

การจดจำวัตถุจากการสัมผัสของหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ด้วยวิธีการประมวลผลภาพจาก
การสัมผัสร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม
Object Recognition for Humanoid Robot using Tactile image processing and
Artificial Neural Network

สมชาย เปาะทองคำ, จักรี ศรีนนท์ฉัตร*

S. Pohtongkam, J. Srinonchat

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Signal Processing Research Laboratory Department of Electronics and Telecommunication Engineering

Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi

*Corresponding author E-mail : jakkree.s@en.rmutt.ac.th

(Received: September 30, 2017, Revised: April 17, 2018, Accepted: July 2, 2018)

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบสำหรับจดจำวัตถุจากการสัมผัสบริเวณพื้นผิววัตถุโดยใช้ประสาทสัมผัสทางกายเทียม ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการทดสอบเพื่อเป็นพื้นฐานของมือหุ่นยนต์ที่ติดตั้งระบบเซ็นเซอร์วัดแรงกดแบบอาร์เรย์ ระบบได้รับการออกแบบโดยใช้เซ็นเซอร์สัมผัสขนาด 16x10 พิกเซล เมื่อระบบสัมผัสวัตถุจะทำการจัดเรียงข้อมูลให้เป็นรูปภาพ ภาพที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลเพื่ออธิบายลักษณะของวัตถุที่สัมผัสที่แตกต่างกันสำหรับผิวสัมผัสของวัตถุจะสร้างความแตกต่างของแรงกดให้มือหุ่นยนต์ หลังจากนั้นได้จะแยกลักษณะของวัตถุโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ผลการทดสอบวัตถุ 10 ชนิดแสดงผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องโดยเฉลี่ยสูงสุด 93.2% โดยใช้การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดที่กระทำบนเซ็นเซอร์

คำสำคัญ: เซ็นเซอร์วัดแรงกด, ระบบประสาทสัมผัสทางกาย, ภาพจากการสัมผัส, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

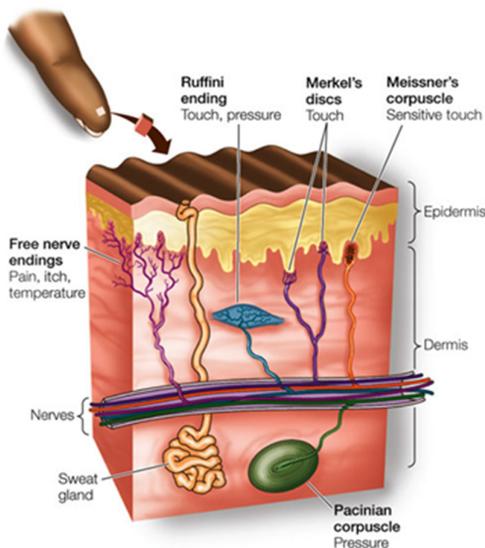
This paper presents an improvement recognition objects system, in the term of touching surface of objects, by using Artificial Neural Networks (ANNs). The experiment of this article is implemented and designed base on the robot hand for installs a sensor array on the robot hand. The sensor array is designed as 16X10 pixels. When the robot hand touches the object, the data is then organized into the image form for processing. This is to identify the characterize of object surface which different objects will provides a different images. This also depends on the force to touch objects. Then the Artificial Neural Networks technique is used to classify the objects. This system is tested with 10 different objects. The experiment results shown that it provides the accuracy approximately 93.2% based on average and standard deviation values.

Keywords: Tactile Sensor, Nervous System, Tactile image, Artificial Neural Networks

1. บทนำ

เทคโนโลยีหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ (Humanoid Robot) ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งการพัฒนาสามารถแยกได้เป็นสองส่วนคือทางด้านกายวิภาคของหุ่นยนต์ (Robot Anatomy) และทางด้านระบบประสาทของหุ่นยนต์ (Robot Nervous System) ซึ่งทั้งสองอย่างล้วนแล้วแต่กระทำการเลียนแบบระบบของมนุษย์จริงๆ ในบทความนี้กล่าวถึงระบบประสาทสัมผัสทางกายของหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ เพื่อให้หุ่นยนต์เสมือนมนุษย์มีความสามารถในการจดจำวัตถุจากการสัมผัส พื้นฐานการทำงานพัฒนามาจากระบบประสาทสัมผัสทางกายของมนุษย์ [1] มีโครงสร้างดังรูปที่ 1 โครงสร้างระบบประกอบด้วยส่วนของปลายประสาทที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน 5 แบบดังนี้

1. Free nerve ending เป็นส่วนของการรับรู้ความเจ็บปวดและอุณหภูมิ,
2. Merkel's discs เป็นส่วนของการรับรู้การสัมผัส,
3. Meissner's corpuscle เป็นส่วนของการรับรู้การสัมผัสแบบแผ่วเบา,
4. Ruffini ending และ
5. Pacinian corpuscle ที่เป็นส่วนของการรับรู้แรงกด ซึ่งการทำงานของระบบร่างกายมนุษย์นี้จะเริ่มจากระบบประสาทสัมผัสได้สัมผัสกับตัวกระตุ้น เช่น อุณหภูมิภายนอก, หรือสัมผัสโดนวัตถุใดๆ แล้วทำให้เกิดแรงกดขึ้นเป็นต้น ระบบประสาทจะเปลี่ยนข้อมูลที่ได้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเรียกว่าสื่อกระแสประสาท ส่งผ่านเส้นประสาท (Nerves) เข้าสู่สมองเพื่อตีความว่าวัตถุที่สัมผัสคืออะไรนั่นเอง ในทำนองเดียวกันนี้การจะพัฒนาหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ให้มีความสามารถในการรับรู้ทางกายก็อาศัยกลไกเดียวกันนี้เป็นพื้นฐานในการออกแบบ



รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบประสาทรับรู้สัมผัสทางกายของมนุษย์ [1]

จากการพัฒนาเทคโนโลยีทางหุ่นยนต์ที่ได้นำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันซึ่งมีประสิทธิภาพสูงและแนวคิดที่จะให้ระบบหุ่นยนต์และคอมพิวเตอร์มาทำงานร่วมกันเพื่อให้มีความสามารถในการเรียนรู้และจดจำเลียนแบบมนุษย์ โดยจะทำการพัฒนาระบบการเรียนรู้และจดจำวัตถุโดยใช้ระบบประสาทสัมผัสเทียมขึ้นโดยการทำงานจะใช้เซ็นเซอร์วัดแรงกดเป็นเหมือนปลายประสาทของตัวรับ (Receptors) ชนิด Ruffini ending และ Pacinian ซึ่งเป็นปลายประสาทรับแรงสัมผัสและแรงกดของมนุษย์ จากนั้นก็ส่งข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์ ซึ่งเปรียบเสมือนสมองของมนุษย์ที่ตีความจากข้อมูลที่ส่งมาจากปลายประสาท งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบอ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ที่มือหุ่นยนต์ โดยเป็นเซ็นเซอร์สัมผัสแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Tactile Sensor) ที่มีลักษณะเป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกดแบบอาร์เรย์ (Tactile Sensor Array) ซึ่งจะถูกฝังไว้ที่มือของหุ่นยนต์ เมื่อมือของหุ่นยนต์สัมผัสวัตถุจะเกิดแรงที่วัตถุกระทำต่อมือหุ่นยนต์เกิดเป็นรูปแบบแรงกด (Pressure Profile) ซึ่งมีลักษณะเป็นเมตริกซ์ข้อมูลของแรงกดของวัตถุนั้นๆ ซึ่งเราเรียกว่าภาพจากการสัมผัส (Tactile Image) เช่น เซ็นเซอร์วัดแรงสัมผัสซึ่งประกอบด้วยอาร์เรย์ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดกำลังเป็นชิ้นส่วนที่พบบ่อยในระบบสมัยใหม่ซึ่งคาดการณ์ว่าการออกแบบมือหุ่นยนต์แบบใหม่จะมีเซ็นเซอร์วัดการสัมผัสฝังตัวเอาไว้ด้วยที่แต่ละปลายนิ้วและในส่วนพื้นผิวต่างๆของมือ และประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ในยุคปัจจุบันก็ได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถสูงชันกว่ารุ่นก่อนหน้า ประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ทั้งในส่วนความสามารถในการรับแรง, ความละเอียด, ความสามารถในการซ้ค่า และมีการออกแบบเซ็นเซอร์ออกมาหลายรูปแบบ [2] และบางแบบมีความละเอียดสูงมากเช่นแบบ optical gel [3] ซึ่งมีความละเอียดสูงเท่ากับความละเอียดของกล้องที่นำไปใช้งานร่วม เซ็นเซอร์สัมผัสถูกพบว่าทำงานเหมือนกับกล้องที่บันทึกค่าความลึกซึ่งจะได้ค่าข้อมูลเป็นพิกเซลและค่าความลึกที่ได้จะขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุที่นำมาทำตัวปิด เมื่อเรามองรูปแบบข้อมูลที่ได้อาจจากเซ็นเซอร์อาร์เรย์ตัวข้อมูลถูกวางเป็นเมตริกซ์ซึ่งมีลักษณะเดียวกับรูปภาพ เราจึงสามารถทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการคอมพิวเตอร์วิชั่นได้ การตีความข้อมูลจากภาพสัมผัสง่ายกว่าการตีความข้อมูลจากภาพถ่ายเนื่องจากไม่มีผลกระทบอันเกิดจากมุมมองของภาพและข้อมูลเป็นแบบความเข้มช่องเดียว แต่การเก็บภาพด้วยวิธีนี้

จะมีความยุ่งยากมากกว่าเนื่องจากแพทช์มีขนาดเล็กและมีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมเช่นอุณหภูมิความชื้นและแรงกดอากาศที่จะทำให้ค่าความต้านทานของแพทช์เปลี่ยนแปลงไป

งานวรรณกรรมทางด้านการจดจำภาพมีอย่างแพร่หลาย แต่ งานที่เกี่ยวข้องกับการจดจำภาพจากการสัมผัสเป็นงานที่ นักวิจัยให้ความสนใจค่อนข้างน้อย อาจเป็นเพราะว่าเซ็นเซอร์มี น้อย ในช่วงต้นๆงานวิจัยเน้นที่เรื่องการทำจุดสัมผัสและการดึง ข้อมูลจากจีโอเมทรีของวัตถุ [4-8] โดยที่นักวิจัยทำออกแบบ ระบบให้เก็บข้อมูลจากจีโอเมทรีของวัตถุจากการจับวัตถุ และ บางงานอาจใช้เซ็นเซอร์สัมผัส แต่โดยทั่วไปแล้วเพียงเพื่อ วัตถุประสงค์ในการบอกตำแหน่งจุดสัมผัสหรือประมาณการ พื้นผิวที่เกี่ยวข้องกับจุดสัมผัส งานเกือบทั้งหมดต้องควบคุม ตำแหน่งที่แน่นอนและควบคุมแรงสุทธิตั้งใช้ด้วย โดยทั่วไป ตัวอย่างที่ได้จากแพทช์เล็ก ๆ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกดึงเวกเตอร์ คุณลักษณะออกมา และทำการกระจายข้อมูลบนเวกเตอร์ คุณลักษณะเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล งานวิจัยด้านการจับ, สัมผัสและจดจำวัตถุนี้มีหลายกลุ่มซึ่งพอแบ่งได้เป็นทางการ พัฒนาการตัวฮาร์ดแวร์ คือระบบกลไกแขนของหุ่นยนต์ ระบบ เซ็นเซอร์ทั้งเซ็นเซอร์วัดตำแหน่ง วัดมุมของนิ้ว เซ็นเซอร์วัด แรงกด และเซ็นเซอร์อาร์เรย์สำหรับวัดการสัมผัส มีทั้งพัฒนา ตัวเซ็นเซอร์แบบต่างๆอย่างหลากหลาย และงานที่ทำการ พัฒนาระบบอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ และงานที่พัฒนาควบคุมทั้ง ระบบกลไกของมือหุ่นยนต์และระบบเซ็นเซอร์ งานวิจัยอีกกลุ่ม หนึ่งคือการพัฒนาโปรแกรมสำหรับจดจำโดยมีทั้งงานที่ อ่านค่าจากเซ็นเซอร์จากตัวฮาร์ดแวร์ชนิดต่างๆ ทั้งแบบที่อ่าน ค่าจีโอเมทรีวัตถุที่สัมผัส และการพัฒนาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจาก เซ็นเซอร์อาร์เรย์โดยตรง และการประมวลผลค่าที่ได้จาก เซ็นเซอร์อาร์เรย์ในลักษณะของภาพจากการสัมผัส และงานที่ พัฒนาทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ไปพร้อมกัน งานวิจัยกลุ่มแรก คือกลุ่มที่เน้นพัฒนาโปรแกรมที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งข้อมูล ที่นำมาวิเคราะห์มีหลากหลายรูปแบบ ทั้งลักษณะที่มองข้อมูล เป็นภาพ และนำภาพขนาดเล็กมาทำการวิเคราะห์ เช่นในปี 2009 [9] ได้นำเสนองานด้านการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ สำหรับจดจำวัตถุ (Object) ที่สัมผัสโดยใช้ Bag-of-Feature เป็นพื้นฐานในการดำเนินการ งานเช่นเดียวกันนี้ที่ใช้ภาพที่ได้ จากเซ็นเซอร์อย่างง่ายและใช้หลากหลายวิธีในการสกัด คุณลักษณะของข้อมูล งานชิ้นนี้ได้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการใน ที่จะตรวจสอบชนิดของวัตถุโดยการสัมผัส แต่ใช้การตรวจสอบ

รูปร่างของวัตถุมากกว่าที่จะเก็บรวบรวมค่าที่อ่านได้จาก ผิวสัมผัส งานนี้กล่าวถึงการเลือกข้อมูลที่ดีที่สุดโดยการใช้เอน โทรีปี่น้อยสุด แต่พวกเขาไม่ได้อธิบายผลของตำแหน่งวัตถุที่จับ

ในปี 2012 [10] และในปี 2013 [11] ได้ทำการทดลองการ วิเคราะห์ภาพที่ได้จากการสัมผัสวัตถุที่มีรูปร่างลักษณะต่างๆ โดยใช้มือทาสีและไปจับวัตถุโดยมีกระดาษรองอยู่ สีจากมือจะ มาติดที่กระดาษมีความเข้มข้นเบาขึ้นอยู่กับแรงกดที่กระทำ กับตำแหน่งของวัตถุนั้นๆ และถ่ายภาพความเข้มของสีที่ติด กระดาษได้มาเป็นข้อมูลภาพ แล้วนำมาสร้างเวกเตอร์ข้อมูล ป้อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ สามารถแยกกลุ่มของวัตถุได้ เป็นสี่กลุ่ม ในปี 2014 [12] นำเสนองานมีการออกแบบมือของ หุ่นยนต์ให้ใกล้เคียงกับการแบ่งส่วนของระบบประสาทสัมผัส ของมือมนุษย์ทำการทดลองกับวัตถุ 20 วัตถุทดสอบวัตถุละ 24 ครั้ง ใช้เทคนิค SHALLOW ANN และ PCA ในการจดจำวัตถุ ผลการทดลองที่ได้พบว่า ถ้าใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์สัมผัส มุม ของนิ้ว มุมของมอเตอร์ กระแส ความตึงสปริง มาเป็นข้อมูลใน การวิเคราะห์ แต่ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่ได้นำมา วิเคราะห์โดยตรง เนื่องจากใช้ข้อมูลที่มีความหลากหลาย และ ไม่ได้มองข้อมูลจากการสัมผัสเป็นภาพ แต่มองเป็นเวกเตอร์ ข้อมูลตัวหนึ่ง ในปี 2015 [13] ได้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูล ที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่ตำแหน่งต่างๆของฝ่ามือโดยบันทึก แรงกดตั้งแต่เริ่มจับวัตถุจนถึงตำแหน่งสุดท้ายในการจับเพื่อ ศึกษาแรงกดที่เปลี่ยนแปลงไปและนำมาเป็นอินพุตของระบบ แต่การวิเคราะห์ไม่ได้มองข้อมูลเป็นภาพ แต่มองข้อมูลเป็น เวกเตอร์ที่นำไปประมวลผลโดยตรง และในปี 2016 [14] นำเสนอรูปแบบการแบ่งส่วนภาพที่ได้ตามส่วนของมือมนุษย์ จริ่งงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจดจำวัตถุได้มากขึ้นแต่ ภาพที่ได้จากการสัมผัสยังไม่ใช่ภาพจากเซ็นเซอร์ งานของ [15] ได้ทำวัตถุจำลองในคอมพิวเตอร์ (Simulated Object) และ สร้างเซ็นเซอร์จำลองขึ้นมาด้วย และโปรแกรมให้ระบบทำการ สัมผัสวัตถุจำลองเช่นกัน เพื่อให้ได้ภาพจากการสัมผัสมาทำการ วิเคราะห์ งานดังกล่าวหลีกเลี่ยงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่ อาจเกิดขึ้นกับตัวเซ็นเซอร์และระบบ การทำงานร่วมกัน ระหว่างเซ็นเซอร์ตรวจการสัมผัสและการระบุชนิดของวัตถุหรือ การบ่งชี้วัตถุ เป็นการนำเสนอการทำงานร่วมของ 1. การรับรู้ วัตถุจากคุณลักษณะที่ได้จากการสัมผัส กับ 2. การวิเคราะห์เพื่อ ระบุวัตถุที่ไม่รู้จักจากข้อมูลที่ปรากฏ การจดจำวัตถุใช้เทคนิค การวิเคราะห์ภาพสำหรับการมองเห็นของคอมพิวเตอร์โดยดึง

ภาพมาจากเซ็นเซอร์วัดการสัมผัส และนำเสนอการดึงคุณลักษณะข้อมูลที่เราเรียกว่า bag-of-feature ที่ใช้อธิบายภาพจากการสัมผัส โดยเป็นวิธีการที่ดัดแปลงมาจาก Vision-Domain งานดังกล่าวเมื่อทำจำลองในคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องค่อนข้างสูงแต่เมื่อนำมาทดลองกับวัตถุจริงพบว่าประสิทธิภาพลดลงซึ่งเป็นผลมาจากตัวแปรหลายๆอย่าง งานอีกกลุ่มคืองานที่นำเสนอเซ็นเซอร์แบบต่างๆและเทคนิคและการออกแบบระบบอ่านเซ็นเซอร์เช่นใน [16] ได้ออกแบบระบบเซ็นเซอร์อาร์เรย์ขนาด 8x8 พิกเซล พร้อมกับวงจรอ่านค่า ตัวเซ็นเซอร์ทำมาจากวัสดุยางเพียโซเรซิสทีฟ (piezoresistive rubber) มีขนาด 25x25 มิลลิเมตร ส่วนวงจรออกแบบบนพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC33FJ256 และ [17] นำเสนอการพัฒนาเซ็นเซอร์สัมผัสในรูปแบบต่างๆหลากหลายแต่ลักษณะงานเน้นที่การออกแบบเซ็นเซอร์แบบต่างๆมากกว่าระบบการอ่านค่าและการนำไปใช้

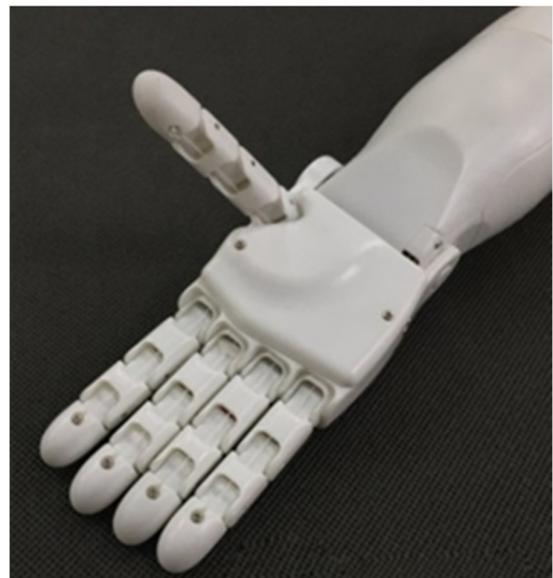
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาการจดจำวัตถุจากการสัมผัสของหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์โดยการประมวลผลภาพจากการสัมผัสร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นงานที่ได้พัฒนาและปรับปรุงงานของ [10,11,14,16] โดยเพิ่มการพัฒนาระบบให้เป็นการนำภาพจากเซ็นเซอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ และนำภาพที่ได้เข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพจากนั้นก็ใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบประมวลผลในการจดจำวัตถุซึ่งเป็นการพัฒนางานเก่าที่เป็นการใช้ภาพจากกระดาษและภาพที่จำลองขึ้นด้วยโปรแกรมเท่านั้น แต่งานนี้ได้พัฒนาโดยใช้ภาพจากเซ็นเซอร์จริง

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

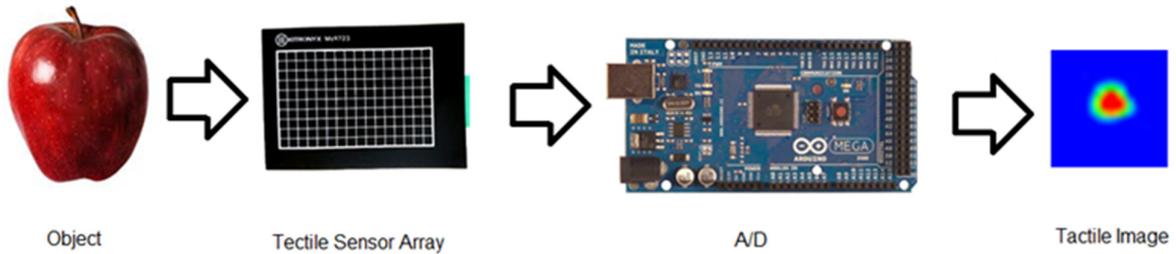
ในงานนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นทำการออกแบบระบบสำหรับวัดและบันทึกค่าที่ได้จากการสัมผัสวัตถุ เพื่อนำระบบที่ได้นี้ไปติดตั้งบนมือของหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์มีระบบประสาทสัมผัสทางกายสามารถรับรู้วัตถุที่มาสัมผัสได้ ลักษณะของมือหุ่นยนต์แสดงดังรูปที่ 2 ประกอบไปด้วยแขนของหุ่นยนต์ ฝ่ามือ และนิ้วทั้งห้า นิ้วซึ่งมีลักษณะเหมือนมือของมนุษย์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การทำงานจะแยกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือส่วนของการเก็บภาพจากการสัมผัสซึ่งมีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 3 ซึ่งจะประกอบด้วยตัววัตถุ ที่จะทำการสัมผัสซึ่งตัวของวัตถุจะมี

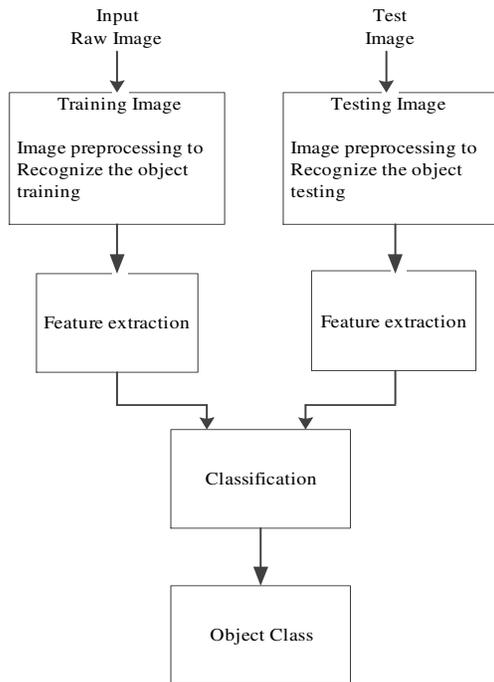
ส่วนของเหลี่ยมมุม ส่วนเว้าส่วนโค้งและความแข็งความนุ่มที่แตกต่างกันอันเป็นลักษณะเฉพาะของวัตถุนั้นๆ การจะเก็บข้อมูลรูปร่างและลักษณะดังกล่าวของวัตถุเราใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเซ็นเซอร์สัมผัส ตัวเซ็นเซอร์ถูกจัดเรียงเป็นอาร์เรย์เมื่อวัตถุมาสัมผัสโดยตำแหน่งใดของเซ็นเซอร์ ตำแหน่งนั้นก็จะมีค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปซึ่งวัตถุแต่ละตัวก็จะให้รูปแบบลักษณะแรงกด (Pressure Profile) ที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการแปลงค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปเป็นข้อมูลตัวเลขโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analogue to Digital Converter) ทำการจัดเรียงข้อมูลให้เป็นรูปแบบเมตริกซ์ตามรูปแบบของเซ็นเซอร์ ลักษณะข้อมูลแรงกดที่เป็นเมตริกซ์นี้มีลักษณะเหมือนกับข้อมูลภาพดิจิตอล เราจึงมองในมุมมองรูปภาพซึ่งเรียกว่าภาพจากการสัมผัสจากนั้นจึงนำเข้าสู่ข้อมูลนี้สู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์และประมวลผล



รูปที่ 2 มือของหุ่นยนต์



รูปที่ 3 การทำงานในส่วนเก็บภาพจากการสัมผัส



รูปที่ 4 การทำงานในส่วนการจดจำวัตถุ

ในส่วนที่สองของงานวิจัยนี้คือส่วนการจดจำวัตถุซึ่งมีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 4 ซึ่งแบ่งขั้นตอนใหญ่ๆ ออกเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการสอน (Training) เป็นการสอนให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ว่าลักษณะข้อมูลนี้เป็นรูปแบบข้อมูลของวัตถุใด อีกขั้นตอนคือขั้นตอนการทดสอบ (Testing) เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลเข้าระบบคอมพิวเตอร์ให้คอมพิวเตอร์ทำนายว่าคือข้อมูลของวัตถุใด การทำงานทั้งสองขั้นตอนจะเหมือนกันคือ เมื่อได้ภาพจากการสัมผัสเข้ามาแล้วจะใช้วิธีการประมวลผลภาพเพื่อทำการปรับปรุงภาพให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์และทำการสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) และนำ

ข้อมูลที่ได้เข้าระบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการทดสอบการจดจำต่อไป

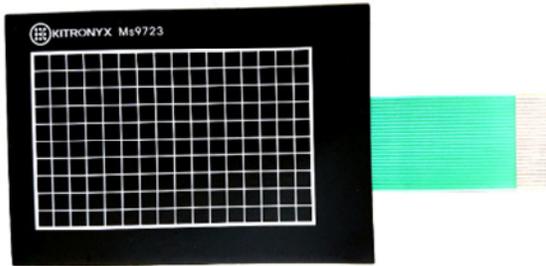
1. เซ็นเซอร์

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการรับแรงกดคือเซ็นเซอร์อาร์เรย์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เซ็นเซอร์ขนาด m คอลัมน์ n แถว เท่ากับ 16×10 พิกเซล ของ SNOWFORCE ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 5 การจัดวางเซ็นเซอร์เป็นแบบเมตริก ประกอบไปด้วยทั้งหมด 16 คอลัมน์ 10 แถว ซึ่งจะได้จำนวนพิกเซลทั้งหมดเป็น 160 พิกเซล ขนาดทางกายภาพของเซ็นเซอร์เท่ากับ 80×50 mm ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับฝ่ามือ และความละเอียดเพียงพอในการจับภาพวัตถุขนาดใกล้เคียงกับฝ่ามือได้ ทั้งนี้หากใช้เซ็นเซอร์ที่มีความละเอียดต่ำไปจะทำให้ภาพที่ได้มีความละเอียดต่ำยากต่อการวิเคราะห์ และหากใช้เซ็นเซอร์ที่มีความละเอียดสูงขึ้นความละเอียดของภาพก็จะสูงกว่าซึ่งจะเหมาะกับการทดสอบกับวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือวัตถุที่มีรายละเอียดสูง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับวัตถุขนาดใหญ่จึงทดลองโดยใช้เซ็นเซอร์ขนาด 16×10 พิกเซล ในแต่ละพิกเซลขณะไม่มีแรงใดๆมากระทำ ความต้านทานจะอยู่ที่ประมาณ $10 \text{ M}\Omega$ ความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสดงดังรูปที่ 6 เมื่อมีแรงมากระทำต่อเซ็นเซอร์ขนาด 1 Kg/cm^2 ความต้านทานของเซ็นเซอร์จะลดลงเหลือประมาณ $25 \text{ k}\Omega$

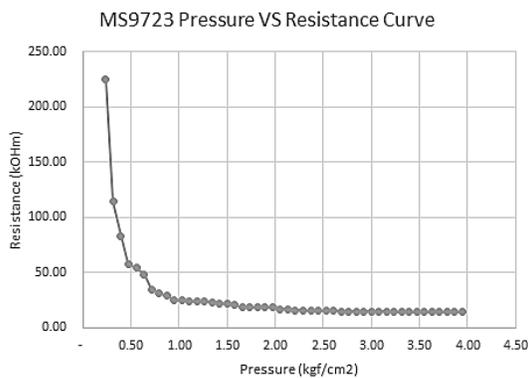
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนเก็บข้อมูลภาพในงานวิจัยนี้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ arduino รุ่น mega 2560 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 7 และได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์แบบสแกน โดยต่อสัญญาณจาก 16 คอลัมน์ของเซ็นเซอร์เข้ากับขา Analogue input A0-A15 และทำการการสแกนการ

อ่านที่ละแถวโดยการต่อสัญญาณในแต่ละแถวเข้ากับขา Digital Output จนครบทั้ง 10 แถว



รูปที่ 5 เซ็นเซอร์อาร์เรย์

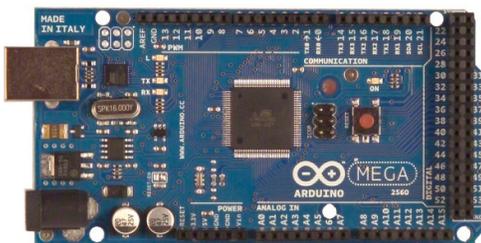


รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ [18]

ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$R_s = kF^{-n} \quad (1)$$

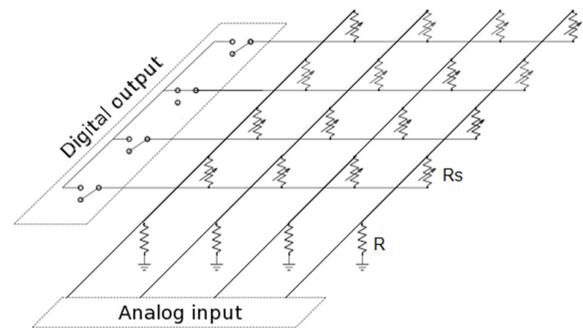
เมื่อ k เป็นค่าคงที่ของจีโอเมตริกคอนดิชัน และค่าความต้านทานของวัสดุเพียโซรีซิสทีฟ และ F คือค่าแรงที่กระทำให้เกิดแรงกดบนพื้นผิวของเซ็นเซอร์ ส่วนค่า n เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของค่าการยืดหยุ่นของวัสดุ



รูปที่ 7 ไมโครคอนโทรลเลอร์

3. วงจรปรับแต่งสัญญาณ

วงจรปรับแต่งสัญญาณ (Signal Condition) สำหรับวัดค่าแรงกดที่กระทำบนตัวเซ็นเซอร์ เป็นวงจรที่ออกแบบบนพื้นฐานของวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ซึ่งการจัดวงจรแสดงดังรูปที่ 8 โดยที่ตัวเซ็นเซอร์ในแต่ละอิลีเมนต์จะมีความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามแรงที่กระทำโดยที่ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์จะอยู่ที่ 10 MΩ -10 KΩ และต่ออนุกรมอยู่กับตัวต้านทานค่าคง R ที่ขนาด 100 KΩ



รูปที่ 8 รูปแบบวงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์

แรงดันจะถูกวัดบนตัวต้านทาน R เมื่อแรงกดกระทำต่อตัวเซ็นเซอร์ ความต้านทานของเซ็นเซอร์ R_s จะลดลงซึ่งจะทำให้แรงดันตกคร่อม R เพิ่มขึ้น ในกรณีที่ไม่มีแรงกดกระทำต่อเซ็นเซอร์ความต้านทานของเซ็นเซอร์จะสูงมากส่งผลให้แรงดันตกคร่อม R มีค่าใกล้เคียงกับ 0 โวลต์

4. การเก็บข้อมูล

1) การเก็บข้อมูล การเก็บข้อมูลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega 2560 ซึ่งมีอินพุตอนาล็อก จำนวน 16 ช่องทำการมัลติเพล็กซ์เพื่ออ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์ขนาด 16x10 ตัวอนาล็อกอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีแปลงวงจรถอดลอกเป็นดิจิตอลเมื่ออ่านค่าแล้วแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อเป็นข้อมูลอินพุตสำหรับการวิเคราะห์โดยการประมวลผลภาพต่อไป

การเก็บข้อมูลสมมติว่าเซ็นเซอร์อาร์เรย์มีขนาดเป็น $m \times n$ อิลีเมนต์จัดเรียงอยู่ในลักษณะ m คอลัมน์ n แถวการสแกนเพื่ออ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทำงานโดยแถวใดๆที่จะทำการวัดจะทำการวัด (row_1, \dots, row_n) จะทำการจ่ายแรงดันไบอัส ($V_{applied}$) ที่ row_i และที่แถวอื่นๆจะไม่ถูกไบอัสและ

ปล่อยให้วงจรลอยไว้อยู่ในสถานะไฮอิมพีแดนซ์ เราใช้ดิจิทัลเอาต์พุต (o_1, \dots, o_n) เพื่อทำการควบคุมว่าแถวใดจะทำการวัด และแถวใดไม่ทำการวัดโดยการควบคุมดิจิทัลเอาต์พุต ทำการให้เอาต์พุต $o_i = 1$ สำหรับแถวที่ทำการวัด และ $o_1, \dots, o_{i-1}, o_{i+1}, \dots, o_n = 0$ สำหรับแถวที่ไม่ต้องทำการวัด จากนั้นเราใช้อินพุตอนุภาคจำนวน m ชุดเป็น (i_1, \dots, i_m) สำหรับอ่านเซ็นเซอร์ m คอลัมน์เมื่อได้ข้อมูลจากในแต่ละคอลัมน์แล้วก็นำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงตามเมทริกซ์ของเซ็นเซอร์

ค่าความเข้มในแต่ละพิกเซลมีขนาด 8 บิตซึ่งสามารถหาค่าความเข้ม (I) จะได้ดังสมการที่ 2

$$I = \left(\frac{255R}{kF^{-n} + R} \right) \quad (2)$$

2) การสร้างภาพจากการสัผัส เมื่อทำการอ่านสัญญาณจากในแต่ละพิกเซลของเซ็นเซอร์แล้วก็นำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงในรูปแบบสัญญาณสองมิติตามรูปแบบเดียวกับการจัดวางเซ็นเซอร์ จะได้เมทริกซ์ข้อมูลขนาดเท่ากับเซ็นเซอร์ซึ่งในที่นี้จะป็นเมทริกซ์ขนาด 16×10 ดังสมการที่ 3 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้พล็อตเป็นข้อมูลสองมิติที่มีความสูงเป็นความเข้มของภาพ จะได้เป็นภาพที่เกิดจากแรงกด หรือที่เรียกว่าภาพจากการสัผัส

$$X = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_1^{(m)} \\ x_2^{(1)} & x_2^{(2)} & \dots & x_2^{(m)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^{(1)} & x_n^{(2)} & \dots & x_n^{(m)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

5. คุณลักษณะของวัตถุ

ในการทดลองใช้จำนวนของวัตถุ 10 ชนิดประกอบด้วย แก้วน้ำ, ลูกกอล์ฟ, ขาม, รีโมทคอลโทรล, ประแจ, ประแจหกเหลี่ยม, แท่งลูกบาศก์, แท่งสามเหลี่ยม, แท่งวงกลม และแท่งวงรี ทำการสัมผัสวัตถุเพื่อเก็บภาพวัตถุในระนาบด้านเดียวแต่หมุนวัตถุให้เกิดการเปลี่ยนมุม ทำการสัมผัสวัตถุละ 100 ครั้ง ดังนั้นได้ภาพจากการสัมผัสทั้งหมดจำนวน 1000 ภาพ ขนาดของภาพในแต่ละภาพมีขนาด 160 พิกเซลส์ จาก (16×10) จึงทำให้ในแต่ละภาพมี 160 ข้อมูลที่ได้จากวงจรอ่านค่าจะถูกแปลงเป็นสัญญาณภาพขนาด 8 บิต ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากแรงกดที่วัตถุกระทำต่อเซ็นเซอร์ เราจึงทำการลดขนาดของมิติข้อมูลโดย

ใช้วิธีการดึงคุณลักษณะ (feature) ออกจากภาพเพื่อเป็นตัวแทนของภาพนั้น ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของค่าแรงสัมผัสที่เกิดขึ้น μ โดยได้จากสมการที่ 4

$$\mu = \frac{1}{NM} \sum_{i,j=1}^{N,M} x_i^j \quad (4)$$

ในส่วนของคุณลักษณะที่สองเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S ของพิกเซลของภาพซึ่งได้จากสมการที่ 5

$$s = \left(\frac{1}{NM - 1} \sum_{i,j} (x_i^j - \mu)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

ค่าเฉลี่ยของภาพที่สัมผัสได้จะให้ค่าประมาณของแรงกดโดยรวมที่ใช้กับพื้นที่สัมผัสซึ่งค่าที่ได้จะเปลี่ยนไปตามจำนวนของจุดสัมผัสที่เกิดขึ้นเนื่องจากบางวัตถุมีปริมาณจุดสัมผัสหลายจุด บางวัตถุจะมีปริมาณจุดสัมผัสที่น้อยกว่าอันเกิดจากลักษณะรูปร่างของวัตถุที่แตกต่างกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นการอธิบายถึงประมาณจำนวนพิกเซลที่ได้จากการสัมผัสมีการกระจายของแรงมากหรือน้อย ทั้งสองคุณลักษณะนี้เป็นการลดมิติของข้อมูลจากข้อมูลทั้งหมด 160 ข้อมูลต่อภาพเหลือ 2 ข้อมูลต่อภาพ จากนั้นก็นำมาทำการจัดเรียงเป็นเวกเตอร์ข้อมูล Z ตามจำนวนภาพทั้งหมด N ภาพดังสมการที่ 6 และสมการที่ 7

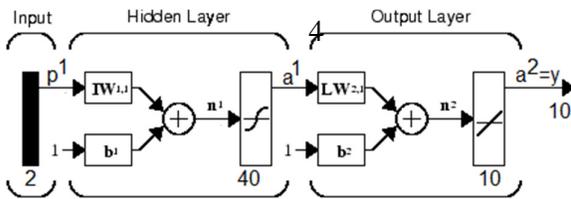
$$Z\mu = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N\} \quad (6)$$

$$Zs = \{s_1, s_2, \dots, s_N\} \quad (7)$$

6. โครงข่ายประสาทเทียม

ANN หรือโครงข่ายประสาทเทียม มีหลักการทำงานจากพื้นฐานของสมองมนุษย์ โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผล วัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้คอมพิวเตอร์มีความชาญฉลาดในการเรียนรู้เหมือนที่มนุษย์มีการเรียนรู้สามารถฝึกฝนได้ และสามารถนำความรู้และทักษะรวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ได้ดีกับปัญหาเช่น Classification, Regression เป็นต้น การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมทำได้โดยการส่งข้อมูลเข้ามายังส่วนที่เรียกว่าเพอร์เซ็ปตรอน (perceptron) สามารถเทียบได้กับเซลล์สมองของมนุษย์ โดยที่เพอร์เซ็ปตรอนทำการรับข้อมูลที่อยู่ในรูปของเวกเตอร์ของตัวเลข เข้ามาคำนวณ ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ

แพร่หลายขึ้น (Multilayer Perceptron: MLP) โครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP เป็น รูปแบบหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างเป็นแบบหลายชั้นใช้สำหรับงานที่มีความซับซ้อนได้ผลเป็นอย่างดีโดยมีกระบวนการฝึกฝนเป็นแบบ supervise แบ่งกระบวนการทำงานเป็น 3 Layer ประกอบด้วยชั้นอินพุต (Input Layer), ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นเอาต์พุต (Output layer) โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นโดยชั้นที่สูงขึ้นไปจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณข้อมูลอินพุตให้เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 9 รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียม

3

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบฟีดฟอร์เวิร์ด (Feed Forward back propagation ANN) มีโครงสร้างดังรูปที่ 9 ประกอบไปด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นอินพุต ชั้นซ่อนจำนวน 40 โหนด และชั้นเอาต์พุต ในสมการที่ 9 เป็นเอาต์พุตจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยเอาต์พุตเกิดจากฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้นจากข้อมูลเอาต์พุตของชั้นซ่อน และในสมการที่ 8 เป็นเอาต์พุตจากชั้นซ่อน ซึ่งเอาต์พุตของชั้นซ่อนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ tangent sigmoid จากอินพุต ดังนั้นเอาต์พุต y ของโครงข่ายประสาทเทียมตามโครงสร้างนี้จะเป็นดังสมการที่ 10

$$a^1 = \text{tsig} (IW_{1,1}p^1 + b_1) \quad (8)$$

$$a^2 = \text{purelin} (LW_{2,1}a^1 + b_2) \quad (9)$$

$$y = \text{purelin} \{LW_{2,1}\text{tsig}(IW_{1,1}p^1 + b_1) + b_2\} \quad (10)$$

เมื่อฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้นเป็นดังสมการที่ 11

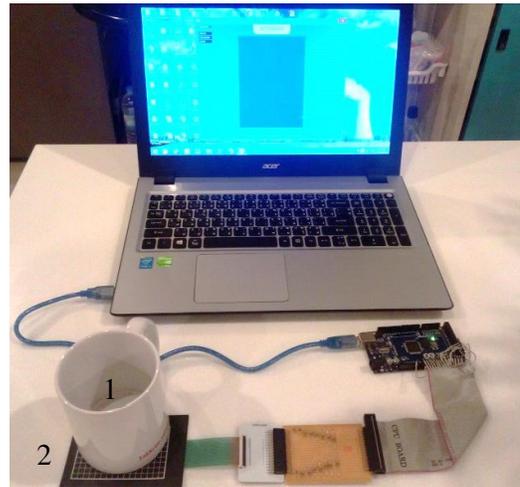
$$\text{Linear: } f(L) = \text{purelin} (L) = L \quad (11)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ tangent sigmoid ดังสมการที่ 12

$$\text{Tangent Sigmoid : } \text{tsig}(I) = \frac{2}{1 + e^{-2I}} - 1 \quad (12)$$

7. การทดสอบการทำงานของระบบ

ในการทดลองทั้งหมดของงานวิจัยนี้แบ่งออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของการเก็บข้อมูลภาพจากการสัมผัสโดยชุดอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้น และอีกส่วนคือการทดสอบการจดจำภาพที่ได้จากการสัมผัสซึ่งขั้นตอนทั้งสองมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 10 ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับเก็บภาพจากการสัมผัส

ประกอบด้วย 1) วัตถุที่ใช้ในการทดสอบ 2) เซ็นเซอร์ 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 4) คอมพิวเตอร์

1) การเก็บข้อมูลภาพจากการสัมผัสโดยชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งก่อนที่จะนำระบบไปติดตั้งกับมือของหุ่นยนต์ได้ทำการทดสอบระบบโดยการนำวัตถุ 10 ชนิดคือ แก้วน้ำ, ลูกกอล์ฟ, ขาม, รีโมทคอนโทรล, ประแจ, ประแจหกเหลี่ยม, แท่งลูกบาศก์, แท่งสามเหลี่ยม, แท่งวงกลม และแท่งวงรี มาใช้ในการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบนั้นตัวระบบประกอบด้วย 4 ส่วนคือ 1) วัตถุที่ใช้ในการทดสอบ 2) เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 4) คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล ลำดับขั้นตอนในการเก็บภาพเริ่มจากนำวัตถุที่ต้องการเก็บภาพจากการสัมผัสมาวางบนเซ็นเซอร์และออกแรงกดวัตถุจนระบบสามารถอ่านค่าจนได้ค่าสูงสุดของข้อมูลในพิกเซลใดพิกเซลหนึ่งซึ่งเท่ากับ 255 ก็ทำการบันทึกข้อมูลในขณะนั้นทั้งชุดถือเป็นข้อมูลภาพจากการสัมผัสหนึ่งภาพ จากนั้นหมุนวัตถุในมุมอื่นหรือเปลี่ยนตำแหน่งที่วางวัตถุ

และทำการควัดจุดจนได้ค่าสูงสุดและบันทึกข้อมูลเป็นภาพที่
สองทำการบันทึกข้อมูลภาพแบบสุ่มทั้งมุมและตำแหน่งของ
เซ็นเซอร์จนได้จำนวนภาพ 100 ภาพจึงทำการเปลี่ยนวัตถุเป็น
วัตถุชิ้นถัดไป ทำการบันทึกภาพวัตถุทั้งหมด 10 ชนิด จะได้
ภาพที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 1000 ภาพ

2) การทดสอบการจดจำวัตถุจากภาพที่ได้จากการสัมผัส ใน
ส่วนของการจดจำภาพในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB
เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินงาน การทดสอบการจดจำของ
งานวิจัยนี้ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปหน้าใน
การทดสอบ และการวิเคราะห์เน้นเฉพาะข้อมูลภาพจากการ
สัมผัสที่ได้จากการทดลองจึงไม่ได้นำตัวแปรอื่นของวัตถุเช่น
น้ำหนัก ขนาด และรูปร่างของวัตถุมาใช้ในการทดสอบ
ระบบ

ในการทดสอบระบบเริ่มจากการนำภาพที่ได้มาทำการสกัด
คุณลักษณะโดยสองคุณลักษณะคือ ค่าเฉลี่ยของภาพ และ ค่า
เบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพ จากนั้นนำข้อมูลมาจัดเรียงเป็น
เวกเตอร์ข้อมูล 2 ชุดคือ 1) เวกเตอร์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของภาพ
และ 2) เวกเตอร์ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพ จากนั้น
ทำการทดสอบการจดจำโดยทำการสอนระบบโครงข่าย
ประสาทเทียมและทดสอบผลการจดจำ โดยทำการสอนระบบ
3 ครั้ง คือ 1) สอนระบบโดยใช้เวกเตอร์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของภาพ
2) สอนระบบโดยใช้เวกเตอร์ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ
ภาพ และ 3) สอนระบบโดยใช้เวกเตอร์ข้อมูลทั้งสองชุด
จากนั้นวิเคราะห์ผลความถูกต้องที่ได้เพื่อเป็นการประเมินระบบ
ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา
ในอนาคตต่อไป

3. ผลการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการทดลองนี้เพื่อสร้างระบบที่ทำให้
คอมพิวเตอร์และระบบหุ่นยนต์สามารถจดจำวัตถุที่สัมผัสได้
แนวทางการพัฒนาคือสร้างระบบประสาทรับด้วยความรู้สึกทาง
กายสัมผัสให้ใกล้เคียงหรือมีลักษณะเดียวกันกับมนุษย์ ใน
งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวเซ็นเซอร์วัดแรงกดแบบอาร์เรย์เป็นตัว
ตรวจวัดการสัมผัสวัตถุ และวัตถุตัวอย่างที่เลือกในการทดลองนี้
จะมีพื้นผิวพื้นผิวที่ซับซ้อนและแตกต่างกันประกอบไปด้วยวัตถุ
10 ชนิดคือ แก้วน้ำ, ลูกกอล์ฟ, ชาม, ริโมทคอนโทรล, ประแจ,
ประแจหกเหลี่ยม, แท่งลูกบาศก์, แท่งสามเหลี่ยม, แท่งวงกลม
และแท่งวงรี ผลของการทดลองนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน

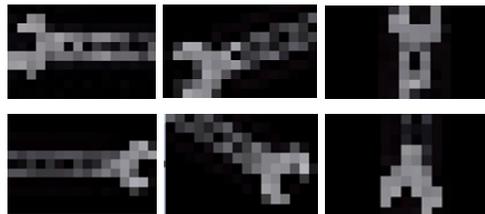
คือ ภาพที่ได้จากการสัมผัสวัตถุจากพื้นผิวของวัตถุที่หลากหลาย
ซึ่งเป็นภาพเหล่านี้จะถูกนำไปทำการวิเคราะห์เพื่อการจดจำ
วัตถุอีกทีหนึ่ง การทดสอบจะใช้ โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่ง
ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าคอมพิวเตอร์สามารถจดจำวัตถุได้
ความถูกต้องที่ยอมรับได้ในระดับที่ดี

1. ภาพจากการสัมผัส

ผลจากการทดลองที่ได้ในส่วนของภาพที่ได้จากการสัมผัส
จะเป็นภาพแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัว
ของแรงกดที่กระทำต่อเซ็นเซอร์จากรูปที่ 11 (A) เป็นรูปของ
ตัวอย่างวัตถุจริงคือประแจเมื่อเซ็นเซอร์สัมผัสประแจจะเกิด
รูปแบบแรงกดที่เกิดขึ้นกับเซ็นเซอร์เมื่อนำมาพล็อตเป็นรูปภาพ
จะเห็นการกระจายตัวของแรงกดที่เกิดขึ้น ในรูปที่ 11 (B) เป็น
ภาพที่เกิดจากการสัมผัสเมื่อนำประแจมาวางในมุมที่แตกต่าง
กันลักษณะการกระจายของแรงที่เกิดขึ้นบนตัวเซ็นเซอร์จะ
เปลี่ยนแปลงไปตามแนวหรือทิศทางของวัตถุ



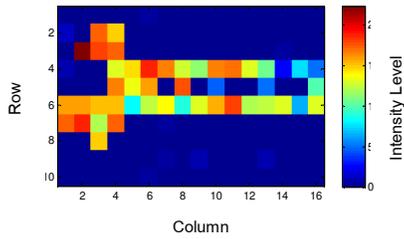
(A)



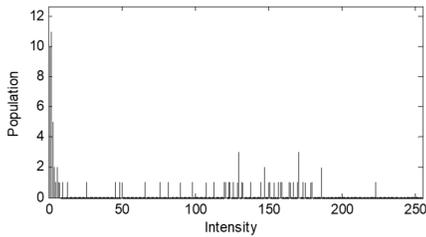
(B)

รูปที่ 11 ภาพเปรียบเทียบ (A) วัตถุจริง กับ (B) ภาพที่ได้จากการเซ็นเซอร์

ภาพที่ได้จากการสัมผัสวัตถุเมื่อเรานำมาพล็อตการกระจาย
ตัวของแรงที่เกิดขึ้นกับเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 12 เราจะพบว่าแรงจะ
กดจะมีค่าสูงในจุดที่มีการสัมผัสกับเซ็นเซอร์ซึ่งเป็นส่วนนูนของ
วัตถุ การกระจายตัวของแรงกดที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามลักษณะ
ส่วนนูนของวัตถุซึ่งจะมีค่าความเข้มสูงอยู่ในช่วง 100-200
หน่วย ส่วนบริเวณที่ไม่มีการสัมผัสจะมีค่าต่ำใกล้เคียง 0 ดังรูปที่
13 แสดงการกระจายของฮิสโตแกรมของภาพจากการสัมผัส
ของวัตถุของประแจ

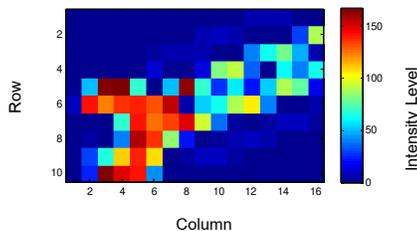


รูปที่ 12 การกระจายตัวของแรงที่เกิดขึ้นกับเซ็นเซอร์เมื่อนำวัตถุประแจมาสัมผัส

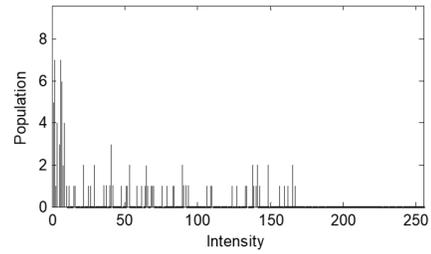


รูปที่ 13 การกระจายของฮิสโตแกรมของภาพจากการสัมผัสของวัตถุของประแจ

ภาพที่ได้จากการสัมผัสวัตถุเมื่อเราหมุนวัตถุให้เปลี่ยนตำแหน่งไป แล้วนำมาพล็อตการกระจายตัวของแรงที่เกิดขึ้นกับเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 14 เราจะพบว่าแรงจะกตกจะมีการเปลี่ยนไปตามลักษณะการหมุน และค่าสูงในจุดที่มีการสัมผัสกับเซ็นเซอร์ ซึ่งเป็นส่วนนูนของวัตถุ แต่ในส่วนที่จุดนูนของวัตถุไม่ได้ขนานไปกับแนวของเซ็นเซอร์พบว่าแรงจะเกิดการกระจายตัวออก ดังนั้นค่าความเข้มจะกระจายตัวไปตามตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่ได้รับการสัมผัส เมื่อแนวของวัตถุไม่ขนานไปกับเซ็นเซอร์ ค่าความเข้มจะกระจายอยู่ในช่วง 50-100 หน่วย ส่วนบริเวณที่ไม่มีการสัมผัสจะมีค่าต่ำใกล้เคียง 0 ดังรูปที่ 15 แสดงการกระจายของฮิสโตแกรมของภาพจากการสัมผัสของวัตถุของประแจเมื่อมาสัมผัสในแนวไม่ขนานกับเซ็นเซอร์

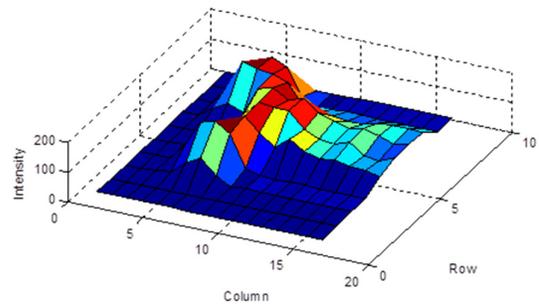


รูปที่ 14 การกระจายตัวของแรงที่เกิดขึ้นกับเซ็นเซอร์เมื่อนำวัตถุประแจมาสัมผัสในแนวไม่ขนานกับเซ็นเซอร์



รูปที่ 15 การกระจายของฮิสโตแกรมของภาพจากการสัมผัสของวัตถุของประแจเมื่อนำวัตถุประแจมาสัมผัสในแนวไม่ขนานกับเซ็นเซอร์

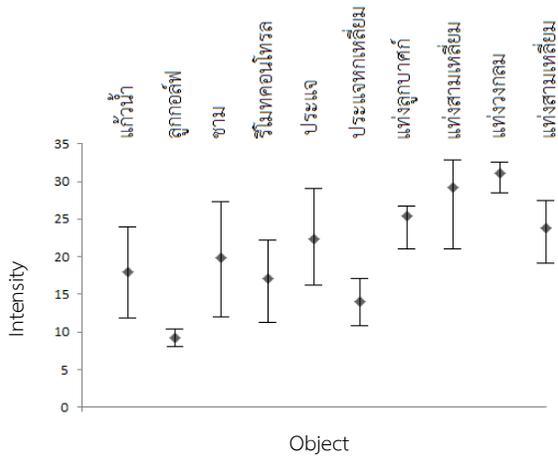
ผลจากการทดลองพบว่าภาพจากการสัมผัสที่ได้มีลักษณะเหมือนวัตถุที่สัมผัสดังรูปที่ 16 เมื่อพล็อตการกระจายของแรงที่เกิดขึ้นในรูปแบบสามมิติพบว่าการกระจายของแรงที่เกิดขึ้นมีลักษณะรูปร่างเหมือนกับวัตถุที่สัมผัสคือส่วนสูงของภาพตรงกับส่วนนูนของวัตถุจึงทำให้ลักษณะภาพสัมผัสสามารถนำมาสร้างเป็นภาพวัตถุสามมิติได้



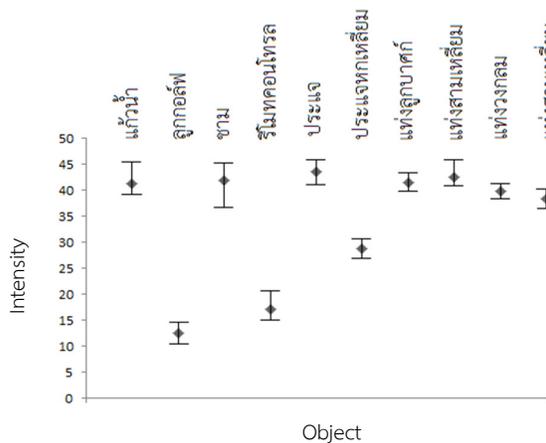
รูปที่ 16 การกระจายของแรงที่เกิดขึ้นในรูปแบบสามมิติ

2. การสกัดคุณลักษณะ

ภาพจากการสัมผัสที่ได้จะถูกนำมาทำการสกัดคุณลักษณะสองตัวคือค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยของแรงกตกที่ได้แสดงดังรูปที่ 17 พบว่าแรงกตกของแก้วน้ำ ขาม และประแจมีค่าเฉลี่ยในแต่ละภาพที่กว้างอยู่ในช่วงประมาณ 10-25 หน่วย ซึ่งเกิดจากลักษณะของตัววัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าเซ็นเซอร์จึงทำให้เมื่อนำเซ็นเซอร์มาสัมผัสภาพที่ได้จะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากแต่ค่าเฉลี่ยแรงกตกของวัตถุ ลูกกอล์ฟ, ประแจหกเหลี่ยม, แท่งลูกบาศก์, แท่งสามเหลี่ยม, แท่งวงกลม และ แท่งวงรี มีค่าเฉลี่ยแรงกตกของแต่ละภาพค่อนข้างเท่ากัน เนื่องจากขนาดของวัตถุเล็กกว่าขนาดของเซ็นเซอร์แม้จะหมุนวัตถุอย่างไรรูปแบบแรงกตกก็ยังคงมีลักษณะแบบเดิมจึงทำให้ค่าเฉลี่ยแรงกตกคงที่



รูปที่ 17 ค่าเฉลี่ยของความเข้มของภาพจากการสัมผัสของวัตถุแต่ละตัว



รูปที่ 18 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มของภาพจากการสัมผัสของวัตถุแต่ละตัว

จากรูปที่ 18 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวัตถุชนิดเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันและวัตถุเกือบทุกชนิดจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 35-45 หน่วย แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ของเซ็นเซอร์ถูกสัมผัสกับวัตถุเป็นบริเวณกว้างและจำนวนพิกเซลของเซ็นเซอร์มีหลายพิกเซลและกระจายรับแรงกดไปค่อนข้างเท่ากัน ยกเว้นลูกกอล์ฟ รีโมทคอนโทรลและประแจหกเหลี่ยม ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำแสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของเซ็นเซอร์ไม่ถูกสัมผัสหรือสัมผัสด้วยแรงกดเบาๆจึงทำให้ข้อมูลส่วนใหญ่ของในแต่ละพิกเซลมีค่าต่ำ

จากรูปที่ 17 และ รูปที่ 18 เราพบว่าข้อมูลที่สามารถบ่งชี้ขนาดและรูปร่างของวัตถุได้ว่าวัตถุใดมีขนาดใหญ่หรือวัตถุใดมีขนาดเล็กหรือรูปร่างของวัตถุมีความซับซ้อนหรือไม่อีกด้วย โดยพิจารณาจากค่าที่ได้ถ้าวัตถุมีขนาดเล็กทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าต่ำเช่นลูกกอล์ฟและประแจหกเหลี่ยม ถ้าวัตถุขนาดใหญ่แต่ไม่ซับซ้อนค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐานจะสูงแต่ช่วงกว้างของค่าต่ำเช่นแท่งลูกบาศก์, แท่งสามเหลี่ยม, แท่งวงกลม และ แท่งวงรี แต่ถ้าวัตถุมีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะสูงและช่วงกว้างของค่าจะสูงด้วยเช่น แก้วน้ำ, ประแจ, รีโมทคอนโทรล จากข้อมูลนี้ทำให้เราสามารถแยกชนิดของวัตถุได้อย่างคร่าวๆ

3. การจดจำวัตถุ

ผลจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจดจำวัตถุ ได้ทำการสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมสามครั้ง ครั้งแรกนำข้อมูลค่าเฉลี่ย (μ) ของแรงที่วัตถุกระทำต่อเซ็นเซอร์ ไปเป็นอินพุตในการสอน ครั้งที่สองใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ในการสอน และครั้งที่สามใช้ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการสอน (μ, s) เมื่อทำการทดสอบและหาค่าความถูกต้องพบว่าได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจดจำวัตถุ 10 ชนิด

วัตถุที่ใช้ทดสอบ	%ความถูกต้อง		
	(μ)	(s)	(μ, s)
แก้วน้ำ	22	71	84
ลูกกอล์ฟ	100	100	100
ชาม	29	54	81
รีโมทคอนโทรล	43	100	100
ประแจ	12	55	79
ประแจหกเหลี่ยม	76	100	100
แท่งลูกบาศก์	70	93	96
แท่งสามเหลี่ยม	73	99	93
แท่งวงกลม	85	100	100
แท่งวงรี	76	97	99
% ความถูกต้องเฉลี่ย	58.6	86.9	93.2

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับภาพจำนวนทั้งหมดเป็น 1000 ภาพจากการทดสอบกับวัตถุ 10 ชนิด ชนิดละ 100 ครั้งพบว่าหากใช้ค่าเฉลี่ยทำการสอนเพียงอย่างเดียว แล้วทำการทดสอบพบว่า มีความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 58.6% โดยวัตถุที่มีความถูกต้องในการจดจำมากที่สุดคือลูกกอล์ฟ มีค่าความถูกต้องในการจดจำถึง 100% และตัวที่มีค่าความถูกต้องในการจดจำน้อยสุดคือ ประแจมีค่าความถูกต้อง 12% เท่านั้น เนื่องจากค่าเฉลี่ยของประแจมีค่าใกล้เคียงกับวัตถุอื่นจึงทำให้

เกิดความผิดพลาด (Error) ในการจดจำสูง จากนั้นได้ทำการทดสอบระบบโดยการสอนด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรูปที่ได้จากการสัผัส เพียงอย่างเดียวพบว่าความถูกต้องเฉลี่ยมากกว่าการสอนด้วยค่าเฉลี่ยโดยที่มีความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 86.9% โดยวัตถุที่มีค่าความถูกต้องในการจดจำมากที่สุดคือลูกกอล์ฟ ริโมทคอนโทรล และประแจหกเหลี่ยมมีค่าความถูกต้องในการจดจำที่ 100% และตัวที่มีค่าความถูกต้องในการจดจำน้อยที่สุดคือขามมีค่าความถูกต้องในการจดจำที่ 54% เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขามมีความใกล้เคียงวัตถุอื่น และสุดท้ายคือการสอนด้วยคุณลักษณะทั้งสองตัวร่วมกัน เป็นที่น่าสนใจว่าเมื่อใช้คุณลักษณะทั้งสองตัวร่วมกันมาทำการสอนและทำการทดสอบพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 93.2% โดยวัตถุที่มีค่าความถูกต้องในการจดจำมากที่สุดคือลูกกอล์ฟ, ริโมทคอนโทรล, ประแจหกเหลี่ยม และแท่งวงกลม มีค่าความถูกต้องในการจดจำถึง 100% และตัวที่มีค่าความถูกต้องในการจดจำน้อยที่สุดคือประแจมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ 79% ผลจากการทดลองพบว่าในกรณีที่ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นข้อมูลอินพุตในการสอน ค่าความถูกต้องเฉลี่ยที่ได้จะต่ำสุดอยู่ที่ 58.6% เท่านั้น เนื่องจากการกระจายตัวของข้อมูลมีสูงจึงไม่สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลที่ดีพอ เมื่อใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาเป็นค่าอินพุตในการสอนพบว่าความถูกต้องในการจดจำวัตถุมีค่าสูงกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยมากเพราะมีค่าความถูกต้องเฉลี่ย 86.9% และเมื่อเราใช้ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาใช้ในการสอนพบว่าค่าเฉลี่ยมีค่าสูงสุดถึง 93.2% ดังนั้นการสอนระบบด้วยคุณลักษณะที่หลากหลายจะสามารถเพิ่มความถูกต้องในการจดจำวัตถุของระบบได้

ในรูปที่ 19 เป็นผลที่ได้จากการทดสอบโดยสอนด้วยคุณลักษณะทั้งสองตัวร่วมกันค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเกิดจากตัวภาพจากการสัผัสของประแจที่รายงานผลผิดเป็นแก้วน้ำและขามเนื่องจากทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประแจใกล้เคียงกับแก้วน้ำและขามจึงทำให้เกิดความผิดพลาดสูงในทำนองเดียวกันผลของขามก็มีความผิดพลาดสูงรองลงมาเนื่องจากรายงานผลว่าเป็นประแจดังนั้นวัตถุที่มีรูปร่างต่างกันโดยสิ้นเชิงแต่มีโอกาสที่ค่าเฉลี่ยของความเข้มของแรงกดกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอาจจะใกล้เคียงกันเป็นผลให้การรายงานผลผิดพลาด

Output Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	84	0	8	0	10	0	4	0	0	0
2	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0	81	0	11	0	0	5	0	1
4	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
5	4	0	5	0	79	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
7	9	0	2	0	0	0	96	2	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	93	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
10	0	0	3	0	0	0	0	0	0	99

รูปที่ 19 ผลการทดสอบเมื่อสอนระบบด้วยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

และการรายงานผลของลูกกอล์ฟทั้งสามการทดสอบมีค่าความถูกต้องเป็น 100% เนื่องจากลักษณะการสัมผัสของลูกกอล์ฟกับเซ็นเซอร์จะเป็นเพียงจุดเล็กๆจุดเดียว และลูกกอล์ฟเป็นบอลทรงกลมที่มีความสมมาตรในทุกทิศทางดังนั้นไม่ว่าจะหมุนลูกกอล์ฟอย่างไรภาพที่ได้ก็จะมีลักษณะเดิมเสมอจึงทำให้ค่าเฉลี่ยของภาพมีค่าต่ำแตกต่างจากตัวอื่นมากจึงทำให้ระบบสามารถแยกแยะลูกกอล์ฟได้โดยง่ายค่าความถูกต้องจึงมีค่าสูงในทุกครั้งที่มีการทดสอบ

4. สรุปและเสนอแนะ

ระบบประสาทสัมผัสทางกายเอเล็กทรอนิกส์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้พัฒนาโดยใช้เซ็นเซอร์วัดแรงกดแบบอาร์เรย์ขนาด 16x10 พิกเซลเมื่อนำไปสัมผัสวัตถุและทำการอ่านข้อมูลในแต่ละพิกเซลและนำมาจัดเรียงข้อมูลในลักษณะเมทริกซ์จะได้ภาพจากการสัมผัสมีขนาด 16x10 พิกเซล ลักษณะภาพที่ได้จะเป็นไปตามรูปแบบแรงกดที่วัตถุกระทำต่อเซ็นเซอร์ จากนั้นนำภาพที่ได้มาสกัดคุณลักษณะสองตัวคือหาค่าเฉลี่ยของภาพ และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จะแปรเปลี่ยนไปตามขนาดและรูปร่างของวัตถุ การทดสอบการจดจำของระบบทำโดยนำค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาจัดเรียงเป็นเวกเตอร์ข้อมูลสำหรับสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟีดฟอร์เวิร์ด เมื่อทำการทดสอบกับวัตถุชนิด 10 ชนิด มีความถูกต้องของการจดจำวัตถุ 58.6% เมื่อสอนระบบด้วยค่าเฉลี่ยของภาพ มีความถูกต้องของการจดจำวัตถุ 86.9% เมื่อสอนระบบด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ

ภาพ และมีความถูกต้องของการจดจำวัตถุ 93.2% เมื่อสอนระบบด้วยคุณลักษณะของภาพทั้งค่าเฉลี่ยของภาพและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพ ซึ่งการใช้คุณลักษณะร่วมกันสองตัวให้ความถูกต้องของการจดจำสูงสุด และระบบที่พัฒนาสามารถจดจำวัตถุเพื่อนำไปใช้กับหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ได้

งานวิจัยในอนาคตจะทำการพัฒนาระบบโดยใช้เซ็นเซอร์ที่มีความละเอียดสูงขึ้น และพัฒนาอัลกอริทึมใหม่สำหรับการเรียนรู้โดยจะเน้นการสกัดหาคุณลักษณะภาพแบบใหม่ที่ให้ค่าความถูกต้องมากกว่าเนื่องจากงานนี้ค่าคุณลักษณะที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงกดที่กระทำต่อเซ็นเซอร์ซึ่งวัตถุต่างชนิดกันอาจจะให้แรงกดที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันได้ และจะทำการเก็บภาพจากวัตถุที่หลากหลายและมีความซับซ้อนของวัตถุมากกว่า หรือวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการหมุนของวัตถุในแนวรอบทิศทาง เนื่องจากงานนี้มีการเก็บภาพจากวัตถุด้านเดียวและวัตถุหลายตัวมีขนาดเล็กกว่าเซ็นเซอร์

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (2009). Haptic perception: A tutorial. *Attention Perception & psychophysics*, 71, 1439-1459. <http://dx.doi:10.3758/APP.71.7.1439>
- [2] Pressure Mapping: Geotechnical Engineering Retrieved Achieve Design and Process Optimization with Interface Pressure Measurement. (2016). Retrieved from <https://www.tekscan.com/news/new-ebook-advancing-geotechnical-engineering-pressure-Mapping>
- [3] Micah, K. J., & Edward, H. A. (2009). Retrographic sensing for the measurement of surface texture and shape, *Computer Vision and Pattern Recognition 2009* : Proceedings of an IEEE Conference on in Miami, FL, USA, 20-25 June 2009 (pp. 1070–1077). <http://dx.doi:10.1109/CVPR.2009.5206534>
- [4] Casselli, S., Magnanini, C., & Zanichelli, F. (1995). On the robustness of haptic object recognition based on polyhedral shape representations, *Intelligent Robots and Systems 95. 'Human Robot Interaction and Cooperative Robots'* : Proceedings of an IEEE/RSJ international conference in Pittsburgh, PA, USA, 5-9 Aug. 1995 Vol2 (pp 200–206). <http://dx.doi:10.1109/IROS.1995.526160>
- [5] Bajcsy, R. (1984). What can we learn from one finger experiments?. *Proceedings of a Symposium on Robotic Research* Bretton Woods, NH, 1984, (pp. 509–527).
- [6] Ronald, S. F., & Binford, T.O. (1991). Using a Cylindrical Tactile Sensor for Determining Curvature. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7, 806 – 817. <http://dx.doi:10.1109/70.105389>
- [7] Bay, S. J. (1989). Tactile shape sensing via single- and multi fingered hands, *Robotics and Automation 1989* : Proceedings of an IEEE international conference in Scottsdale, AZ, USA, 14-19 May 1989 Vol 1 (pp 290-295). <http://dx.doi:10.1109/ROBOT.1989.100003>
- [8] Allen, P. K. & Roberts, K. S. (1989). Haptic object recognition using a multi fingered dexterous hand, *Robotics and Automation 1989* : Proceedings of an IEEE international conference in Scottsdale, AZ, USA, 14-19 May 1989 Vol 1 (pp 290-295). <http://dx.doi:10.1109/ROBOT.1989.100011>
- [9] Alexander, S. Jürgen, S. & Cyrill. S. (2009). Object Identification with Tactile Sensors using Bag-of-Features, *Intelligent Robots and Systems 2009* : Proceedings of an IEEE international conference in St. Louis, MO, USA, 10-15 October 2009 (pp 243-248). <http://dx.doi:10.1109/IROS.2009.5354648>
- [10] Khasnobish, A., Jati, A., Singh, G., Bhattacharyya, S., Konar, A., Tibarewala, D. N., Kim, E. & Nagar, A. K. (2012). Object-Shape Recognition from Tactile Images Using a Feed-forward Neural Network, *World Congress on Computational Intelligence* : Proceedings of an IEEE international conference in Brisbane, QLD, Australia, 10-15 June 2012. <http://dx.doi:10.1109/IJCNN.2012.6252593>
- [11] Datta, S., Khasnobish, A., Konar, A., Tibarewala, D. N. & Janarthanan, R. (2013). Object Shape and Size Recognition From Tactile images, *Control Communication and Computing 2013* : Proceedings of an IEEE international conference in Thiruvananthapuram, India, 13-15 December 2013 (pp 16-21). <http://di.doi:10.1109/ICCC.2013.6731617>
- [12] Alexander, S., Yusuke, B., Kuniaki, N., Hiroyasu, I., Tetsuya, O. & Shigeki, S. (2014). Object Recognition using Deep Learning and Dropout, *Humanoid Robots (Humanoids) 2014* : Proceedings of an IEEE international conference in Madrid, Spain, 18-20 November 2014 (pp

1 0 4 4 - 1 0 5 0). <http://dx.doi.org/10.1109/HUMANOIDS.2014.7041493>

- [13] Harold, S. & Yiannis, D. (2014). Incrementally Learning Objects by Touch: Online Discriminative and Generative Models for Tactile-Based Recognition. *IEEE Transactions On Haptics*, 7, 512-525. <http://dx.doi.org/10.1109/TOH.2014.2326159>
- [14] Somchai, P. & Jakkree, S. (2016) Object Recognition from Human Tactile Image Using Artificial Neural Network, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology 2016 : Proceedings of an IEEE international conference in Chiang Mai, Thailand, 28 June-1 July 2016*. <http://dx.doi.org/10.1109/ECTIcon.2016.7561402>
- [15] Zachary, P., Erion, P., Caitlin, R. & Gregory, D. H. (2011). Tactile-Object Recognition From Appearance Information. *IEEE Transactions On Robotics*, 27, 473-487. <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2011.2125350>
- [16] Alin, D., Gert, K., Arne, B. & Danica, K. (2011). Classification of Rigid and Deformable Objects Using a Novel Tactile Sensor, *Advanced Robotics 2011 : Proceedings of an IEEE international conference in Tallinn, Estonia, 20-23 June 2011 (pp 4 2 7 -4 3 4)*. <http://dx.doi.org/10.1109/ICAR.2011.6088622>
- [17] Hiroshi, F., Koichi, I., Tsuyoshi, S., Makoto, T., Takao, S. & Takayasu, S. (2013). Large-Area and Flexible Sensors with Organic Transistors, *Advances in Sensors and Interfaces 2013 : Proceedings of an IEEE international conference in Bari, Italy, 13-14 June 2013 (pp 8 7 -9 0)*. <http://dx.doi.org/10.1109/IWASI.2013.6576084>
- [18] ms9723-pvsr_orig ,Retrieved August 05, 2017, from http://www.kitronyx.com/store/p30/MS9723_FSR_Matrix_Array_Sensor_%2816x10_Rows_and_Columns_%2F_80mm_x_50mm_Active_Sensing_Area%29.html

6. ประวัติ



สมชาย เปาะทองคำ จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีและปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาเอกในมหาวิทยาลัยเดียวกัน



ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ระดับปริญญาโท และปริญญาเอก จาก Northumbria University, UK ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์อยู่ที่ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี