โครงงาน

การประมาณอัตราการเต้นหัวใจจากวิดีโอใบหน้าแบบเวลาจริง

Real-time Estimated Heart Rate From Facial Video

โดย

ด.ช.อคิระ ซาคาชิตะ วรเศวต

เสนอ

อ.ดร.โพธิวัฒน์ งามขจรวิวัฒน์

ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเข้าร่วม

โครงการพัฒนาอัจฉริยภาพทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สำหรับเด็กและเยาวชน รุ่นที่ 25 ประจำปี 2565

และได้รับทุนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อโครงงาน	**Real-time Estimated Heart Rate From Facial Video**
ผู้เขียน	ด.ช.อคิระ ซาคาชิตะ วรเศวต
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ดร.โพธิวัฒน์ งามขจรวิวัฒน์ ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์
โครงการ	พัฒนาอัจฉริยภาพทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับเด็กและเยาวชน
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

เนื่องจากผู้เขียนเห็นงานวิจัยที่สามารถประมาณอัตราการเต้นหัวใจจากวิดีโอใบหน้าได้โดยงานวิจัยที่เห็นส่วนใหญ่จะเป็นการนำวิดีโอจากฐานข้อมูลมาใช้ในการแสดงความถูกต้องของค่าที่ประมาณได้ แต่ผู้เขียนยังไม่เห็นการทดสอบแบบเวลาจริงจึงอยากทำการลองทดลองดูว่าการวัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยไม่มีการสัมผัสแบบเวลาจริงเป็นไปได้หรือไม่ ผู้เขียนได้นำวิธีการที่นำเสนอในบทความวิจัยและมีคำสั่งที่เขียนด้วยภาษา Python ไว้แล้วมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ และ Raspberry Pi เพื่อศึกษาความสามารถในการคำนวนค่าประมาณของอัตราการเต้นหัวใจแบบเวลาจริง เนื่องจากการประมวลผลวิดีโอในแต่ละแฟรม (flame) ด้วยคอมพิวเตอร์ หรือ Raspberry Pi ใช้เวลามาก ซึ่งจากการทดลองจะมีค่าประมาณ 10 FPS และ 5 FPS ตามลำดับซึ่งช้ากว่าความเร็วในการถ่ายภาพของกล้อง (30FPS) มากทำให้การค่าประมาณของอัตราการเต้นหัวใจแบบเวลาจริงมีความผิดพลาดมากกว่าที่งานวิจัยได้นำเสนอไว้ และการประมวลผลแบบเวลาจริงจะต้องพิจารณาถึงเวลาที่แต่ละแฟรมถูกเก็บมาอาจไม่เท่ากัน จะต้องมีการปรับปรุงข้อมูลสีเพื่อให้ช่วงเก็บเวลาเก็บข้อมูลเท่าๆกัน โครงงานที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานบนคอมพิวเตอร์ได้จริงโดยยังมีการคลาดเคลื่อนอยู่ แต่ไม่สามารถทำได้ใน Raspberry Pi

สารบัญ

1 : บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อัตราการเต้นของหัวใจมีประโยชน์และการใช้งานมากมาย เช่นช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถวินิจฉัยโรคหรือความผิดปกติทางร่างกายได้ และช่วยให้สามารถตรวจจับการโกหกในเวลาสอบสวนคดีได้ เป็นต้น แต่ปัจจุบันในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจต้องมีการสัมผัสกับเซ็นเซอร์ซึ่งทำให้ขยับแขนได้ยาก อึดอัด และถ้าทำความสะอาดไม่ดีอาจทำให้เกิดโรคติดต่อได้ ผมจึงคิดที่จะทำโครงงานนี้เพื่อที่จะทำให้สามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้สะดวกขึ้นและไม่เสียงต่อการติดโรค

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้สามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้โดยไม่มีการสัมผัสแบบเวลาจริง

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน

โครงงานนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างโปรแกรมที่สามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับอุปกรณ์ใดๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้โดยไม่อึดอัดและไม่เสี่ยงที่จะติดโรคติดต่อ

1.5 โครงสร้างรายงาน

โครงสร้างรายงานนี้แบ่งเป็นบทๆ ดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงที่มาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงานนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบภาพรวมของโปรแกรม

บทที่ 4 กล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรม

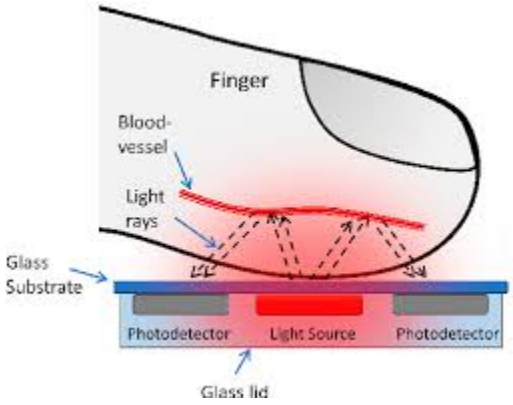
บทที่ 5 กล่าวถึงการทดลอง ขั้นตอนการทดลอง และ ผลการทดลอง

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลโครงงานที่ได้จากการทดลองและนำเสนอข้อเสนอแนะ

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Photoplethysmogram (PPG)

หลักการของ PPG คืออุปกรณ์จะปล่อยแสงไปยังผิวหนังสะท้อนเส้นเลือดไปยังเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับปริมาณแสงที่สะท้อนเส้นเลือด ปริมาณของแสงเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาตรของเลือด ซึ่งเกิดจากการขยายและการหดตัวของเส้นเลือดฝอย จึงสามารถประมาณอัตราการเต้นของหัวใจได้



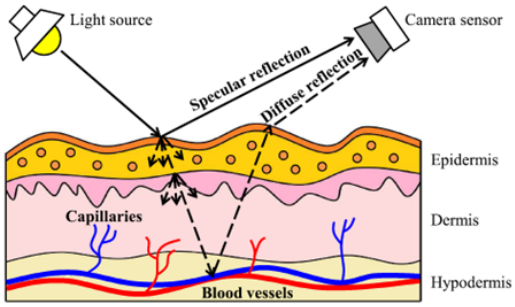
รูปที่ 1 การทำงานของ PPG

ที่มา : https://www.semanticscholar.org/paper/Reflectance-Based-Organic-Pulse-Meter-Sensor-for-of-Elsamnah-Bilgaiyan/8ee337dd42cb5169b99afbbedfaf36dcf7863701

2.2 Remote Photoplethysmography (rPPG)

rPPG เป็นการตรวจจับอัตราการเต้นของหัวใจแบบระยะไกลโดยใช้หลักการคล้ายกับ PGG แต่เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของการสะท้อนแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินจากผิวหนัง โดยการสะท้อนแสงมีสองลักษณะคือ การสะท้อนแสงปกติ (specular reflection) กับการสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffused reflection) ซึ่งมีความแตกต่างกันดังนี้ การสะท้อนแสงปกติ (specular reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ไม่ถูกดูดซับโดยเนื้อเยื่อผิวหนัง การสะท้อนแบบกระจาย

(diffused reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่หลงเหลือจากการดูดซับและการกระเจิงในเนื้อเยื่อผิวหนัง ซึ่งจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเลือด



รูปที่ 2 การทำงานของ rPPG

ที่มา : https://doi.org/10.1109/tbme.2016.2609282

2.3 Plane-Orthogonal-to-Skin (POS)

งานวิจัย [1] Wang et al. ได้นำเสนอวิธีการกำจัดส่วน specular reflection ออกจากค่าสีแดง เขียว น้ำเงิน ที่ได้จากภาพวิดีโอ โดยได้เขียนไว้ใน Algorithm 1 ของบทความวิจัยดังกล่าว และผู้เขียนได้นำคำสั่ง Python ที่ของอัลกอริทึมนี้ที่มีนักวิจัยเขียนไว้มาประยุกต์ใช้ โดยตัวแปรที่ใส่ในคำสั่งนี้จะเป็นค่าสีแดง เขียว น้ำเงิน ที่เก็บมาในช่วงเวลาหนึ่งๆ และผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณที่คล้ายกับ PPG หรือเรียนว่า rPPG

2.4 การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform)

การแปลงฟูเรียร์เป็นขบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เปลี่ยนฟังก์ชันของเวลาให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของความถี่ หรือเป็นการบอกว่าข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่งมีความถี่อะไรอยู่บ้าง โดยการแปลงนี้จะมีการคำนวณที่ยุ่งยาก แต่ในโครงงานนี้ผู้เขียนไม่มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ ผู้เขียนใช้คำสั่ง Python โดยใช้คำสั่ง scipy.fft.fft() ที่มีอยู่แล้วใน package Scipy โดยสัญญาณ rPPG ที่ได้จาก POS จะถูกนำมาหาว่ามีความถี่ใดอยู่บ้างด้วยคำสั่งนี้ และจะแปลงความถี่นั้นเป็นอัตรการเต้นของหัวใจ

2.5 การกรองความถี่ในช่วงที่สนใจ (Bandpass Filter)

เนื่องจากอัตรการเต้นของหัวใจของคนจะอยู่ในช่วงความถี่ 0.5-4Hz หรือ 30-240BPM เพื่อให้การหาค่าความถี่จากสัญญาณ rPPG ด้วย scipy.fft.fft() ได้ง่ายขึ้นจึงกรองความถี่ในช่วงที่สนใจเอาไว้เท่านั้น การกรองสัญญาณเป็นขบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากแต่มีการสร้างคำสั้ง Python ไว้แล้ว ผู้เขียนเพียงใช้คำสั่ง scipy.signal.butter() เพื่อสร้างตัวกรอง และ scipy.signal.sosfiltfilt() เพื่อเอาสัญญาณไปผ่านตัวกรอง การที่จะกรองสัญญาณได้ที่ 4Hz ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจะต้องมีเร็วเป็นอย่างน้อย 2 เท่าซึ่งเป็นทฤษฎีที่ผู้เขียนยังไม่ได้ศึกษา ดังนั้นการประมวลผลวิดีโอจะต้องมีความเร็วอย่างน้อย 8 FPS เนื่องจากความเร็วในการประมวลผลของ Raspberry Pi มีค่าประมาณ 5FPS ช้ากว่าค่าที่ต้องการจึงไม่สามารถนำมาใช้ได้

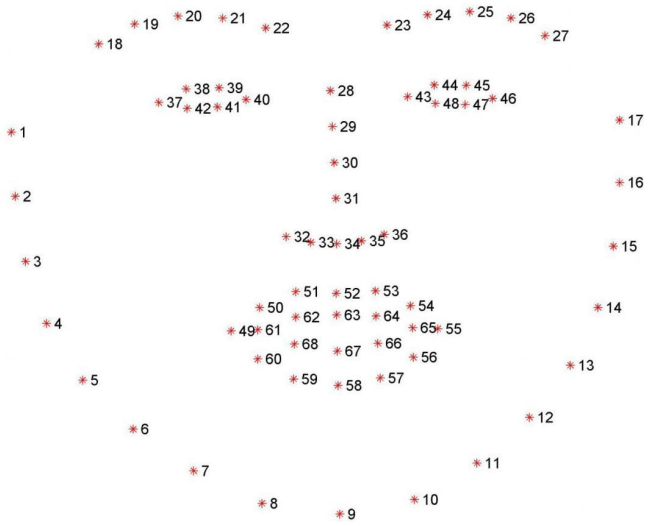
2.6 อัตราการเต้นของหัวใจ

เป็นความเร็วของการบีบตัวของหัวใจในช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้หน่วย "ครั้งต่อนาที" หรือ BPM อัตราหัวใจเต้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับสรีรวิทยาของร่างกาย เช่นความต้องการออกซิเจนและการขับคาร์บอนไดออกไซด์ของร่างกาย สิ่งที่มีผลกับอัตราหัวใจเต้นได้แก่กิจกรรมของร่างกาย เช่น การออกกำลังกาย การนอนหลับ ความเจ็บป่วย การย่อยอาหาร และยาบางชนิด การแปลงหน่วยจาก Hz หรือครั้งต่อวินาที เป็น BPM สามารถทำได้ง่ายๆตามสมการด้านล่าง

$$BPM = Hz \times 60$$

2.7 การติดตามบริเวณของใบหน้า

เนื่องจากการประมาณอัตราการเต้นของหัวใจต้องใช้สีของใบหน้าที่เอามาจากบริเวณเดียวกันในทุกๆช่วงเวลาจึงต้องมีการติดตามบริเวณที่สนใจ (Region of interest: ROI) ของหน้า โดยมีคำสั่ง Python ในการติดตามจุดสำคัญ (landmark) บนใบหน้าอยู่หลายคำสั่ง dlib เป็นหนึ่งคำสั่งที่ใช้งานง่าย จึงได้เลือกใช้ในโครงงานนี้ โดย dlib มีจุดสำคัญทั้งหมด 68 จุด แบบเรียลไทม์



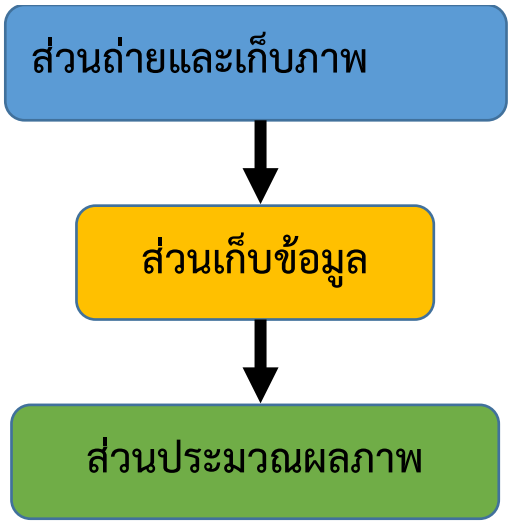
รูปที่ 3 การตรวจจับใบหน้าโดยใช้ dlib

ที่มา : https://pyimagesearch.com/2017/04/03/facial-landmarks-dlib-opencv-python/

3 การออกแบบโปรแกรม

3.1 ภาพรวมของโปรแกรม

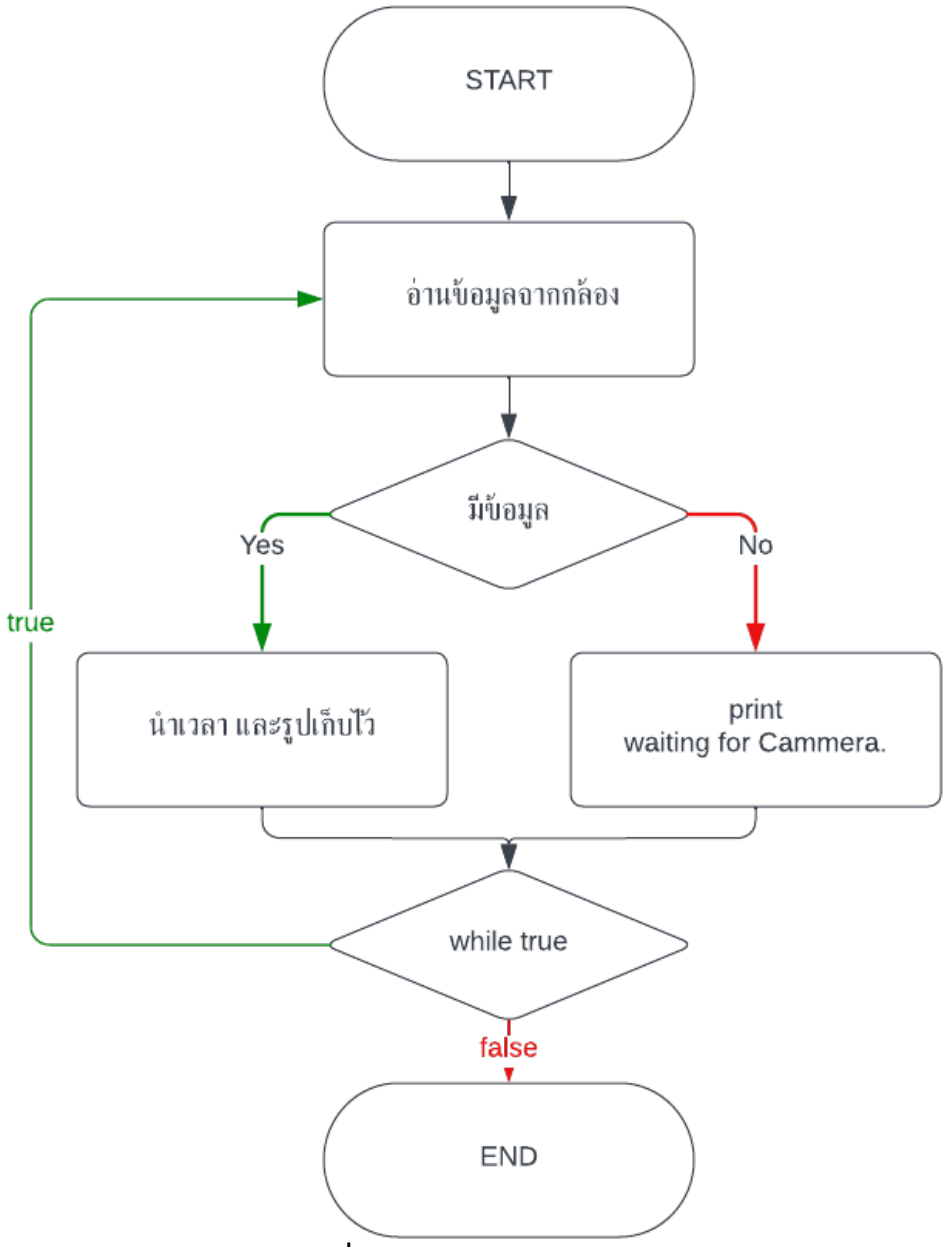
โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนถ่ายและ**เก็บภาพ** ส่วน**เก็บข้อมูล** และส่วนประมวณผลภาพ ซึ่งส่วนถ่ายภาพ และส่วนเก็บภาพจะนำภาพ และเวลาที่ภาพนั้นถูกถ่ายไปเก็บไว้เพื่อให้ส่วนประมวณผลภาพนำข้อมูลประมวณผลได้ถูกต้อง



รูปที่ 4 ภาพรวมของโปรแกรม

3.2 ส่วนถ่ายและเก็บภาพ

ในการประมวลผลภาพ เราจะต้องตรวจหาใบหน้าของคนที่เราต้องการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยใช้ Python module dlib ซึ่งใช้เวลานานกว่าความเร็วในการถ่ายภาพของกล้อง และเนื่องจากเมื่อกล้องถ่ายภาพ ภาพที่ได้จะถูกนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ buffer ของกล้อง ถ้าเราอ่านข้อมูลภาพออกมาจากหน่วยความจำ buffer ช้ากว่าความเร็วในการถ่ายภาพของกล้อง เราอาจได้ภาพที่ไม่ตรงกับเวลาที่เราเข้าไปอ่าน ข้อมูลภาพและเวลาของภาพนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่เราจะนำไปใช้ในการประมวลผลอัตราการเต้นหัวใจ เราจึงต้องมันใจว่าเวลาที่เราบันทึกใส่ตัวแปรภาพเป็นเวลาของภาพนั้นจริงๆ เราจึงต้องอ่านหน่วยความจำ buffer ของกล้องตลอดเวลาเพื่อให้ไม่มีภาพตกค้างอยู่ในหน่วยความจำ buffer ของกล้อง แล้วนำภาพและเวลาของภาพนั้นๆไปเก็บไว้ในตัวแปรตัวหนึ่งโดยเขียนทับตัวแปรนั้นไปเรื่อย เราจะอ่านข้อมูลภาพและเวลาจากตัวแปรนั้น



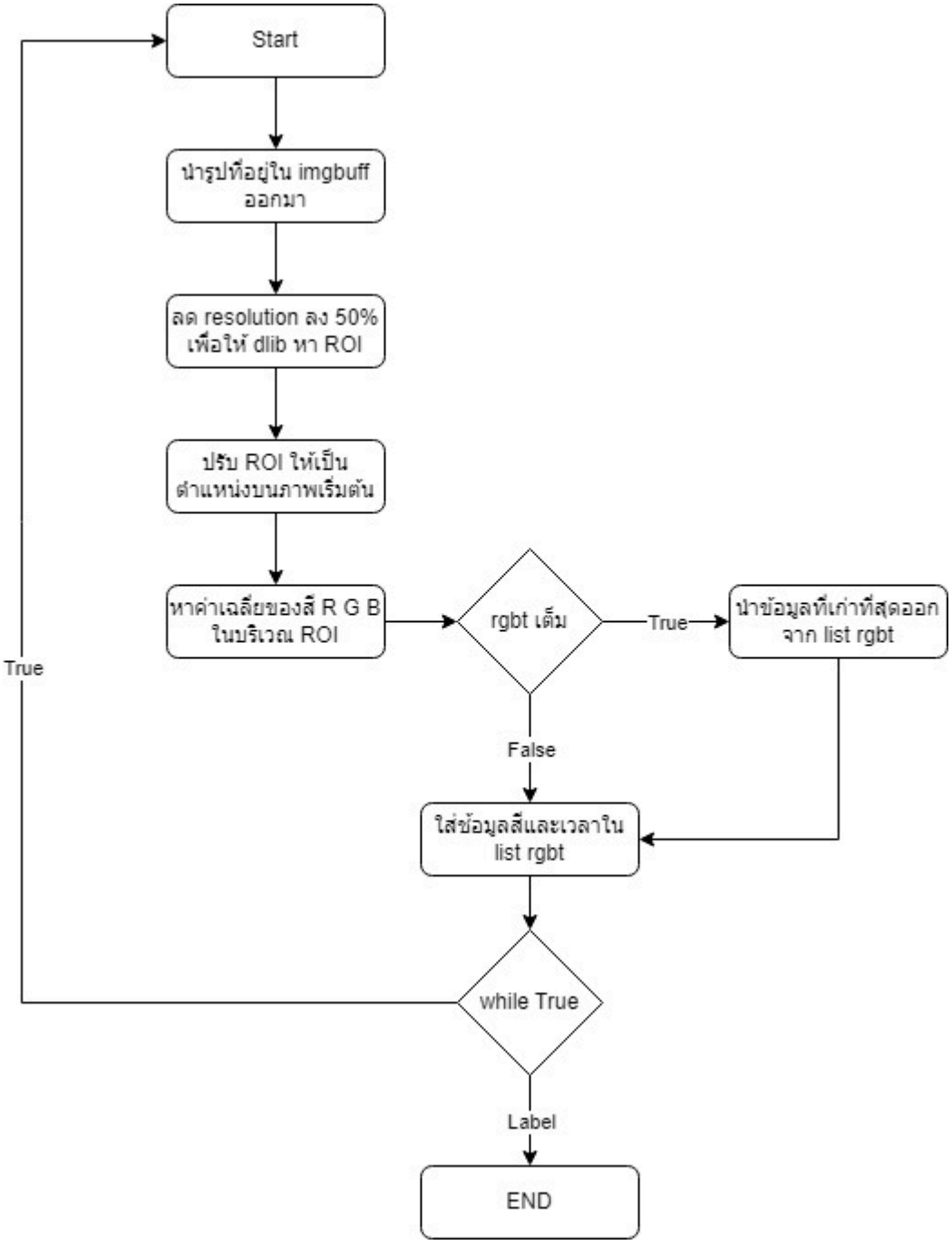
รูปที่ 5 ส่วนถ่ายและเก็บภาพ

3.3 ส่วนเก็บข้อมูล

ในส่วนนี้เราจะอ่านภาพและเวลาของภาพจากตัวแปรที่จากส่วนที่ 1 แล้วทำการตรวจจับบริเวณส่วนของหน้าที่จะใช้เป็นส่วนอ้างอิง ซึ่งการทดลองนี้ใช้ส่วนบริเวณแก้มซ้ายและขวาตามภาพที่ 6 โดยบริเวณแก้มจะกำหนดด้วยจุดสำคัญที่ได้จาก dlib ถ้าภาพที่อ่านมามีขนาดใหญ่ dlib จะใช้เวลานานในการหาจุดสำคัญบนใบหน้า เราจึงลดความละเอียดหรือขนาดของภาพลง 50% เมื่อได้จุดสำคัญแล้วเราจะสเกลจุดสำคัญให้เป็นตำแหน่งพิเซลของภาพที่ไม่ได้ลดขนาดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการคือค่าเฉลี่ยของสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในบริเวณนั้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสัญญาณสี

ของหน้าที่เวลานั้นๆ โดยเราต้องการความยาวของสัญญาณสี 100 จุด ซึ่งจะได้ข้อมูลประมาณ 10 วินาทีถ้าความเร็วในการประมวลผลเป็น 10FPS เราจึงสร้างตัวแปรแบบ array ที่สามารถเก็บข้อมูลสี แดง เขียว น้ำเงิน และเวลา ได้ 100 ชุด และเราจะอ่านภาพและหาข้อมูลสีของภาพแล้วนำข้อมูลมาใส่ใน array ต่อกันไปเรื่อยๆ เมื่อ array เต็มแล้วเราจะเอาข้อมูลที่เก่าที่สุดหรือข้อมูลที่อยู่ด้านซ้ายสุดออกจาก array แล้วเลื่อนข้อมูลทั้งหมดไปทางซ้ายทำให้เหลือช่องใส่ข้อมูล 1 ช่อง และจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ การทำแบบนี้สามารถทำได้ง่ายๆโดยใช้ data type แบบ deque ของ Python การ popleft() ข้อมูลของ deque จะย้ายไปทางซ้ายเองแบบอัตโนมัติ

รูปที่ 6 การตรวจจับบริเวณส่วนของหน้า

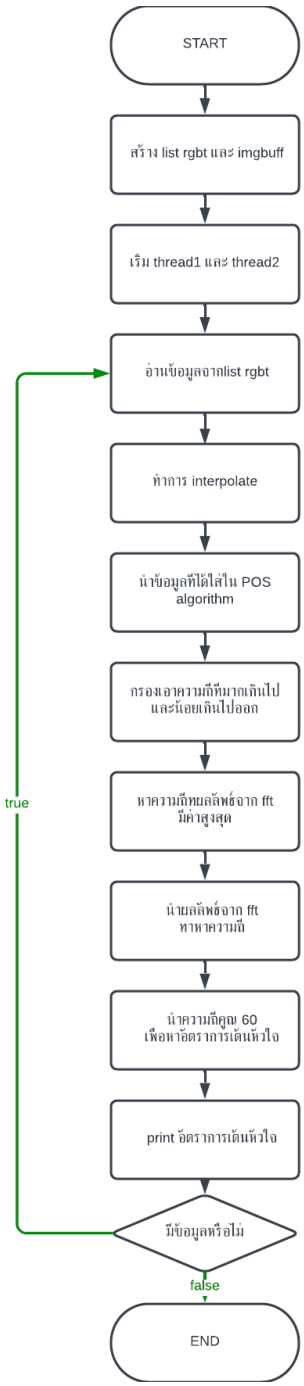


รูปที่ 7 การทำงานของส่วนเก็บข้อมูล

3.4 ส่วนประมวณผลภาพ

เราจะนำตัวแปรที่ ส่วนเก็บข้อมูล ทำไว้ 100 ข้อมูล มาประมวลผลด้วยวิธีการ POS เราจะต้องนำข้อมูลไปทำการ interpolate ก่อนเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในประมาลผลภาพในแต่ละภาพไม่เท่ากันทำให้ระยะเวลาระหว่างข้อมูลสีแต่ละข้อมูลไม่เท่ากัน แต่ scipy.fft.fft() ต้องข้อมูลที่มี

ระยะเวลาระหว่างแต่ละข้อมูลสีเท่าๆกัน โดยให้ช่วงเวลาระหว่างข้อมูลเท่ากับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการประมวลผลแต่ละภาพ หรือเอาเวลาของข้อมูลสุดท้ายลบกับเวลาของข้อมูลแรกหารด้วย 100 (จริงๆต้องหารด้วย 99 แต่ใช้เลข 100 เพื่อให้ช่วงของการ interpolate น้อยกว่าช่วงเวลาของข้อมูลอยู่เล็กน้อย) เราจะ นำข้อมูลที่ได้จากการ interpolate ใส่ใน POS Algorithm เพื่อกำจัด specular reflection ให้เหลือเฉพาะสัญญาณ rPPG หลังจากนั้นเราจะนำข้อมูลที่ได้จาก POS Algorithm ไปสร้างกราฟความถี่



รูปที่ 8 การสร้างและพัฒนาโปรแกรม

3.5 การนำเข้าคำสั่งที่ต้องใช้

```
import threading
import time
import cv2
import numpy as np
from collections import deque
from scipy import interpolate
import scipy.fft as fft
from scipy.signal import butter, lfilter, freqz, sosfilt, sosfreqz
from scipy.signal import resample, sosfiltfilt, detrend, windows
import matplotlib.pyplot as plt
import dlib
```

threading ใช้เพื่อให้สามารถทำงานหลายอย่างพร้อมกันได้ในที่นี้คือส่วนเก็บภาพ เก็บข้อมูล และประมวณผลภาพ

time ใช้ในการจับเวลา

cv2 ใช้เพื่อถ่ายรูป

numpy , scipy ใช้ในการคำนวนหาอัตราการเต้นหัวใจ

matplotlib ใช้ในการพล็อตกราฟ

dlib ใช้หาบริเวณบนหน้าที่ต้องการ ในที่นี้คือบริเวณแก้ม

3.6 ส่วนเก็บภาพ

```
def thread_function0(imgbuff):
    while True:
        ret, frame = vid.read()
        if ret:
          imgbuff[0] = frame
          imgbuff[1] = int(1000*time.time())-t0
        else:
          print(int(1000*time.time())-t0,' waiting for Cammera.')
x0 = threading.Thread(target=thread_function0,args=(imgbuff,), name='thread0', daemon=True)
x0.start()
```

t0 เป็นเวลาที่เริ่มโปรแกรม การลบค่า t0 ออกจาก time.time() เพื่อให้ค่าเวลาที่เก็บไว้ไม่มีค่ามากเกินไป

3.6.1 เอารูปออกมากจากกล้อง

```
ret, frame = vid.read()
```

3.6.2 ใส่รูปและเวลาเข้าไปในตัวแปร

```
imgbuff[0] = frame
imgbuff[1] = int(1000*time.time())-t0
```

3.7 ส่วนเก็บข้อมูล

```
def thread_function(imgbuff):
    while True:
        frame = imgbuff[0]
        tt = imgbuff[1]
        percent = 50
        img_gray = rescale(cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY),percent)
        faces = detector(img_gray)
        if faces:
          foundface = 1
          landmarks = predictor(img_gray, faces[0])
          landmarks_points = []
          for n in range(0, 68):
              x = int((100/percent)*landmarks.part(n).x)
              y = int((100/percent)*landmarks.part(n).y)
              landmarks_points.append((x, y))
          shape=landmarks_points

          ROI1 = frame[shape[29][1]:shape[33][1], #right cheek
                  shape[54][0]:shape[12][0]]

          ROI2 = frame[shape[29][1]:shape[33][1], #left cheek
                  shape[4][0]:shape[48][0]]
          m,n,_ = ROI1.shape
          tmp = ROI1.reshape((m*n,3))
          m,n,_ = ROI2.shape
          tmp = np.concatenate((tmp,ROI2.reshape((m*n,3)))).mean(axis=0)
          rgbt.popleft()
          rgbt.append(np.array([tmp[2],tmp[1],tmp[0],tt]))

          cv2.rectangle(img_gray,(shape[54][0]//2, shape[29][1]//2), #draw rectangle on right and left cheeks
                                (shape[12][0]//2,shape[33][1]//2), (0,255,0), 0)
          cv2.rectangle(img_gray, (shape[4][0]//2, shape[29][1]//2),
                  (shape[48][0]//2,shape[33][1]//2), (0,255,0), 0)
          cv2.imshow('frame',img_gray)
          if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
             break

        else:
          foundface = 0
```

3.7.1 เอารูปเก็บไว้ออกมา

```
frame = imgbuff[0]
tt = imgbuff[1]
```

3.7.2 ลดความชัดเจนของรูปและเปรี่ยนรูปเป็น Grayscale เพื่อให้สามารถประมวณผลได้เร็วขึ้น

```
percent = 50
img_gray = rescale(cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY),percent)
```

3.7.3 หาบริเวณบนหน้าที่อยากได้

```
faces = detector(img_gray)
if faces:
  foundface = 1
  landmarks = predictor(img_gray, faces[0])
  landmarks_points = []
  for n in range(0, 68):
      x = int((100/percent)*landmarks.part(n).x)
      y = int((100/percent)*landmarks.part(n).y)
      landmarks_points.append((x, y))
  shape=landmarks_points

  ROI1 = frame[shape[29][1]:shape[33][1], #right cheek
          shape[54][0]:shape[12][0]]

  ROI2 = frame[shape[29][1]:shape[33][1], #left cheek
          shape[4][0]:shape[48][0]]
```

3.7.4 หาค่าเฉลี่ยของแต่ระค่าสีในบริเวณที่หาไว้

```
m,n,_ = ROI1.shape
tmp = ROI1.reshape((m*n,3))
m,n,_ = ROI2.shape
tmp = np.concatenate((tmp,ROI2.reshape((m*n,3)))).mean(axis=0)
```

3.7.5 นำค่าเฉลี่ยและเวลาใส่ในตัวแปร

```
rgbt.popleft()
rgbt.append(np.array([tmp[2],tmp[1],tmp[0],tt]))
```

3.8 ส่วนประมวณผลภาพ

```
while True:
    tmp = rgbt.copy()
    tmp = np.array(tmp)
    r = tmp[:,0]
    g = tmp[:,1]
    b = tmp[:,2]
    tt = tmp[:,3]
    ttt = tt - tt.min()
    rnew = newcolor(r,ttt)
    gnew = newcolor(g,ttt)
    bnew = newcolor(b,ttt)
    fs = 1e3/(ttt.max()//NN)
    print('Sampling Frequency = ', fs)
    data1 = POS(rnew,gnew,bnew,NN,fs)
    data2 = bandpass_filter(data1,0.5,min(0.99*fs/2,4),fs)
    data = bandpass_filter(np.hamming(NN)*data1,0.5,min(0.99*fs/2,4),fs)
    N = int(fs*60)

    dataf = fft.fft(data, n = N)
    dataf1 = fft.fft(data1, n = N)
    dataf2 = fft.fft(data2, n = N)
    f = np.array(range(0,N))*fs/N
    ppgbuff[:600] = resample(data2,600)
    ppgbuffnew[0] = 1

    print('Heart Beat = ',f[abs(dataf[:N//2]).argmax()]*60,' BPM')
    time.sleep(1)
    ii = ii+1
```

3.8.1 เอาข้อมูลที่เก็บไว้ออกมา

```
tmp = rgbt.copy()
tmp = np.array(tmp)
r = tmp[:,0]
g = tmp[:,1]
b = tmp[:,2]
tt = tmp[:,3]
ttt = tt - tt.min()
```

3.8.2 นำข้อมูลเอาออกมาไปทำการ Interpolate

```
rnew = newcolor(r,ttt)
gnew = newcolor(g,ttt)
bnew = newcolor(b,ttt)
fs = 1e3/(ttt.max()//NN)
print('Sampling Frequency = ', fs)
```

```
def newcolor(color,t):
    tmp = np.array(color)
    flinear = interpolate.interp1d(t, tmp)
    tnew = (ttt.max()//NN)*np.array(range(NN), dtype = np.int64)
    return flinear(tnew)
```

3.8.3 นำข้อมูลที่ทำการ Interpolate แล้วเข้าไปใน POS Algorithm

```
data1 = POS(rnew,gnew,bnew,NN,fs)
```

```
def POS(red, green, blue, frame, fs):
    win_size = int(fs*32/20)
    H = np.zeros(frame)
    idx = 0
    while True:
        if idx+win_size > frame:
            break
        R_interval_norm = red[idx:idx+win_size]/red[idx:idx+win_size].mean()
        G_interval_norm = green[idx:idx+win_size]/green[idx:idx+win_size].mean()
        B_interval_norm = blue[idx:idx+win_size]/blue[idx:idx+win_size].mean()
        color_arr = np.array((R_interval_norm, G_interval_norm, B_interval_norm))
        S_1 = (-0.168*R_interval_norm) - (0.331*G_interval_norm) + (0.499*B_interval_norm)
        S_2 = (0.499*R_interval_norm) -  (0.418*G_interval_norm) - (0.081*B_interval_norm)
        alpha = S_1.std()/S_2.std()
        h = S_1 + (alpha * S_2)
        H[idx:idx+win_size] = H[idx:idx+win_size] + (h - h.mean())
        idx = idx + 1
    return H
```

3.8.4 นำข้อมูลไปผ่าน filter เพื่อตัดความถี่ที่เป็นไม่ได้ออก

```
data1 = POS(rnew,gnew,bnew,NN,fs)
data2 = bandpass_filter(data1,0.5,min(0.99*fs/2,4),fs)
data = bandpass_filter(np.hamming(NN)*data1,0.5,min(0.99*fs/2,4),fs)
```

```
def bandpass_filter(data, lowcut, highcut, fs):
        nyq = 0.5 * fs
        low = float(lowcut) / float(nyq)
        high = float(highcut) / float(nyq)
        order = 3.0
        sos = butter(order, [low, high], btype='band',output='sos')
        bandpass = sosfiltfilt(sos, data)
        return bandpass
```

3.8.5 นำข้อมูลที่ผ่าน filter แล้วมาทำ Fast Fourier transform

```
N = int(fs*60)
dataf = fft.fft(data, n = N)
dataf1 = fft.fft(data1, n = N)
dataf2 = fft.fft(data2, n = N)
```

3.8.6 แสดงผล

```
print('Heart Beat = ',f[abs(dataf[:N//2]).argmax()]*60,' BPM')
```

4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ทดลองวัดอัตราการเต้นของหัวใจจากระยะทาง 25 เซนติเมตร

ความเร็วของกล้อง 12 fps

ความสว่าง 135 lux

	อัตราการเต็นของหัวใจที่วัดได้	**อัตราการเต็นของหัวใจจริง**	คลาดเคลื่อน
ทดลองครั้งที่ 1	**85**	**86**	**1**
ทดลองครั้งที่ 2	**84**	**84**	**0**
ทดลองครั้งที่ 3	**87**	**89**	**2**

คิดเป็นอัตราการคลาดเลื่อน 1.12%

4.2 ทดลองวัดอัตราการเต้นของหัวใจจากระยะทาง 50 เซนติเมตร

ความเร็วของกล้อง 12 fps

ความสว่าง 139 lux

	อัตราการเต็นของหัวใจที่วัดได้	**อัตราการเต็นของหัวใจจริง**	คลาดเคลื่อน
ทดลองครั้งที่ 1	**83**	**86**	**3**
ทดลองครั้งที่ 2	**81**	**85**	**4**
ทดลองครั้งที่ 3	**93**	**89**	**5**

คิดเป็นอัตราการคลาดเลื่อน 4.62%

4.3 ทดลองวัดอัตราการเต้นของหัวใจจากระยะทาง 75 เซนติเมตร

ความเร็วของกล้อง 13 fps

ความสว่าง 136 lux

	อัตราการเต็นของหัวใจที่วัดได้	**อัตราการเต็นของหัวใจจริง**	คลาดเคลื่อน
ทดลองครั้งที่ 1	**74**	**81**	**7**
ทดลองครั้งที่ 2	**77**	**83**	**6**
ทดลองครั้งที่ 3	**84**	**78**	**6**

คิดเป็นอัตราการคลาดเลื่อน 7.85%

4.4 ทดลองวัดอัตราการเต้นของหัวใจจากระยะทาง 100 เซนติเมตร

ความเร็วของกล้อง 12 fps

ความสว่าง 137 lux

	อัตราการเต็นของหัวใจที่วัดได้	**อัตราการเต็นของหัวใจจริง**	คลาดเคลื่อน
ทดลองครั้งที่ 1	**81**	**73**	**8**
ทดลองครั้งที่ 2	**66**	**70**	**4**
ทดลองครั้งที่ 3	**83**	**71**	**12**

คิดเป็นอัตราการคลาดเลื่อน 11.21%

4.5 ทดลองวัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยใช้ถาพถ่าย

จากการทดลองโปรแกรมแสดงผลมั่วๆไม่หยุดอยู่ที่ค่าไดค่าหนึ่ง

5 สรุปโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

จากการทดลองพบว่า โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาสามารถนำมาใช้งานได้จริง โดยยิ่งอยู่ใกล่กล้องยิ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อย แต่ยังไม่สามารถทำให้ไม่มีการคลาดเคลื่อนเลยได้ เนื่องจากมีตัวแปรที่อยู่เหนือการควบคุมของโปรแกรมเช่น ความชัดของกล้อง ความสว่างของแสง ทิษทางที่แสงส่องมา ความเร็วของเครื่องมือที่ใช้ประมวณผล เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเวลาส่วนมากถูกใช้ในการตรวจจับบริเวณส่วนของใบหน้า ที่จะใช้เป็นส่วนอ้างอิง

จึงคิดว่าต้องหาวิธีที่ใช้ในการตรวจจับ ใบ หน้า แบบ อื่นๆที่ใช้เวลาน้อยลง หรือเปลี่ยนจากบริเวณหน้าเป็นบริเวณอื่นของร่างกายเช่น ฝ่ามือ แขน ปลายนิ้ว เป็นต้น เพื่อให้ไม่ต้องมีการตรวจจับอะไรเลย

6 บรรณานุกรม

[1] W. Wang, A. C. den Brinker, S. Stuijk and G. de Haan, "Algorithmic Principles of Remote PPG," in IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 64, no. 7, pp. 1479-1491, July 2017, doi: 10.1109/TBME.2016.2609282.