

Temperature Convert Algorithms by Image Processing

อัลกอริทึมการแปลงอุณหภูมิโดยการประมวลผลภาพ

Pisanu Kumeechai*, Suthipoom Yaowwiwat, Peelun Phoboon, Chatchapong Photong, Kongtub Junzonggool and Nuttakit Naudom

พิศณุ คูมิชัย*, สุทธิภูมิ เยาววิวัฒน์, ปीलันท์ โพธิ์บุญ, ชัชพงษ์ โพธิ์ทอง, กองทัพบก จันทรวงศ์ และ ณัฐกิตติ์ นาอุดม
Department of Electrical Engineering, Education Department, Royal Thai Naval Academy
กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

*Corresponding Author, Tel +6680-5246539, E-mail: Pisanu41984198@hotmail.com

*ผู้พิมพ์ประสานงาน โทรศัพท์ 080-5246539 อีเมล: Pisanu41984198@hotmail.com

Abstract

From the current situation of Corona virus Disease 2019 or COVID-19, it is rapidly occurring and easy to infect. Ability to screen patient from non infected ones by measuring temperature using temperature measurement tools such as infrared thermometers are quite expensive and are not widely used in many areas. Therefore, the idea is to create an instrument that could measure temperature efficiently and with low cost. To reduce the risk of spreading the disease, the application of a webcam together with digital image processing to convert RGB color images to other color spaces is used. Theoretically converting the temperature to the image used for temperature measurement in areas where temperature measurement instruments are limited can expand the area for initial screening of patients. The results will be displayed on the screen that the person's temperature is measured. In this way, it is easier to isolate patients with higher than normal temperatures. In the experiment the results of body temperature measurement using a digital meter. The UFR 101 verifies thermometer averaged 35.80 degrees Celsius and the mean body temperature measurement result obtained using the research method was 36.02 degrees Celsius, with a percentage relative error of 0.61 percent.

Keywords: Screen the patient, Temperature measurement tools, Digital image processing

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ในปัจจุบันที่การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ โควิด-19 (COVID-19) เป็นไปอย่างรวดเร็วและเป็นวงกว้าง จึงจำเป็นต้องมีการคัดกรองผู้ป่วยออกจากกลุ่มบุคคลปกติที่มีประสิทธิภาพ โดยการคัดกรองในปัจจุบันจะใช้วิธีการตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด กล้องวัดไข้ ซึ่งอาจมีราคาค่อนข้างสูงและมีใช้งานไม่ทั่วถึงในหลายพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่องมือที่ตรวจวัดอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำเพื่อให้เข้าถึงได้ง่ายในทุกพื้นที่ รวมทั้งลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายของโรคเมื่อต้องวัดโดยตรงด้วยบุคคลากร ซึ่งเครื่องมือนี้ใช้การประยุกต์อุปกรณ์กล้องเว็บแคมร่วมกับการประมวลผลภาพดิจิทัลแปลงภาพสี RGB ไปสู่ปริภูมิสีอื่น และเข้าทฤษฎีในการแปลงอุณหภูมิจากภาพเพื่อใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ ผลลัพธ์อุณหภูมิที่ได้จะแสดงผลผ่านหน้าจอ วิธีนี้สามารถทำการคัดแยกผู้ป่วยที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติได้ง่ายขึ้น โดยหวังว่าเครื่องมือวัดอุณหภูมินี้จะสามารถใช้ได้ในพื้นที่ที่มีเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิจำกัดเพื่อใช้งานตรวจคัดกรองผู้ป่วยในเบื้องต้นได้อย่างทั่วถึง ในการทดลองผลการวัดอุณหภูมิร่างกายโดยใช้เครื่องมือแบบดิจิทัล เครื่องวัดอุณหภูมิ เวอร์ิฟาย UFR 101 ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 35.80

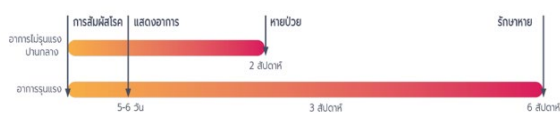
องศาเซลเซียส และมีผลวัดอุณหภูมิร่างกายโดยใช้วิธีในการวิจัยได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.02 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ 0.61 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การคัดกรองผู้ป่วย เครื่องมือวัดอุณหภูมิ การประมวลผลภาพดิจิทัล

1. บทนำ

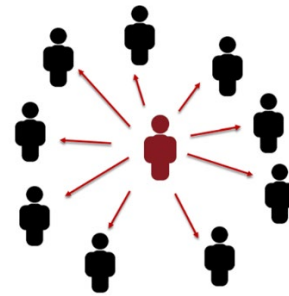
ปัจจุบันนี้มีการแพร่ระบาดของโรค COVID-19 อันเป็นโรคติดต่อซึ่งเกิดจากติดเชื้อไวรัสโคโรนาชนิดที่มีการค้นพบล่าสุด ไวรัสและโรคอุบัติใหม่นี้ไม่เป็นที่รู้จักเลยก่อนหน้านี้ที่จะมีการระบาดในเมืองอุฮั่น ประเทศจีนในเดือนธันวาคมปี 2019 และในขณะนี้โรค COVID-19 มีการระบาดใหญ่ไปทั่ว ส่งผลกระทบแก่หลายประเทศทั่วโลก ซึ่งต้นตอของไวรัสน่าจะมาจากการที่ไวรัสจากสัตว์ตัวกลางระบาดมาสู่มนุษย์ อาการที่ตรวจพบมากที่สุดของโรค COVID-19 จะมีอาการจากการเป็นไข้ตัวร้อน โรค COVID-19 โดยหลักแล้วโรคจะแพร่จากคนสู่คนผ่านทางฝอยละอองจากจมูกหรือปากซึ่งจะขับออกมาเมื่อผู้ป่วย ไอหรือจาม เราได้รับเชื้อได้จากการหายใจเอาฝอยละอองเข้าไปจากผู้ป่วย หรือจากการเอามือไปจับพื้นผิวที่มีฝอยละอองเหล่านั้นแล้วมาจับตามใบหน้า ระยะเวลานับจากการติดเชื้อและการแสดงอาการ ระยะฟักตัวมีตั้งแต่ 1 - 14 วัน ดังแสดงในรูปที่ (1) และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 - 6 วัน เกิน 97 % ของผู้ป่วยจะเริ่มมีอาการภายใน 14 วัน การเพิ่มจำนวนของไวรัสเกิดขึ้นในระบบทางเดินหายใจส่วนบนและในปอด มีงานวิจัยในช่วงแรกระบุว่า การเพิ่มจำนวนของไวรัสได้ในระบบทางเดินอาหาร แต่การติดต่อโดยระบบทางเดินอาหารยังไม่เป็นที่ยืนยัน

เหตุการณ์ระบาดเป็นวงกว้างเกิดขึ้นเมื่อมีคนหนึ่งคนแพร่เชื้อไวรัสไปสู่คนกลุ่มใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ (2) สถานการณ์ที่จะทวีความรุนแรงของการระบาดเป็นวงกว้างรวมถึง การชุมนุมขนาดใหญ่ ประชากรไร้ถิ่นฐาน การสัมผัสโรคจากต่างประเทศ ความหนาแน่นของเขตเมือง และระบบสาธารณสุขไม่เข้มแข็ง



รูปที่ 1 แสดงระยะเวลาการเกิดโรคนักวิจัยหาย

ที่มา : https://www.who.int/docs/default-source/searo/thailand/update-28-covid-19-what-we-know---june2020---thai.pdf?sfvrsn=724d2ce3_0



รูปที่ 2 แสดงการกระจายตัวของโรคจากหนึ่งคนสู่กลุ่มคน
ที่มา : https://www.who.int/docs/default-source/searo/thailand/update-28-covid-19-what-we-know---june2020---thai.pdf?sfvrsn=724d2ce3_0

จากมูลเหตุที่กล่าวไปเบื้องต้นผู้ป่วยหนึ่งคนสามารถแพร่กระจายโรคไปได้เป็นวงกว้าง และที่สำคัญยังมีผู้ป่วยจำนวนมากที่ไม่รู้ว่าตัวเองมีไข้แต่ยังคงเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ตามปกติซึ่งทำให้มีความเสี่ยงที่จะนำเชื้อไวรัสไปติดผู้อื่นโดยไม่รู้ตัว ซึ่งในการคัดกรองผู้ป่วยในปัจจุบันสามารถทำได้ 2 วิธีหลักคือ

1) การใช้เครื่องเทอร์โมสแกนวัดไข้โดยตรงด้วยการนำเครื่องวัดไข้มาสแกนที่ศีรษะของผู้ที่ต้องการตรวจวัดโดยตรงซึ่งวิธีนี้ยังคงมีความเสี่ยงต่อผู้ทำการตรวจวัดไข้และผู้ที่ถูกวัดไข้ และจะมีความล่าช้าอันเนื่องมาจากจะต้องทำการตรวจวัดทีละคน

2) การใช้กล้องชนิด Thermal Camera หรือกล้องวัดไข้ หรือกล้องวัดอุณหภูมิมนุษย์โดยตรงในการตรวจวัดวิธีนี้ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากสามารถวัดอุณหภูมิได้หลายคนในเวลาเดียวกันซึ่งปกติในระยะเวลา 1 วินาทีสามารถจะวัดไข้ได้สูงสุดถึงประมาณ 16 คน โดยจะมีระยะห่างในการตรวจวัดถึงประมาณ 6 เมตร



รูปที่ 3 ตัวอย่างการใช้กล้อง Thermal Camera ในการวัด
ใช้

ที่มา : <https://www.stfuturecontrol.com/stfc-products>

อุปกรณ์ในการวัดใช้ดังรูปที่ (3) มีประสิทธิภาพ แต่ก็ยังมีราคาที่สูง และคนทั่วไปยังไม่สามารถเข้าถึงได้ง่าย จากมูลเหตุดังกล่าวมาข้างต้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการนำเสนอ “อัลกอริทึมการแปลงอุณหภูมิโดยการประมวลผลภาพ” โดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) ในการแปลงภาพไปสู่ปริมาณสีอื่นแล้วนำภาพมาทำการวิเคราะห์ตามทฤษฎีออกมาเป็นอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมินั้นเป็นปริมาณทางกายภาพที่วัดได้บ่อยที่สุดเป็นอันดับสองรองจากเวลา อุณหภูมิให้ข้อมูลที่สำคัญมากในทางอุตสาหกรรมเนื่องจากทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ที่ให้สภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักรผลผลิต ฯลฯ ในกระบวนการอุตสาหกรรมใด ๆ อุณหภูมิการวัดผลเป็นข้อกำหนดที่สำคัญจากแนวคิดสำคัญเหล่านี้ ภาพดิจิทัลสามารถนำมาตรวจวัดอุณหภูมิของมนุษย์ได้เช่นเดียวกัน จากแนวคิดตรงนี้จึงมีความต้องการในการออกแบบอัลกอริทึมการแปลงอุณหภูมิโดยการประมวลผลภาพซึ่งจะมีต้นทุนต่ำ มีความน่าเชื่อถือ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำในการประเมินอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสและเกิดความปลอดภัยต่อผู้นำไปใช้หน่วยงาน หรือตามสถานที่ต่าง ๆ เมื่อนำมาต่อยอดแนวความคิดนี้โดยสมบูรณ์

ในงานวิจัยเก่า มีการใช้วิธีการวัดอุณหภูมิหลายวิธีโดยสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ แบบสัมผัสและไม่สัมผัส แบบสัมผัสอาศัย

การวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมมีแอปพลิเคชันการวัดอุณหภูมิซึ่งสามารถพบเห็นในปัจจุบันจะมีวิธีการวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสทั่วไป ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิลเครื่องตรวจจับอุณหภูมิความต้านทาน (RTDs) เทอร์มิสเตอร์ พรอทในแก้วธรรมดา เครื่องวัดอุณหภูมิที่อยู่ในประเภทนี้เช่นกัน สัมผัสเซ็นเซอร์อุณหภูมิ เช่น เทอร์โมคัปเปิลมีเทคโนโลยีที่รู้จักกันดีและนิยมใช้ในการวัดอุณหภูมิเตาอุตสาหกรรม เช่น เซอร์อุณหภูมิสัมผัส เทอร์โมคัปเปิลจะต้องปรับสมดุลกับอุณหภูมิของวัสดุเป้าหมาย [1, 2] Chan L. และคณะ [3] มีการทบทวนวรรณกรรมอย่างกว้างขวางในเรื่องเทคนิครายงานการวัดอุณหภูมิโดยไม่ต้องกักขังสัตัว ปัจจุบันมุ่งเน้นไปที่การวัดอุณหภูมิที่ใช้เซ็นเซอร์สัมผัสโดยตรงหรือรังสี เช่น การตรวจสอบการใช้เทอร์โมคัปเปิล เทอร์มิสเตอร์ และเซ็นเซอร์การแผ่รังสีอินฟราเรด

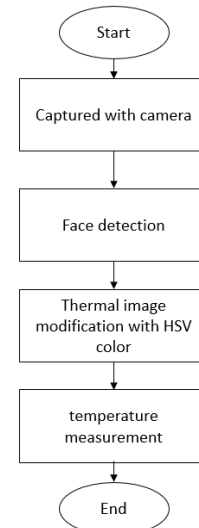
การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส วิธีการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่ถูกเรียกเช่นนี้เนื่องจากอุปกรณ์ในการวัดไม่ต้องสัมผัสของเหลวหรือผลิตภัณฑ์ที่กำลังวัด สามารถแก้ไขข้อเสียของวิธีการวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสแบบเดิม การแผ่รังสีแสงไพโรมิเตอร์ โพรบเซ็นเซอร์ใยแก้วนำแสง และสเปกโตรสโกปีเรืองแสงที่เหนียวนำด้วยเลเซอร์ (LIF) เป็นตัวอย่างของวิธีการวัดแบบไม่สัมผัส ไพโรมิเตอร์แบบรังสีออปติคมีตั้งแต่ไพโรมิเตอร์แบบดั้งเดิมที่ใช้กันมาก ไพโรมิเตอร์แบบดั้งเดิมไม่แม่นยำในการวัดอุณหภูมิในเตาเผาเนื่องจากคำนวณอุณหภูมิขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นเดียวและค่าการแผ่รังสีของพื้นผิวอย่างไรก็ตามข้อมูลการแผ่รังสีมีความซับซ้อนเกินกว่าที่จะคำนวณเนื่องจากข้อมูลจริงอาจไม่ทราบสภาพพื้นผิวหรือการแผ่รังสีอาจแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิของวัตถุเอง Siddall และคณะ [4] พยายามคำนวณการส่องสว่างการแผ่รังสีในการทดลอง แต่สมการการแผ่รังสีไม่เหมาะสมสำหรับแอปพลิเคชันอื่น ๆ เนื่องจากมีความไวต่อสภาพแวดล้อมการทดลองไพโรมิเตอร์สองสี (เรียกอีกอย่างว่าไพโรมิเตอร์อัตราส่วน) จะวัดอุณหภูมิโดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสี ดังนั้นนักวิจัยจำนวนมากจึงสนใจที่จะใช้เทคนิคนี้ในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปเครื่องมือประเภทนี้ใช้อัตราส่วนสองของความยาวคลื่นสเปกตรัมวัดจากแถบความยาวคลื่นที่แตกต่างกันสองแถบเพื่อหาค่าความจริงของอุณหภูมิ Alsaod, M. และ Buescher, W. [5] ใช้การตรวจสอบความร้อนอินฟราเรด (IRT) เป็นเครื่องมือวินิจฉัยสำหรับการตรวจหาโรคเท้าในโคนมในระยะเริ่มแรก โดย

การวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของหลอดเลือดหัวใจ ก่อนและหลังตัดแต่งเส้นเลือดเพื่อตอบสนองต่อการตรวจจับ ความผิดปกติของกิบเท้าสัตว์ด้วยสายตามนุษย์ C. Song และคณะ [6] การวัดอุณหภูมิร่างกายอย่างต่อเนื่องได้โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมหลายโครงข่าย (ANNs) วิธี CBTM ที่ได้แก้ไขเทอร์มิสเตอร์แต่อุณหภูมิจะยังคงถูกรบกวนโดยการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ [7] Livanos และคณะ เสนออุปกรณ์มือถือที่ใช้เครื่องวัดคลื่นวิทยุไมโครเวฟแบบพาสซีฟ (MWR) เทคโนโลยีวัดร่างกายภายในอุณหภูมิร่างกาย อุปกรณ์ใช้วิธีการวัดแบบไม่สัมผัสเพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนไหวของผู้ใช้สิ่งประดิษฐ์ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์นี้ต้องการให้ผู้ใช้งานไปถึงที่ส่วนที่เขาคาดว่าจะวัดจึงไม่สามารถทำได้ในการวัดอัตโนมัติได้ [8] Jia-Wei Lin และคณะ เสนอระบบ CBTM อัตโนมัติโดยระบบที่ใช้ความร้อนตัวเดียวกับกล้องในการวัดอุณหภูมิร่างกาย เพื่อแก้ไขปัญหारेื่อง การสั่นเปลือยวัสดุอุปกรณ์ และก่อให้เกิดความเจ็บป่วยจากการวัดอุณหภูมิสัมผัสแบบดั้งเดิม ด้วยการใช้การตรวจจับใบหน้าด้วยการเรียนรู้เชิงลึก การติดตามวัตถุ และการเปรียบเทียบสมการ สามารถสกัดอุณหภูมิหน้าผากของวัตถุได้สำเร็จในเรียลไทม์ [9] J. W. Chin และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของระยะวัตถุเซ็นเซอร์ต่อการอ่านอุณหภูมิระยะไกล และนำเสนอระบบที่ใช้อินฟราเรดสำหรับการคัดกรองอุณหภูมิอย่างรวดเร็วในระยะทางไกล (2 ม. ถึง 10 ม.) ใช้อัลกอริทึมการประมาณการท่าทางที่ทันสมัยเพื่อแยกตำแหน่งกล้องใบหน้า ระยะห่างจากเซ็นเซอร์ และอุณหภูมิใบหน้าภายในฉาก สำหรับการถ่ายภาพความร้อนด้วยอินฟราเรดในมนุษย์ เสนอแบบจำลองการชดเชยความร้อนเพื่อแก้ไขอุณหภูมิของวัตถุที่วัดในระยะทางต่าง ๆ และทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินสิ่งที่ขาดหายไป [10] Haythem Rehouma และคณะ ใช้กล้องเป็นเซ็นเซอร์ในการวัดปริมาณการหายใจ โดยเน้นระบบแบบไม่สัมผัสโดยมุ่งเป้าไปที่การหาปริมาณการหายใจ การประเมินการทำงานของระบบทางเดินหายใจ โดยระบบจะมีกล้องเป็นฐานในการบันทึก วัดปริมาณพารามิเตอร์การหายใจ [11] C. Ferrari และคณะ เสนอวิธีการอัตโนมัติสำหรับการแปลตำแหน่งตาชั้นใน ในเฟรมภาพใบหน้าที่มีความร้อน โดยจะตรวจหาจุดสำคัญของใบหน้า 5 จุดอย่างคร่าว ๆ ที่ตรงกับศูนย์กลางของดวงตา ปลายจมูก และหู จากนั้นคำนวณจุด 2D-3D แบบกระจายโดยใช้ 3D Morphable Face Model (3DMM)

เพื่อถ่ายภาพใบหน้า 3 มิติทั้งหมดลงบนภาพ และค้นหาตำแหน่งของช่องตาชั้นใน การตรวจจับตำแหน่งนี้ช่วยในการวัดอุณหภูมิร่างกายที่แม่นยำที่สุดสำหรับผู้ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน [12] K. Goggins และคณะทำการทดลองอุปกรณ์ที่ใช้ในการคัดกรองอุณหภูมิในที่ทำงาน ในช่วงการระบาดของ SARS-CoV-2 ในสถานที่ทำงาน ใช้เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัลอินฟราเรด (IR) เทอร์โมมิเตอร์เลเซอร์ (IR) และกล้องถ่ายภาพความร้อน ถูกนำมาใช้เพื่อวัดอุณหภูมิหน้าผากและแก้มในลักษณะดิจิทัล

จากหลายงานวิจัยข้างต้นในส่วนของ การใช้เซ็นเซอร์ในการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสจะมีการใช้กล้องจับภาพความร้อนซึ่งจะช่วยให้เห็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิความร้อนที่ปรากฏในภาพ แต่การได้มาของข้อมูลที่ถูกจัดจำเป็นต้องใช้กล้องที่มีคุณภาพสูงและมีราคาที่สูงตามมา

เอกสารนี้จึงได้ใช้การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส เพื่อป้องกันกระจายตัวของโรค โดยใช้ภาพ RGB จากกล้องเว็บแคมที่สามารถหาได้ทั่วไป โดยได้จัดเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ในส่วนที่ 2 ขั้นตอนในการเสนอ ในส่วนที่ 3 การวัดอุณหภูมิด้วยภาพใบหน้า ในส่วนที่ 4 ผลการทดลอง ในส่วนที่ 5 สรุปผลการทดลอง และในหัวข้อที่ 6 องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัย



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 การหาใบหน้าด้วย Haar-like feature

เป็นขั้นตอนในการหารูปร่างของใบหน้า (Feature) ในภาพจะใช้ตัวกรอง (Filter) ตามลักษณะพื้นฐานของ Haar wavelet จึงเรียกว่า Haar-like feature ซึ่งตัวกรองจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม และแบ่งเป็น 2 ส่วน คือสีขาวและสีดำ ในการทำงาน ภาพจะถูกกรองด้วยตัวกรองที่มีขนาดต่าง ๆ กันและรูปร่างของใบหน้าที่ได้จากตัวกรองนี้จะนำไปใช้ในการกำหนดลักษณะของตัวจำแนกอย่างอ่อน (Weak classifier) ดังในสมการที่ (1) และ (2)

ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบ AdaBoost (Ada-Boost algorithm) เป็นขั้นตอนวิธีการเรียนรู้เพื่อค้นหาค่าของกลุ่ม พิกเซลที่มีลักษณะใกล้เคียงกับภาพหน้าเข้า โดยที่ภาพ positive คือ ภาพตัวอย่างวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ส่วนภาพ negative คือ ภาพทั่ว ๆ ไปที่ไม่ใช่วัตถุที่ต้องการตรวจจับ ซึ่งการจำแนกกลุ่มของพิกเซล จะทำ ภายในส่วนย่อย (sub window) ของภาพ โดยใช้ตัวจำแนกอย่างอ่อนของ feature ที่ $h_j(x)$ ที่หาได้จากสมการที่ (1)

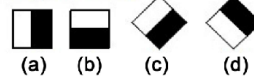
$$h_j(x) = \begin{cases} -1 & \text{if } f_j(x) \leq 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ $f(x)$ คือค่าความแตกต่างของผลรวมพิกเซลในพื้นที่ขาว และดำของ Haar-like feature มีค่าตามสมการที่ (2)

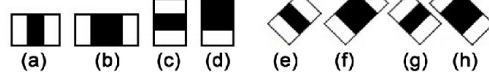
$$f(x) = \text{sum}(\text{black rectangle}) - \text{sum}(\text{white rectangle}) \quad (2)$$

โดยที่ x คือภาพตัวอย่าง และ sum คือผลรวมของภาพอินทิกรัล ในบริเวณพื้นที่สีขาวและดำของ x เป็นวิธีหาค่าตัวจำแนกอย่างอ่อนที่มีความผิดพลาดของน้ำหนักน้อยที่สุด เพื่อนำไปปรับน้ำหนักในรอบถัดไป โดยเลือกส่งเสริมน้ำหนักตัวที่ไม่ผ่านการจำแนก แต่ลดน้ำหนักตัวที่ผ่านการจำแนกตามขั้นตอน

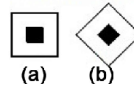
1. Edge features



2. Line features

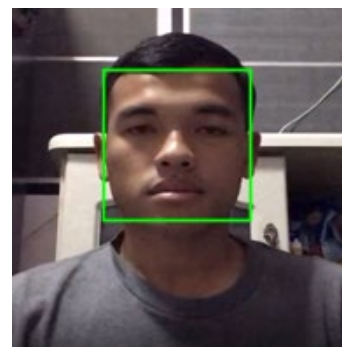


3. Center-surround features



รูปที่ 5 กลุ่มรูปแบบของ Haar like feature ที่มา :

<http://www.tesrshop.com/article/12/cascade-training-with-haar-like-feature>



รูปที่ 6 ทำการตรวจจับภาพใบหน้า

2.2 ภาพอินทิกรัล (Integral image)

ภาพอินทิกรัลจะทำให้การคำนวณผลรวมของพิกเซลสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วโดยการคำนวณเพียงครั้งเดียว ภาพอินทิกรัลสามารถ สร้างได้ตามสมการที่ (3)

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (3)$$

เมื่อ $ii(x, y)$ คือ ภาพอินทิกรัลและ $i(x', y')$ คือ ภาพหน้าเข้าจากไฟล์วิดีโอที่คนที่จะนำมาทำการค้นวัตถุที่ต้องการ

2.3 แปลงภาพจาก RGB ให้เป็น HSV

ภาพที่รับเข้ามาในขั้นตอนแรกเป็นภาพที่อยู่ในระบบสี RGB ดังนั้นแต่ละพิกัดของภาพจะประกอบด้วยค่า

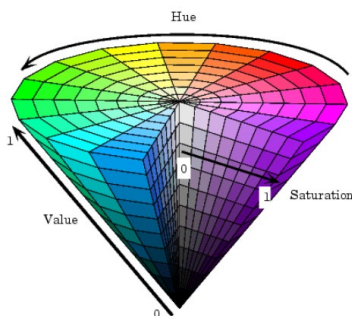
ของเซตที่แสดงถึงค่าแสงสีแดง (R) แสงสีเขียว (G) และแสงสีน้ำเงิน (B) ระบบจะทำการเปลี่ยนให้เป็นภาพระดับสี HSV เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ภาพได้ง่ายยิ่งขึ้น

ปริภูมิสี HSV เป็นปริภูมิสีที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบได้แก่ค่า H (Hue) คือค่า โทนสีหรือค่าสีสันซึ่งมีค่าสีที่แตกต่างกันไปตามความถี่ของแสง ค่า S (Saturation) คือค่าความ อิ่มตัวของสี ซึ่งเป็นค่าที่แสดงระดับสีเมื่อเทียบกับค่าโทนสี และค่า V (Value) คือค่าบอก ระดับ ความสว่างของภาพ ซึ่งที่ระดับความสว่างต่ำสุด หมายถึงสีดำ ไม่ว่าจะมามีค่าโทนสี หรือค่าความอิ่มตัว สีเท่าใด และระดับความสว่างสูงสุดหมายถึงสีขาว ซึ่งเป็นสีที่สว่างที่สุดของค่าโทนสี และค่า ความอิ่มตัวสีโดยภาพปริภูมิสี HSV

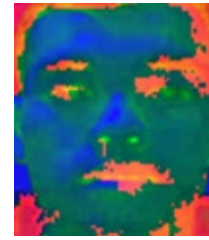
$$H = \begin{cases} \left(\frac{G-B}{\max-\min}\right) \times 60; R = \max \\ 2 + \left(\frac{B-G}{\max-\min}\right) \times 60; G = \max \\ 4 + \left(\frac{G-R}{\max-\min}\right) \times 60; B = \max \end{cases} \quad (4)$$

$$S = \left(\frac{\max-\min}{\max}\right) \times 100 \quad (5)$$

$$v = \max \times 100 \quad (6)$$



รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพที่แปลงจาก RGB เป็น HSV
ที่มา : <https://medium.com>



รูปที่ 8 ตัวอย่างภาพที่แปลงจาก RGB เป็น HSV

2.4. การวัดอุณหภูมิด้วยภาพใบหน้า

หลังจากได้ภาพใบหน้าแบบ HSV แล้วจะทำการแปลงภาพที่ได้เป็นอุณหภูมิ โดยอ้างอิงเอกสาร [13] เมื่อเปิดใช้งานโหมดเรดิโอเมตริก ค่าพิกเซล 14 บิตจาก Lepton จะเสถียร และทำให้เป็นมาตรฐาน ฉากจะสอดคล้องกับค่าเฉพาะในสตรึมวิดีโอ สัญญาณจากกล้องเรียกว่า พลักซ์-เชิงเส้น เนื่องจากเป็นเส้นตรงกับพลักซ์เรดิโอเมตริกภายในแถบสเปกตรัมของเลปตัน สัญญาณพลักซ์เชิงเส้นคือสัมพันธ์กับอุณหภูมิฉากโดยเส้นโค้งพลักซ์

$$S = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{2\pi hc^2}{\alpha^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\alpha k T_k}\right) - 1} R(\alpha) \cdot \delta\alpha \quad (7)$$

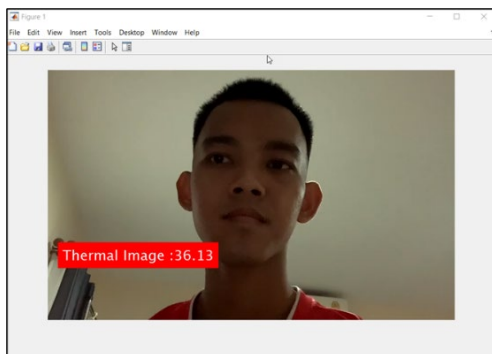
โดยที่ S คือสัญญาณเอาท์พุต α_1 และ α_2 กำหนดแถบสเปกตรัม h คือค่าคงที่ของพลังค์ c คือความเร็วของแสง k คือค่าคงที่ของ Boltzmann $R(\alpha)$ คือการตอบสนองของกล้อง T_k คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน เนื่องจากสมการ (7) ไม่สามารถคำนวณในซอฟต์แวร์ได้ การแปลงจึงถูกนำมาประมาณโดยสมการ (8)

$$S = \frac{R}{\exp\left(\frac{B}{T_k}\right) - F} + O \quad (8)$$

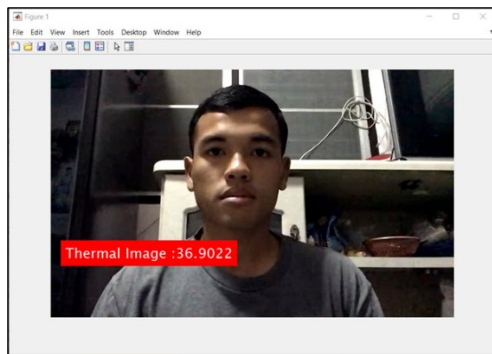
โดยที่ S หมายถึงสัญญาณเอาท์พุตจากกล้อง R, B, F และ O เป็นพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้นระหว่างการเปรียบเทียบ T_k คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของเป้าหมายในหน่วยเคลวินนำมาแปลงเป็นองศาเซลเซียส การแปลงจากพลักซ์เป็นอุณหภูมิทำได้โดยใช้การผกผันของสมการ (8) ดังนั้นเราสามารถแสดงสมการ (8) เป็นสมการที่ (9)

$$T_k = \frac{B}{\ln\left(\frac{R}{S-O}\right)+F} \quad (9)$$

ผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมจะแสดงออกมาเป็นภาพที่เหมือนกับภาพที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image) โดยจะวัดออกมาเป็นอุณหภูมิองศาเซลเซียส ดังปรากฏในรูปที่ (8) และ (9) ตามลำดับ



รูปที่ 9 ตัวอย่างภาพจากการทดสอบ



รูปที่ 10 ตัวอย่างภาพจากการทดสอบ

3.ผลการทดลอง

การใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพต่าง ๆ ของใบหน้าที่มองเห็นได้ สำหรับการทดลองเบื้องต้น ในบทความนี้ เราได้นำความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) และเมตริก root-mean-squared-error (RMSE) เพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างกรอบที่เสนอและอุปกรณ์ที่ตรวจสอบแล้ว การดำเนินการแสดงใน (10) และ (11) ตารางที่ (1) แสดงผล

การประเมินของแต่ละวิธี และตาราง (2) แสดงค่าอุณหภูมิจริงและค่าที่วัดได้ ณ ตำแหน่งของพิกเซลนั้น ๆ

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |T_n - REF_n| \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (T_n - REF_n)^2} \quad (11)$$

T_n คืออุณหภูมิเฉลี่ยของจุดพิกเซลทั้งหมดใน ROI REF_n หมายถึง อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ใกล้เคียงกัน ได้มาจากอุปกรณ์จริง ค่าเหล่านี้จะถูกเปรียบเทียบทุก ๆ 10 วินาที N หมายถึง จำนวนที่ได้รับอุณหภูมิภายใน 10 วินาที ในผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่าง เครื่องวัดอุณหภูมิเวอริฟาย UFR 101 และ เครื่องวัดอุณหภูมิที่น่าเสนอ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของระบบ

time	Phase A		Phase B		Phase C	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
1	0.455	0.563	0.445	0.327	0.354	0.467
2	0.365	0.489	0.367	0.568	0.568	0.380
3	0.451	0.311	0.536	0.475	0.211	0.357
4	0.231	0.347	0.466	0.521	0.560	0.550
5	0.566	0.664	0.372	0.504	0.500	0.682
6	0.239	0.247	0.468	0.489	0.469	0.538
avg	0.385	0.437	0.442	0.481	0.444	0.496

ตารางที่ 2 ผลการทดลองของระบบ

จุดตำแหน่ง x	จุดตำแหน่ง y	ค่าอุณหภูมิจริง เครื่องวัดอุณหภูมิ เวนอริฟาย UFR 101	ค่าประมาณอุณหภูมิที่วัดได้
53	61	36.1	35.4
44	48	37.2	36.5
62	43	35.4	35.9

จุด ตำแหน่ง x	จุด ตำแหน่ง y	ค่าอุณหภูมิ จริง เครื่องวัด อุณหภูมิ เว อริฟาย UFR 101	ค่าประมาณ อุณหภูมิที่วัด ได้
55	59	34.8	35.2
67	70	36.6	36
80	66	36.8	36.2
75	43	36.2	37
93	41	36.4	36.7
102	73	35.9	36.8
72	110	36.1	36.9
ค่าเฉลี่ย		36.15	36.26

เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (%relative error) สามารถหาได้จากสมการ

$$\%Relative\ error = \left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_{mea}} \right| \times 100 \quad (12)$$

X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด

X_t คือ ค่าจริง

5.สรุปผลการทดลอง

การเฝ้าติดตามในชีวิตประจำวันผู้วิจัยได้พัฒนาระบบเรียลไทม์แบบไร้สัมผัสด้วยระบบ image processing โดยใช้กล้อง webcam ราคาประหยัดและมีความละเอียดกล้องต่ำ เพื่อค้นหาตำแหน่งใบหน้าของต้นแบบ ได้ฝึกสอนโดยใช้โมเดลของ Haar Like Feature เพื่อติดตามใบหน้าที่ตรวจพบ นอกจากนี้ยังได้อุณหภูมิหน้าผากทันทีโดยสูตรการแปลงอุณหภูมิจากภาพ HSV วัดออกมาเป็นอุณหภูมิ

การทดลองสำหรับกรอบการทำงานที่เสนอแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมของระบบของข้อผิดพลาดแบบสัมบูรณ์ (MAE) และข้อผิดพลาดของรูทมีนสแควร์ (RMSE) มีค่าที่ค่อนข้างต่ำแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องที่จะมีสูงขึ้นของผลการทดลองที่เกิดขึ้น

ผลการวัดอุณหภูมิร่างกายโดยใช้เครื่องวัดแบบดิจิทัล เครื่องวัดอุณหภูมิ เวอริฟาย UFR 101 ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 35.80 องศาเซลเซียส และมีผลวัดอุณหภูมิร่างกายโดยใช้วิธีในการวิจัยได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.02 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ 0.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากวิธีการทำงานของอุปกรณ์ที่มีความแตกต่างกัน ความเข้มความคมชัดของภาพที่ถูกนำมาใช้ คุณภาพของกล้องที่อาจเกิดขึ้นได้

6.องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัย

องค์ความรู้ที่ได้รับคือการนำเอาภาพดิจิทัลมาใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยใช้สมการในการแปลงข้อมูลภาพดิจิทัล โดยปกติแล้วในหลายงานวิจัยจะเลือกการใช้กล้องวัดอุณหภูมิแบบกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Imaging Camera) การสแกนพื้นผิวของวัตถุแต่ในกล้องที่คุณภาพสูงก็ยังมีราคาที่สูงกว่าแพง แต่ในงานวิจัยนี้สามารถใช้กล้องดิจิทัลที่ขายตามท้องตลาดมาใช้งานร่วมกับโปรแกรมการประมวลผลภาพใช้งานได้แบบ real time และมีราคาต้นทุนที่ต่ำคนทั่วไปสามารถจัดหาเพื่อใช้คัดกรองตัวเองได้

7.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ น.ท.ดร.พิศณุ คุ้มชัย อาจารย์ที่ปรึกษา และ น.ท.สุทธิภูมิ เยาววิวัฒน์ ที่ได้คอยให้คำแนะนำในเรื่องการเขียนโปรแกรม และในทุก ๆ เรื่องขอขอบคุณกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ ที่ได้เอื้ออำนวยในเรื่องอุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย ตลอดจนคำแนะนำ งานงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

8.เอกสารอ้างอิง

- [1] H.D. Baker, M.E. Ryder and N.H. Baker, "Temperature Measurement in Engineering Vol. I " John Wiley & Sons Inc, New York, 1953.
- [2] L. Michalski, K. Eckersdorf, and J. McGhee, "Temperature Measurement," J. Wiley, New York, 1991.
- [3] Chan, L. S., Cheung, G. T., Lauder, I. J., & Kumana, C. R. Screening for fever by

- remote-sensing infrared thermographic camera. *Journal of travel medicine*, 11(5), (2004). 273-279.
- [4] R.G. Siddall and I.A. Mcgrath, "The Emissivity of Luminous Flames," *Nine Symposium (International) on Combustion*, The combustion institute, 1963, pp. 102-110.
- [5] Alsaad, M., & Buescher, W. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95, 2012, pp. 735-742.
- [6] C. Song, P. Zeng, Z. Wang, H. Zhao, and H. Yu. Wearable continuous body temperature measurement using multiple artificial neural networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10):4395-4406, 2018.
- [7] NA. Livanos et al. Design and interdisciplinary simulations of a hand-held device for internal-body temperature sensing using microwave radiometry. *IEEE Sensors Journal*, 18(6):2421-2433, 2018.
- [8] Jia-Wei Lin, Ming-Hung Lu, Yuan-Hsiang Lin. A Thermal Camera Based Continuous Body Temperature Measurement System. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, 27-28 Oct. 2019.
- [9] J. W. Chin, Kwan Long Wong, Tsz Tai Chan, Kristian Suhartono, Richard H Y So. An Infrared Thermography Model Enabling Remote Body Temperature Screening Up to 10 Meters. *the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, 2021, pp. 3875-3881.
- [10] Haythem Rehouma, Rita Noumeir, Sandrine Essouri and Philippe Jovet. Advancements in Methods and Camera-Based Sensors for the Quantification of Respiration. *Computer Science, Medicine Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 20, issue 24, 2020, p. 7252.
- [11] C. Ferrari, Lorenzo Berlincioni, M. Bertini, A. Bimbo, Inner Eye Canthus Localization for Human Body Temperature Screening. *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2021, pp 8833-8840.
- [12] K. Goggins, Emily Tetzlaff, Wesley W. Young, A. Godwin. SARS-CoV-2 (Covid-19) workplace temperature screening: Seasonal concerns for thermal detection in northern regions. *Applied Ergonomics*, Volume 98, January 2022, 103576.
- [13] FLIR. Lepton radiometry application note. Datasheet, 2014.