



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر

پروژه‌ی درس آزمایشگاه سخت‌افزار

عنوان:

مستند نهایی پروژه‌ی شناسایی موجود زنده در شب برای اتومبیل

نگارندگان:

علیرضا شاطری، رضا امینی

استاد گرامی:

جناب آقای دکتر اجلالی - جناب آقای دکتر فصحتی

زمستان ۱۴۰۱

سلام

فهرست مطالب

۶	۱ مقدمه
۸	۲ دیتاشیت محصول
۹	۳ معماری سیستم
۱۱	۱-۳ طراحی و پیاده‌سازی
۱۱	۱-۱-۳ دوربین حرارتی
۱۵	۲-۱-۳ چراغ‌های LED
۱۶	۳-۱-۳ بخش نرم افزاری اصلی
۲۰	۴-۱-۳ بسته بندی
۲۱	۴ خروجی
۲۱	۱-۴ تست در روشنایی
۲۳	۲-۴ تست در تاریکی
۲۶	۵ قیمت
۲۷	۶ جمع بندی

فهرست تصاویر

۱-۳	معماری سطح بالای سیستم	۱۰
۲-۳	AMG8833	۱۲
۳-۳	اتصال سنسور AMG8833	۱۲
۴-۳	شماتیک کلی از مدار	۱۳
۵-۳	بسته بندی دستگاه	۲۰
۱-۴	تست در روشنایی	۲۲
۲-۴	تست در تاریکی	۲۴

فهرست جداول

۱-۵ جدول قیمت محصول (قیمت‌ها به واحد هزار تومان) ۲۶

فصل ۱

مقدمه

محصول نهایی این پروژه، یک سیستم دید در شب است که درون اتومبیل قرار می‌گیرد و به راننده در هنگام رانندگی در تاریکی، کمک به سزایی می‌کند. در این سیستم اطلاعات از طریق یک دوربین حرارتی به ماژول رزبری منتقل می‌شود و کدهایی که در رزبری قرار داده شده است با انجا پردازش تصویری ساده، تشخیص خواهد داد که آیا موجود زنده‌ای در میدان دید راننده حضور دارد یا خیر. همچنین از طریق چراغ و صدا نتیجه را به راننده اطلاع می‌دهد.

به صورت دقیق‌تر، این محصول با کمک یک دوربین مادون قرمز، می‌تواند دمای موانع در سر راه راننده را از فاصله‌ی دور تشخیص دهد. سپس اگر دمای قسمتی از تصویر روبه‌رویش نسبت به دمای محیط به مقدار نسبتاً قابل ملاحظه‌ای بالاتر باشد، سیستم متوجه حضور یک موجود زنده شده و شروع به هشدار دادن به راننده می‌کند. نکته‌ای که وجود دارد این است که اگر این تغییر دما آن قدر بالا باشد که دیگر نتواند به عنوان دمای واقعی بدن یک موجود زنده در نظر گرفت، آنگاه سیستم نیز موجود زنده‌ای را شناسایی نمی‌کند زیرا تنها محدوده‌ی دمایی خاصی است که می‌توان مربوط به دمای بدن موجودات زنده باشد.

مزیت رقابتی اصلی این محصول هزینه‌ی پایین ساخت آن است که با تغییر در بعضی از ماژول‌های سیستم، حتی می‌توان به هزینه‌ی کمتر نیز رسید. همچنین محصول نهایی بسیار کوچک خواهد بود زیرا به جای چراغ‌هایی که در نمونه‌ی اولیه‌ی ما استفاده شده است، در واقع باید چراغ‌های خود اتومبیل قرار بگیرد و چون روشن کردن این چراغ‌ها از طریق ارتباط با کامپیوتر ماشین ممکن است در نتیجه کافی است

پس از انجام پردازش‌ها توسط رزپری و سنسورها، دستور روشن شدن چراغ‌ها را به کامپیوتر اتومبیل ارسال و آن‌ها را روشن کرد.

فصل ۲

دیتاشیت محصول

محدوده‌ی دمایی قابل استفاده	$-10^{\circ}C - 75^{\circ}C$
ولتاژ ورودی	۵ ولت
جریان ورودی	۲ آمپر
ابعاد	$15cm * 10cm * 5cm$
وزن	۴۰۰ گرم
محدوده‌ی دمایی تشخیص موجود زنده	$30^{\circ}C - 50^{\circ}C$

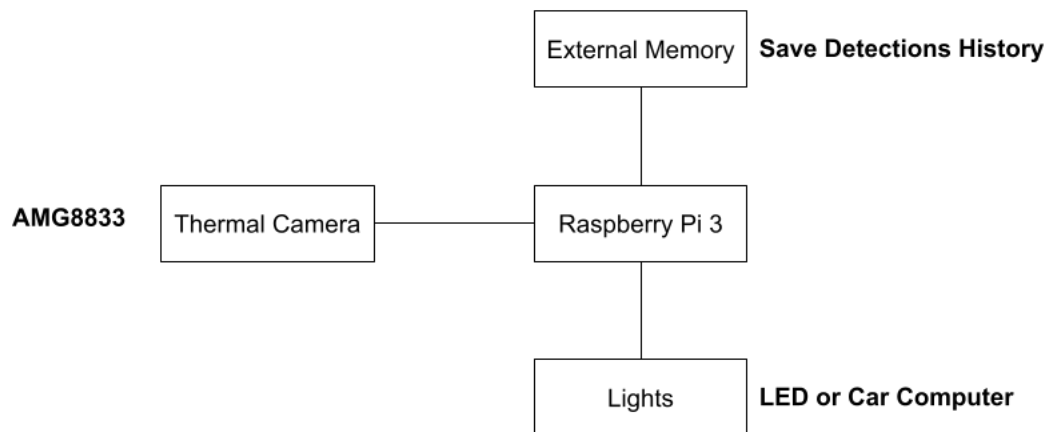
- وزن محصول بسته به شرایط و مواد مورد استفاده در تولید جعبه‌ی آن متغیر است.

فصل ۳

معماری سیستم

سیستم طراحی شده از ۲ قسمت اصلی ساخته شده است. قسمت سخت افزاری که شامل رزپری و سنسور حرارتی و مدارها می شود. قسمت نرم افزاری نیز که شامل پیاده سازی نرم افزاری است که در رزپری پای اجرا شده و توابع قسمت مختلف را مدیریت می کند.

معماری سطح بالای سیستم در شکل ۱-۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱: معماری سطح بالای سیستم

۱-۳ طراحی و پیاده‌سازی

اصلی‌ترین قسمت این پروژه، طراحی و پیاده‌سازی قسمت‌های سخت‌افزاری آن است. در زیر لیستی از قطعات سخت‌افزاری مورد استفاده آمده است و پس از آن توضیحاتی در مورد هر یک از سنسورها و نحوه کارکرد و راه‌اندازی آن ذکر شده است.

- برد Raspberry Pi 3

- سنسور دوربین حرارتی AMG8833

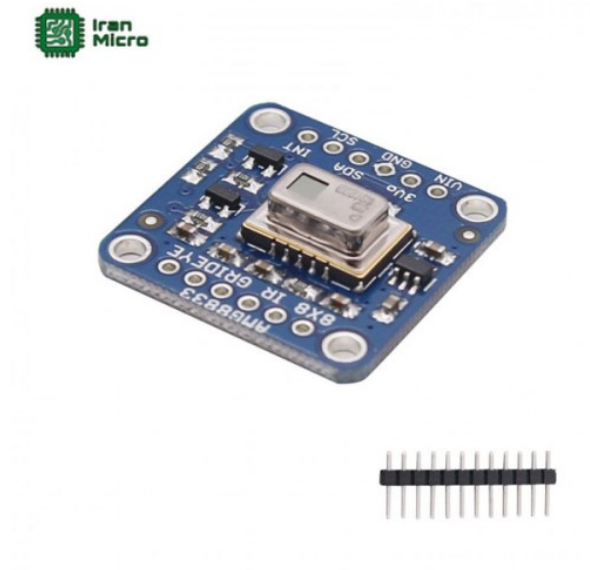
- چراغ‌های led

۱-۱-۳ دوربین حرارتی

یک آرایه سنسور مادون قرمز کم هزینه است که توسط پاناسونیک توسعه یافته است. برای استفاده با میکروکنترلرها در یک ماژول با شیفترهای سطح و تنظیم کننده ولتاژ یکپارچه شده است که برق و داده ۳ تا ۵ ولت را می‌دهد.

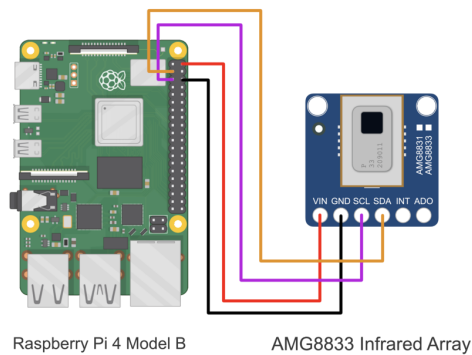
این سنسور تنها ۶۴ پیکسل (۸×۸) دارد که خیلی زیاد نیست اما برای آزمایش کافی و کار با آن ساده است، همچنین قیمت مناسبی نیز دارد.

ماژول را می‌توان به راحتی به برد متصل کرد و داده‌های دمایی تصویر را دریافت و پردازش نمود.



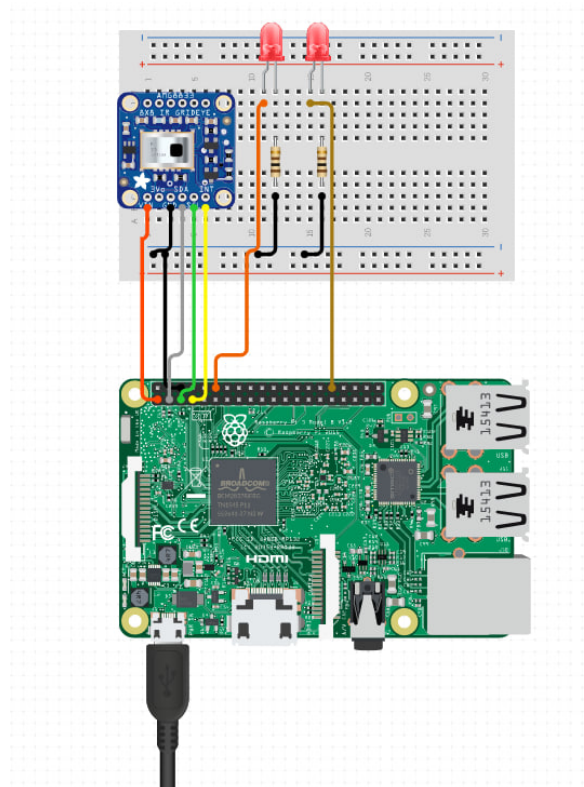
شکل ۳-۲: AMG8833

در تصویر زیر می‌توانید نحوه‌ی اتصال این ماژول به رزبری را مشاهده کنید.



شکل ۳-۳: اتصال سنسور AMG8833

همچنین در تصویر زیر می‌توانید یک شماتیک کلی از نحوه‌ی اتصال کامل مدار ببینید.



شکل ۳-۴: شماتیک کلی از مدار

برای خواندن مقادیر از کتابخانه‌ی `smbus`^۱ استفاده شده است. البته این کتابخانه مخصوص این ماژول نمی‌باشد و صرفاً خواندن سریال از طریق `i2c` را برآید راحت کرده است. در نتیجه کد اصلی خواندن دیتا دز دوربین حرارتی پیاده‌سازی شده است که در ادامه خواهید دید.

بخش‌های مهم پیاده‌سازی مربوط به این قسمت را می‌توانید در زیر مشاهده کنید. (برای جزئیات بیشتر به کد اصلی موجود در ریپازیتوری گیت‌هاب مراجعه کنید)

```
1 import smbus # i2c bus
2
3 class i2c_driver(object):
4
5     # Here is the most important function that reads serial
6     # data from amg8833 sensor in little_endian order.
7
8     def read16(self, register, little_endian=True):
```

<https://pypi.org/project/smbus2/>^۱

```

9         # read 16-bits from specified register
10        result = self._bus.read_word_data(self._address, register) & 0
           xFFFF
11
12        if not little_endian:
13            result = ((result << 8) & 0xFF00) + (result >> 8)
14
15        return result
16
17        # ...
18
19class AMG8833(object):
20
21    # This important function gets the serial data and converts it
22    # to temperatures in Centigrades. The return value of this function
23    # will be an 8x8 matrix.
24
25    def read_temp(self, PIXEL_NUM):
26
27        T_arr = [] # temp array
28        status = False # status boolean for errors
29
30        for i in range(0, PIXEL_NUM):
31
32            raw = self.device.read16(GE_PIXEL_BASE + (i << 1))
33            converted = self.twos_compl(raw) * 0.25
34
35            if converted < -20 or converted > 100:
36
37                return True, T_arr # return error if outside temp window
38
39            T_arr.append(converted)
40
41        return status, T_arr

```

در نهایت تابعی که برای خواندن کل آرایه ۸ در ۸ نهایی استفاده می‌شود، تابع `read_temp` از کلاس تعریف شده در این کد است. این تابع آرایه‌ای شامل ۶۴ عدد `integer` برمی‌گرداند که هر کدام از این اعداد دمای یک پیکسل از ۶۴ پیکسل قابل دید توسط دوربین را نمایش می‌دهد. سپس این آرایه به کمک `numpy` به صورت یک مارتیس ۸ در ۸ در می‌آید که در ادامه خواهیم دید.

۲-۱-۳ چراغ‌های LED

با توجه به اینکه اتصال چراغ‌های LED تنها نیاز به یک ولتاژ صفر و یک ولتاژ فعال دارد، از توضیح نحوه اتصالشان صرف نظر می‌کنیم. در ادامه می‌توانید کد پیاده‌سازی شده برای روشن یا خاموش کردن چراغ‌ها را مشاهده کنید.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2
3 class PinHandler:
4
5     # This class, with its methods, helps us to manage LED lights.
6     # Actually makes a wrapper to turn on or off the lights
7     # easilly with just a method call.
8
9     @staticmethod
10    def left_on():
11        GPIO.output(Pin.LEFT.value, GPIO.HIGH)
12
13    @staticmethod
14    def left_off():
15        GPIO.output(Pin.LEFT.value, GPIO.LOW)
16
17    @staticmethod
18    def right_on():
19        GPIO.output(Pin.RIGHT.value, GPIO.HIGH)
20
21    @staticmethod
22    def right_off():
23        GPIO.output(Pin.RIGHT.value, GPIO.LOW)

```

همانطور که در کد می‌توان دید، ۲ تابع روشن کردن و ۲ تابع خاموش کردن چراغ داریم که هر جفت از خاموش و روشن کردن‌ها مربوط به یکی از جهات راست یا چپ است.

۳-۱-۳ بخش نرم افزاری اصلی

در کنار کدهای قبلی، یک کد اصلی نیز وجود دارد که مغز متفکر سیستم است و با توجه به شرایط و به تناسب از توابع تعریف شده استفاده می‌کند. در این قسمت بخش‌های مختلف این کد را بررسی می‌کنیم. در ابتدا کتابخانه‌های مورد نیاز را import می‌کنیم. در اینجا از کتابخانه‌ی logging برای نگه داشتن تاریخچه‌ی تشخیص‌های سیستم از موجودات زنده استفاده می‌کنیم. همانطور که می‌بینید این تاریخچه در فایل‌ی با اسم history.log ذخیره می‌شود. فرمت لاگ خروجی را نیز می‌توانید در زیر ببینید:

2022-12-20 16:07:25,426 - LEFT - 30.0625

سپس تعداد متغیر اولیه تنظیم شده است که هرکدام استفاده خاص خود را دارند. به عنوان مثال متغیرهای MIN_TEMP و MAX_TEMP بازه‌ی دمایی موجودات زنده را برای سیستم مشخص می‌کند.

```
1 import logging
2 import numpy as np
3
4 MIN_TEMP = 29 # Minimum temperature needed to turn on the lights
5 MAX_TEMP = 50 # Maximum temperature that can be related to a living thing
```

برای تشخیص موجود زنده دو تابع اصلی وجود دارد. در تابع generate_submatrices پنجره‌ای ۲ در ۲ در نظر گرفته می‌شود و این پنجره روی کل ماتریس ۸ در ۸ حاصل از خواندن داده‌های دوربین حرارتی لغزانده می‌شود و روی هر ۴ درایه از این ماتریس که قرار گرفت، میانگین دماهای این ۴ خانه را محاسبه می‌کند. با توجه به اینکه این میانگین در بازه‌ی تعریف شده وجود دارد یا نه، تشخیص می‌دهد که موجود زنده جلوی سیستم وجود دارد یا خیر. این میانگین‌گیری برای جلوگیری از خطای احتمالی پیکسل‌های جداگانه است تا سیستم منعطف‌تر کار کند و با کوچکترین تغییر دما واکنش نشان ندهد. در ادامه می‌توانید کد مربوط به این دو تابع را مشاهده کنید.

```
1
2 def generate_submatrices(matrix, sub_size=2):
3
4     # This function generates all possible NxN submatrices of
5     # a given matrix.
6
```



```

7   submatrices = []
8   for i in range(len(matrix) - sub_size + 1):
9       for j in range(len(matrix) - sub_size + 1):
10          direction = LEFT
11
12          if j == len(matrix) / 2 - 1:
13              direction = MID
14          elif j >= len(matrix) / 2:
15              direction = RIGHT
16
17          submatrices.append(
18              (direction, matrix[i:i + sub_size, j:j + sub_size]))
19
20   return submatrices
21
22 def decide_lights(sub_matrices):
23
24     # This function decides which light to turn on
25     # based on the location of the high temperature
26     # points.
27
28     for direction, sub_matrix in sub_matrices:
29         mean = np.mean(sub_matrix)
30
31         if MIN_TEMP <= mean <= MAX_TEMP:
32             if direction == LEFT:
33                 # Turn on the left light
34                 pin_handler.left_on()
35                 found_left = True
36             elif direction == RIGHT:
37                 # Turn on the right light
38                 pin_handler.right_on()
39                 found_right = True

```

```

40         elif direction == MID:
41             # Turn on both of them
42             pin_handler.left_on()
43             pin_handler.right_on()
44             found_right = True
45             found_left = True
46
47             # If there wasn't any living thing on the left side
48             # so, turn off the left light
49             if not found_left:
50                 pin_handler.left_off()
51
52             # If there wasn't any living thing on the right side
53             # so, turn off the right light
54             if not found_right:
55                 pin_handler.right_off()

```

در تابع `generate_submatrices` تمام ماتریس‌های ۲ در ۲ ممکن استخراج می‌شود. همچنین در همین تابع تشخیص داده می‌شود که هرکدام از ماتریس‌های ۲ در ۲ تولید شده، در کدام سمت راننده است، در چپ یا راست. این تشخیص جهت به این دلیل است که چراغ درست روشن شود. اگر موجود زنده در سمت راست بود، چراغ راست و اگر در چپ بود چراغ چپ روشن شود. در تابع `decide_lights` نیز بر اساس داده‌های تولید شده از تابع قبل، تصمیم گرفته می‌شود که کدام چراغ‌ها روشن و یا خاموش شوند. همچنین فرایند ثبت شناسایی‌ها در تاریخچه نیز در همین تابع انجام می‌گیرد. این کار با صدا زدن تابع `log` انجام می‌شود. کد مربوط به این تابع را می‌توانید در زیر ببینید.

```

1
2 def log(direction, mean, sub_matrix):
3     # Save any detection of living thing
4
5     logging.info(f"{direction} - {mean} - {sub_matrix}")

```

در نهایت یک تابع `main` وجود دارد که در یک حلقه‌ی بینهایت مقادیر دوربین حرارتی را خوانده و توابع تعریف شده در بالا را صدا می‌زند. این کد را می‌توانید در زیر مشاهده کنید:

```
1
2 def main():
3     # This function acts as a coordinator that calls
4     # all needed functions to read data from sensor
5     # and decide to turn on the correct light based
6     # on the position of the detected living thing.
7
8     t0 = time.time()
9     sensor = []
10
11     while (time.time() - t0) < 1:
12         sensor = amg8833_i2c.AMG8833(addr=0x69)
13
14     pixels_resolution = (8, 8)
15     pixels_to_read = 64
16
17     while True:
18         # Read serial data from sensor
19         status, pixels = sensor.read_temp(pixels_to_read)
20         if status:
21             continue
22
23         # The temperature of the thermistor used in the sensor
24         T_thermistor = sensor.read_thermistor()
25
26         # Trasnforming sensor serial data to an 8x8 numpy array
27         pixels_resaped = np.reshape(pixels, pixels_resolution)
28
29         # Generate all 2x2 submatrices
30         submatrices = generate_submatrices(pixels_resaped)
31
32         # Turn on/off the lights based on the values of sensor's data
33         decide_lights(submatrices)
```

```

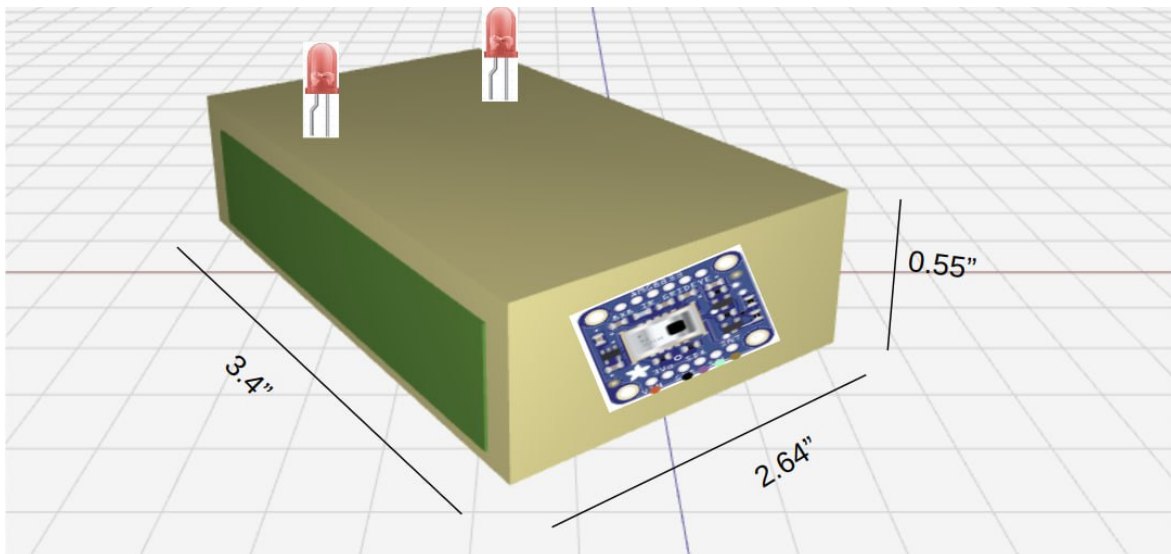
34
35 if __name__ == '__main__':
36     main()

```

در این تابع ابتدا دوربین حرارتی اتصالش برقرار شده سپس همواره ۶۴ پیکسل از آن خوانده می‌شود و به صورت یک ماتریس ۸ در ۸ تبدیل می‌شود. سپس ماتریس‌های ۲ در ۲ تولید شده از آن به تابع decide_lights داده می‌شود تا تصمیمگیری‌های مربوط به چراغ‌ها را انجام دهد. این فرایند تا زمان خرابی سیستم یا قطع آن توسط کاربر انجام خواهد شد.

۳-۱-۴ بسته بندی

به علت فرم ساده سیستم با یک فضای مکعبی شکل که یک دستگاه رزبری پای در داخل آن موجود است و یک سنسور به عنوان ورودی سیستم و دو چراغ به عنوان خروجی سیستم پکیجینگ سیستم ما انجام کامل می‌شود.



شکل ۳-۵: بسته بندی دستگاه

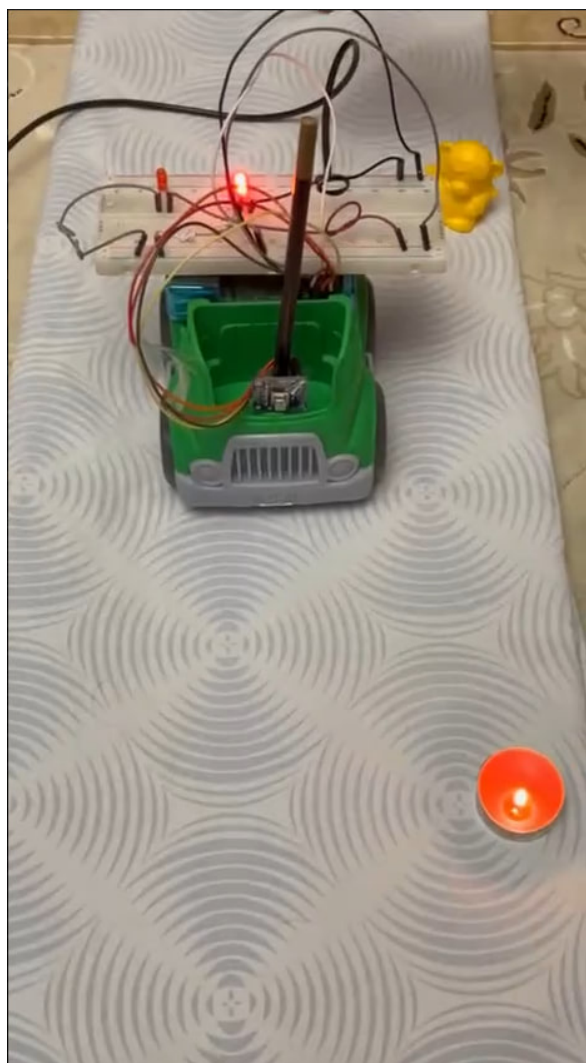
فصل ۴

خروجی

در این قسمت خروجی دستگاه را طی چند اجرای نمونه بررسی می‌کنیم.

۴-۱ تست در روشنایی

در تصویر زیر می‌توانید مشاهده کنید که چرا سمت چپ خودرو در حضور یک منبع حرارتی جلوی سنسور روشن شده است. همچنین این منبع در سمت چپ خودرو قرار دارد.



شکل ۴-۱: تست در روشنایی

در زیر می‌توانید مقداری که اجرای کد، در خروجی استاندارد (stdout) خود نمایش می‌دهد قبل و بعد از روشن شدن چراغ مشاهده کنید.

آرایه خروجی زیر، قبل از قرار گرفتن شمع در برابر خودرو است. همانطور که می‌بینید تمام دماهای نشان داده شده برای هر پیکسل، تقریباً برابر همان دمای محیط است.

```

1 [ [23.1 24.4 24.4 23.2 24.7 23.6 23.8 23.8]
2 [24.1 24.4 24.9 23.7 24.8 23.5 23.9 23.3]
3 [23.6 24. 24.7 24.3 24.7 24.9 24.7 24. ]
4 [24.9 23.2 23.7 24.9 24.3 23.6 23.9 23.7]
5 [23.3 24. 23. 24.9 24.8 24.2 23.7 23.9]
6 [23.8 23.6 23. 23.3 24.9 24.1 24.6 23.6]
```

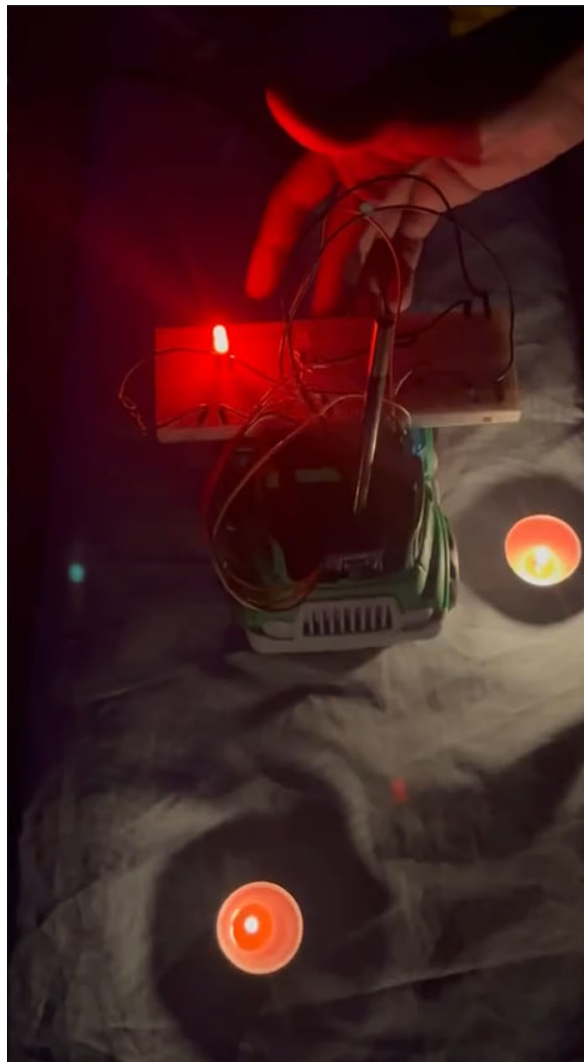
7 [23.3 23.5 24.8 23.3 23.3 24.2 24. 24.9]
 8 [23. 23.2 24.7 23. 24.3 23.9 23. 24.6]]

اما پس از قرار گیری منبع گرما در برابر خودرو، تغییری ملموس در سمت راست ماتریس خروجی مشاهده می‌شود که نشان از افزایش دما در ناحیه خاصی از محیط دارد. این تغییر دما به احتما قوی می‌تواند مربوط به حضور یک موجود زنده در جلوی خودرو باشد. پس در همین زمان است که دستگاه با روشن کردن چراغ سمت چپ، به راننده هشدار می‌دهد که موجودی زنده در سمت چپ او قرار دارد.

1 [[23.8 24.8 24.2 24.4 23.4 39.6 40.4 40.2]
 2 [23.3 23.4 24.4 23.4 23.5 40.4 39.9 39.9]
 3 [24.6 23.8 23.6 24.2 24.8 39.2 40.4 39.]
 4 [23. 24.2 24.9 24.5 23. 47.3 39.2 49.8]
 5 [23.5 24. 24.1 23.8 24.5 49.9 40.2 48.5]
 6 [23.4 24.2 24.4 24.4 23.4 39. 40.9 39.3]
 7 [23.6 23.6 23.7 24.2 23.2 40.6 39.9 39.5]
 8 [23.5 24.4 23.5 24.8 23.1 40.3 39.7 40.1]]

۲-۴ تست در تاریکی

در تصویر زیر می‌توانید مشاهده کنید که چرا سمت راست خودرو در حضور یک منبع حرارتی جلوی سنسور روشن شده است. همچنین این منبع در سمت راست خودرو قرار دارد.



شکل ۴-۲: تست در تاریکی

در زیر می‌توانید مقداری که اجرای کد، در خروجی استاندارد (stdout) خود نمایش می‌دهد قبل و بعد از روشن شدن چراغ مشاهده کنید.

آرایه خروجی زیر، قبل از قرار گرفتن شمع در برابر خودرو است. همانطور که می‌بینید تمام دماهای نشان داده شده برای هر پیکسل، تقریباً برابر همان دمای محیط است.

```

1 [23.1 23. 23.7 24.3 24.1 24.7 24.2 23.4]
2 [24.2 23.4 24. 24.5 24.7 23.1 23.9 24.9]
3 [24.4 23.3 24.9 24.9 24.4 24.9 23.6 23.1]
4 [24.4 23.7 23.4 24.7 23.9 24.3 23.6 23.3]
5 [24.4 24.3 23.3 23.1 24.2 23.9 23.5 23.4]
6 [23.5 23.2 24.8 23.8 23.5 23.7 23.7 24.1]

```


7 [23.6 23.7 23.5 24.5 23.1 23.8 24.6 23.]
 8 [24.1 24.2 24.2 24.4 23.2 24.1 24.4 24.]]

اما پس از قرار گیری منبع گرما در برابر خودرو، تغییری ملموس در سمت چپ ماتریس خروجی مشاهده می‌شود که نشان از افزایش دما در ناحیه خاصی از محیط دارد. این تغییر دما به احتما قوی می‌تواند مربوط به حضور یک موجود زنده در جلوی خودرو باشد. پس در همین زمان است که دستگاه با روشن کردن چراغ سمت راست، به راننده هشدار می‌دهد که موجودی زنده در سمت راست او قرار دارد.

1 [[45.1 45. 45.7 46.3 24.1 24.7 24.2 23.4]
 2 [46.2 45.4 46. 46.5 24.7 23.1 23.9 24.9]
 3 [46.4 45.3 46.9 46.9 24.4 24.9 23.6 23.1]
 4 [51.4 50.7 45.4 46.7 23.9 24.3 23.6 23.3]
 5 [54.4 53.3 45.3 45.1 24.2 23.9 23.5 23.4]
 6 [45.5 45.2 46.8 45.8 23.5 23.7 23.7 24.1]
 7 [45.6 45.7 45.5 46.5 23.1 23.8 24.6 23.]
 8 [46.1 46.2 46.2 46.4 23.2 24.1 24.4 24.]]

فصل ۵

قیمت

یکی از مسائل مهم در طراحی محصول قیمت آن است. البته با توجه به این که این محصول به صورت نمونه اولیه طراحی شده است، طبیعتاً قیمت تمام شده آن از محصولی که بخواهد تولید عمده بشود بالاتر خواهد بود. در جدول ۵-۱ قیمتی تخمین زده شده و هزینه نهایی پروژه آورده شده است.

ردیف	قطعه	قیمت تخمینی	قیمت نهایی
۱	Raspberry PI 3B	۳۱۰۰	۰
۲	AMG8833	۱۱۰۰	۱۱۰۰
۳	Flash USB	۱۰۰	۱۳۰
۴	LED	۲۵	۰
۵	Board	۲۵	۰
۱۸	Total	۴۳۵۰	۱۲۳۰

جدول ۵-۱: جدول قیمت محصول (قیمت‌ها به واحد هزار تومان)

فصل ۶

جمع‌بندی

در این پروژه به پیاده‌سازی سیستم دید در شب اتومبیل پرداختیم که به راننده برای جلوگیری از سانحه در محیط‌های تاریک کمک می‌کند. در این سیستم با استفاده از سنسور دوربین حرارتی که از طریق جذب مادون قرمز عمل می‌کند و همچنین واحد پردازشی رزبری‌پی، حضور یک موجود زنده جلوی دید راننده را تشخیص و به کمک چراغ‌ها به اون هشدار دادیم.

در کنار طراحی کلی و نحوه پیاده‌سازی، تمام کدهای مربوط به این محصول نیز به صورت متن باز در گیت‌هاب پروژه قراره گرفته است و هرکسی می‌تواند با کمک این کدها به بهبود و ارتقاء این سیستم کمک کند و یا با الهام از آن، پیاده‌سازی خاص خودش را ارائه دهد.

آنچه محصول ما را از دیگر محصولات متمایز می‌کند قیمت بسیار پایین تمام‌شده‌ی آن است که می‌توان حتی بیشتر آن را کاهش داد. به عنوان مثال با استفاده از آردوینو به جای رزبری و همچنین استفاده از چراغ‌های خودرو به جای چراغ‌های مجزا برای سیستم. حتی می‌توان در هنگام پیاده‌سازی این سیستم برای خودرو، کد آن را به عنوان یک نرم افزار در اختیار کامپیوتر خودرو قرار داد و تمام مسئولیت‌های رزبری را به کامپیوتر اتومبیل سپرد.