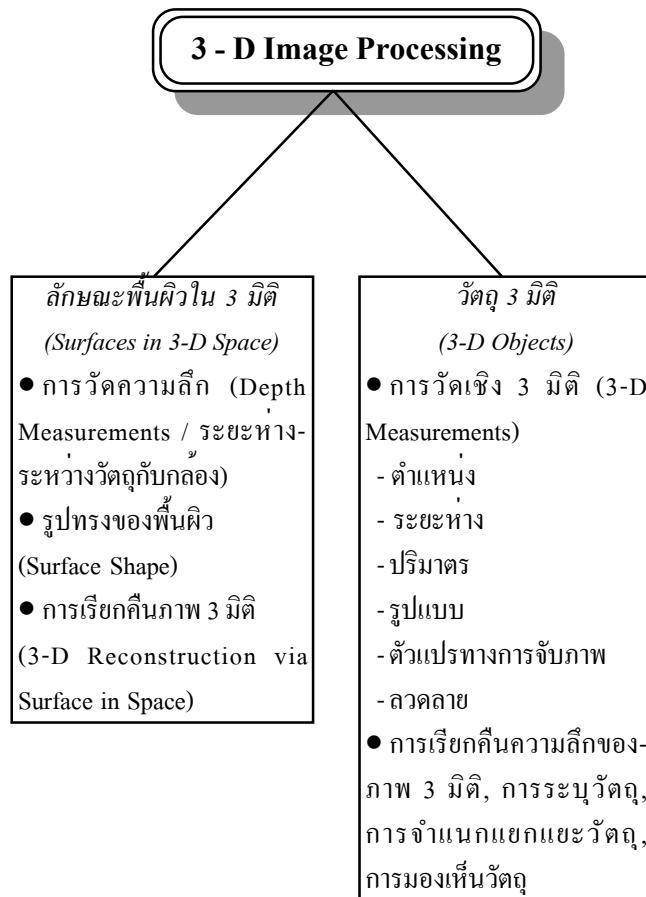
การสร้างภาพระนาบตัดขวางของร่างกายในทางการแพทย์ โดยใช้รังสีเอ็กซ์ (Tomography), การสร้างภาพ
3 มิติโดยอาศัยการสะท้อนของลำแสงเดลเซอร์ ลงบนฟิล์ม (Holography)

➤ ระบบภาพ 3 มิติ

การประมวลผลภาพในระบบภาพ 3 มิตินั้น ขึ้นแรกคือการคำนวณหาความลึกของภาพ (ระยะห่างระหว่างกล้อง^{กับวัตถุที่อยู่ในภาพนั้น) เพื่อใช้ในการดึงเอามิติที่ 3 ออกมาจากภาพ 2 มิติที่มีอยู่ให้ได้ต่อไป ซึ่งมีการทำงานที่ใกล้เคียงกับระบบการมองเห็นของมนุษย์มากขึ้น กรรมวิธีต่างๆ ที่นำมาใช้กันมีหลายอย่าง เช่น Stereo Vision อันจะทำให้เราสามารถ^{ประเมินระยะห่างของวัตถุใน 3 มิติได้ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูล 3 มิติจริงๆ นอกจากรูปที่มีความสามารถเพียงพอ^{ที่จะใช้รักความลึกของวัตถุที่บุนนาค หรือทึบแสงภายใต้อีกด้วย}}}

ที่จริงแล้วระบบการมองเห็นของมนุษย์เราใน ไม่สามารถจับภาพที่เป็น 3 มิติจริงๆ ออกมาได้ แต่ด้วยกรรมวิธี การประมวลผลภาพของคอมพิวเตอร์ จะมีความสามารถที่สูงกว่าสายตามนุษย์มาก มันช่วยให้เราสามารถมองทะลุ เข้าไปบังภายในของวัตถุได้ งานหลักๆ ที่นำเอาวิทยาการด้านนี้ไปใช้นั้นเริ่มต้นที่งานทางด้านการแพทย์ก่อน หลังจากนั้นมาจึงเริ่มแพร่หลายเข้าสู่การศึกษาทางธรรมชาติในสาขาต่างๆ และเข้าสู่สาขาวิศวกรรมศาสตร์และ วิทยาศาสตร์ในที่สุด

เนื่องเราไม่สามารถที่จะให้เครื่องคอมพิวเตอร์นึกคิดหรือจินดานการเรามิติที่ 3 ออกมาได้เอง ดังนั้นเราจึงจำเป็น ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษต่างๆ เข้ามาใช้ในการจับภาพ โดยค่อนข้าง เลื่อนกล้องจับภาพให้หมุนไปรอบๆ วัตถุที่จะระบุ หรือไม่เรา自身สามารถลดรูปการบันทึกภาพในเชิง 3 มิติจริงให้เป็นการบันทึกภาพแบบ 2 มิติธรรมดា แต่อาศัยความเดาดังของภาพที่มองเห็นได้จากหลายๆ จุดที่มอง (เลียนแบบระบบการมองเห็นของมนุษย์ที่มีตา 2 ข้างอยู่ในกล้อง กันในการมองภาพให้เห็นเป็น 3 มิติได้)



รูปที่ 30 แผนภาพแสดงรายละเอียดของระบบภาพ 3 มิติ

➤ ระบบภาพเคลื่อนไหว

พัฒนาการขึ้นล่าสุดคือ การวิเคราะห์ระบบภาพเคลื่อนไหวนั้น ช่วยให้เราสามารถเข้าไปศึกษาถึงภายใน กระบวนการทำงานที่มีการเคลื่อนไหว (Dynamic Process) ได้ ซึ่งปกติแล้วเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและซับซ้อนมาก เพราเราสามารถที่จะวัดการเคลื่อนไหวของวัตถุได้ ก็แต่เฉพาะการเคลื่อนไหวที่อยู่ในแนวระนาบจับภาพเท่านั้น แต่การเคลื่อนไหวของวัตถุที่แท้จริง นั้นอาจจะไม่ได้มีอยู่แต่ในเฉพาะระนาบที่กล้องต้องอยู่ได้ ซึ่งก็คือการเคลื่อนไหวใน แนวลึกเข้าหาก หรือออกจากตัวกล้องด้วยนั่นเอง

ระบบภาพเคลื่อนไหว

การเคลื่อนที่ และกระบวนการ เคลื่อนไหว

(Motion & Dynamics of Processes)

- การแยกส่วนการเคลื่อนที่ (Segmentation)
 - เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความความเร็วใน 2 มิติ
 - เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความความเร็วใน 3 มิติ ร่วมกับการเรียกคืนจาก 3 มิติ
- การติดตามวัตถุ (Tracking)
- การเคลื่อนที่เพื่อติดตามจับภาพ (Active Vision)

รูปที่ 31 แผนภาพแสดงรายละเอียดของระบบภาพเคลื่อนไหว

การใช้งานในแนวทางอื่นนี้มีเช่นการสร้างระบบใหม่ความสามารถที่จะตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ ที่ต้องการ หรือตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวที่อยู่ภายในกรอบที่กำลังจับภาพอยู่นั้น ซึ่งเรียกว่าการติดตามวัตถุ (Tracking) อันเป็นหนึ่งในกระบวนการทางด้านแอคทีฟิวชัน (Active Vision) นั่นเอง

ความแตกต่างระหว่างการวัดและการรับรู้ (Measuring versus Recognizing)

ข้อแตกต่างที่สำคัญที่สุดระหว่างระบบการมองเห็นของมนุษย์กับเครื่องจักรก็คือ มนุษย์จะเรียนรู้และจำจดจำภาพของวัตถุ แต่เครื่องจักรนั้นจะรู้จักวัตถุได้ โดยอาศัยการวัดดังที่มีผู้กล่าวเอาไว้ว่า “ Humans recognizing, Machines measuring” ตามตัวอย่างการเปรียบเทียบที่บันทึกไว้ด้านล่าง

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบการมองเห็นของมนุษย์กับระบบการมองเห็นของเครื่องจักร

รูปแบบงาน	ระบบการมองเห็นของมนุษย์	ระบบการมองเห็นของเครื่องจักร
ระบบการมองเห็น	ทุติยภูมิ อาศัยการสะท้อนกลับของแสงที่ตกลงบนพื้นผิวของวัตถุ เป็นหลัก	ทำได้ทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิคือสามารถความคุณภาพส่งคืนพลังงานต่างๆ ทั้งที่เป็นแสงและไม่ใช่แสงให้ออกไปทั้งระบบกับพื้นผิวของวัตถุเองแล้วการสะท้อนกลับมาหรือตรวจจับการสะท้อนหรือปลดปล่อยคลื่นพลังงานตามธรรมชาติของวัตถุก็ได้
รูปแบบการรับภาพ	อาศัยการหักเหของแสง	มีหลากหลายวิธี
การควบคุมปริมาณแสง	ใช้กลัมเนื้อควบคุมการขยายตัว หรือหดตัวของรูรามนาดา	ใช้มอเตอร์ควบคุมจรับแสง (Motorized apertures), ใช้กล้องควบคุมตัวกรองแสง (Filter wheels), หรือใช้ตัวกรองแสงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ (Tunable filters)
การจับภาพ	ใช้กลัมเนื้อตัวเปลี่ยนแปลงความยาวไฟฟ้าของระบบอุกตา	ใช้ระบบออโต้โฟกัส ซึ่งขึ้นกับระบบทางที่ต้องการ
การติดตามการเคลื่อนไหว	ใช้การเคลื่อนที่ของกล้อง	ใช้ระบบการภาพประมวลกับทุนชนตีติดกล้องถ่ายภาพ
กระบวนการวิเคราะห์และประมวลผล	ใช้การประมวลผลแบบบันดาล อย่างเป็นลำดับขั้นในปริมาณที่สูงมาก	ใช้กระบวนการประมวลผลแบบบันดาลซึ่งยังเป็นเทคโนโลยีใหม่อยู่ในขณะนี้

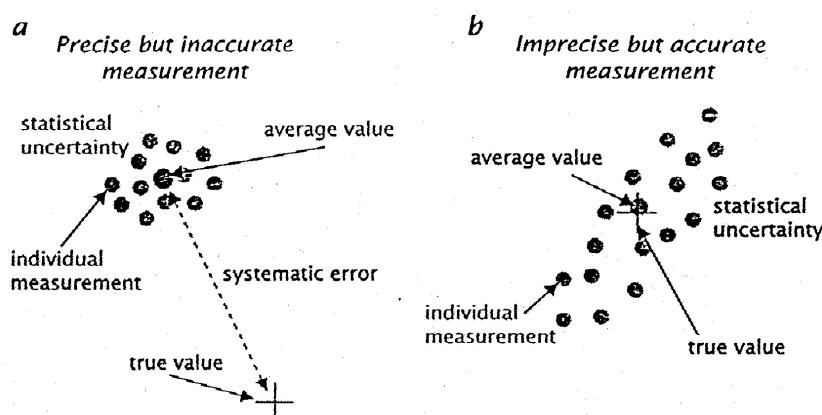
หน้าที่ของระบบการมองเห็นของมนุษย์นี้ คือการเรียนรู้และจดจำสภาพแวดล้อมรอบๆ ตัว แต่ระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และเครื่องจักรต่างๆ ในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนี้ จะเน้นไปที่การวัดเชิงปริมาณมากกว่า การวัดในเชิงคุณภาพ แม้ว่าจะมีการดำเนินงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลทางคุณภาพยุ่งยากหลายอย่างก็ตาม เช่นที่เป็นระบบฟิซซี่โลจิก (Fussy Logic) แต่การทำงานหลักๆ ของระบบเครื่องจักรก็ยังคงมุ่งเน้นไปที่การการวัดเชิงปริมาณอยู่ดี

สำหรับระบบที่ต้องการกรรมวิธีการจับภาพที่เข้มงวดและมีรูปแบบเฉพาะแล้วนั้น การดำเนินงานโดยเครื่องจักร จะให้ประสิทธิภาพที่เป็นเลิศกว่า แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการเชื่อมโยงและปรับเปลี่ยนกระบวนการ ประมวลผลภาพที่กว้างขวางและเปี่ยมประสิทธิภาพของมนุษย์นั้น ยังคงเป็นความสามารถหนึ่งที่ห่างไกลจากเครื่องจักรมาก และแม้ว่าเราจะอาศัยการกระบวนการทางชีวภาพ เช่นการมองเห็นของมนุษย์ ใน การศึกษาและพัฒนากระบวนการ ประมวลผลภาพ แต่ก็ยังไม่มีความเป็นไปได้ที่เราจะจัดการถ่ายทอดความสามารถและการทำงานของมนุษย์ลงไปสู่ เครื่องจักรได้เลย นอกจากนี้แล้วความสัมพันธ์ระหว่างการมองเห็นของเครื่องจักรของมนุษย์ก็ยังมีอิทธิพลที่ว่า จากข้อมูลที่เครื่องจักรประเมินค่าออกมาได้นั้นเราไม่สามารถที่จะอินดิกาเตอร์ได้เลยว่าภาพจะมีลักษณะอย่างไร ถ้าเราขึ้นไม่ได้เห็นภาพนั้นด้วยตาจริงๆ

3.3) สัญญาณ และความไม่แน่นอนของการวัด (Signals and Uncertainty)

การประมวลผลเชิงภาพนั้นจริงๆแล้วสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีทางการวัดและ ประมวลผลสัญญาณ ซึ่งหมายความว่าการวัดค่าต่างๆ เช่นขนาด และตำแหน่งของวัตถุ หรือค่าเฉลี่ยระดับสีเทา ที่ได้มาจากการใช้ภาพถ่ายนั้น จะมีความหมายถูกต้องก็ต่อเมื่อ เราถือถึงความไม่มั่นคงของสัญญาณที่ใช้ทำการวัด เป็นอย่างดีแล้วนั่นเองซึ่งก็เป็นที่ทราบกันดีในหน่วยวิศวกร และนักวิทยาศาสตร์มาตั้งแต่สมัยอดีตมาแล้ว แต่ด้วยการใช้สมการ เอิมพิริกอล (Empirical) และกลวิธีที่มีรากฐานที่ไม่ค่อยดี ทำให้การประเมินความผิดพลาดที่น่าเชื่อถือ ไม่สามารถ ทำได้สำเร็จและถูกละเอียดเท่าบันความรู้และพัฒนาการทางการประมวลผลภาพได้ก้าวไปมากและ สามารถทำได้สำเร็จในที่สุด โดยมีหลักการที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ✓ ความไม่แน่นอนของสัญญาณมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน



รูปที่ 31 รูปแบบของความไม่แน่นอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นกับระบบการวัด

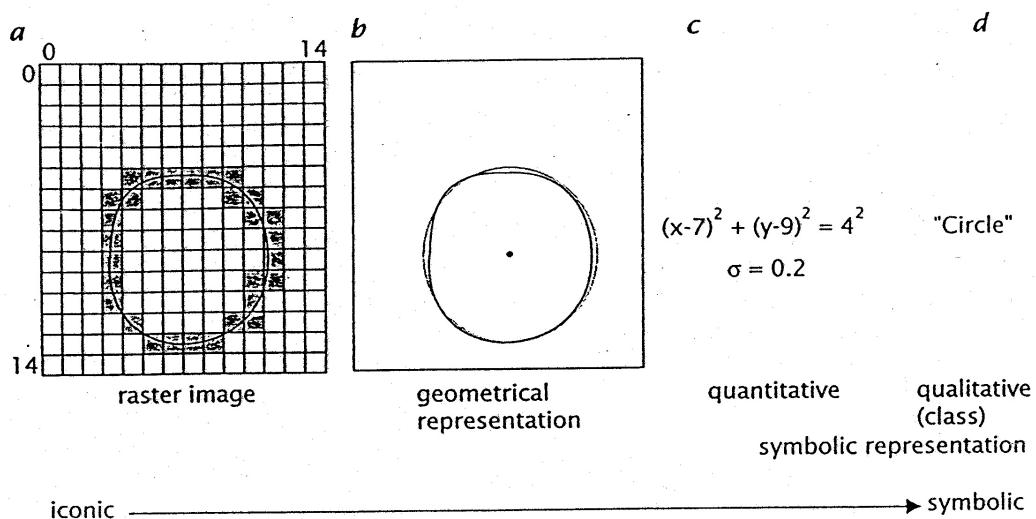
➤ ความคลาดเคลื่อนของการวัด (Statistical Error) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่มักเกิดกับการวัดอุณหภูมิ หรือวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆ ซึ่งเกิดจากปัจจัยต่างๆ ได้มากน้อย ที่ทำให้สัญญาณเกิดการเบี่ยงเบนไปในทิศทางที่ไม่แน่นอน ทำให้ตำแหน่งที่ตรวจจับได้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริงอยู่เสมอ นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัว ของความคลาดเคลื่อนในรูปแบบที่ไม่สามารถคาดคะเนได้อีกด้วย คือค่าที่วัดได้ไม่ว่าความซัดเจน แต่ผลลัพธ์นี้เกี่ยวกับการวัดนั้น มีความถูกต้องสูง (Imprecise but accurate) วิธีเดียวกับที่จะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ก็คือ การพยากรณ์ทำการวัดซ้ำที่เดิมหลายๆ ครั้ง ด้วยสภาวะแวดล้อมและอุปกรณ์ชุดเดิมแล้ววิเคราะห์ตำแหน่งศูนย์กลางความถ่วงของทุกๆ ชุดรวมกัน ดังนั้น ขึ้นเรื่อว่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ตำแหน่งศูนย์กลางความถ่วงก็จะขึ้น เท่ากับตำแหน่งที่แท้จริงของจุดที่ต้องการวัดมากขึ้นเท่านั้น

➤ ความผิดพลาดของระบบ (Systematic Error) ซึ่งปกติแล้วจะเกิดจากความบกพร่องของตัวผู้ดำเนินการวัดเอง ที่ไม่เข้าใจกระบวนการในการดำเนินงานที่ดีพอก หรือทำการจัดตั้งอุปกรณ์ได้ไม่เหมาะสม ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้น มากนั้นจะมีลักษณะคือ ค่าที่วัดออกมากได้จะจับกลุ่มกันเป็นกลุ่มก้อนอย่างชัดเจน แต่ผลลัพธ์เฉลี่ยที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนไป จากความเป็นจริงมาก (Imprecise but accurate) ซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้ นอกเสียจากจะไปปรับปรุงระบบการวัด แล้วเริ่มต้นกระบวนการวัดใหม่ขึ้นมาแทนท่านนั้น

3.4) กลวิธีในการเก็บและแสดงผลรูปภาพ (Representation and Algorithms)

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งในการประมวลผลภาพคือ ก่อนที่เราจะสามารถนำภาพใดๆ เข้ามาประมวลผลได้นั้น เราจะต้องนำภาพเหล่านั้นเข้ามาเก็บในระบบคอมพิวเตอร์ให้ได้เสียก่อน ซึ่งกระบวนการนำภาพเข้ามาเก็บไว้ในระบบคอมพิวเตอร์นั้นเราจะเรียกกันว่ากระบวนการ raster เตอร์ไวเซชัน (Rasterization) และภาพที่ถูกนำเข้ามาเก็บเอาไว้ในระบบคอมพิวเตอร์แล้วนั้นก็จะเรียกกันว่าภาพบนจอ (Raster Image) ซึ่งมีลักษณะเป็นการเรียงตัวกันของจุดแสงส่วนห้องที่เรียกว่าพิกเซล (Pixel) ที่มีสีสันต่างๆ ตามที่กำหนดเอาไว้ โดยข้อมูลของภาพนั้นเอง (Bit – Map or Iconic Representation) ซึ่งความรับรู้ของภาพจะมีมากน้อยเพียงใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับความละเอียด และความสามารถของกระบวนการ raster เตอร์ไวเซชันนั้นเอง

จริงๆ แล้ว จุดประสงค์หลักของขั้นตอนนี้ก็คือ การเลือกสรรกลวิธีในการเก็บและแสดงผลรูปภาพเดียวกันนี้ ในรูปแบบอื่นๆ ที่ดี หรือมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานกว่า ตัวอย่าง เช่นภาพเคลื่อนไหวที่สร้างด้วยโปรแกรม Macromedia Flash ซึ่งทำการจัดเก็บในรูปของ Vector Graphics นั้นจะมีขนาดเล็กมาก ซึ่งเล็กกว่าภาพในระบบ GIF Animation ที่อาศัยการเข้ารหัสรูปภาพที่เป็น Bitmap จึงเหมาะสมกับงานทางด้าน WebPages Design และเป็นรูปแบบที่กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน

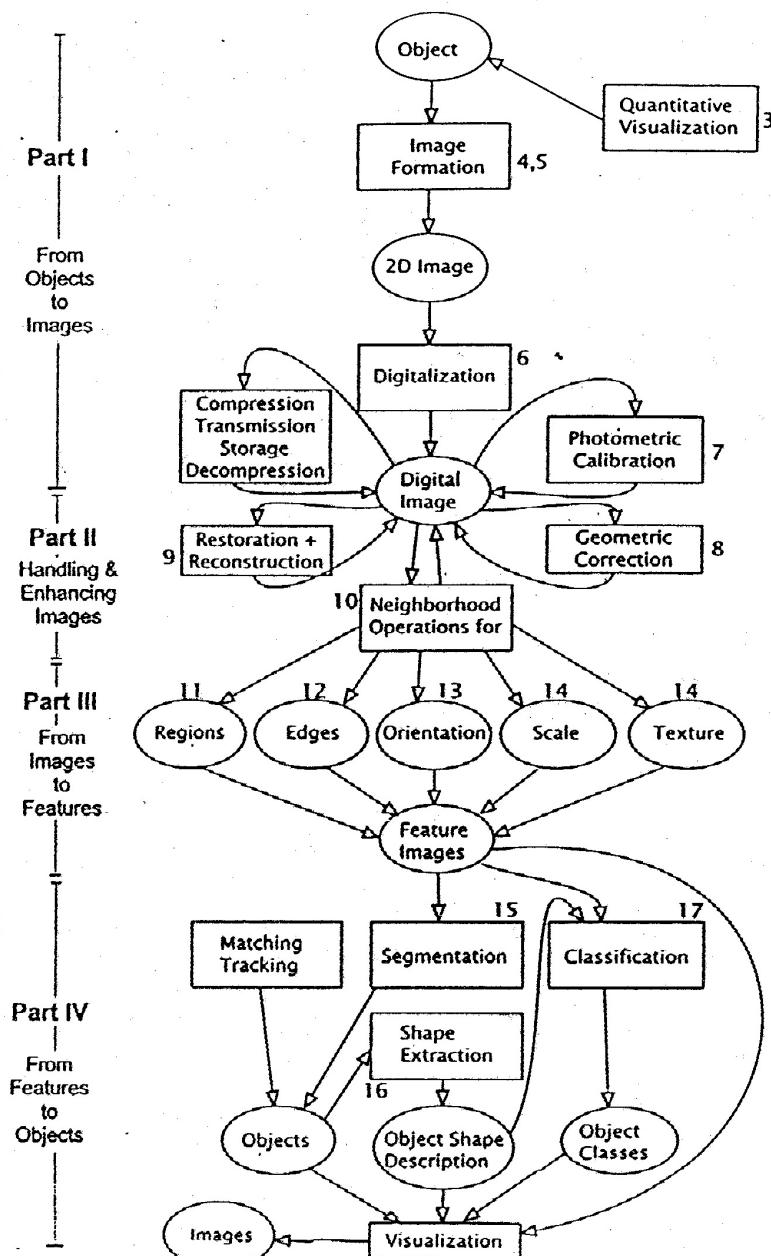


รูปที่ 32 ลำดับขั้นตอนในการถ่ายทอดรูปแบบการแสดงผลจากรูปภาพ (Iconic Representation) ไปสู่การแสดงผลด้วยรูปแบบของลัญลักษณ์ (Symbolic Representation)

ปกติแล้วการนำภาพเข้ามาสู่ระบบคอมพิวเตอร์นั้น ภาพที่ได้ในตอนแรกเริ่มนั้นจะมีลักษณะเป็นรูปภาพเชิงจุด คือจะแบ่งช่องภาพที่ห้องดูกออกเป็นพิกเซล โดยที่แต่ละพิกเซลจะเก็บค่าสีและความสว่างของตัวเองเอาไว้ในรูปแบบ เลขฐานสองเป็นบิตๆ ตามความละเอียดที่กำหนด เช่น 16 บิตสี, 24 บิตสี, 32 บิตสี เป็นต้น ตัวอย่างในรูปที่ 32 ข้างต้น เป็นการแสดงให้เห็นลำดับขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการแสดงผล จากรูปภาพดังเดิมที่เก็บค่าของภาพเป็นจุดๆ (Iconic Representation) ไปสู่การเก็บค่าของรูปภาพเป็นลักษณะทางเรขาคณิต (Geometric Representation), ระบบสมการเรขาคณิต (Vector Representation หรือ Quantitative) ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน นิดนึงของรูปภาพประกอบอยู่ด้วย

และสุดท้ายคือการจัดเก็บรูปภาพในระบบประเภทของสัญลักษณ์ (Symbolic Representation หรือ Qualitative Class) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจัดเก็บข้อมูลรูปภาพแบบดั้งเดิมที่เก็บค่าเป็นจุดๆ นั้นทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บมากเกินความจำเป็น แต่ก็มีข้อดีคือง่ายต่อการดำเนินการแก้ไขข้อมูลโดยละเอียดในระดับพิเศษ ล้วนการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบทางเรขาคณิตนั้นก็จะช่วยประหยัดเนื้อที่ในการเก็บลงไปได้มาก เนื่องจากจะจัดเก็บแต่เฉพาะบริเวณที่มีข้อมูลเท่านั้น โดยไม่สนใจเนื้อที่ว่างเปล่า การจัดเก็บในรูปแบบสมการก็ยังทำให้เนื้อที่ที่ต้องการในการจัดเก็บลดน้อยลงไปอีก เพราะสามารถนำตัวอักษรเพียงไม่กี่ใบตัวในสมการมาใช้แทนลักษณะเส้นหรือลักษณะของรูปภาพได้และง่ายต่อการนำไปใช้ในการคำนวณต่างๆ เกี่ยวกับรูปภาพ เช่นการคำนวณพื้นที่ภายในของรูปภาพ การคำนวณจุดศูนย์กลาง ความถ่วงของรูปภาพ และการจัดจำแนกหมวดหมู่ของรูปภาพเป็นต้น ล้วนในรูปแบบสุดท้ายคือการเก็บค่าประเภทของรูปแบบ หรือสัญลักษณ์นั้น ก็จะมีประโยชน์อย่างมากต่องานทางด้านการรู้จำวัตถุ (Object Recognition) นั้นเอง

3.5 ลำดับขั้นของการดำเนินงานในด้านการประมวลผลเชิงภาพ



รูปที่ 34 ลำดับขั้นของงานประมวลผลเชิงภาพ (Hierarchy of Image Processing Tasks)

3.6) อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการประมวลผลเชิงภาพ (Tools)

3.6.1) กล้องถ่ายภาพ และอุปกรณ์จับเฟรมภาพ (Camera and Frame Graber)

3.6.2) ระบบคอมพิวเตอร์ (Computer System)

3.6.2.1) ชุดอุปกรณ์แสดงผล (Image display)

3.6.2.2) หน่วยความจำ (Memory)

3.6.2.3) (Memory bandwidth)

3.6.2.4) (Computing power)

3.6.3) โปรแกรมประยุกต์และกลวิธีในการดำเนินงานที่เหมาะสม (Software and Algorithms)

บรรณานุกรม

Bernd Jahne "Practical Handbook On Image Processing for Scientific Applications" CRC Press. 1997.

ISBN 0-8493-8906-2

นิตยสาร Quick PC เดือน สิงหาคม - กันยายน. สำนักพิมพ์ Quick PC ปี พ.ศ. 2542