به نام خدا

گزارش نهایی درس آز سخت افزار

نیم سال دوم سال تحصیلی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

گروه 6

آرمان زارعی

کیوان رضائی

سیدمحمد سیدجوادی

فهرست محتوا

مقدمه

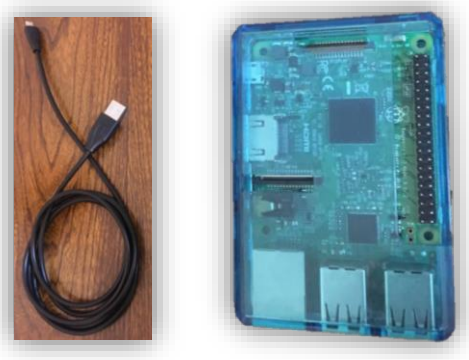
در این پروژه قرار است یک ماژول طراحی کنیم که حرکت چشم کاربر به چپ و راست را تشخیص دهد و برای کامپیوتری که به آن متصل است بفرستد. این ماژول قرار است به عنوان یک Gamepad در پروژه‌ی ما به کار گرفته شود و کابر بتواند به کمک این ماژول و حرکت دادن مردمک چشمش با نگاه کردن به جهات مختلف بازی کند. این بازی روی کامپیوتر کاربر بالا می‌آید و کاربر به کمک چشمش بازی می‌کند.

در ادامه این سند:

- در بخش قطعات، قطعات استفاده شده در این پروژه و اتصال آنها به یکدیگر مطرح شده است.
- سپس در بخش آماده‌سازی رزبری پای، کارهای انجام شده جهت کار با رزبری پای و نصب ابزارهای لازم روی آن آورده شده است.
- در ادامه، در بخش پیاده‌سازی ماژول تشخیص مردمک، شیوه تشخیص مردمک چشم و کدهای مربوط به آن توضیح داده شده است.
- پس از آن بازی‌ای که برای تست محصول پیاده‌سازی شد شرح داده شده است.
- سپس در بخش اتصال بازی و ماژول در مورد جزئیات کار با ماژول و گرفتن اطلاعات حرکتی مردمک از آن بیان شده است.
- نهایتاً در بخش آخر، تست سیستم انجام گرفته و فیلم‌های تست قرار داده شده است.

قطعات استفاده شده

همانطور که در مقدمه گفته شد، برای ماژول تشخیص حرکت مردمک چشم ما از یک رزبری‌پای (Raspberry Pi 3 Model B) و دوربین مخصوص رزبری پای استفاده کردیم. در شکل ۱ می‌توانید رزبری‌پای تحویل گرفته شده به همراه قاب و کابل Power آن را مشاهده کنید. برای روشن کردن رزبری‌پای می‌توان این کابل را به لپتاپ یا هر منبع برق دیگری متصل کرد.



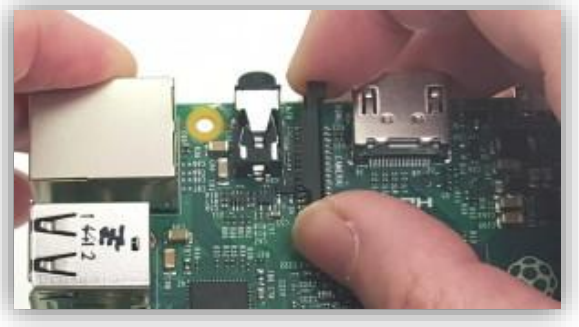
شکل 1 رزبری پای تحویل گرفته شده به همراه قاب و کابل پاور آن

همچنین در شکل ۲ می‌توانید دوربین مخصوص رزبری‌پای را مشاهده کنید. بر روی دوربین یک اهرم وجود دارد که با آن می‌توان فوکوس دوربین را تنظیم کرد.

شکل 2 دوربین مخصوص رزبری پای

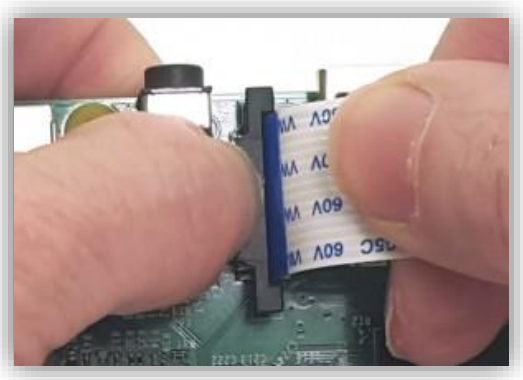
نحوه‌ی اتصال دوربین به رزبری پای

پورت مخصوص دوربین در رزبری پای بین پورت صدا و پورت HDMI قرار دارد. برای اتصال دوربین به رزبری پای همانطور که در شکل ۳ می‌بینید، ابتدا پورت دوربین را باز می‌کنیم. سپس مانند شکل ۴، کابل را درون پورت می‌گذاریم به طوری که قسمت آبی رنگ کابل به سمت پورت صدا باشد. در نهایت، پورت دوربین را مانند شکل ۵ محکم می‌کنیم.



شکل 3 باز کردن پورت دوربین

شکل 4 قرار دادن کابل دوربین بر روی پورت

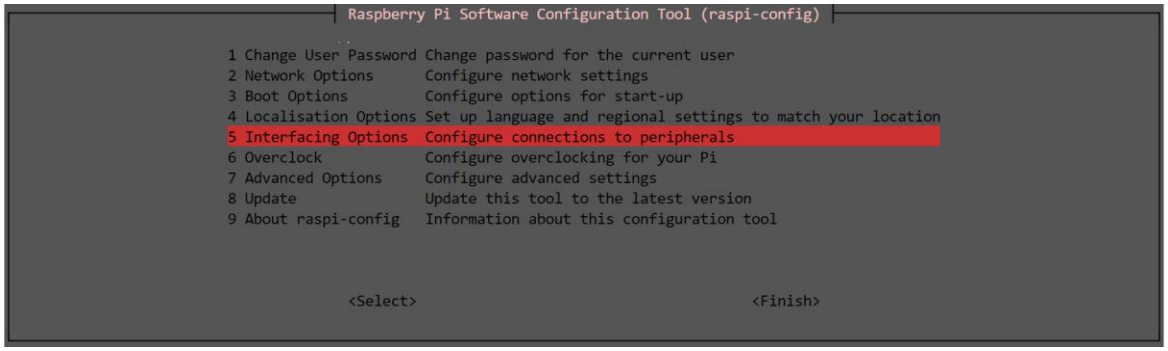


شکل 5 بستن پورت دوربین

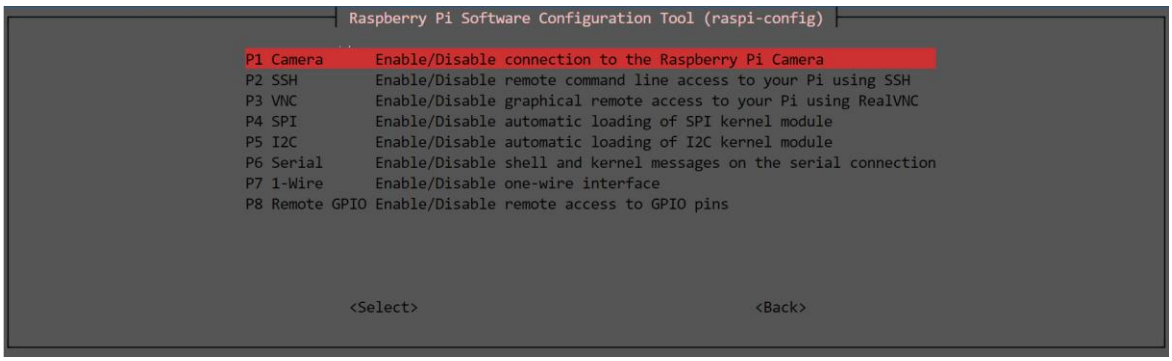
نحوه کار با دوربین

بعد از اتصال دوربین به رزبری پای باید واسط دوربین را فعال کنیم. به این منظور، دستور raspi-config را اجرا می‌کنیم. بعد از اجرای دستور raspi-config که شکل ۶ مشاهده می‌شود.

سپس با انتخاب Interfacing Options به شکل ۶ می‌رسید. که در آنجا باید Camera را فعال کنید. (شکل ۷)



شکل 6 raspi-config



شکل 7 صفحه‌ی Interfacing Options

برای تست انواع مدهای مختلف دوربین و مناسب بودن فوکوس دوربین، از دستور raspistill استفاده کردیم که یک عکس با دوربین می‌گرفت. برای مثال دستور زیر یک عکس با تنظیمات پیشفرض می‌گیرد و در فایل output.jpg ذخیره می‌کند. [2]

```
raspistill -o output.jpg
```

شرح تنظیمات کامل این دستور را می‌توانید با دستور زیر ببینید:

```
raspistill --help
```

برای فیلم‌برداری و استفاده از دوربین در میان کد پایتون، از کتابخانه‌ی Picamera استفاده کردیم. [3] برای گرفتن عکس‌های متوالی از دستور زیر استفاده کردیم.

```
self._camera = PiCamera()
self._camera.resolution = (camera_width, camera_height)
self._camera.framerate = camera_framerate
self._raw_capture = PiRGBArray(self._camera, size=(camera_width, camera_height))
for frame in self._camera.capture_continuous(self._raw_capture, format="bgr", use_video_port=True)
```

آماده‌سازی رزبری پای

اتصال به رزبری پای

در این بخش شیوه اتصالمان به رزبری پای و نصب ابزارهایی که برای انجام پروژه به آنها نیاز بود، می‌پردازیم. نخست برای اتصال به رزبری پای، آن را به برق وصل کرده و با کابل شبکه به اینترنت متصل کردیم. در ادامه با لپتاپی که به همان شبکه متصل است، می‌توان به رزبری پای SSH زد و به آن وصل شد. ما از ابزار VSCode که محیط مناسبی برای Remote Exploring فراهم می‌کند برای ایجاد ارتباط SSH با رزبری پای استفاده کردیم. در شکل ۸ می‌توانید نتیجه‌ی دستور ساده‌ی ls را ببینید که بعد از SSH به درستی اجرا شده است.

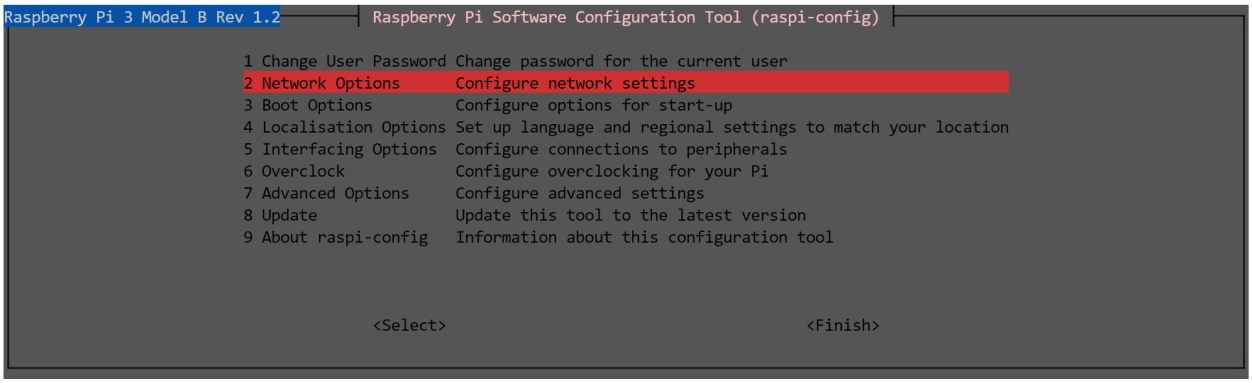
شکل 8اجرای دستور ls بعد از برقراری ssh به رزبری پای از طریق VSCode

سیستم‌عامل نصب شده روی رزبری‌پای همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود Raspbian OS است که مختص به رزبری پای می‌باشد.

```
pi@raspberrypi:~/Desktop $ lsb_release -a
No LSB modules are available.
Distributor ID: Raspbian
Description:    Raspbian GNU/Linux 9.13 (stretch)
Release:        9.13
Codename:       stretch
```

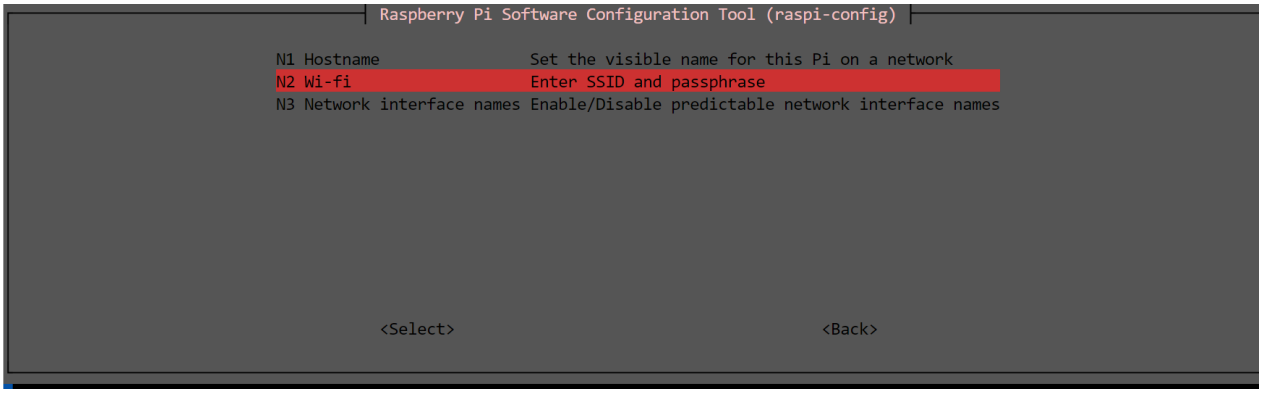
شکل 9 مشخصات سیستم عامل رزبری پای

با توجه به اینکه رزبری پای ماژول WiFi دارد، برای اینکه در ادامه نیازی به اتصال دائمی رزبری پای به کابل شبکه نباشد، ما تنظیمات WiFi را روی آن بالا آوردیم و از طریق WiFi به شبکه وصل شدیم. به این منظور از دستور sudo raspi-config استفاده کردیم که تنظیمات سیستم را می‌آورد.



شکل 10 نتیجه‌ی اجرای دستور raspi-config

سپس در بخش Network Options منوی زیر را می‌بینیم که در بخش WiFi می‌توان شبکه موردنظر و پسوورد اتصال به مودم را وارد کرد و به WiFi وصل شد.



شکل 11 بخش Network Options در raspi-config

نصب کتابخانه‌های لازم

پایتون 3.5 روی رزبری پای نصب شده بود، ما از همین پایتون برای اجرای کدهایمان استفاده کردیم. منتها لازم بود چند کتابخانه برای اجرای کدهایمان نصب شوند.

لیست کتابخانه‌ها به شرح زیر است:

- numpy: جهت انجام محاسبات ریاضی و ماتریسی روی تصاویر
- 2cv: کتابخانه‌ای که امکانات پردازش تصویر فراهم می‌کند.
- picamera: کتابخانه‌ای که به کمک آن می‌توان با دوربین ارتباط برقرار کرد.
- socketio: کتابخانه لازم جهت ایجاد سرور و دریافت و ارسال سوکت‌ها
- eventlet: کتابخانه لازم جهت ایجاد سرور و اتصال به کلاینت

فرایند نصب کتابخانه‌ها هم طبق روال همیشگی پایتون و به کمک pip انجام شد.

نکته مهمی که برای نصب کتابخانه‌های پایتون روی رزبری پای وجود دارد این است که باید کتابخانه‌ها به شکل pre-built دانلود شوند. در غیر اینصورت build کردن محتوای دانلود شده و نصب کتابخانه‌ها بسیار زمان‌بر خواهد بود. جزئیات بیشتر در مورد این کتابخانه‌های pre-built شده در سایت piwheels موجود است. ما نیز از همین سایت استفاده کردیم.

به منظور دانلود کتابخانه‌ها از این سایت لازم است تغییرات زیر در config مربوط به pip عوض شود. به این منظور لازم است خط زیر در فایل /etc/pip.conf افزوده شود.

```
[global]
extra-index-url=https://www.piwheels.org/simple
```

جزئیات بیشتر در خصوص استفاده از این کتابخانه‌های نیمه آماده در این لینک [5] قابل مشاهده است.

اتصال به Github و ریپوی پروژه

گام آخر اتصال به git بود تا بتوانیم کدها را روی رزبری پای بیاوریم. به این منظور git نصب شد و پروژه clone شد. محتوای فایل‌ها به صورت زیر است.

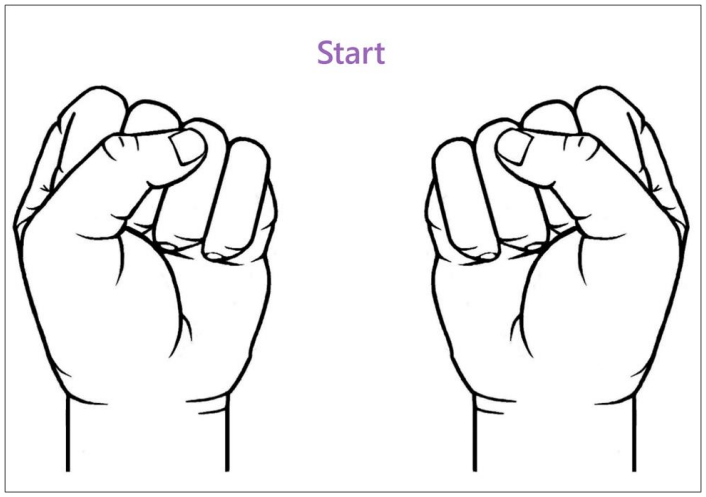
```
pi@raspberrypi:~/Desktop/project/project-team-6 $ ls
Code  Datasheet  Document  Miscellaneous
```

شکل 12 همانطور که در شکل می‌بینید پروژه به درستی clone شده است.

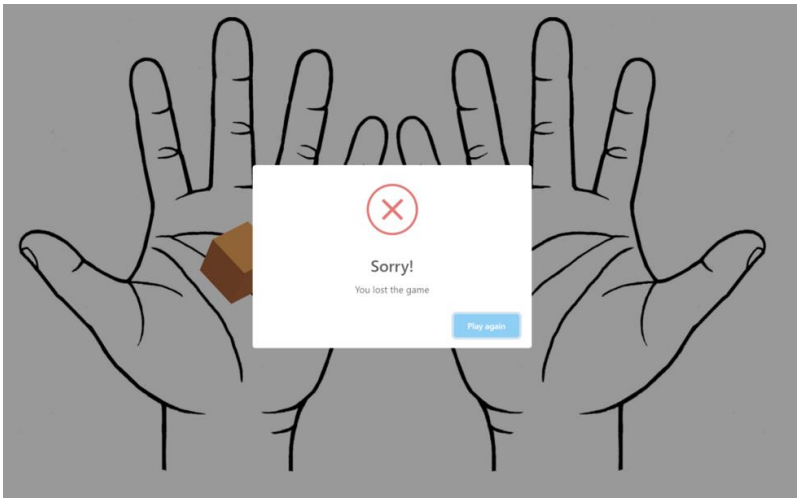
پیاده‌سازی بازی گل یا پوچ

با توجه به اینکه بازی ماشین ای که در نظر داشتیم با چشم به راحتی قابل بازی کردن نبود (جذاب نبودن آن و تجربه بازی نه چندان جالب)، بازی را به "گل یا پوچ" تغییر دادیم. همانطور که میدانید در این بازی، 2 دست بسته در ابتدا به شما نشان داده می شود که در یکی از آن‌ها مهره ای قرار دارد. ما باید حدس بزنیم که در کدام دست آن مهره قرار دارد. بعد از گفتن حدسمان به حریف، دست هایش را رو می کند و اگر دست درستی را انتخاب کرده باشیم، برنده بازی می شویم و در غیر اینصورت بازنده خواهیم شد.

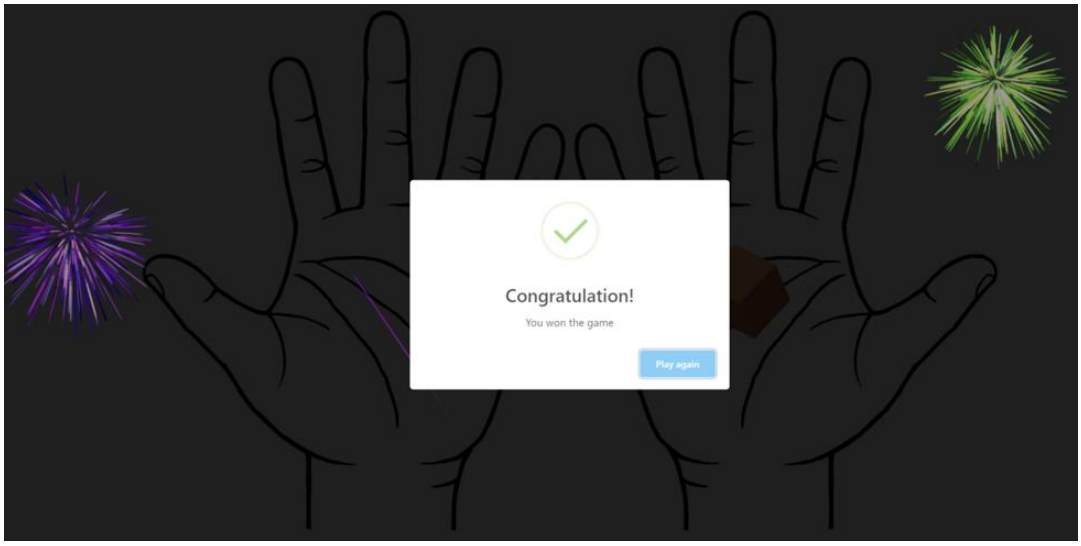
این بازی با برخی زبان ها به صورت متن باز در اینترنت موجود است ولی ما به دلیل اینکه این بازی را کمی جذاب تر کنیم، تصمیم گرفتیم که خودمان بازی را پیاده سازی کنیم. بازی را با HTML و CSS و JavaScript و به کمک برخی لایبرری ها توسعه دادیم و می توانید آن را بر روی مرورگرتان اجرا کنید. برخی تصاویر از محیط بازی را می توانید در شکل های زیر مشاهده کنید:



شکل 13 شروع بازی و انتخاب یکی از دو دست بسته



شکل 14 انتخاب دست راست و عدم وجود مهره در آن که موجب به باخت ما در این دست بازی شده است



شکل 15انتخاب دست راست و وجود مهره در آن که موجب به برد ما در این دست بازی شده است

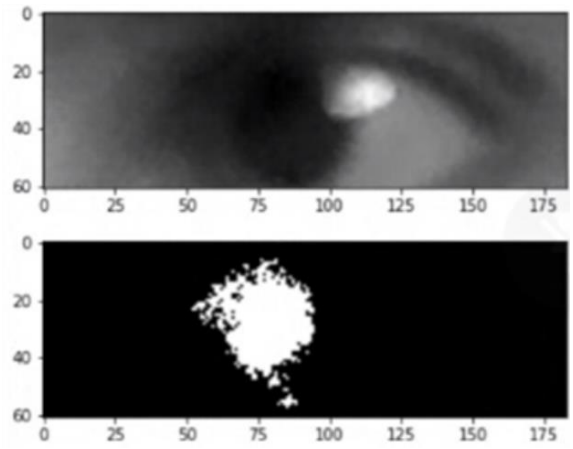
پیاده‌سازی ماژول تشخیص مردمک

در ابتدا از تصمیم بر استفاده از ماژول های نوشته شده و آماده بود ولی بعد از تست کردن برخی از آن‌ها و کارکرد نامطلوبشان، تصمیم گرفتیم که این ماژول را خودمان پیاده‌سازی کنیم. ماژول‌های آماده متن-باز در برخی جهت‌ها و برخی تصاویر دچار مشکلاتی می‌شدند که ماژول ما به آن ها دچار نمی‌شود و با دقت بسیار بالاتری تخمینی از جهت چشم را به ما می‌گوید.

همانطور که در فایل gaze_tracking.py مشاهده می‌کنید دو کلاس برای این ماژول نوشته شده است. کلاس GazeDetector و کلاس GazeTracking. کلاس GazeDetector وظیفه تشخیص چشم و جهت نگاه را بر عهده دارد و کلاس GazeTracking وظیفه مشاهده دوربین کاربر و تشخیص جهت چشم به صورت پیوسته (به کمک کلاس GazeDetector) را بر عهده دارد.

الگوریتم پیاده‌سازی شده

در ابتدا به کمک کتابخانه OpenCV و کلاس CascadeClassifier مربع‌های اطراف چشم را بدست می آوریم. حال با داشتن این مربع ها نمی‌توانیم تشخیص دهیم که چشم ها به کدام طرف نگاه می‌کنند. ناحیه ⅓ ام میانی عمودی عکس را برش می‌دهیم تا مستطیل‌ای بدست بیاید که نسبت به مربع قبلی مساحت کمتری داشته باشد ولی همچنان چشم را شامل شود. حال عکس رنگی را به عکس سیاه سفید تبدیل می کنید. در این مرحله، هر کدام از پیکسل‌های عکس دارای یک شدت رنگی (intensity) می‌باشند. بر اساس شدت رنگ آن‌ها را سورت می‌کنیم و 10 درصد کمترین را به عنوان رنگ سیاه و بقیه را به عنوان رنگ سفید در نظر می‌گیریم. بدین ترتیب، مردمک چشم تشخیص داده می‌شود. نمونه ای از نتیجه این فرایند را می‌توانید در عکس زیر مشاهده کنید (نواحی سفید مردمک تشخیص داده شده و سیاه بقیه عکس می باشد).



شکل 16 تشخیص مردمک

در نهایت هم عرض (x) نقاط مردمک را در نظر گرفته و مقدار میانه (median) آن را با نصف طول مستطیل (خط وسط مستطیل) مقایسه می‌کنید. اگر کمتر از آن بود به معنای نگاه به سمت چپ، و در غیر اینصورت، نگاه به سمت راست تشخیص داده می‌شود. کد این کلاس را می توانید در زیر مشاهده کنید.

```python
class GazeDetector:
  class Directions:
    LEFT = "LEFT"
    RIGHT = "RIGHT"

  def __init__(
      self,
      scale_factor: float = 1.1,
      min_neighbors: int = 70,
      pupil_blackness_threshold: float = 1.1
    ):
     self._eye_cascade_classifier: cv2.CascadeClassifier = cv2.CascadeClassifier("haarcascade_eye.xml")
     self.scale_factor = scale_factor
     self.min_neighbors = min_neighbors
     self.pupil_blackness_threshold = pupil_blackness_threshold

  def detect_eye_and_direction(self, face: np.ndarray):
    eyes = self._eye_cascade_classifier.detectMultiScale(face, scaleFactor=self.scale_factor, minNeighbors=self.min_neighbors)

    face_gray = cv2.cvtColor(face, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    sum_of_dists = 0
    for idx, (eye_x, eye_y, eye_w, eye_h) in enumerate(eyes):
      if idx == 2:
        break;
      eye_rect = face_gray[eye_y+int(eye_h/3):eye_y+int(2*eye_h/3), eye_x:eye_x+eye_w]
      pupil_mask = (eye_rect < np.sort(eye_rect.flatten())[int(self.pupil_blackness_threshold*eye_rect.size)]).astype(int)
      _, y_arr_pupil = np.where(pupil_mask)
      y_median_pupil = np.median(y_arr_pupil)
      sum_of_dists += y_median_pupil - eye_rect.shape[1]//2

    return self.Directions.LEFT if sum_of_dists > 0 else self.Directions.RIGHT
```

شکل 17 کد کلاس GazeDetector

تشخیص جهت چشم در مدت زمان معین

همانطور که گفتیم، کلاس GazeTracking وظیفه مشاهده دوربین کاربر و تشخیص جهت چشم در مدت زمان مشخصی را بر عهده دارد. در این کلاس به کمک کتابخانه Picamera با دوربین‌ای که به رزبری وصل شده است ارتباط برقرار می‌کند و از روی آن فریم‌هایی بدست می آورد. هر فریم را به کلاس GazeDetector می‌دهد تا جهت چشم را بدست بیاورد. این کار را در فریم‌های مختلف انجام می دهد تا زمان مشخص شده به اتمام برسد. کد این کلاس را می توانید در زیر مشاهده کنید.

```python
class GazeTracking:
  def __init__(
      self,
      gaze_detector: GazeDetector,
      print_logs: bool = True,
      camera_width: int = 640,
      camera_height: int = 480,
      camera_framerate: int = 32
    ):
    self._init_camera(camera_width, camera_height, camera_framerate)
    self._gaze_detector = gaze_detector
    self._print_logs = print_logs

  def _init_camera(self, camera_width: int, camera_height: int, camera_framerate: int):
    self._camera = PiCamera()
    self._camera.resolution = (camera_width, camera_height)
    self._camera.framerate = camera_framerate
    self.raw_capture = PiRGBArray(self._camera, size=(camera_width, camera_height))

  def get_eye_direction(self, time_to_capture: int):
      start_time = time.time()
      directions = {GazeDetector.Directions.LEFT: 0, GazeDetector.Directions.RIGHT: 0}

      for frame in self._camera.capture_continuous(self._raw_capture, format="bgr", use_video_port=True):
          image = frame.array
          direction = self._gaze_detector.detect_eye_and_direction(image)
          directions[direction] = directions[direction] + 1

          if self._print_logs:
            print("[GazeTracking LOG] Eye Direction:", direction)

          self._raw_capture.truncate(0)

          curr_time = time.time()
          if curr_time - start_time > time_to_capture:
              break

      answer = GazeDetector.Directions.LEFT
      if directions[GazeDetector.Directions.LEFT] < directions[GazeDetector.Directions.RIGHT]:
        answer = GazeDetector.Directions.RIGHT

      return answer, directions
```

شکل 18 کد کلاس GazeTracking

سرور بازی

در فایل server.py که قرار است روی raspberry pi اجرا شود، روی یک پورت منتظر می‌ماند تا کد مربوط به بازی به آن وصل شود و سرور برای تشخیص مردمک چشم از فایل gaze_tracking.py استفاده می‌کند و تصمیم نهایی کاربر را برای بازی می‌فرستد. این ارتباط به کمک کتابخانه Socketio که یک سوکت می‌سازد صورت می‌گیرد. می توانید کد آن را در زیر مشاهده کنید.

```python
import eventlet
import socketio
from GazeTracking2.gaze_tracking import GazeTracking, GazeDetector

sio = socketio.Server(cors_allowed_origins='*')
app = socketio.WSGIApp(sio)

@sio.event
def connect(sid, environ):
    print('New Connection:', sid)

@sio.event
def handshake(sid, data):
    print('Handshake', data)

    direction, _ = gaze_tracking.get_eye_direction(data['duration'])

    sio.emit('result', {'direction': direction})

    print("Result sent to game:", direction)

@sio.event
def disconnect(sid):
    print('Connection disconnected:', sid)

if __name__ == '__main__':
    print("Server is starting ...")
    gaze_tracking = GazeTracking(GazeDetector(), print_logs=True)
    eventlet.wsgi.server(eventlet.listen(('', 4343)), app)
```

شکل 19 کد مربوط به server.py

اتصال بازی و ماژول

به صورت کلی، ماژول پس از اجرا یک سرور سوکت به کمک کتابخانه socketio می‌سازد که آماده پذیرش درخواست‌های کلاینت‌ها (مثلاً بازی) می‌باشد. هر کلاینت که بخواهد از ماژول اطلاعات بگیرد، لازم است به سرور متصل شود و درخواست خودش مبنی بر گرفتن اطلاعات مردمک چشم را به سرور ارسال کند. در حال حاضر با توجه به نیازمان، این سیستم به این شکل پیاده‌سازی شده است که کلاینت یک مدت زمان t به سرور می‌دهد و ماژول به مدت t چشم کاربر را رصد می‌کند و جهتی (چپ یا راست) که کاربر در آن مدت به آن نگاه می‌کرده را برای کلاینت می‌فرستد.

به منظور اجرای سرور، لازم است فایل server.py اجرا شود. با اجرای این فایل سرور ساخته می‌شود و منتظر اتصال کلاینت است. سرور روی پورت 4343 منتظر اتصال است.

شکل 20 اجرای سرور

سپس بازی اجرا می‌شود، این بازی به پورت 4343 و آدرس ip رزبری پای موجود در شبکه کانکشن می‌زند. هر بار که کاربر می‌خواهد بازی کند، یک درخواست از سمت بازی به سرور رزبری پای می‌رسد و به مدت ۵ ثانیه چشم کاربر رصد می‌شود. پس ازاین ۵ ثانیه، سرور جهت را به کلاینت اعلام می‌کند و بازی انجام می‌شود.

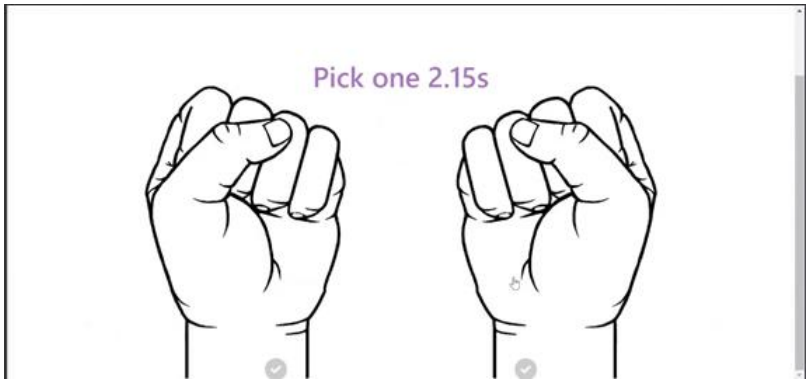
در شکل زیر لاگی که سمت سرور تولید می‌شود را می‌بینید.

```
(4628) accepted ('192.168.1.106', 57853)
New Connection: 9b481ad1b0724cc5973afdc544cff441
Connection disconnected: 9b481ad1b0724cc5973afdc544cff441
192.168.1.106 - - [29/May/2022 18:05:42] "GET /socket.io/?EIO=3&transport=websocket HTTP/1.1" 200
0 0.548729
(4628) accepted ('192.168.1.106', 57855)
New Connection: 5b1adf45bf194f4eb4c6b527b5f76dbd
Handshake {'duration': 5}
[GazeTracking LOG] Eye Direction: RIGHT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: LEFT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: LEFT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: RIGHT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: RIGHT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: RIGHT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: RIGHT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: RIGHT
[GazeTracking LOG] Eye Direction: RIGHT
Result sent to game: RIGHT
```

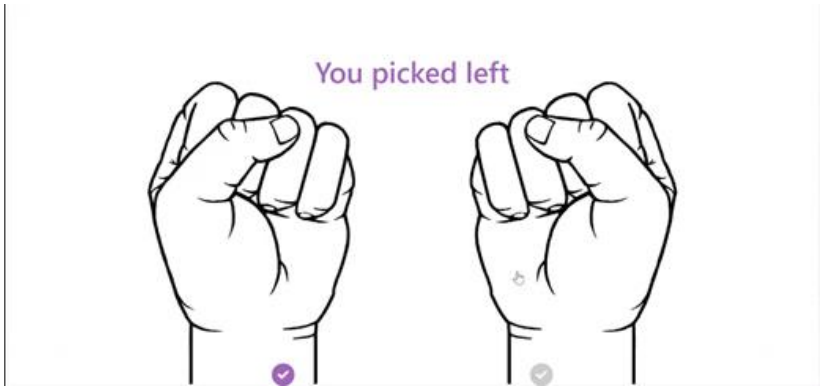
شکل 21 نمونه‌ای از لاگ‌های سرور

در شکل های زیر مراحل بازی را بر روی مروگر مشاهده می کنید.

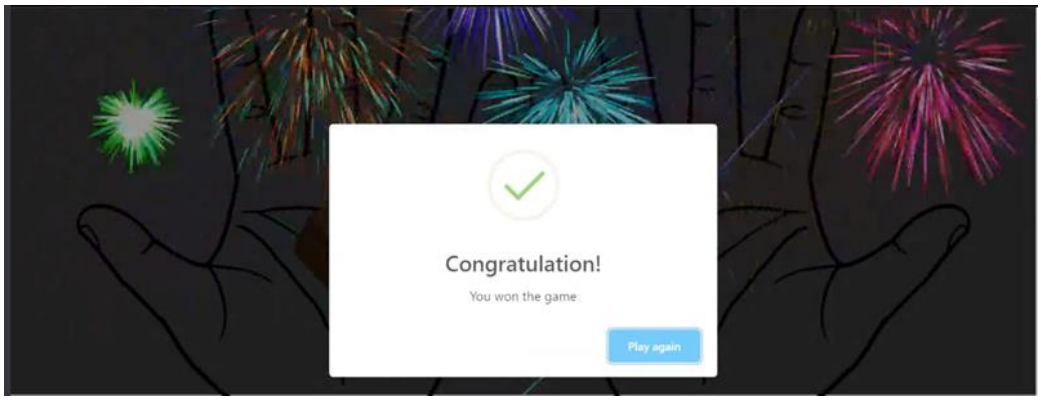
شکل 22 شروع بازی



شکل 23 زمان برای انتخاب جهت



شکل 24 نمایش نتیجه انتخاب کاربر



شکل 25 نمایش نتیجه بازی

بسته‌بندی و طراحی فیزیکی

به دلیل موجود نبودن شرایط و اینکه باید به شکل اولیه رزبری‌پای و دوربین را در انتها تحویل می‌دادیم و با توجه به اجازه مدرس درس، قرار شد صرفا ایده‌هایی که برای بسته‌بندی داریم را ذکر کنیم. در ادامه به بررسی چند مورد از آن‌ها می‌پردازیم.

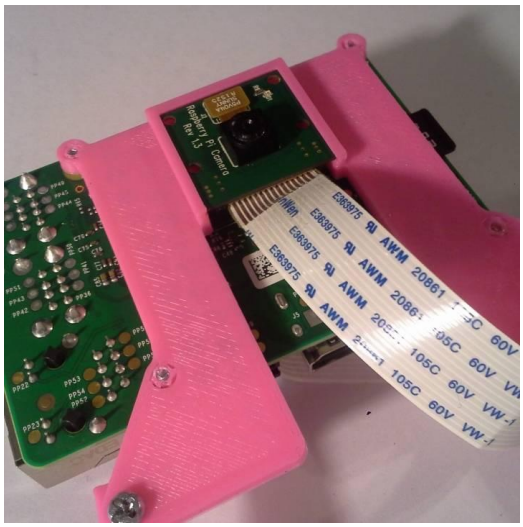
اولین ایده‌ی بسته‌بندی ما این است که پشت قاب رزبری‌پای یک گیره مثل شکل ۲۸ بچسبانیم در این صورت می‌توان رزبری‌پای را بر روی اکثر مکان‌ها به خصوص بالای لپ‌تاپ نصب کرد.

ایده‌های با خرج بیشتر برای این قسمت نیز موجود است که می‌توان از پایه‌های نگهدارنده موبایل همانطور که در شکل ۲۹ بعضی از آن‌ها را مشاهده می‌کنید استفاده کرد. در این صورت می‌توان رزبری پای را در هر زاویه و موقعیتی قرار داد.

شکل 26 گیره برای اتصال به قسمت جلوی رزبری‌پای

شکل 27 انواع پایه‌های مناسب

همچنین برای فیکس کردن دوربین بر روی رزبری پای می‌توان با استفاده از پرینتر سه بعدی مانند شکل ۳۰ قطعه‌ای ایجاد کرد که مکانی مناسب برای قرارگیری دوربین بر روی رزبری پای فراهم می‌کند.



شکل 28 فیکس کردن دوربین بر روی رزبری‌پای [1]

تست و بررسی

مطابق با توضیحات اجرای بازی و سرور و اتصال آنها به هم، در فیلمی که در لینک [5] قرار دارد، یک نمونه از اجرای بازی که عملکرد سیستم و صحت آن را نشان می‌دهد مشاهده می‌شود.

منابع

1. https://www.myminifactory.com/object/3d-print-raspberry-pi-b-adjustable-camera-clamp-mount-20721
2. https://projects.raspberrypi.org/en/projects/getting-started-with-picamera/0
3. https://picamera.readthedocs.io/en/release-1.13/
4. https://www.dropbox.com/s/h7qsa46u0rpmngq/HWLab-G6.mp4?dl=0
5. https://www.piwheels.org/faq.html