รหัสโครงการ SUT7-705-62-12-10 (NEW)

รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มวัวนมโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก

(An Analysis of Dairy Cattle Sperm Motility using Deep Learning)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-705-62-12-10 (NEW)

รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มวัวนมโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก

(An Analysis of Dairy Cattle Sperm Motility using Deep Learning)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อ. ดร. ศรัญญา กาญจนวัฒนา

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มีนาคม 2563

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์นิตยา เกิดประสพ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความจริงใจและความตั้งใจจริง ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณะผู้ร่วมวิจัยที่ช่วยในการเตรียมเครื่องมือที่จำเป็นต่องานวิจัยและตัวอย่างอสุจิเพื่อการเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างมีระเบียบเรียบร้อย ขอขอบคุณพนักงานประจำห้องปฏิบัติการที่ 10 ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บตัวอย่างข้อมูล จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางการเกษตรด้านเทคโนโลยีสัตว์และงานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์ ขอมอบความดี ทั้งหมดนี้ให้แด่ ท่านคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา ที่ทำให้ผลงานวิจัยสำเร็จเป็นประโยชน์ ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและต่อสังคม ขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดาและผู้มีพระคุณทุกท่าน ส่วนข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟัง คำแนะนำจากทุกท่าน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562

อาจารย์ ดร. ศรัญญา กาญจนวัฒนา

มีนาคม 2563

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อภาษาไทย

เกษตกรผู้เลี้ยงโคนมมีอยู่หลายๆพื้นที่ของประเทศไทยเนื่องจากความเหมาะสมของสภาพภูมิประเทศและอากาศของประเทศไทย อีกทั้งตลาดผลิตภัณฑ์นมยังมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความต้องการการบริโภคสูงขึ้นทุกปี อย่างไรก็ตามการได้ผลผลิตที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ เช่น ความมีคุณภาพของโคนมที่สามารถผลิตน้ำนมได้มากและสามารถให้นมระยะเวลานาน การได้โคนมที่มีคุณภาพในแต่ละรุ่นเกิดจากคุณภาพของโคนมรุ่นพ่อและรุ่นแม่เป็นสำคัญ ดั้งนั้นการตรวจสอบคุณภาพของน้ำเชื้อของโคนมตัวผู้ก่อนการผสมเทียมจึงเป็นกระบวนการสำคัญอย่างยิ่ง การตรวจสอบคุณภาพของน้ำเชื้อสามารถทำได้หลายวิธี โดยหนึ่งในวิธีการนั้นคือ การตรวจสอบรูปแบบการเคลื่อนที่ของอสุจิในน้ำเชื้อ โดยน้ำเชื้อที่ดีนั้นควรมีอสุจิที่มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เนื่องจากสามารถเพิ่มโอกาสในการผสมเทียมสำเร็จได้ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการในการตรวจจับอสุจิที่ปรากฏจากการส่องกล้องจุลทรรศน์และคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่ โดยใช้วิธีการทาง Computer Vision และการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อการตรวจจับตำแหน่งของอสุจิและวิธีการทางการการเรียนรู้ของเครื่องจักรด้วยอัลกอริทึม support vector machines (SVM) เพื่อใช้ในการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่ ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้และทดสอบนั้นได้ทำการรวบรวมจากการสังเกตตัวอย่างน้ำเชื้อโคนมจากห้องปฏิบัติการ โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้ทำการบันทึกวิดีโอจำนวน 45 คลิปเพื่อทำเป็นข้อมูลขาเข้าของระบบนี้ จากการทดลอง พบว่าระบบมีความสามารถในการตรวจจับอสุจิที่เข้ามาในพื้นที่สังเกตโดยมีความแม่นยำสูงถึง 91% และความแม่นยำในการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่สูงถึง 77% โดยสามารถสรุปได้ว่าการใช้การเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับข้อมูลจริงในการตรวจจับอสุจิโคนมสามารถเป็นไปได้ในการวิจัยในเทคโนโลยีชีวภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

There are many dairy farmers in Thailand due to the suitability of the terrain and weather in Thailand. In addition, the dairy market is continuously expanding which results in increased demand for consumption every year. However, producing the dairy product meeting to the need of consumers depends on essential factors, e.g., quality of dairy cows that can produce a lot of milk and can produce milk for a long age. The quality of dairy cows in each generation is mainly due to the quality of the cows in the previous generation. Therefore, an inspection of semen quality on bulls prior to the process of artificial insemination is surely an important process. There are several methods to inspect the semen quality in which one of them is to assay how sperm motility in the semen. In fact, the good quality of the semen should contain a lot of sperms moving in straight lines or progressive motility. In this research, we proposed the novel method of sperm detection and classification. The sperm detection was used computer vision and deep learning techniques to locate the apparent sperms in an observed area in a microscope. Moreover, we utilized support vector machines (SVM) to classify the different types of sperm motility. A training and testing dataset were collected from a biology laboratory by an expert, in a total of 45 video clips. As the experimental results, we found that the system could correctly detect the sperm in the observed area, up to 91%, and the accuracy of the sperm motility classification reached 77%. Consequently, use of deep learning in sperm detection with real data have proved this application in biotechnology.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ .....ก
บทคัดย่อภาษาไทย .....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....ค
สารบัญ .....ง
สารบัญตาราง .....จ
สารบัญภาพ .....ช
บทที่ 1 บทนำ
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
ขอบเขตของการวิจัย 3
ข้อตกลงเบื้องต้น 3
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
แหล่งที่มาของข้อมูล 6
วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล 6
วิธีวิเคราะห์ข้อมูล 6
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล
อภิปรายผล 13
บทที่ 5 บทสรุป
สรุปผลการวิจัย 15
ข้อเสนอแนะ 16
บรรณานุกรม 17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้วิจัย 18

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 4
รูปที่ 2 7
รูปที่ 3 7
รูปที่ 4 8
รูปที่ 5 9
รูปที่ 6 11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในประเทศไทยมีอยู่ทุกพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่เหมาะแก่การทำเกษตรอุดมสมบูรณ์ มีภูมิประเทศที่หลากหลาย จากการสำรวจสถิติการเลี้ยงโคนมในประเทศไทย ในปี 2561 มีจำนวนโคนมเพศเมีย อยู่จำนวน 592,812 ตัว และจำนวนโคเพศผู้จำนวน 30,615 ตัว จากเกษตรกรจำนวน 17,925 ราย เมื่อเปรียบเทียบกับสถิติของจำนวนโคนมในปีที่ผ่านมาพบว่าจำนวนโคนมทั้งหมดของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 2.82 ต่อปี อาชีพการเลี้ยงโคนมเป็นอาชีพพระราชทานจาก รัชกาลที่ 9 ซึ่งมีองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.) ได้ส่งเสริมและพัฒนาการเลี้ยงโคนมของไทยมาอย่างต่อเนื่องยาวนานกว่า 55 ปี (Gurevich, 2019; Marukatat, 2018)

ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อมีการสนับสนุนจากภาครัฐให้ประชาชนบริโภคน้ำนมที่ผลิตได้ภายในประเทศมากขึ้น ทำให้มีความต้องการผลผลิตจากโคนมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของประชาชนในปัจจุบัน การเพิ่มจำนวนโคนมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม โดยวิธีที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้คือใช้เทคโนโลยีการผสมเทียมในการขยายพันธุ์โคนมซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่าการผสมพันธุ์โดยธรรมชาติและทำให้เพิ่มอัตราการผสมติดและการตั้งท้อง

การเพิ่มโอกาสในการผสมติดโดยใช้วิธีการผสมเทียมนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น คุณภาพของน้ำเชื้อ และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการผสมเทียม โดยปกติแล้วคุณภาพของน้ำเชื้อสามารถตรวจสอบได้โดยดูจากการเคลื่อนที่ของอสุจิในน้ำเชื้อ (Kathiravan, Kalatharan, Karthikeya, Rengarajan, & Kadirvel, 2011) ความมีชีวิตอยู่ของอสุจิ (S. Kanjanawattana et al., 2018) และความผิดปกติของอสุจิ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องมือ Computer-assisted sperm analysis (CASA) (Amann & Waberski, 2014) และการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญ ในอดีตผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการคัดแยกความมีชีวิตของตัวอสุจิ โดยได้วิเคราะห์ถึงลักษณะเป็นตายของอสุจิโดยบันทึกเป็นรูปถ่ายจากการสังเกตุผ่านกล้องจุลทรรศน์ อัลกอริทึมที่ใช้ในการคัดแยกอสุจิคือ Convolutional Neuron Network (CNN) จากการทดลอง ผู้วิจัยได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจเพราะความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 80 ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่าวิธีการดังกล่าวมีความเป็นไปได้ว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์รูปภาพเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง (S. Kanjanawattana et al., 2018)

โดยปกติ น้ำเชื้อที่ใช้ในการผสมเทียมมีอสุจิจำนวนมากที่เคลื่อนที่อย่างแข็งแรง ซึ่งทำให้มีโอกาสสูงที่ได้โคนมรุ่นใหม่ที่แข็งแรงได้ไปด้วย อีกทั้งเมื่ออสุจิส่วนใหญ่ในน้ำเชื้อเคลื่อนที่แบบปกติซึ่งมี

ลักษณะเป็นเส้นตรง จะทำให้เพิ่มโอกาสในการผสมติดเป็นอย่างมาก ซึ่งมีผลให้ลดภาระค่าใช้จ่ายให้เกษตรกรในการจ้างผู้เชี่ยวชาญด้านการผสมเทียมและการซื้อปริมาณน้ำเชื้อ

ในปัจจุบัน มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับคุณภาพของอสุจิของสัตว์โดยสัตว์เศรษฐกิจ โดยปกติแล้ว ระบบ CASA ถูกพัฒนาจากหลายบริษัท โดยมีชื่อต่างกันดังนี้ CRISMAS, Hobson Sperm Tracker และ Image J CASA ซึ่งในงานวิจัยของ (Boryshpolets, Kowalski, Dietrich, Dzyuba, & Ciereszko, 2013) ได้ทำการทดสอบและประเมินการเคลื่อนที่ของอสุจิปลา โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของระบบ CASA ข้อมูลที่นำเข้าคือ ข้อมูลวิดีโอความยาว 12 วินาทีด้วยความถี่ 25 และ 50 เฟรมเรต จากการทดลองพบว่าระบบ CASA แต่ละตัวอาจให้ผลลัพธ์การจับการเคลื่อนที่ต่างกันถึงแม้ว่าจะใช้ข้อมูลเดียวกันก็ตาม โดยขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้กับระบบแต่ละตัว อีกงานวิจัยหนึ่ง Wilson-Leedy และคณะ (Wilson-Leedy & Ingermann, 2007) ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาระบบ CASA ที่มีอยู่ดังเดิมให้มีความแม่นยำมากขึ้นโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นตัวชี้วัดการเคลื่อนที่ของอสุจิ เช่น velocity straight line (VSL), curvilinear velocity (VCL)และ velocity and path straightness (STR) เป็นต้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความแม่นยำในการติดตามการเคลื่อนที่ของอสุจิปลา เนื่องจากมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งจำนวนมาก ทำให้การทำงานของระบบ CASA ปกติไม่สามารถจับการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำ โดยจากการศึกษา พบว่าการจำแนกการเคลื่อนที่ของอสุจิปลา เมื่อพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความเร็วและทิศทาง สามารถจำแนกการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าระบบ CASA ปกติ

ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมแบบอัตโนมัติโดยใช้หลักการของการเรียนรู้เชิงลึก การเลือกน้ำเชื้อโคนมที่มีคุณภาพควรเลือกจากน้ำเชื้อที่มีอสุจิเคลื่อนที่แบบ Progressive (การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง) เป็นส่วนมากเพื่อเพิ่มโอกาสในการผสมติด วิธีการดำเนินการในการวิเคราะห์คือ การรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมซึ่งทำการบันทึกโดยผู้เชี่ยวชาญ และทำการจับการเคลื่อนที่ของอสุจิได้โดยใช้วิธีการทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) และการเรียนรู้เชิงลึกมาประมวลผล จุดประสงค์สำคัญของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อพัฒนากระบวนการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ เพื่อประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อโดยวิเคราะห์จากพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอสุจิและเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิระหว่างวิธีการที่ได้มาจากงานวิจัยนี้และวิธีการที่มีอยู่แล้ว

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนากระบวนการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ
2. เพื่อประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อโดยวิเคราะห์จากพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอสุจิ
3. เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิระหว่างวิธีการที่ได้มาจากงานวิจัยนี้และวิธีการที่มีอยู่แล้ว

3. ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทางทีมผู้วิจัยจะมุ่งเน้นในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิในน้ำเชื้อของโคนมตัวผู้ที่ถูกเลี้ยงดูเพื่อทำการปศุสัตว์ โดยข้อมูลที่ใช้จะเป็นภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกไว้จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 40x ระยะเวลา 10-20 วินาที เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้จะเป็นอัลกอริทึมประเภทการเรียนรู้เชิงลึก

4. ข้อตกลงเบื้องต้น

ผู้วิจัยเลือกเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมโดยทำการบันทึกจากผู้เชี่ยวชาญ การเก็บข้อมูลในแต่ละวันและแต่ละช่วงเวลาไม่มีปัจจัยที่แตกต่างกัน และข้อมูลที่เก็บได้เป็นลักษณะที่ถูกต้องตามหลักการและมาตราฐานของการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานทางเทคโนโลยีชีวภาพ

5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

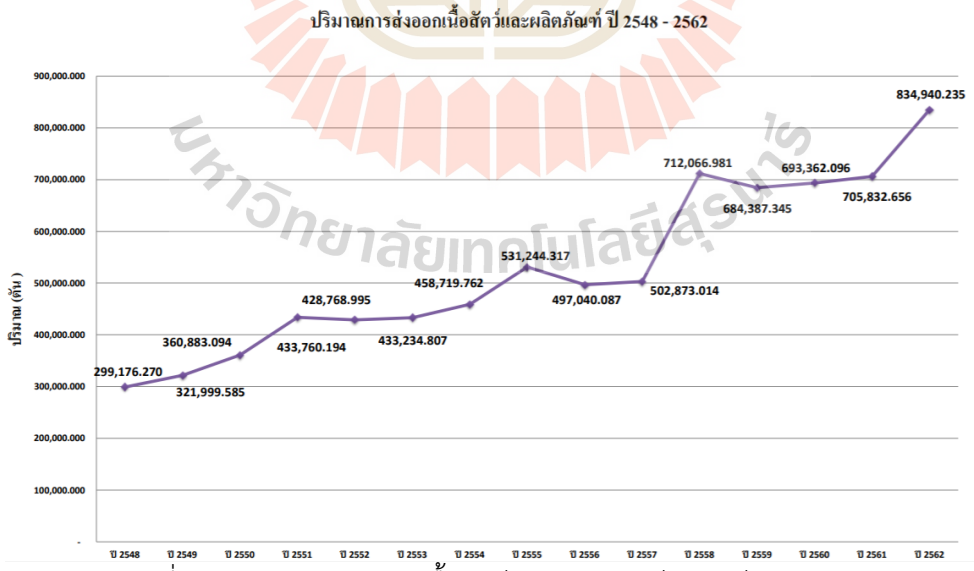
งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ผสมผสานศาสตร์ความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์และชีววิทยาซึ่งทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาเทคโนโลยีในการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของอสุจิในน้ำเชื้อโคนมซึ่งเป็นหนึ่งในสัตว์เศรษฐกิจของไทย ซึ่งพูดอีกนัยหนึ่งนั้นงานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเข้ากับภาคการเกษตรหรือ Smart Farm ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะสามารถเพิ่มมูลค่า ในการเพาะเลี้ยงวัวนมได้ งานวิจัยนี้สามารถคัดแยกน้ำเชื้อที่มีคุณภาพและไม่มีคุณภาพโดยดูจากการเคลื่อนที่ของอสุจิ ดังนั้นแล้วเมื่อได้น้ำเชื้อที่มีคุณภาพผสมเข้ากับวัวนมตัวเมียจะเพิ่มโอกาสในการปฏิสนธิและมีโอกาสได้ลูกวัวนมสูงขึ้น งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่สามารถปูพื้นฐานให้ประเทศเพื่อนำไปสู่การเป็นเกษตรกรในยุค Thailand 4.0 ด้วยเหตุนี้ผลของงานวิจัยนี้จึงเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นต้องนำไปเผยแพร่ให้กับหน่วยงานต่าง ๆที่เกี่ยวข้องและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในทางเกษตรเช่นกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงวัวนม รวมถึงการนำผลงานวิจัยที่ได้ไปเผยแพร่โดยการนำไปตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่าง ๆทั้งในและนอกประเทศ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกษตรกรรมเป็นภาคการผลิตที่สำคัญของประชากรไทยมาเป็นระยะเวลานานหลายสิบปี และมีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากอาหารคือปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดำรงชีวิต เกษตรกรรมสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. กสิกรรม คือการเพาะปลูกพืช
2. ปศุสัตว์ คือการประกอบอาชีพเลี้ยงสัตว์บนบก
3. การประมง คือการประกอบอาชีพการเกษตรทางน้ำ
4. การป่าไม้ คือการประกอบอาชีพเกี่ยวกับป่า

ในประเทศ เกษตรกรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพกสิกรรมหรือการทำนา ซึ่งมีอัตราการส่งออกสูงถึง 24 ล้านตันในปี 2561 และเพิ่มขึ้นเป็น 25 ล้านตันในปี 2562 (Association, 2562) อย่างไรก็ตาม จากแหล่งข้อมูลจากสมาคมผู้ส่งออกข้าวในประเทศไทย (Association, 2562) ได้สำรวจพื้นที่ทำกสิกรรมของชาวนาและพบว่าพื้นที่กสิกรรมกำลังลดลงทุกปีเนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมและสังคมเมือง การปศุสัตว์มีความต้องการสูงขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำปศุสัตว์โคนม จากข้อมูลทางสถิติประจำปี 2561 เห็นได้ว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมทั้งหมดจำนวน 17,925 ครัวเรือน โดยจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมมากที่สุดคือ 5,758 ครัวเรือน (นวรัตน์, 2561)



รูปที่ 1 ปริมาณการส่งออกเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ (ส่วนแผน, 2562)

รายได้ของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมมาจากการขายน้ำนมและขายโคนม ดังนั้นการได้โคนมคุณภาพดีในรุ่นต่อไปนั้นสำคัญสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ทำให้การประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อก่อน

การผสมเทียมเป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อเพิ่มโอกาสในการผสมติดและการได้ลูกโคนมที่มีคุณภาพ จากเทคโนโลยีปัจจุบัน มีเครื่องมือในการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อชื่อว่า Computer assisted sperm analysis (CASA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนามาแล้วกว่า 40 ปี CASA เป็นโปรแกรมที่ต่อเข้ากับกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งภาพจากกล้องจะถูกแสดงไว้ที่โปรแกรมและจะถูกนำมาประมวลผลเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 การทำงานหลัก คือ การตรวจสอบปริมาณตัวเป็นตัวตาย การตรวจจับรูปแบบการเคลื่อนที่ของอสุจิและการตรวจสภาพผิดปกติของอสุจิ โปรแกรม CASA นี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง (Amann & Waberski, 2014) แต่โปรแกรมที่ขายร่วมกับกล้องจุลทรรศน์มีราคาแพงมาก จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญที่มีการใช้งาน CASA จริง โปรแกรมและกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการมีราคาสูงถึง 3 ล้านบาท ซึ่งเป็นมีการทำงานของโปรแกรมแบบมาตราฐานเท่านั้น คือการตรวจจับตัวเป็นตัวตายและการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิ ยังไม่มีการรวมการทำงานอื่นเพิ่ม คือ การตรวจสภาพผิดปกติของอสุจิ ยิ่งไปกว่านั้นโปรแกรมนี้ถูกพัฒนาและจำหน่ายด้วยบริษัทต่างประเทศ ทำให้การบำรุงรักษาทำได้ลำบากและมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น ดังนั้นการคิดค้นซอฟแวร์ทดแทนที่มีคุณภาพเท่ากันหรือดีกว่า CASA จึงเป็นทางออกที่ดี เนื่องจากปัจจุบันมีเทคโนโลยีและองค์ความรู้ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลในระดับซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือ

ในงานวิจัยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้พัฒนาระบบตรวจสอบและประเมินคุณภาพของน้ำเชื้ออสุจิ งานวิจัยของ Sarunya Kanjanawattana และคณะ (Sarunya Kanjanawattana et al., 2019) ได้ทำการสร้างโปรแกรมการประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อโคนม จากการพิจารณาปริมาณตัวเป็นตัวตายในน้ำเชื้อ น้ำเชื้อที่ดีควรมีปริมาณตัวเป็นมากกว่าตัวตายร้อยละ 60 ขึ้นไป Wilson และคณะ (Wilson-Leedy & Ingermann, 2007) ใช้โปรแกรมที่เป็น Open Source ในการพัฒนา CASA และทดสอบประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ด้วยน้ำเชื้อปลา โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงอัลกอริทึม Velocity straight line (VSL) เพื่อให้การตรวสอบการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งของอสุจิปลาให้มีความแม่นยำขึ้น Goodson และคณะ (Goodson, Zhang, Tsuruta, Wang, & O'Brien, 2011) สร้างระบบ CASA ที่สามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิหนู โดยใช้อัลกอริทึม Support Vector Machines (SVMs) ในการคัดแยกประเภทการเคลื่อนเป็น progressive intermediate hyperactivated slow และ weakly motile

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. แหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมเก็บรวบรวมจากห้องปฏิบัติการ โดยน้ำเชื้อได้ทำการสั่งซื้อจากองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย

2. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมได้ทำในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา ซึ่งเป็นหน้าที่ของผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาและเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการสังเกต การรวบรวมข้อมูลนั้นมีทั้งหมด 3 กระบวนการ ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมน้ำเชื้อ

2. ขั้นตอนการเลือกและพิจารณาพื้นที่ที่ใช้สังเกต โทรหาโดยในขั้นตอนนี้จะต้องเลือกพื้นที่ที่มีอสุจิที่มีชีวิตอยู่มากกว่าอสุจิที่ตายแล้วและมีการเคลื่อนที่มากกว่า 2 ใน 3 รวมทั้งมีการปรับความคมชัดให้เหมาะสมกับการทดลอง ซึ่งข้อมูลที่เก็บใช้กำลังขยาย 40x ด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา

3. ทำการบันทึกวีดีโอ โดยแต่ละวีดีโอมีความยาวประมาณ 5 วินาที เมื่อทำการบันทึกเสร็จในแต่ละวีดีโอจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งพื้นที่สังเกตบันทึกใหม่

3. วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

วิธีการดำเนินการในการวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมได้ใช้เทคนิคของการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับคอมพิวเตอร์วิทัศน์ และมีการปรับแต่งวิดีโอโดยใช้วิธีการทางการประมวลผลรูปภาพปรับปรุงให้ข้อมูลขาเข้าชัดเจนยิ่งขึ้น มีทั้งหมด 4 กระบวนการหลัก ดังนี้

3.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์

- ชุดข้อมูลที่ 1 - 45 วิดีโอคลิป

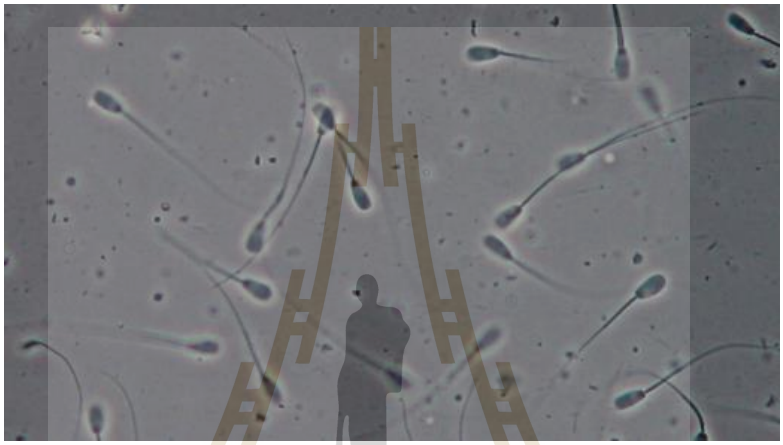
ข้อมูลขาเข้าของระบบนี้คือ ข้อมูลวิดีโอคลิปที่จับการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมซึ่งเป็นภาพที่มีกำลังขยาย 40x จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดาในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 2) โดยไฟล์ที่ใช้เป็นไฟล์นามสกุล mov มีขนาดเท่ากับ 1920×1080 หรือ 1080p ซึ่งเป็นภาพความละเอียดสูงเพื่อความสะดวกต่อการนำเข้าระบบและคงคุณภาพของวิดีโอคลิป วิดีโอคลิปแต่ละตัวมีความยาว 5 วินาทีจำนวน 353 คลิป

อย่างไรก็ตามการจับการเคลื่อนที่ของอสุจิที่ปรากฏอยู่ในวิดีโอคลิปนั้นจะขาดความแม่นยำถ้าหากวิดีโอคลิปมีคุณภาพต่ำ จากการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยสังเกตว่ามีบางวิดีโอคลิปที่มีคุณภาพไม่ถึงตามมาตราฐาน เนื่องบางวิดีโอคลิปมีขยะ เช่น ฟองน้ำหรือเศษฝุ่นปนเปื้อนจำนวนมาก และบางวิดีโอคลิปมีจำนวนอสุจิหนาแน่นเกินไป ทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจว่าจะทำการ

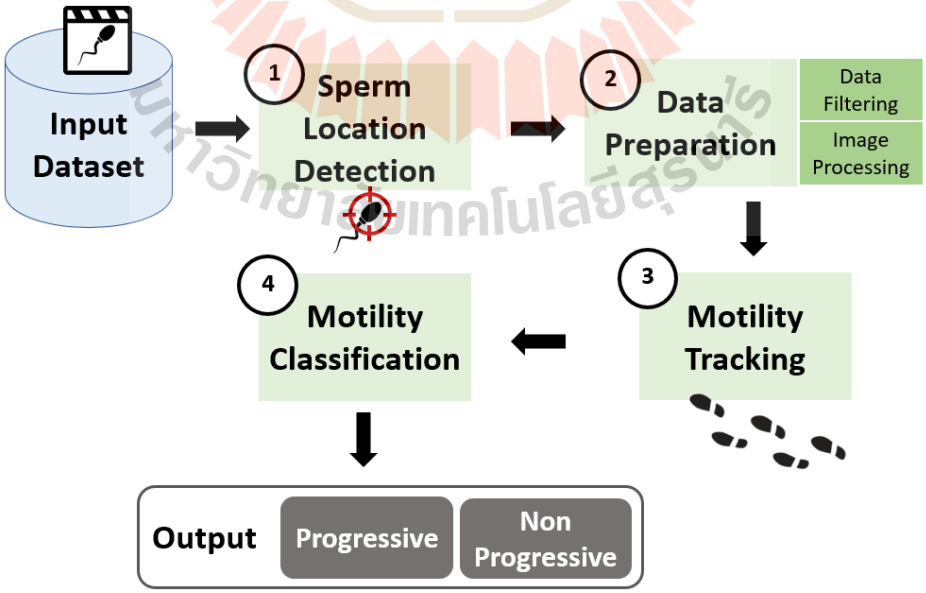
คัดกรองเลือกเฉพาะวิดีโอคลิปที่คุณภาพผ่านมาตราฐานมาใช้ จึงเหลือจำนวนวิดีโอคลิปที่สามารถใช้ได้คือ 45 คลิป

- ชุดข้อมูลที่ 2 – 353 รูปภาพ

จากวิดีโอคลิปข้างต้น สามารถนำมาสกัดหารูปภาพซึ่งเกิดจากเฟรมแรกของวิดีโอคลิป เพื่อทำการเตรียมข้อมูลสำหรับส่วนแรกของระบบ นั่นคือ การตรวจหาตำแหน่งของอสุจิโคนมบนรูปภาพ เพื่อหาตำแหน่งแรกของการปรากฏตัวของอสุจิของแต่ละวิดีโอคลิป รูปภาพที่ได้เป็นภาพนามสกุล JPEG และถูกย่อขนาดเป็น 800x450 มีจำนวนทั้งหมด 353 รูป



รูปที่ 2 ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมด้วยกำลังขยาย 40x ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดา



รูปที่ 3 ระบบโดยรวมของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนม

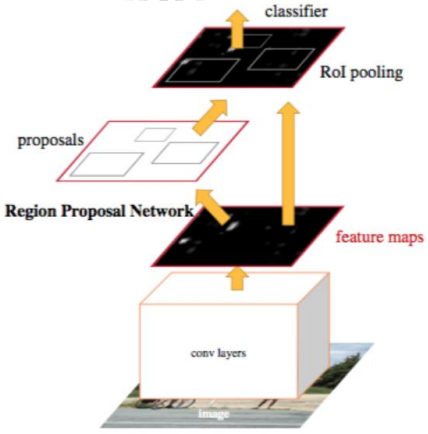
3.2 การใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อระบุตำแหน่งของอสุจิโคนม

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนมโดยระบบได้ทำการหาตำแหน่งเริ่มต้นของอสุจิที่ปรากฏในวิดีโอคลิปก่อน จากนั้นจึงทำการตามรอยการเคลื่อนที่ของอสุจิในแต่ละเฟรมวิดีโอคลิป จนได้เป็นรอยเดินของอสุจิออกมา ระบบนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนการทำงาน ดังนี้

1. ส่วนการหาตำแหน่งแรกของอสุจิ
2. ส่วนการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิ
3. ส่วนการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่ของอสุจิ

ข้อมูลขาเข้าของส่วนการทำงานในการหาตำแหน่งแรกของอสุจิ (ตำแหน่งที่ 1 ในรูปที่ 3) คือ ชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งมีรูปภาพจากเฟรมแรกของวีดิโอคลิปจำนวน 353 รูป รูปภาพที่ได้จะนำมาเตรียมข้อมูลโดยการกำหนดค่าคลาสเป้าหมายเพื่อระบุว่าส่วนที่สนใจนั้นเป็นหัวอสุจิหรือไม่ โดยคลาสที่กำหนดไว้คือ Yes และ No ซึ่ง Yes หมายถึงเป็นหัวอสุจิและ No หมายถึงไม่เป็นหัวอสุจิ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลด้วยอัลกอริทึม Faster Region Convolutional Neuron Networks (Faster-RCNN) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับวัตถุในรูปภาพโดยเฉพาะ แนวคิดของ Faster-RCNN ประกอบด้วย 3 ส่วน (รูปที่ 4) คือ (Marukatat, 2018)

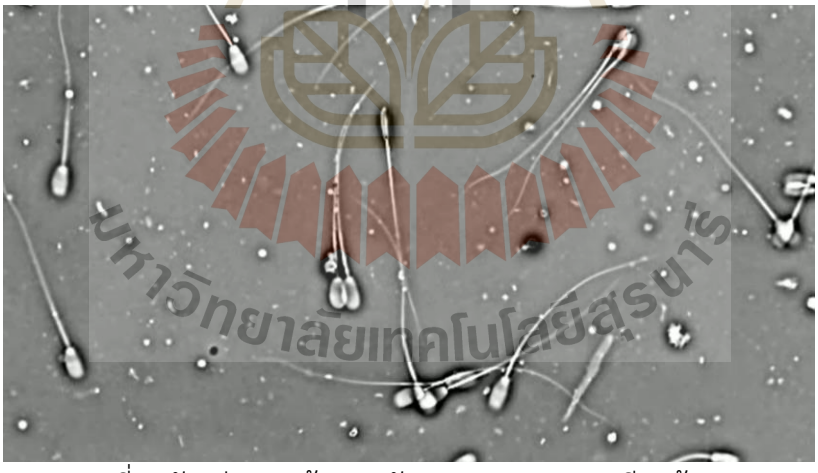
1. ส่วนฐานที่ทำหน้าที่สกัดคุณสมบัติ (Feature) ของรูปภาพ
2. ส่วน Region Proposal Network (RPN) ที่ทำหน้าที่สกัดเอาบริเวณที่ควรเป็นวัตถุจาก Feature map ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นเมตริกที่เก็บค่าตัวเลขที่แสดงถึงคุณลักษณะของรูปภาพที่ได้จากการใช้ Filter สกัดออกมา
3. ส่วนจำแนกประเภท ที่นำเอา Feature map และ Region ที่ได้จาก RPN มาประมวลผลโดยทำ Region of Interest (RoI) pooling เพื่อตอบว่าบริเวณใดของภาพมีวัตถุใดอยู่



รูปที่ 4 ส่วนการทำงานของอัลกอริทึม Faster-RCNN (Ren, He, Girshick, & Sun, 2015)

หลังจากอัลกอริทึมดังกล่าวทำงานเสร็จสิ้น ผลลัพธ์ที่ได้คือรูปภาพเฟรมแรกของวิดีโอคลิปที่มีการระบุตำแหน่งของอสุจิด้วยกล่องสี่เหลี่ยม (Bounding Box) จากนั้นระบบจะทำการบันทึกตำแหน่งของอสุจิแต่ละตัวที่ปรากฏในเฟรมแรกของวิดีโอคลิป ซึ่งข้อมูลชุดนี้จะกลายเป็นข้อมูลขาเข้าของกระบวนการต่อไป

ข้อมูลขาเข้าของกระบวนการที่ 2 ในรูปที่ 3 คือชุดข้อมูลที่ 1 และตำแหน่งของอสุจิในเฟรมแรก อย่างไรก็ตามจากการสังเกตข้อมูลที่รวบรวมมา ในบางวิดีโอเมื่ออสุจิมีการเคลื่อนที่ทำให้บริเวณหัวอสุจิมิการสะท้อนแสงซึ่งเกิดจากการว่ายขึ้นลงและแสงจากไฟของกล้องจุลทรรศน์ตกกระทบ ซึ่งมีผลทำให้ระบบเกิดข้อความคลาดเคลื่อนเมื่อทำการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนาวิธีการลบค่าสีขาวออกจากรูปภาพโดยการใช้การประมวลรูปภาพ ซึ่งได้ทำการปรับค่าสีรูปภาพแต่ละเฟรมของวิดีโอให้อยู่ในช่วง 0-255 หรือ Greyscale จากนั้นจึงได้ทำการตัวตัวกำหนดเพื่อกรองส่วนของภาพที่มีค่าสีอยู่ในช่วงสีขาว (ช่วงประมาณ 180-255) ให้กลายเป็นสีเทาที่มีค่าสีเท่ากับขอบเขตบนที่กำหนด (ในที่นี่คือ 180) จากนั้นจึงทำการกลับค่าสี (Invert) เพื่อทำให้สุจิในพื้นที่สังเกตดูเด่นชัดที่สุด (รูปที่ 5) ทั้งนี้สาเหตุที่ได้ทำการเตรียมความพร้อมของข้อมูลชุดนี้คือเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับระบบตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิ (กระบวนการที่ 3 ในรูปที่ 3) ซึ่งพัฒนาโดยใช้วิธีการทางด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) คุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากระบบนี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพและความชัดเจนของข้อมูลขาเข้า



รูปที่ 5 ตัวอย่างของข้อมูลหลังจากกระบวนการเตรียมข้อมูล

ระบบตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิใช้หลักการของคอมพิวเตอร์วิทัศน์โดยใช้การการติดตามวิดีโอ (Video Tracking) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมในการวิเคราะห์ลำดับเหตุการณ์ของวีดีโอเฟรมและแสดงผลลัพธ์ในการเคลื่อนที่ของเป้าหมายระหว่างวีดีโอเฟรม กระบวนการติดตามวัตถุที่สนใจในวีดีโอคลิปมี 3 กระบวนการหลักๆคือ

1. ระบุตำแหน่งเริ่มต้นของวัตถุซึ่งเป็นคู่อันดับของกล่องสี่เหลี่ยมที่ใช้จับวัตถุ

2. สร้างรหัสที่แตกต่างกันในแต่ละวัตถุที่อยู่ในภาพเดียวกัน

3. ติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุในวีดีโอคลิปซึ่งทิศทางจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรหัสที่ถูกติดตั้งไว้ในแต่ละวัตถุ

อย่างไรก็ตามอสุจิในวีดิโอคลิปอาจไม่ได้เคลื่อนที่ทุกตัว เนื่องจากในน้ำเชื้อมีทั้งอสุจิตัวเป็น (อาจเคลื่อนที่หรือไม่ก็ได้) และอสุจิตัวตาย (ไม่เคลื่อนที่แน่นอน) ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจเพียงอสุจิที่เคลื่อนที่ได้เท่านั้น ดังนั้นระบบจึงมความจำเป็นต้องกรองตัวอสุจิที่ไม่มีการเคลื่อนไหวในหรือเคลื่อนไหวน้อยมากในวีดิโอคลิปออกเสียก่อนจนเหลือแต่อสุจิที่มีการเคลื่อนที่เท่านั้น กระบวนการกรองอสุจิทำได้โดยวัดระยะทางและระยะกระจัด โดยระยะทางวัดจากจำนวนพิกเซล (Pixel) ตั้งแต่เฟรมแรกจนถึงเฟรมสุดท้าย ส่วนระยะกระจัดวัดจากระยะทางที่สั้นที่สุดของตำแหน่งอสุจิในเฟรมแรกและเฟรมสุดท้าย ซึ่งถ้าหากระยะทางมากกว่าระยะกระจัดเกินร้อยละ 10 ของระยะทางการเคลื่อนที่ทั้งหมด จะถือว่าอสุจินั้นเคลื่อนที่ มิฉะนั้นจะถือว่าอสุจิเป็นตัวตายและไม่นำมาพิจารณา

อัลกอริทึมสำหรับการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ หลังจากสามารถระบุตำแหน่งแรกของอสุจิจากกระบวนการที่ 1 จากรูปที่ 3 แล้ว อัลกอริทึมจะทำการระบุรหัสที่แตกต่างกันของแต่ละวัตถุที่สนใจที่ปรากฏในวีดีโอคลิป ณ เฟรมแรก ซึ่งทำการวาดกรอบสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งแรกของแต่ละวัตถุซึ่งมีจุดกึ่งกลางอยู่ที่กลางหัวของอสุจิ (Centroid Tracking Algorithm) โดยอัลกอริทึมนี้มีขั้นตอนทำงานดังต่อไปนี้

1. วาดกล่องสี่เหลี่ยมที่หัวอสุจิที่ตรวจจับได้จากกระบวนการที่ 1 ระบุรหัสที่แตกต่างกันและทำการคำนวณหาจุดกึ่งกลางของแต่ละกล่องสี่เหลี่ยม คู่อันดับระบุตำแหน่งของวัตถุจะถูกระบุในทุก ๆ เฟรมขอวีดีโอคลิป

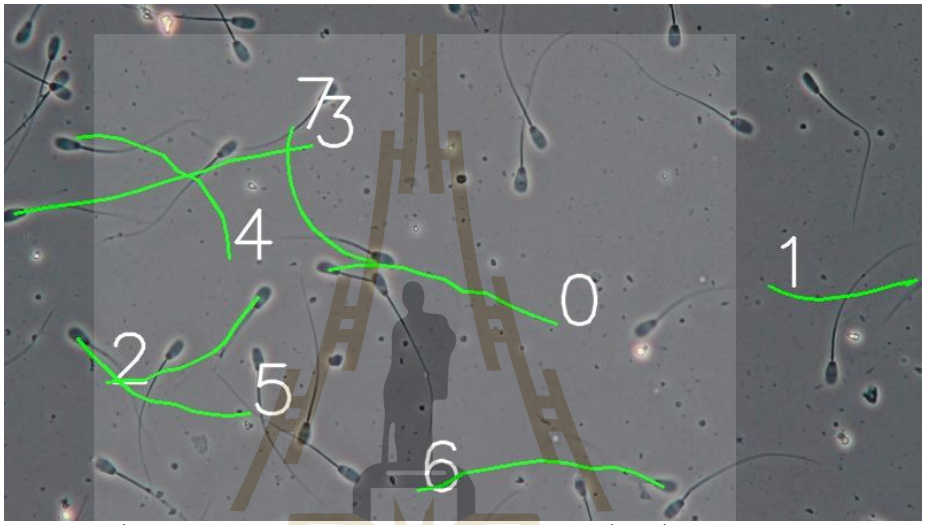
2. คำนวณหาระยะทาง Euclidean ระหว่าง จุดกึ่งกลางของตำแหน่งใหม่ที่วัตถุเคลื่อนที่ไปและตำแหน่งเดิม ในทุกลำดับของเฟรมบนวีดีโอคลิปจะมีการคำนวณจุดกึ่งกลางของวัตถุและมีการระบุรหัสที่แตกต่างกันอีกด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อวัตถุถูกแยกออกจากกันโดยเฟรมที่แตกต่างกันจากการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่ง เมื่อคำนวณหาระยะทางจากตำแหน่งเดิมที่อยู่ในเฟรมเดิมกับตำแหน่งใหม่ที่อยู่ในเฟรมถัดไป ทำให้เกิดปัญหาขึ้นว่าเราจะสามารถทราบได้อย่างไรว่าวัตถุนี้เป็นวัตถุเดียวกัน จากประเด็นดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาได้คือ ถ้าระยะทางในตำแหน่งต่อไปของวัตถุซึ่งปรากฏอยู่ในเฟรมถัดไปนั้นเทียบกับตำแหน่งเดิมจะต้องมีระยะทางที่สั้นที่สุด ดังนั้นเราสามารถเลือกจุดกึ่งกลางถัดไปของกล่องสี่เหลี่ยมจากระยะทางที่สั้นที่สุด

3. ถ้าหากมีกรณีมีวัตถุใหม่เข้ามาในพื้นที่ที่ทำการสังเกตอยู่จะถูกระบุเป็นวัตถุใหม่ด้วยรหัสใหม่

เมื่อจับการเคลื่อนที่ในเฟรมถัดไปกระบวนการจะย้อนกลับไปทำอีกครั้งในขั้นตอนที่ 2 และทำต่อไปจนกระทั่งถึงเฟรมสุดท้ายของวีดีโอคลิป (Rosebrock, 2019)

ยิ่งไปกว่านั้น ถึงแม้ว่าอสุจิจะมีการเคลื่อนที่แต่บางครั้งอสุจิก็เคลื่อนที่หลุดออกจากพื้นที่สังเกตในวีดิโอคลิป (หลุดเฟรม) ทำให้ไม่สามารถจับการเคลื่อนที่ได้อีกต่อไป หรือแม้กระทั่งเคลื่อนที่ไปแล้วหยุดอยู่เฉยๆ ถ้าหากเป็นกรณีดังกล่าวนี้จะถือว่าอสุจิตัวนั้นไม่มีการเคลื่อนที่หรือมีการเคลื่อนที่ที่ผิดพลาดนั่นเอง

จากการทำงานของระบบจะได้ผลลัพธ์ติดตามการเคลื่อนที่ดังที่แสดงในรูปที่ 6 ในรูปมีอสุจิปรากฏอยู่จำนวนมากแต่มีตัวอสุจิที่เคลื่อนที่ได้จริงเพียง 8 ตัว (หมายเลข 0-7) โดยมีเส้นทางการเคลื่อนที่แสดงเป็นเส้นสีเขียว



รูปที่ 6 ตัวอย่างของผลลัพธ์ในการติดตามการเคลื่อนที่ของอสุจิ

การประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อไม่เพียงแต่ดูปริมาณและสัดส่วนตัวเป็นตัวตายเท่านั้น ลักษณะการเคลื่อนที่ของอสุจิก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นเดียวกัน การเคลื่อนที่ (Motility) ของอสุจิมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Progressive Motility) และการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-progressive Motility) (Gurevich, 2019) การเคลื่อนที่แบบ Progressive คือการเคลื่อนที่ที่อสุจิเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือเคลื่อนที่แบบวงกลมขนาดใหญ่มากจนช่วงหนึ่งของการเคลื่อนที่เป็นเหมือนเส้นตรง การเคลื่อนที่แบบ Non-progressive เป็นการเคลื่อนที่ที่มีรูปแบบตรงข้ามกับ การเคลื่อนที่แบบ Progressive คือ เคลื่อนที่แบบไม่เป็นเส้นตรงหรือเคลื่อนที่เป็นวงกลมขนาดเล็ก ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากอสุจิเคลื่อนที่แบบสั่นและไม่เป็นเส้นตรงจะถูกตัดสินว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบ Non-progressive แต่ถ้าอสุจิเคลื่อนที่ซิกแซกแต่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะถูกตัดสินว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบ Progressive ในน้ำเชื้อที่มีคุณภาพควรมีอสุจิที่มีการเคลื่อนที่แบบ Progressive มากกว่าการเคลื่อนที่แบบ Non-progressive เพราะโดยธรรมชาติแล้ว เมื่อเกิดการผสมพันธุ์ในสิ่งมีชีวิต อสุจิจะต้องว่ายไปหาไข่ของเพศหญิง ดังนั้นถ้าอสุจิที่ว่ายเป็นเส้นตรงย่อมมีความสามารถในการแข่งขันเพื่อการปฏิสนธิสูงกว่าอสุจิที่เคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรงอย่างแน่นอนซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อัตราการผสมติดสูงขึ้นอีก

ด้วย จากรูปภาพที่ 5 อสุจิหมายเลข 0 มีการเคลื่อนที่แบบ Progressive และอสุจิหมายเลข 3 มีการเคลื่อนที่แบบ Non-progressive

ด้วยเหตุข้างต้น ในงานวิจัยจึงได้มีปัจจัยในการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่ของอสุจิเพื่อเพิ่มความสามารถของระบบในการประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อที่พัฒนาขึ้น จากข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการที่ 3 ในรูปภาพที่ 2 เป็นข้อมูลการเคลื่อนในทิศทางต่าง ๆ ของอสุจิที่ปรากฏขึ้นในแต่ละวีดิโอคลิป โดยสมมติให้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่นั้นเท่ากันทั้งหมด ทิศทางการเคลื่อนที่ถูกแบ่งออกเป็นสี่ทิศคือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ จากนั้นผู้วิจัยได้เลือกอัลกอริทึม 2 อัลกอริทึมเพื่อใช้ทดสอบการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่ของอสุจิคือ Decision Tree (DT) และ Support Vector Machines (SVM) จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกันว่าอัลกอริทึมให้ความแม่นยำดีกว่ากัน อัลกอริทึม 2 อัลกอริทึมนี้ถูกเลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจาก SVM เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงมากเมื่อประมวลผลกับข้อมูลและมีคุณสมบัติจำนวนไม่มากนัก อีกทั้งสามารถจัดการกับข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม SVM มีการทำงานที่ซับซ้อนและสามารถทำงานกับข้อมูลประเภทตัวเลขเท่านั้น แต่ข้อมูลที่เข้ามาเป็นข้อมูลแบบตัวอักษรผสมกับข้อมูลตัวเลข ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้งาน SVM ได้เต็มความสามารถจึงต้องมีการเตรียมข้อมูลใหม่ แต่กระบวนการแปลงข้อมูลอาจจะทำให้ความหมายที่แท้จริงข้อมูลผิดเพี้ยนไปได้ ดังนั้นนักวิจัยจึงเลือก DT มาทดสอบการคัดแยกอีกวิธีหนึ่ง การตัดสินใจของต้นไม้หรือ DT เป็นการสร้างต้นไม้โดยโหนดของต้นไม้คือคุณสมบัติของข้อมูลที่เข้ามา การเลือกโหนดส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ โหนดที่ถูกเลือกเป็นโหนดรากต้องเป็นโหนดที่มีความบริสุทธิ์ของข้อมูลสูงที่สุดหรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นโหนดที่สามารถให้ข้อมูลมากที่สุดนั่นเอง ค่าความบริสุทธิ์ของข้อมูลสามารถคำนวณได้โดยใช้ GINI, Information Gain และ Entropy เป็นต้น โหนดใบของต้นไม้จะแสดงเป็นคลาสเป้าหมายที่ใช้ในการทำนาย ในที่นี้คือ Progressive และ Non-Progressive

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การอภิปรายผล

จากการทดลองนี้ ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลวิดีโอคลิปที่ได้บันทึกการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนม โดยใช้กำลังขยาย 40x สังเกตด้วยแสงปกติ ซึ่งนำมาใช้ 45 วิดีโอคลิปจากทั้งหมด 353 วิดีโอคลิป นำ 353 วิดีโอคลิปทั้งหมดมาสกัดเอารูปจากเฟรมแรกของวิดีโอคลิปมาเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้และทดสอบ จำนวน 353 รูป

จากระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ความแม่นยำ (Accuracy) เป็นมาตรวัดประสิทธิภาพของระบบ โดยแบ่งแยกออกเป็น 3 ส่วนคือ ความแม่นยำในที่นี้คือ ค่าตัวเลขที่แสดงความถูกต้องในการทำนายที่เกิดขึ้นจากระบบเปรียบเทียบกับค่าจริง

ระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ส่วนการหาตำแหน่งแรกของอสุจิ
2. ส่วนการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิ
3. ส่วนการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่ของอสุจิ

ในส่วนแรกที่ใช้ในการหาตำแหน่งแรกของอสุจิที่ปรากฏในเฟรมแรกของวิดีโอคลิป ได้พัฒนาโมเดลการเรียนรู้โดยใช้ Faster RCNN ทำงานกับ 353 รูปและประเมินความแม่นยำด้วยวิธี Cross Validation ได้ความแม่นยำ 74.04% ซึ่งเป็นค่าความแม่นยำที่ยอมรับได้ สาเหตุที่การทำนายตำแหน่งแรกของอสุจิผิดพลาดไป 26.96% คือ

1. รูปที่นำมาใช้เพื่อการทำนายไม่คมชัดและมีคุณภาพไม่สูงมากนั้น ถึงแม้ว่าจะเป็นภาพที่มีคุณภาพขนาด Full HD แต่จากการขยายของกล้องจุลทรรศน์และการปรับโฟกัสของกล้องเป็นสาเหตุให้ได้ภาพที่ไม่มีคุณภาพได้
2. รูปภาพที่รวบรวมมาอาจจะมีปริมาณน้อยเกินไป ถึงแม้ว่า ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ Faster RCNN ซึ่งเป็น Pre-trained Algorithm อัลกอริทึมประเภทนี้มักจะเรียนรู้รูปภาพทั่วไปมาแล้ว เช่น คนเดินถนน รถยนต์ หรือสัตว์แต่อสุจิสามารถหาได้จากกล้องจุลทรรศน์เท่านั้นจึงเป็นภาพจำเพาะที่ Pre-trained Algorithm ไม่เคยเรียนรู้มาก่อน

ในส่วนที่สองเป็นการจับการเคลื่อนที่ของอสุจิโดยใช้วิธีการทาง Computer Vision จากการสังเกตผลการติดตามการเคลื่อนที่ของอสุจิพบว่าระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในส่วนนี้มีความแม่นยำถึง 91.17% ซึ่งถือว่ามีความน่าเชื่อถือสูง เนื่องจากรูปภาพที่ใช้มีการคัดกรองคุณภาพมาก่อนหน้าแล้ว อย่างไรก็ตามก็ยังพบความผิดพลาด เมื่อเกิดเหตุการณ์เหล่านี้

1. เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่อสุจิวิ่งซ้อนทับกัน ทำให้มีโอกาสทำให้ระบบเข้าใจทิศทางการเคลื่อนที่คาดเคลื่อนได้
2. หลังจากระบบส่วนแรกจับตัวอสุจิได้แล้วได้มีการเคลื่อนที่ในเฟรมลำดับต่อไป แต่เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง อสุจิได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่สังเกต ทำให้กรอบที่ใช้จับตัวอสุจิค้างอยู่และเกิดการบันทึกการเคลื่อนที่ที่ผิดพลาดได้

ในส่วนที่สามเป็นการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่ ซึ่งข้อมูลขาข้าวของระบบส่วนนี้เป็นผลจากการบันทึกการเคลื่อนที่ในส่วนที่สอง รวมทั้งทิศทางการเคลื่อนที่ ความเร็ว ระยะทางและเวลาที่ใช้ การกำหนดค่าคลาสเริ่มต้นว่าเป็น Progressive หรือ Non-progressive เพื่อสร้างชุดข้อมูลเพื่อการเรียนรู้นั้น ได้พิจารณาจากรูปแบบการเคลื่อนที่ ความเร็วและความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ ผลการทดลองพบว่า อัลกอริทึม SVM ให้ความแม่นยำดีกว่าอัลกอริทึม DT โดยอัลกอริทึม SVM มีความแม่นยำสูงถึง 77.05% ในขณะที่อัลกอริทึม DT มีความแม่นยำเพียง 70.49% จากผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถอภิปายผลได้ดังนี้ อัลกอริทึม SVM ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเมื่อข้อมูลเป็นชุดตัวเลขทั้งหมด ในขณะที่อัลกอริทึม DT สามารถทำงานกับข้อมูลประเภทตัวอักษรได้ดี จากสมมติฐานเบื้องต้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าอัลกอริทึม DT ควรให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า เนื่องจากทิศทางการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่สามารถพิจารณาได้ด้วยตาเปล่าควรมีอิทธิภาพต่อการทำนายสูงกว่า แต่ผลการทดลองให้ผลว่า อัลกอริทึม SVM ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเพราะว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สุดในการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่คือ ความเร็วซึ่งเป็นค่าตัวเลข

โดยสรุปแล้วความมีประสิทธิภาพของระบบโดยรวมคือ 77.05% ที่ได้จากระบบส่วนที่สาม เนื่องจากระบบส่วนนี้ใช้ผลลัพธ์ต่อเนื่องจากระบบก่อนหน้า จากตัวเลขนี้ทำให้สามารถกล่าวได้ว่า ระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพสูงและมีความน่าเชื่อถือถึงแม้ว่าจะใช้กับข้อมูลจริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุป

1. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลและจำนวนรอบการเรียนรู้ อีกทั้งการเลือกอัลกอริทึมเพื่อนำมาใช้หาคำตอบยังมีความสำคัญเนื่องจากอัลกอริทึมแต่ละประเภทให้คำตอบต่างกันและความแม่นยำต่างกันโดยขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของข้อมูลขาเข้า เช่น ในการทดลอง ผู้วิจัยได้เลือก 2 อัลกอริทึม คือ SVM และ DT เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมและความแม่นยำในการทำนายจากข้อมูล ปรากฏว่า จากผลการทดลองอัลกอริทึม SVM มีความสามารถในการทำนายและแยกประเภทของข้อมูลได้ดีกว่า DT เนื่องจากข้อมูลขาเข้าที่นำมาทำการทำนายและคัดแยกประเภทมีความซับซ้อนสูงและคุณสมบัติของข้อมูลที่เป็นปัจจัยสำคัญประกอบไปด้วยตัวเลขเป็นส่วนใหญ่ เมื่อทำการทดสอบอัลกอริทึม DT ซึ่งสามารถทำงานได้ดีกับข้อมูลประเภทอักขระ (Nominal) จึงจำเป็นต้องทำการแปลงข้อมูลจากตัวเลข (Numeric) เป็นอักขระเสียก่อน ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าข้อมูลได้มีการสูญเสียสาระสำคัญ (information) ที่มีส่วนช่วยในการทำนายไป เป็นสาเหตุให้ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือต่ำกว่าผลลัพธ์จากอัลกอริทึม SVM ซึ่งไม่จำเป็นต้องแปลงข้อมูลเพราะ SVM สามารถประมวลผลกับข้อมูลเชิงสถิติได้ดีและคุณสมบัติของข้อมูลบางส่วนที่เป็นตัวอักขระสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ง่ายกว่าและมีการสูญเสียสาระสำคัญน้อยกว่าการแปลงตัวเลขเป็นตัวอักขระ

โดยสรุปแล้ว งานวิจัยได้มุ่งเน้นในการพัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอสุจิและคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่เพื่อให้ในการประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อ โดยผู้วิจัยได้ทดลองและทำการทดสอบเพื่อปรับปรุงพัฒนาคุณภาพของอัลกอริทึมให้มีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ส่วนการตรวจจับตำแหน่งของอสุจิที่ใช้เทคนิคทาง Computer Vision มีความแม่นยำสูงถึง 91.17% และส่วนการคัดแยกประเภทการเคลื่อนที่มีความแม่นยำสูง 77.05% โดยได้เลือกอัลกอริทึม SVM

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ สามารถทำงานได้กับภาพอสุจิที่เกิดจากกำลังขยาย 40x เท่านั้นและสามารถทำนายประเภทการเคลื่อนที่ได้ดีกับอสุจิของโคนม จากสาเหตุนี้ผู้วิจัยสามารถพัฒนาอัลกอริทึมให้สามารถทำงานร่วมกับข้อมูลอสุจิหลากหลายประเภทได้ เช่น หมูและไก่ เป็นต้น โดยให้มีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามด้วยวิธีการพัฒนานี้

ต้องการความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสัตว์แต่ละประเภทด้วย เนื่องจากการเคลื่อนของอสุจิของสัตว์แต่ละลักษณะการเคลื่อนที่แตกต่างกัน

2. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มวัวนมโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก ได้ผลลัพธ์การทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าวิธีการวิจัยสร้างความเป็นไปได้ในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับข้อมูลจริงของการเคลื่อนที่ของอสุจิโคนม อย่างไรก็ตามเพื่อผลงานวิจัยสามารถนำไปใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการหรืออุตสาหกรรมได้จริงนั้น ควรมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. จากการทดลอง ทำให้ทราบว่าคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์มีผลต่อการประมวลผล ดังนั้นการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีความละเอียดสูงจะทำให้ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ดีขึ้น
2. ในขั้นตอนเตรียมน้ำเชื้อ ควรใช้น้ำเชื้อใหม่ที่มีสสารที่ไม่ต้องการน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

Amann, R. P., & Waberski, D. (2014). Computer-assisted sperm analysis (CASA): capabilities and potential developments. *Theriogenology*, *81*(1), 5–17.

Association, T. R. E. (2562). สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย Thai Rice Exporters Association :: Thailand. *ผลผลิตข้าว*. Retrieved from http://www.thairiceexporters.or.th/production.htm

Boryshpolets, S., Kowalski, R. K., Dietrich, G. J., Dzyuba, B., & Ciereszko, A. (2013). Different computer-assisted sperm analysis (CASA) systems highly influence sperm motility parameters. *Theriogenology*, *80*(7), 758–765.

Goodson, S. G., Zhang, Z., Tsuruta, J. K., Wang, W., & O'Brien, D. A. (2011). Classification of mouse sperm motility patterns using an automated multiclass support vector machines model. *Biology of Reproduction*, *84*(6), 1207–1215.

Gurevich, R. (2019). How Should Sperm Swim? *Verywell Family*. Retrieved from https://www.verywellfamily.com/sperm-motility-1960141

Kanjanawattana, S., Ditsayabut, P., Poomka, P., Sriwong, K., Pongsena, W., Phosaard, S., & Wanapu, C. (2018). Viability Assessment of Bull Sperms Using Deep Learning. *International Journal of Machine Learning and Computing (IJMLC) (Accepted)*.

Kanjanawattana, Sarunya, Ditsayabut, P., Poomka, P., Sriwong, K., Phosaard, S., & Wanapu, C. (2019). Viability Assessment of Bull Sperms Using Deep Learning. *8th International Conference on Information and Electronics Engineering*.

Kathiravan, P., Kalatharan, J., Karthikeya, G., Rengarajan, K., & Kadirvel, G. (2011). Objective sperm motion analysis to assess dairy bull fertility using computer-aided system--a review. *Reproduction in Domestic Animals*, *46*(1), 165–172.

Marukatat, S. (2018). โลกหมุนไป งานวิจัยก็หมุนตาม. *Medium*. Retrieved from https://medium.com/@sanparithmarukatat/โลกหมุนไป-งานวิจัยก็หมุนตาม-46ae76d4e195

Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 91–99.

Rosebrock, A. (2019). Simple object tracking with OpenCV. *PyImageSearch*. Retrieved from https://www.pyimagesearch.com/2018/07/23/simple-object-tracking-with-opencv/

Wilson-Leedy, J. G., & Ingermann, R. L. (2007). Development of a novel CASA system based on open source software for characterization of zebrafish sperm motility parameters. *Theriogenology*, *67*(3), 661–672.

นวรัตน์, บ. (2561). *ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2561*.

ส่วนแผน. (2562). *สรุปปริมาณและมูลค่าการส่งออกเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์*.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวศรัญญา กาญจนวัฒนา เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประเทศไทย เธอจบการศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยวุฒิ วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2551 จบการศึกษาระดับปริญญาโทด้วยวุฒิ M.Eng. (Computer Engineering) ณ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียปีการศึกษา 2554 และจบการศึกษาระดับปริญญาเอกด้วย Ph.D. (Functional Control Systems) ณ Shibaura Institute of Technology (SIT) ประเทศญี่ปุ่น ปีการศึกษา 2560 เธอมีความสนใจในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้เชิงลึก การเรียนรู้ของเครื่องจักร การวิเคราะห์ข้อมูลและการประมวลผลภาษาธรรมชาติ

ผลงานทางวิชาการ / ผลงานวิจัย :

International Journal Papers

- Sangbamrung, I. & Praneetpholkrang, P. & Kanjanawattana, S. (2019) A Novel Automatic Method for Cassava Disease Classification using Deep Learning. International Journal of Machine Learning and Computing (IJMLC) (Submitted)
- Kanjanawattana, S. & Ditsayabut, P. & Poomka, P. & Sriwong, K. & Pongsena, W. & Phosaard, S. & Wanapu, C. (2018) Viability Assessment of Bull Sperms Using Deep Learning. International Journal of Machine Learning and Computing (IJMLC) (Accepted)
- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2019). Semantic-Based Search Engine System for Graph Images in Academic Literatures by Use of Semantic Relationships. International Journal of Machine Learning and Computing, 9(6).
- Kanjanawattana, S. (2019). A Novel Outlier Detection Applied to an Adaptive K-Means. International Journal of Machine Learning and Computing, 9(5).

- Kanjanawattana, S. & Kimura, M. (2017). Extraction and identification of bar graph components by automatic epsilon estimation. International Journal of Computer Theory and Engineering, 9(4), 256-261.
- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2017). Novel Ontologies-based Optical Character Recognition-error Correction Cooperating with Graph Component Extraction. BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience, 7(4), 69-83.
- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2017). ANNSVM: A Novel Method for Graph-Type Classification by Utilization of Fourier Transformation, Wavelet Transformation, and Hough Transformation. BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience, 8(2), 5-25.

International Conference Papers (Peer-reviewed)

- Kanjanawattana, S. (2012, May). An extended K-means++ with mixed attributes.In The 12th WSEAS International Conference on Applied Computer Science (ACS12), (pp. 131-135).
- Kanjanawattana, S. & Kimura, M. (2015, November). A proposal for a method of graph ontology by automatically extracting relationships between captions and x- and y-axis titles. In Proceedings of the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management, (pp. 231-238).
- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2015, December). Graph-type classification based on artificial neural networks and wavelet coefficients. In Proceedings of Second International Conference on Digital Information Processing, Data Mining, and Wireless Communications (DIPDMWC2015).
- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2016, October) Ontologies-based Optical Character Recognition-error Correction Method for Bar Graphs. In The Tenth International Conference on Advances in Semantic Processing (SEMAPRO 2016), (pp. 1-8).
- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2016, December). Extraction of Graph Information Based on Image Contents and the Use of Ontology. International Association for Development of the Information Society, (pp. 19-26).

- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2017, September). Semantic-based Search Engine System for Graph Images in Academic Literature. 1st EAI International Conference on Technology, Innovation, Entrepreneurship and Education.
- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2018, September). Ontology of Academic Sentence Dependencies for a Verb Choice Suggestion. In The Thirteenth International Conference on Digital Information Management Processing, (pp. 39-44).

Workshop

- Kanjanawattana, S., & Kimura, M. (2016, February). Graph-type classification with neural networks using wavelet coefficients and discrete Fourier transformation. In SEATUC2016 Intensive Workshop.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี