บทความฟื้นวิชา

บทบาทของเทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัล ต่องานทางด้านสัตวแพทย์

อารัมภ์ กาวีวงศ์

ห้องวิจัยความฉลาดเชิงทัศนศาสตร์และการเข้าใจรูปแบบ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศูนย์ความเป็นเลิศทางวัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ ปัจจุบันเทคโนโลยีของภาพดิจิทัล ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมหลายด้านซึ่งรวมถึงวิทยาการทางการแพทย์ และสัตวแพทย์ เครื่องสแกน และเอกซเรย์หลายชนิด ได้ถูกพัฒนาให้มีการบันทึกภาพเป็นแบบดิจิทัล ทำให้งานต่าง ๆ ที่ต้องใช้ภาพในการวิเคราะห์และประมวลผลทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งในเรื่องของการลดค่าใช้จ่าย ช่วยเพิ่มความแม่นยำ ลดแรงงานของผู้เชี่ยวชาญที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ ดังนั้น ในบทความวิชาการนี้ ผู้เขียนจึงนำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านการประมวลผลภาพอันประกอบด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ในงานทางด้านสัตวแพทย์ ซึ่งมีอยู่หลายประเภทงาน และหลายมุมมอง โดยบทความนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1. การวัดและการประเมินผลเพื่องานเชิงวิจัย 2. การวิเคราะห์แยกแยะโรคและอาการของสัตว์ 3. การศึกษานิสัยและพฤติกรรมของสัตว์ โดยในแต่ละหัวข้อจะมีการอธิบายถึงการประยุกต์ที่เป็นไปได้ในปัจจุบัน มีหลักฐานทางวิชาการแน่ชัด รวมไปถึงการเสนอแนะความคิดเห็น ถึงการประยุกต์ใช้ในอนาคต ที่น่าจะเกิดขึ้นได้ โดยบทความวิชาการนี้ คาดว่าจะช่วยให้ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับสัตวแพทย์ เข้าใจได้ดีขึ้น ถึงวิธีการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพในปัจจุบันไปใช้ในงานแต่ละงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแนวโน้มของการทำวิจัยต่อไปในอนาคต ที่ยุคของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทมากขึ้นเรื่อย ๆ. **เชียงใหม่สัตวแพทยสาร** 2555; 10(3): 203-217

คำสำคัญ: คอมพิวเตอร์วิทัศน์ ภาพดิจิทัล คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ สัตวแพทย์

ติดต่อขอสำเนาบทความได้ที่: อารัมภ์ กาวีวงศ์ ห้องวิจัยความฉลาดเชิงทัศนศาสตร์และการเข้าใจรูปแบบ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
E-mail address : aram.ohm@gmail.com ได้รับบทความวันที่ 6 สิงหาคม 2555

บทนำ

เทคโนโลยีภาพดิจิทัล (digital image) ถือกำเนิดขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นคริสตศักราช 1920 เพื่อใช้ในการส่งภาพถ่ายจากกรุงลอนดอนไปยังมหานครนิวยอร์คภายในเวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมง แทนการขนส่งเอกสารแบบดั้งเดิมที่ปกติต้องใช้เวลากว่า 3 สัปดาห์ ซึ่งนับแต่นั้นเป็นต้นมา ภาพดิจิทัลก็ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนทั่ว ๆ ไปมากขึ้นเรื่อย ๆ รวมถึงอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ และวิทยาศาสตร์การแพทย์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเอกซเรย์แบบดิจิทัล (digital x-ray) เครื่องซีทีสแกนสามมิติแบบดิจิทัล (3D digital CT scan)หรือแม้แต่เครื่องโทโมเธอราพี[1] (tomotherapy) ที่สามารถฉายรังสีเฉพาะจุดเพื่อให้เกิดผลอย่างแม่นยำ และไม่กระทบเซลล์รอบข้าง

ภาพดิจิทัลนั้นมีข้อดีและประโยชน์มากมายขึ้นกับลักษณะของงาน และวิธีการนำไปใช้ อย่างไรก็ตาม ในทางสัตวแพทย์ และทางการแพทย์ ประโยชน์ที่เด่นชัดของเทคโนโลยีภาพดิจิทัลอาจแบ่งได้เป็น 3 ข้อ คือ

1. การประหยัดค่าใช้จ่ายของการถ่ายภาพสแกน หรือ ภาพเอกซเรย์ หรือรังสีชนิดต่าง ๆ เพราะวิธีการถ่ายภาพแบบเดิมนั้น จำเป็นจะต้องล้างรูปลงแผ่นฟิล์ม และมีกระบวนการที่ต้องสิ้นเปลืองทั้งค่าฟิล์มและการล้าง ซึ่งถ้าเป็นกรณีที่ใช้เทคโนโลยีภาพดิจิทัล ภาพสแกนเหล่านั้นสามารถจัดเก็บไว้ได้ในรูปแบบของไฟล์ภาพที่ผู้วิเคราะห์สามารถเรียกดูได้ทุกเมื่อโดยไม่ต้องใช้แผ่นฟิล์ม

2. ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ เนื่องจากไฟล์ภาพดิจิทัล ช่วยให้ผู้วิเคราะห์สามารถทำการย่อขยาย ปรับสี ปรับแสง และปรับความคมชัดของภาพได้อย่างสะดวก เพื่อให้การวิเคราะห์ภาพต่าง ๆ ทำได้ง่ายขึ้น

3. ความสะดวกและประสิทธิภาพในการจัดเก็บภาพที่เพิ่มขึ้น ทั้งในด้านของพื้นที่ในการจัดเก็บ และด้านความคงทนของคุณภาพของภาพ เพราะการจัดเก็บด้วยไฟล์จะช่วยให้คุณภาพของไฟล์ก็ยังคงเดิมตลอด เพราะข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในฮาร์ดดิสก์นั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเองเว้นแต่กรณีที่ฮาร์ดดิสก์เกิดความเสียหาย ซึ่งมีโอกาสน้อยเมื่อเทียบกับการจัดเก็บภาพในแผ่นฟิล์ม

ดังที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการประมวลภาพนั้นได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางการแพทย์ ซึ่งแตกต่างกับทางด้านสัตวแพทย์ ที่การนำมาประยุกต์ใช้ยังไม่แพร่หลายนัก จึงเป็นที่มาของบทความนี้ ที่ผู้เขียนต้องการกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีภาพดิจิทัลที่ก้าวหน้าไปอย่างมากในปัจจุบัน มาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านสัตวแพทย์บ้างว่า สามารถนำมาใช้ในด้านใดได้รวมถึงการให้ความเห็นเชิงวิชาการในแต่ละด้านว่าจะนำมาใช้อย่างไร

เทคโนโลยีภาพดิจิทัล

ในมุมมองหนึ่ง หากมองว่าเทคโนโลยีภาพดิจิทัล คือ เทคนิค กระบวนการต่าง ๆ ที่มีสำหรับกระทำกับภาพดิจิทัล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์บางอย่างออกมา เทคโนโลยีภาพดิจิทัลอาจสามารถ

แบ่งออกเป็น ศาสตร์อีก 3 แขนงย่อย คือ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) การประมวลผลภาพ (image processing) และ คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ (computer graphic)

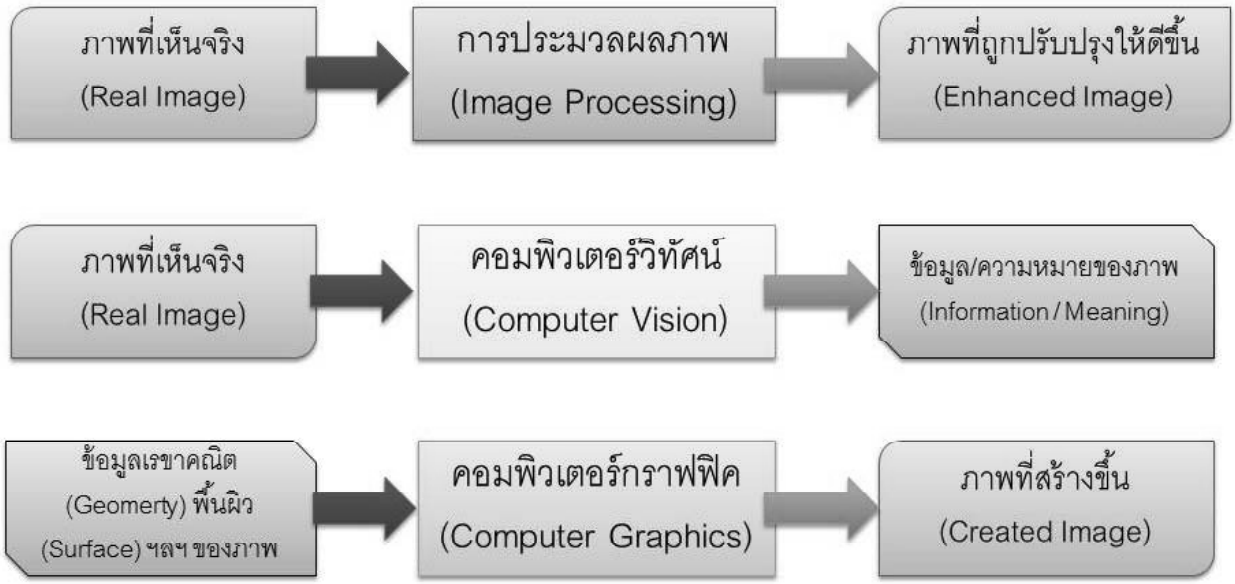
ศาสตร์แต่ละแขนงนั้น แม้จะมีความหมายที่แตกต่างกัน แต่ล้วนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านสัตวแพทย์ให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งสิ้น ซึ่งความหมายของศาสตร์ในแต่ละแขนงสามารถอธิบายโดยสังเขปได้ดังต่อไปนี้

การประมวลผลภาพ นั้น โดยส่วนใหญ่ เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการพยายามปรับปรุงคุณภาพของภาพที่รับเข้ามาให้ดีขึ้นสำหรับการใช้งานในแต่ละอย่าง เช่น รูปภาพที่รับเข้ามามีความเบลอ (ไม่คม) สูง สามารถแก้ไขด้วยการทำให้คมขึ้น (sharpening) หรือ รูปภาพที่เข้ามา สลัวหรือมืดมากเกินไป ก็สามารถแก้ไขด้วยการปรับปริมาณความสว่างของแสงในภาพให้เพิ่มขึ้น หรือ แม้แต่ในกรณีรูปภาพที่รับเข้ามามีรายละเอียดมากเกินไป ก็สามารถทำ เทคนิคที่เรียกว่าการสร้างขอบ (edging) (ดังภาพที่ 2) เพื่อลดปริมาณข้อมูลของรูปภาพให้เหลือเพียงเฉพาะเส้นขอบ (edge) ของวัตถุเท่านั้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (image enhancement) เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาจากแผนภาพในรูปที่ 1 การประมวลผลภาพจะรับภาพเข้าไป และให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นภาพที่มีคุณภาพดีขึ้นในด้านใดด้านหนึ่ง เช่น คมชัดมากขึ้น (sharpened) สว่างมากขึ้น (brightened) มีความแตกต่างของค่าสีที่เหมาะสมขึ้น (balance contrast) ซึ่งแตกต่างจากคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ที่รับภาพเข้าไป แต่ให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลบางอย่างที่ไม่ใช่ภาพเดิม ดังที่จะกล่าวต่อไป

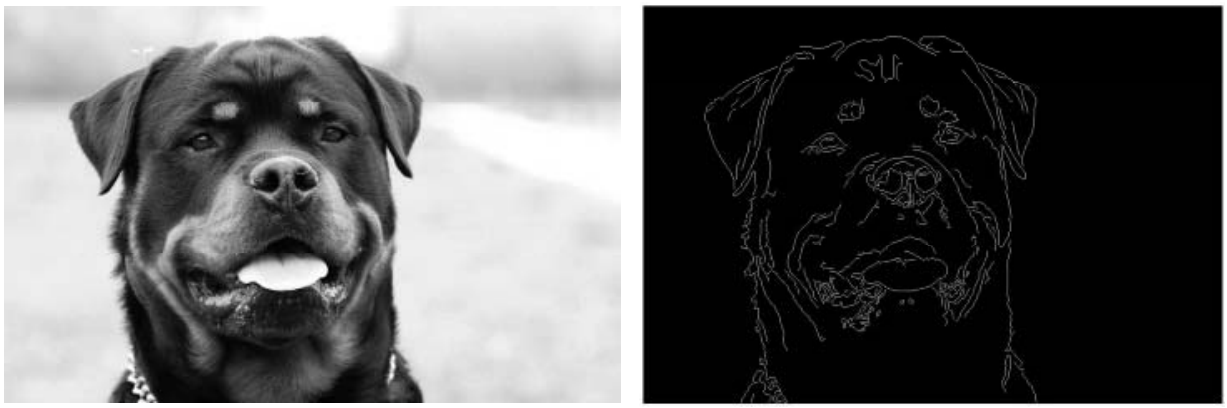
คอมพิวเตอร์วิทัศน์ เป็นกระบวนการที่กระทำกับภาพดิจิทัลเช่นเดียวกับการประมวลผลภาพ แต่สิ่งที่แตกต่างคือ ผลลัพธ์ที่ออกมาจากคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ส่วนใหญ่จะไม่ใช่ภาพ แต่เป็นข้อมูลที่มีความหมาย ซึ่งในหลาย ๆ กรณีข้อมูลที่มีความหมายดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของไฟล์ข้อความ (text file) เช่น เมื่อเราใส่ภาพของสุนัขตัวหนึ่งเข้าไป กระบวนการทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์จะให้คำตอบออกมาเป็นคำว่า “บางแก้ว” หรือ “โกลเด้นรีทรีเวอร์” หรือ “ร็อตไวเลอร์” ซึ่งเป็นการเปลี่ยนข้อมูลภาพให้กลายเป็นรูปของข้อมูลที่มีความหมายอีกแบบหนึ่ง หรือในอีกนัยหนึ่ง อาจกล่าวได้ว่าเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์นั้น มุ่งเน้นให้เครื่องคอมพิวเตอร์มีเชาว์ปัญญา และมีความสามารถในการเข้าใจรูปภาพได้ใกล้เคียงมนุษย์มากที่สุด

คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ เป็นศาสตร์ที่ทำงานตรงกันข้ามกับคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพราะคอมพิวเตอร์กราฟิกส์เป็นเทคนิคกระบวนการที่จะรับข้อมูลที่เป็นเชิงเรขาคณิต เช่น พิกัดจุดต่าง ๆ หรือโครงรูปทรงทางเรขาคณิต (polygonal shape) กับลักษณะพื้นหน้า (surface) ต่าง ๆ นำไปรวมกันแล้วสร้างภาพที่เหมือนจริงมากขึ้นมา

ดังที่สรุปด้วยแผนภาพใน รูปที่ 1 ศาสตร์แต่ละอย่างของเทคโนโลยีภาพดิจิทัลนั้น ทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน แต่ล้วนมีประโยชน์กับการใช้งาน



รูปที่ 1 แผนภาพ diagram แสดงความแตกต่างกันระหว่าง ศาสตร์ทางด้านการประมวลผลภาพ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ และคอมพิวเตอร์กราฟฟิค



รูปที่ 2 ตัวอย่างการทำ edge detection โดยวิธี canny edge โดยใช้ Maximum Threshold = 0.2 ข้อมูลจำนวนมาก ถูกลดลง เพื่อให้จัดได้เฉพาะรูปร่างที่สำคัญของสุนัข Rottweiler

ทางสัตวแพทย์ ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป การประมวลผลภาพ สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของตัวรูปภาพเพื่อให้มนุษย์นำไปวิเคราะห์ต่อได้อย่างเหมาะสมมากขึ้น ในขณะที่คอมพิวเตอร์วิทัศน์ สามารถช่วยมนุษย์วิเคราะห์ และศึกษาข้อมูลจากรูปภาพโดยเฉพาะในรายละเอียดที่มนุษย์อาจมองข้ามไปเป็นการช่วยแบ่งเบาภาระของมนุษย์ในการวิเคราะห์รูปภาพ ส่วนคอมพิวเตอร์กราฟิกส์นั้นจะช่วยให้สัตวแพทย์ และนักวิจัยสามารถสร้างรูปภาพต่าง ๆ เช่น ภาพของส่วนกระดูกชิ้นต่าง ๆ ในลักษณะที่เป็นแบบจำลองสามมิติ

(3D model) ขึ้นมาจากข้อมูลพิกัดจุดในภาพถ่ายสองมิติธรรมดา ซึ่งสามารถช่วยให้การศึกษาวิเคราะห์ผลนั้นกระทำได้แม่นยำขึ้น

เทคโนโลยีภาพดิจิทัลกับงานทางด้านสัตวแพทย์

งานทางด้านสัตวแพทย์นั้นมีอยู่หลายประเภท การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพดิจิทัลจึงสามารถทำได้ในหลายลักษณะ อย่างไรก็ตาม บทความนี้จะแบ่งลักษณะของการนำเทคโนโลยีภาพดิจิทัลไปช่วยงานทางด้านสัตว-แพทย์ออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ ๆ ด้วยกัน โดยจะพิจารณาจากวิธีการนำเทคโนโลยีภาพไปใช้แทนการพิจารณาจากสาขางานของสัตวแพทย์

การวัดและการประเมินผลเพื่องานเชิงวิจัย

การวัด เป็นสิ่งสำคัญในการทำวิจัยทางด้านสัตวแพทย์อย่างหนึ่ง โดยเฉพาะการวัดความยาวของชิ้นกระดูกส่วนต่าง ๆ ของสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งในหลาย ๆ กรณี ค่าความยาวในแนวต่างของชิ้นกระดูกแต่ละชิ้น มักจะถูกนำไปเพื่อใช้คำนวณค่าดัชนี (index) ที่ใช้ในการทำวิจัย ซึ่งปัจจุบัน การวัด ในทางสัตวแพทย์ส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีแบบดั้งเดิมอยู่ คือ การวัดด้วยมือโดยใช้อุปกรณ์วัด เช่น เวอร์เนีย (vernier) หรือไม้บรรทัดในบางกรณี ซึ่งวิธีการวัดแบบนี้ มีข้อจำกัดคือ

1. รูปร่างของโครงกระดูกที่มักจะเป็นรูปร่างสามมิติ ที่ทำให้เกิดความสูงกว้างลึก การจะวางตำแหน่งเวอร์เนียเพื่อใช้ในการวัดให้แม่นยำบางครั้งทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องทำการวัดหลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย แต่หากตำแหน่งที่จะทำการวัด เป็นตำแหน่งที่ยากต่อการวางเวอร์เนีย ค่าความผิดพลาด ก็จะเกิดขึ้นได้ง่าย

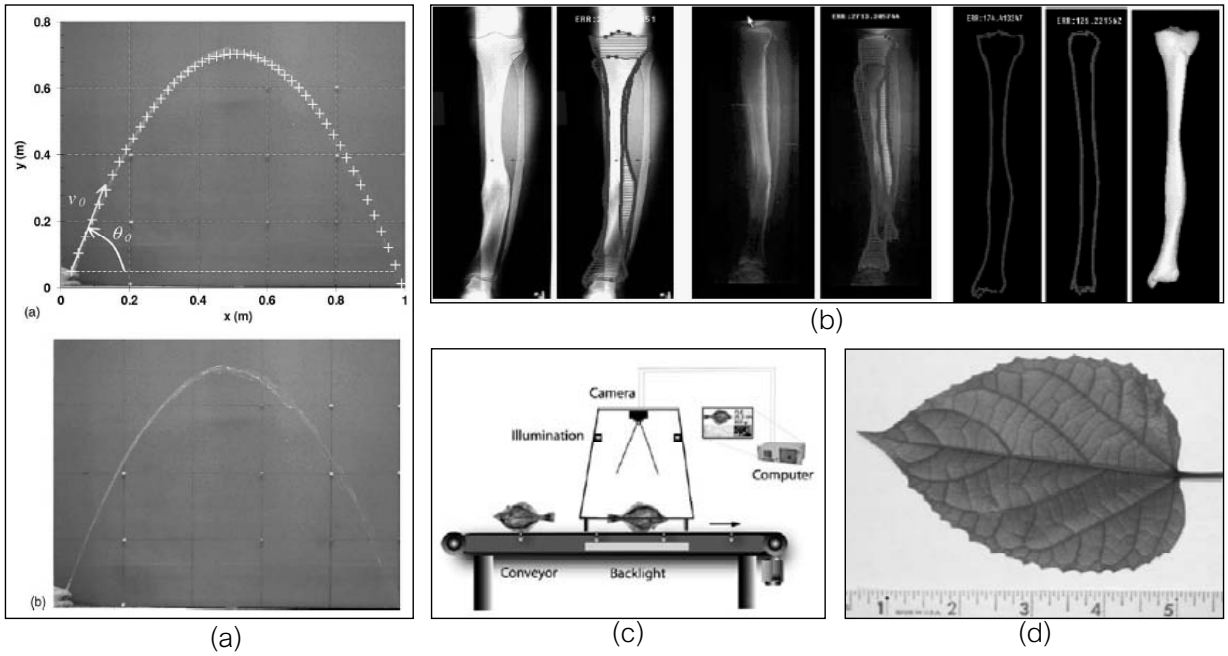
2. ในเชิงวิจัย การวัด ส่วนใหญ่จะกระทำโดยบุคคล ในทีมวิจัยกันเอง ทำให้การวัดโดยใช้มนุษย์ มีโอกาสถูกพิจารณาว่าเป็นการวัดที่ไม่เที่ยงตรง หรือ มีความลำเอียง (biased) ของการวัดค่าที่ได้ออกมา จึงมีความเชื่อถือลดน้อยลง โดยเฉพาะในวงการวิจัยระดับสูง ที่ความน่าเชื่อถือของข้อมูลเป็นเรื่องสำคัญมาก

ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพแบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์จึงเกิดประโยชน์ในการแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวได้ เพราะการวัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีระบบและวิธีการชัดเจน ถือได้ว่ามีความเที่ยงตรงมากกว่า ความแม่นยำในการวัดก็ถือว่าอยู่ในระดับที่สูง โดยเฉพาะในการวัดวัตถุที่รูปทรงไม่เป็นเรขาคณิต และยากต่อการใช้อุปกรณ์การวัดด้วยวิธีทางกายภาพ

ในปัจจุบัน ได้มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ มาใช้ในการวัดวัตถุต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการวัดความสูงของคนโดยการใช้กล้องถ่ายรูปจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัล (พีดีเอ)[2] การวัดขนาดของวัตถุโดยไม่ต้องมีไม้บรรทัดเทียบ[3] หรือ การวัดแบบที่มีไม้บรรทัดคอยเปรียบเทียบ[17] ที่ให้ผลที่ดีและชัดเจน ซึ่งการวัดแบบนี้ก็ถูกนำไปใช้จริงกันอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้วัดขนาดของปลาทั้งแบบที่ต้องมีวัตถุเปรียบเทียบ[15] และไม่ต้องมีวัตถุเปรียบเทียบ[16] หรือแม้แต่การนำไปวัดเส้นทางโพรเจคไทล์ของน้ำ ที่เป็นไปได้ยากมากที่จะวัดด้วยวิธีแบบปกติที่ไม่ใช้ภาพ

รูปที่ 3 (d) แสดงให้เห็นวิธีการวัดขนาดของใบไม้โดยใช้วิธีการของ Gil et al.[4] ซึ่งใช้หลักการของการเทียบอัตราส่วนจุดภาพ (pixel) ของภาพ กับความยาวของวัตถุจริง ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าจุดภาพระหว่างจุดที่ 1 เซนติเมตร กับ 2 เซนติเมตร มีความต่างกัน 20 จุดภาพก็จะสามารถทราบได้ว่า 1 จุดภาพเท่ากับ หนึ่งส่วนยี่สิบเซนติเมตร(1/20 cm) ดังนั้น เมื่อทำการวัดจุดบนส่วนของกระดูก ได้ค่าออกมาเป็นจำนวนกี่จุดภาพ เมื่อคูณด้วย 1/20 ก็จะได้ค่าของความจริงมีหน่วยเป็นเซนติเมตรออกมาได้ ซึ่งวิธีการวัดในลักษณะนี้ จะมีข้อดีเรื่องความแม่นยำ เพราะภาพที่นำมาวัดนั้น เป็นภาพสองมิติซึ่งไม่มีปัญหาในเรื่องรูปทรงของชิ้นส่วนกระดูก อย่างไรก็ตาม วิธีการวัดในลักษณะนี้จะให้ผลแม่นยำได้ ต้องมีข้อกำหนด

การถ่ายรูป ต้องทำในแนวตั้งตรงกับระนาบที่ต้องการวัด (เช่น ในรูปที่ 3 (c)) หากภาพที่ถ่ายมา ถ่ายจากมุมที่เอียง จะทำให้ความแม่นยำในการวัดลดลง วิธีการแก้อย่างง่าย สามารถทำได้แบบเดียวกับการวัดโดยการใช้เวอร์เนีย คือ ถ่ายภาพหลายครั้งและทำการวัดหลายครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย แต่สิ่งที่แตกต่างกัน คือ การวัดโดยใช้ภาพดิจิทัลนั้น สามารถทำได้เร็วกว่ามาก



รูปที่ 3 ตัวอย่างการทำ measurement โดยใช้ภาพดิจิทัล (a) การใช้ช่องตารางเป็นตัวบอกให้คอมพิวเตอร์รู้สเกลความยาว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการวัดความยาวของสายน้ำที่ฉีดเป็นแนวโปรเจคไทล์ดังภาพ ซึ่งโดยปกติวัดได้ยากมาก (ภาพจาก[4]) (b) ตัวอย่างการใช้ Computer Graphic มาช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติ ของชิ้นกระดูกของคนได้ โดยภาพที่รับเข้าไปเป็นภาพถ่าย x-ray 2D จำนวนหลายๆ ภาพ (ภาพจาก [19]) (c) ตัวอย่างวิธีการเซตเครื่องมือ ให้เหมาะกับการใช้วิธีการวัดโดยภาพดิจิทัล ตำแหน่งระยะห่างจากกล้องไปวัตถุคงที่ และตำแหน่งกล้องคงที่ โดยแทนวางวัตถุ ก็จะออกแบบไว้ให้วางวัตถุได้ตรงกึ่งกลางกล้องพอดี (ภาพจาก[4]) (d) ตัวอย่างโปรแกรมในการวัดขนาดใบไม้โดยใช้วิธีเทียบอัตราส่วนแบบง่าย (ภาพจาก[17])

ภาพควรจะต้องมีความบิดเบี้ยว (distortion) ให้น้อยที่สุดการใช้เลนส์บางชนิด มีข้อจำกัดเรื่องของมุมมองเลนส์ ทำให้บางครั้งภาพที่ถ่ายมีการโค้ง ซึ่งสามารถสังเกตได้ง่าย จากการมองดูรูปร่างของไม้บรรทัดในภาพ หากไม้บรรทัดมีความเที่ยงตรงและได้มาตรฐาน รูปที่นำมาใช้วัด ก็จะถือว่าอยู่ในระดับคุณภาพที่ใช้ได้

นอกเหนือไปจากการวัดด้วยวิธีการอ้างอิงจากไม้บรรทัดดังที่กล่าวไปแล้วนั้น การวัดอีกแบบหนึ่งสามารถกระทำได้โดยการใช้กล้องที่เรียกว่าการมองเห็นแบบสามมิติ (stereo vision) โดยใช้หลักการเหมือนกับทัศนศาสตร์ของมนุษย์ ที่สร้างความตื้นลึกของวัตถุ จากการเทียบภาพที่ได้จากตาสองข้างแล้วสร้างแบบจำลองสามมิติขึ้นมาซึ่งวิธีการวัดแบบนี้สามารถนำไปใช้ในการวัดขนาดของสัตว์บางชนิด โดยไม่ต้องจับสัตว์โดยตรง หรือวางยาสลบสัตว์ช่วยลดแรงงาน และเวลาในการทำงานของสัตวแพทย์ได้ ทั้งนี้ ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำข้อมูลไปใช้ด้วย

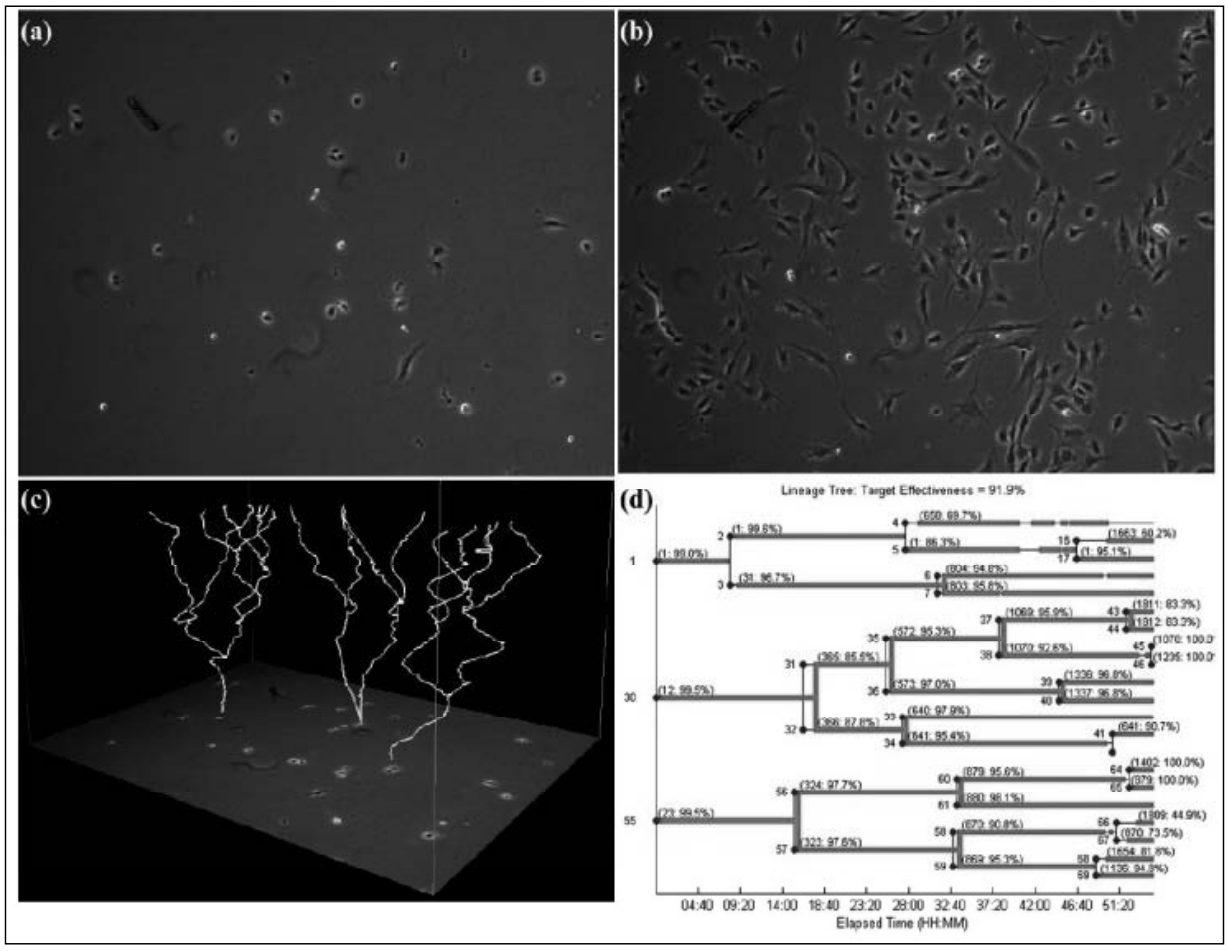
ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ ก็มีการสร้างแบบจำลองภาพสามมิติ ของอวัยวะหรือวัตถุขึ้นมาได้จากการนำวัตถุนั้น ๆ ไปวางแล้วทำการหมุนวัตถุให้คอมพิวเตอร์สังเกตดูวัตถุจากหลากหลายมุมมองจนสามารถรู้ความลึก และความยาวในส่วนต่าง ๆ ของวัตถุได้อย่างละเอียด ซึ่งวิธีนี้ เป็นวิธีที่ช่วยให้ข้อมูลทางด้านเรขาคณิต (geometry) ของวัตถุได้อย่างละเอียดมากขึ้น (รูปที่ 3 (b)) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อเสียคือ การวัดวัตถุชิ้นหนึ่ง ๆ จะใช้เวลาที่ค่อนข้างนานทั้งในส่วนของการประมวลผล และเวลาในการทำการหมุนวัตถุอย่างช้า ๆ เพื่อให้คอมพิวเตอร์สังเกตดู

การวิเคราะห์แยกแยะโรคและอาการของสัตว์

ในทางการแพทย์ ได้มีการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ภาพของเซลล์จากกล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัลกันอย่างแพร่หลาย รวมถึง การพยายามให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้รูปแบบของเซลล์ที่ปกติ และแบบที่เป็นโรคชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น การประมวลผลบนภาพฮิปโปแคมปัส (hippocampus)[6] และการวิเคราะห์พื้นผิว (texture) ของภาพที่ได้จากการสแกนด้วยระบบการสร้างภาพด้วยเรโซ-แนนซ์แม่เหล็ก (magnetic resonance imaging: MRI) ของสมอง[7] เพื่อตรวจหาและวิเคราะห์โรคอัลไซเมอร์ (alzheimer) หรือ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ตรวจหาโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก[9] และมะเร็งเต้านม[10] โดยใช้ภาพดิจิทัลซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาไปอย่างมาก แม้ว่าจะยังไม่สามารถนำมาแทนที่แพทย์ได้ แต่ก็เป็นการช่วยเหลือแพทย์ได้ในหลายด้าน นอกจากนี้ ยังมีการใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อช่วยในการศึกษาการเคลื่อนไหวของเซลล์ได้อีกด้วย เพราะปัญหาหนึ่งในการศึกษาพฤติกรรมของเซลล์ คือการติดตาม (tracking) พฤติกรรมของเซลล์ เพราะการมองเห็นผ่านกล้องจุลทรรศน์ของมนุษย์นั้นไม่สามารถจะนำสิ่งที่มองเห็นด้วยตามาวาด (plot) เป็นกราฟการเคลื่อนที่อย่างละเอียดของเซลล์เก็บไว้ได้ นอกจากนี้ สายตามนุษย์เรายัง

มีขีดจำกัดในการโฟกัสการมองไปที่เซลล์ได้เพียงไม่กี่เซลล์ แต่ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์รับภาพวีดีโอที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ แล้วให้คอมพิวเตอร์สังเกตการเคลื่อนที่ของเซลล์จำนวนมากในเวลาเดียวกัน แล้วทำการวาดกราฟการเคลื่อนที่ได้[5] (รูปที่ 4) ซึ่งการติดตามตำแหน่งเซลล์นี้ ช่วยให้ศึกษาพฤติกรรมของโรคได้หลายชนิด อาทิเช่น การศึกษาวงจรเซลล์ของโรคมะเร็ง[8]

จากตัวอย่างที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ภาพดิจิทัลเพื่อช่วยในทางการแพทย์นั้นแพร่หลายมากขึ้น แต่ในทางสัตวแพทย์กลับยังไม่แพร่หลายนักสาเหตุหนึ่งอาจเป็นเพราะเทคโนโลยีเกี่ยวกับภาพดิจิทัลดังที่กล่าวมานั้นเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ อย่างไรก็ตามแนวโน้มการนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ในวงการสัตวแพทย์นั้นเริ่มมีสูงขึ้นยกตัวอย่างเช่น เมื่อลองพิจารณาลักษณะการวิเคราะห์เซลล์ใน



รูปที่ 4 ตัวอย่างการใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการ Track กระบวนการ Mitosis ของเซลล์ (ภาพจาก[5]) (a) ภาพเริ่มต้นของเซลล์จำนวน 20+ เซลล์ (b) ภาพของเซลล์ที่เวลา 55 ชม.ผ่านไป จำนวนเซลล์เพิ่มมากว่าร้อยเซลล์ (c) แผนภาพแสดงเส้นทาง Mitosis ของเซลล์ 3 เซลล์ ที่เลือกมาเป็นตัวอย่าง (d) เปรียบเทียบ Lineage Tree ของ cell mitosis โดยเส้นบาง คือ tree ที่เขียนโดยนักวิจัยจำนวน 3 คนและเส้นหนา คือ tree ที่เขียนขึ้นมาโดยคอมพิวเตอร์ ผลแสดงให้เห็นว่าระบบ ทำงานได้ใกล้เคียงกับคนมาก

ทางการแพทย์โดยใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ดังที่ได้กล่าวมานั้นจะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกับการนำมาใช้ศึกษาพฤติกรรมของเซลล์ในสัตว์ได้

ในอีกมุมมองหนึ่ง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในทางสัตวแพทย์ เพื่อช่วยสัตวแพทย์ในการตรวจวิเคราะห์แยกแยะโรคนั้น อาจจะมีนัยสำคัญยิ่งกว่าที่ใช้ในทางการแพทย์ เพราะในทางการแพทย์นั้น แพทย์สามารถได้รับข้อมูลจากผู้ป่วย นอกเหนือไปจากรูปภาพสแกน หรือ เอกซเรย์ ผ่านทาง คำบอกเล่าอาการจากผู้ป่วย ในขณะที่สัตว์นั้น ไม่สามารถพูดได้ ได้แต่เพียงแสดงอาการอย่างตรงไปตรงมา การใช้เทคโนโลยีภาพเข้าไปช่วยสัตวแพทย์ทำการวิเคราะห์โรค อาจจะมีประโยชน์มากขึ้น เพราะคอมพิวเตอร์ อาจจะมองเห็นสิ่งผิดปกติบางอย่าง ที่บางครั้งอยู่นอกเหนือสายตาของมนุษย์ หรือในบางครั้งที่มนุษย์อยู่ในอาการอ่อนล้า

การศึกษานิสัยและพฤติกรรมของสัตว์

ในการศึกษาถึงพฤติกรรม และนิสัยของสัตว์นั้น ส่วนใหญ่ต้องใช้เวลาในการเฝ้าติดตามเป็นเวลานาน เป็นลักษณะของงานที่ต้องใช้สมาธิสูงเป็นเวลานาน ซึ่งไม่ค่อยจะเหมาะสำหรับมนุษย์มากนัก การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคอยจับตามองการเคลื่อนไหว หรือการเปลี่ยนแปลงของสัตว์ที่ต้องการศึกษา โดยที่ไม่รู้ว่าการเคลื่อนไหวนั้น ๆ จะเกิดขึ้นเมื่อไหร่อย่างไร ย่อมช่วยให้การศึกษาพฤติกรรมสัตว์สามารถทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และทุ่นแรงของผู้ที่ทำการศึกษา นอกเหนือไปจากนี้ลักษณะการเฝ้าติดตามนี้ ก็มีส่วนคล้ายกับการเฝ้าติดตามการเคลื่อนที่ของเซลล์ที่กล่าวในข้างต้น การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของสัตว์ อาจจะทำได้ดีขึ้น หากการเคลื่อนไหวนั้น สามารถพลอตลงบนแกนพิกัดคาร์ทีเซียน (cartesian coordinates) เพื่อระบุตำแหน่งในการเคลื่อนไหวอย่างแน่ชัด

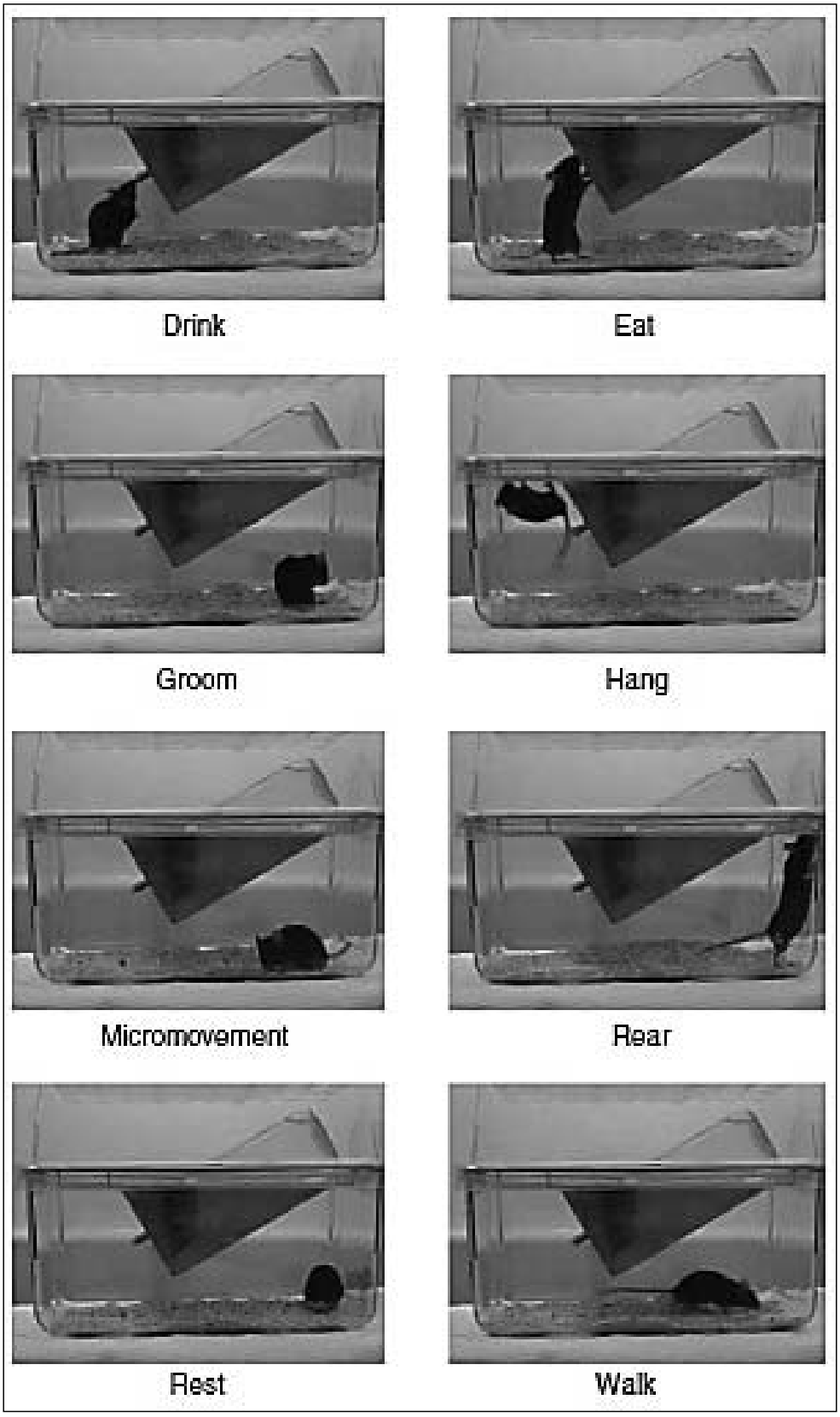
ในปัจจุบัน ได้มีงานวิจัยที่ได้ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ไปใช้ในการทำความเข้าใจ “กิจกรรม” ของมนุษย์ โดยที่ระบบสามารถสังเกต และทำความเข้าใจรูปแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ในแต่ละกิจกรรมได้ โดยใช้หลักการพื้นฐานที่ว่า ภาพวีดีโอนั้นประกอบด้วยภาพนิ่งสองมิติที่ถูกถ่ายมาได้เวลาใกล้เคียงกันมาก ๆ แล้วนำมาเรียงต่อกัน เช่น สำหรับกล้องที่ตั้งไว้คงที่ หากทำการเปรียบเทียบภาพที่ถ่ายที่เวลาใกล้กัน จะพบได้ว่าส่วนใดบ้างของภาพที่เปลี่ยนไป และนั่นคือวัตถุที่มีการเคลื่อนไหว (moving object) จากนั้นจึงนำภาพเฉพาะส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ มาทำการคำนวณหารูปแบบของการเคลื่อนไหวนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่นงานของ Rohrbach et al.[11] ที่พยายามจะให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ และจดจำท่าทางที่ใช้ในการทำอาหารทั้งหมด 65 ท่า เช่น “หั่นบาง ๆ” “เอาของออกจากลิ้นชัก” “เอาของออกจากตู้เย็น” “บีบ” “เท” ฯลฯ ซึ่งหลังจากที่ทำการสอนคอมพิวเตอร์ด้วย ท่าทางทั้ง 65 แบบเพียงส่วนเดียวของคน ๆ หนึ่ง เมื่อนำไปทดสอบระบบก็สามารถที่จะเข้าใจท่าทางในการทำอาหารของคนอีกคนหนึ่ง ในอีกสถานที่หนึ่ง ว่าเป็นท่าทางใด ใน 65 ท่าทางนั้น ได้อย่างถูกต้องที่ความแม่นยำประมาณ 60% หรือ จะเป็นงาน

ของ Bangpeng et al.[12] ที่ให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ และจดจำ “กิจกรรมท่าทาง” ของคนแบบทั่วไป ไม่เฉพาะเจาะจง โดยทดสอบกับข้อมูลกิจกรรมท่าทาง จำนวน 40 แบบ ของ Stanford เช่น “ขี่จักรยาน” “พายเรือ” “ตบมือ” “ล้างจาน” “ดื่มน้ำ” ฯลฯ ซึ่งระบบก็สามารถแยกแยะ กิจกรรมเหล่านี้ของมนุษย์ได้ที่ความแม่นยำกว่า 50%

จากตัวอย่างของงานวิจัย ที่พยายามใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยประมวลผลการเคลื่อนไหวของวัตถุ พบได้ว่า อาจเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาการเคลื่อนไหวของสัตว์ได้ในอนาคต ซึ่งงานวิจัยของ Goldenberg et al.[14] ได้เสนอวิธีการใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการช่วยศึกษาแยกแยะนิสัยแบบต่าง ๆ ของสัตว์ เช่น ม้า หรือ สุนัข เมื่อคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการที่จะจับภาพสุนัข แล้วสร้างภาพเงาทึบ (silhouette) ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มากำกับ เราก็สามารถที่จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ ขึ้นมาอธิบายการเคลื่อนไหวของสัตว์ตัวใดตัวหนึ่งได้ ซึ่งมีประโยชน์ได้ 2 ทาง คือ 1. ช่วยในการแยกแยะและวิเคราะห์ในงานวิจัย เช่น การตัดสินรูปแบบการเคลื่อนไหวของสัตว์ว่าเหมือน หรือ ต่างกันอย่างไร อาจจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวช่วย เพื่อลดความลำเอียง ในการวิเคราะห์ผล 2. การที่คอมพิวเตอร์ เข้าใจการเคลื่อนไหวของสัตว์ในรูปแบบของตัวเลข และสมการ อาจจะทำให้ได้รับข้อมูลบางอย่างที่ละเอียดเกินกว่าสายตามนุษย์จะรับได้ เช่น ในขณะที่มนุษย์สูญเสียสมาธิเนื่องด้วยปัจจัยอื่น ๆ

ล่าสุด ทีมวิจัยร่วมกันจาก Massachusetts Institute of Technology (MIT) และ California Institute of Technology (Caltech) ได้พัฒนาระบบอัติโนมัติที่ช่วยให้สามารถศึกษาพฤติกรรมของหนู ขณะที่อยู่ในกรงได้สำเร็จ[18] โดยประสิทธิภาพที่วัดออกมานั้น มีความแม่นยำในการศึกษาพฤติกรรมของหนูได้ใกล้เคียงกับกรณีที่มนุษย์เป็นผู้ศึกษาสังเกตเอง ซึ่งวิธีการวัดนี้ ก็กระทำโดยการให้มนุษย์ลองสังเกตพฤติกรรมของหนู แล้วจดบันทึกแต่ละพฤติกรรมเอาไว้ จากนั้นจึงนำเอาวีดีโอไฟล์เดียวกันนี้ให้คอมพิวเตอร์เป็นผู้ลองศึกษา ปรากฏว่าคอมพิวเตอร์ สามารถจดบันทึกพฤติกรรมของหนูออกมาได้เหมือนกับที่มนุษย์เป็นผู้ทำเอง ซึ่งในการทดลองนี้ พฤติกรรมที่สนใจของหนูนั้น แบ่งเป็น 8 พฤติกรรมตามที่แสดงในรูปที่ 5

การประยุกต์ใช้ในอีกลักษณะหนึ่ง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ คือ การศึกษาในเรื่องของการอยู่ร่วมกันในสังคมของสัตว์หลายตัว เช่น สุนัขที่อยู่ด้วยกันหลายตัว จะมีพฤติกรรมในการเดินเข้าหากัน หรือ ออกห่างจากกันอย่างไร เมื่อมีสิ่งเร้าต่าง ๆ เปลี่ยนไป ซึ่งจะเห็นชัดว่างานลักษณะนี้ ต้องใช้เวลาการเฝ้าดูนาน เป็นงานที่เหมาะกับคอมพิวเตอร์มากกว่ามนุษย์ ซึ่งในอนาคต การศึกษาด้านนี้อาจทำได้ด้วยการใช้ระบบการติดตามของมนุษย์ดังที่แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งพัฒนาโดยทีมวิจัยจากมหาวิทยาลัย Oxford[13] พบว่าคอมพิวเตอร์สามารถติดตามคนทุกคนในวีดีโอได้อย่างแม่นยำ แม้ว่าคนจะมีเยอะมาก และมีการยืนทับกัน การปิดมิด



รูปที่ 5 ตัวอย่างพฤติกรรม 8 อย่างของหนู ที่ใช้ในการทดลองกับระบบการติดตามศึกษาพฤติกรรมของหนูในกรง (ภาพจาก[18])

รูปที่ 6 ตัวอย่างพฤติกรรม การ track ตำแหน่งการเคลื่อนไหวของคนจำนวนหลาย ๆ คนในสภาพแวดล้อมที่หนาแน่นพร้อม ๆ กัน ระบบมีความเป็นไปได้ในการพัฒนามาใช้กับสัตว์บางชนิด แบบจำเพาะเจาะจงเพื่อการศึกษาพฤติกรรมการอยู่ร่วมกัน ของสัตว์ (ภาพจาก[13])

(occlusion) แต่คอมพิวเตอร์ก็สามารถแยกแยะได้ ซึ่งความสามารถในการติดตามคนได้อย่างแม่นยำนี้ ย่อมสามารถนำมาพัฒนาปรับปรุงในการ track การเคลื่อนไหวของกลุ่มสัตว์ในสถานที่หนึ่ง ในระยะเวลานาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้ข้อมูลที่เหมาะแก่การแปลผล

การจะใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในงานทางด้านสัตวแพทย์นั้น ผู้เขียนมิได้หมายถึงการแทนที่มนุษย์ด้วยระบบ แต่เป็นการใช้ระบบ เพื่อช่วยเติมเต็มในส่วนที่มนุษย์ขาดหายไป เพราะเป็นที่รู้กันในวงการคอมพิวเตอร์ และปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) ว่า โดยทั่วไปแล้ว คอมพิวเตอร์จะเก่งกว่ามนุษย์ในงานที่ใช้เชาวน์ปัญญา (intelligence) ระดับที่ไม่สูงมาก แต่ใช้ความจำสูง สมาธิสูงและยาวนาน เพราะมนุษย์นั้น มีระดับสมองที่คอมพิวเตอร์ปัจจุบันยังไม่สามารถเทียบได้เพราะมนุษย์สามารถเร่งระดับของเชาว์ปัญญาและการใช้เหตุผล (reasoning) ให้สูงขึ้นได้ในชั่วขณะหนึ่ง (เช่น 3-4 ชั่วโมง) แต่ข้อเสียคือ เชาวน์ปัญญาระดับนี้จะไม่สามารถคงอยู่ได้นานเกินไป การผสมผสานวิทยาการทางเทคโนโลยีภาพดิจิทัล และความฉลาดของมนุษย์อย่างเหมาะสม อาจทำให้งานต่าง ๆ ทางด้านสัตวแพทย์ออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทสรุป

ผู้เขียนได้อธิบายพอสังเขปถึงวิทยาการเทคโนโลยี ภาพดิจิทัลในปัจจุบันโดยแบ่งออกเป็น การประมวลผลภาพดิจิทัล คอมพิวเตอร์วิทัศน์ และคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถนำไปใช้ในทางสัตวแพทย์ได้แบ่งออกเป็นสามแนวทางใหญ่ ๆ คือ 1) ในเรื่องของการวัดค่าในงานวิจัยโดยการใช้จุดภาพเป็นพื้นฐาน ซึ่งใช้หลักการที่ระยะห่างของจุดภาพในภาพดิจิทัลนั้นมีความสัมพันธ์ที่คงที่ต่อระยะห่างระหว่างจุดใด ๆ ในวัตถุจริง 2) การวิเคราะห์แยกแยะโรคและอาการของสัตว์ รวมถึงรูปแบบของเซลล์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ โดยการให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้และจดจำรูปแบบของเซลล์และส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ทั้งในกรณีที่เป็นโรคและไม่เป็นโรค เพื่อช่วยในการวิเคราะห์แยกแยะโรคที่แม่นยำขึ้นให้กับสัตวแพทย์และท้ายที่สุดคือ 3) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวและพฤติกรรมของสัตว์ในรูปแบบตัวเลขและสมการเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ที่แม่นยำ เที่ยงตรง และสะดวกรวดเร็วมากขึ้น

บทความทางวิชาการเรื่องนี้มีจุดประสงค์ในการช่วยเปิดมุมมองใหม่ และอธิบายถึงแนวทางความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคโนโลยีภาพดิจิทัลเข้ามาช่วยในงานสัตวแพทย์ ทั้งในปัจจุบันและในอนาคตเพื่องานวิจัยที่มีคุณภาพมากขึ้น ทั้งในด้านของการวัดและประเมินผลการทดลอง การเก็บข้อมูลที่ต้องใช้เวลานาน รวมไปถึงความเป็นไปได้ในการค้นพบสิ่งใหม่ ที่ได้จากการช่วยสังเกตของคอมพิวเตอร์

เอกสารอ้างอิง

1. Warren W, Grant III W H, Teh B S. Helical TomoTherapy System. In: Lo S S, Teh B S, Lu J J, Schefter T E, editors. Stereotactic Body Radiation Therapy. Medical Radiology, 2012; p. 67-77.
2. Benabdelkader C, Yacoob Y. Statistical Body Height Estimation from a Single Image. FG 08. Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition; 2008 Sep 17-19; Amsterdam, Netherland.
3. Momeni-k M, Diamantas C S, Ruggiero F, Sicilliano B. Height Estimation from a Single Camera View. VISAPP 12. Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision Theory and Applications; 2012 Feb 24-26; Rome, Italy.
4. Gil S, Reisin D H, Rodriguez E E. Using a Digital Camera as a Measuring Device. American Journal of Physics. 2006 Sep; 74(9): 768-75.
5. Kanade T, Yin Z, Bise R, Huh S, Eom S E, Sandbothe M, Chen M. Cell Image Analysis and Applications. WACV 11. Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. 2011 Jan 5-7; Kona, Hawaii.
6. Coupe P, Eskildsen S F, Manjon J V, Fonov V, Collins D L. Simultaneous Segmentation and Grading of Hippocampus for Patient Classification with Alzheimer's

Disease. MICCAI 11. Proceedings of the International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention. 2011 Sep 18-22; Toronto, Canada.

7. Freeborough P A, Fox N C. MR Image Texture Analysis Applied to the Diagnosis and Tracking of Alzheimer's Disease. IEEE Transactions on Medical Imaging. 1998 June; 17(3): 475-8.
8. Li F,Zhou X,Ma W, Wong S. Multiple Nuclei Tracking Using Integer Programming for Quantitative Cancer Cell Cycle Analysis. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2010 Jan; 29(1): 96-105.
9. Maggio S, Palladini A, De Marchi L, Alessandrini M, Speciale N, Masetti G. Predictive Deconvolution and Hybrid Feature Selection for Computer-aided Detection of Prostate Cancer. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2010 Feb; 29(2): 455-64.
10. Drukker K, Sennett C A, Giger M L. Automated Method for Improving System Performance of Computer-Aided Diagnosis in Breast Ultrasound. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2009 Jan; 28(1): 122-8.
11. Rohrbach M, Amin S, Andriluka M, Schiele B. A Database for Fine Grained Activity Detection of Cooking Activities. CVPR 12. Proceedings of the 25th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2012 Jun 16-21; Rhode Island, USA.
12. Yao B, JiangX, Khosla A, Lin A L, Guibas L J, Fei-Fei L. Human Action Recognition by Learning Bases of Action Attributes and Parts. ICCV 11. Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Computer Vision. 2011 Nov 6-13; Bercelona, Spain.
13. BenfoldB, Reid I D.Stable Multi-target Tracking. CVPR 10. Proceedings of the 23rd IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2010 Jun 13-18; San Francisco, USA.
14. Goldenberg R, Kimmel R, Rivlin E, Rudzsky M. 'Dynamism of a Dog on a Leash' or Behavior Classification by Eigen-decomposition of Periodic Motions. ECCV 02. Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision. 2002 May 27 – Jun 2; Copenhagen, Denmark.
15. Sidek Z M, Halawani S M. Computer Vision Application in Measuring Fish Length. European Journal of Scientific Research. 2010 Sep; 45(1): 47-54.
16. White D J, Svellingen C, Strachan N J C. Automated Measurement of Species and Length of Fish by Computer Vision. Fisheries Research. 2006 Sep; 80(2-3): 203-10.
17. Pickle J. Measuring Length and Are of Objects in Digital Images Using Analyzing Digital Images Software. Concord Academy; 2008.
18. Jhuang H, Garrote E, Yu X, Khilnani V, Poggio T, Steele A D, Serre T. Automated Home-cage Behavioural Phenotyping of Mice.