PROJEKAT IZ   
SENZORA I AKTUATORA

NAZIV PROJEKTA:

Stabilizator za kameru po dve ose.

TEKST ZADATKA:

Ručni stabilizator kamere.

MENTOR PROJEKTA:

Prof. dr Bajić Jovan

PROJEKAT IZRADILI:

Ubavić Petar EE 156/2019

Ikić Jovan EE 195/2019

DATUM ODBRANE PROJEKTA:

upisati najpribližniji poznati datum u trenutku štampanja konačne verzije

Sadržaj

1. Uvod 3

2. Analiza problema 4

3. Proračuni i simulacioni rezultati 5

3.1 Proračun za veličinu i snagu motora 5

4. Opis detalja predmeta projekta 6

4.1. MPU6050 žiroskop i akcelerometar 6

4.2. Servo motori 8

4.3. Mikrokontroleri 9

4.4. Slika uređaja u krajnjem stadijumu izrade 10

5. Rezultati testiranja 12

5.1 Rezultati testiranja žiroskopa 12

6. Zaključak 13

7. Literatura 14

# Uvod

Tema projekta je izrada ručnog stabilizatora kamere, koji se koriste prilikom snimanja filmova ili muzičkih spotova. Svrha uređaja je da ublaži nagle pokrete snimatelja. Npr. Hodanje ili trčanje tako da se na samom snimku ne vide “trzaji”, koji tom prilikom nastaju. Takođe jedna od potencijalnih primena ovakvog uređaja je na dronovima i bespilotnim letelicama, kako bi se ublažile vibracije i turbulencije koje nastaju prilikom rada i letenja same letelice. Na tržištu već postoje ovakvi uređaji koji mogu da stabilizuju po sve tri ose. Uređaj kojim se bavimo u ovom projektu može da stabilizuje po dve ose (X, Y). Na slici 1. Može se videti već postojeći ručni stabilizator kamere. U poglavlju 2 rečeno je nešto više o cilju projekta kao i ukratko komponente koje su korišćene. Proračuni za dimenzije aktuatora su dati u trećem poglavlju. Detaljniji opis korišćenih komponenti, kao i slike gotovog uređaja dati su u četvrtom poglavlju.

**  
*Slika 1. profesionalni stabilizator kamere [1]*

# Analiza problema

Glavni cilj ovog projekta je razvoj uređaja koji će, platformu na kojoj se nalazi kamera držati uvek u vodoravnom položaju, iako se sam uređaj naginje tj. menjamo ugao držanja. Na samom uređaju nalaze se integrisani žiroskop i akcelerometar MPU6050. Ovaj čip daje informaciju o položaju uređaja mikrokontroleru, na osnovu ovih informacija mikrokontroler upravlja servo motorima koji treba da drže kameru stabilnom. Servo motori korišćeni u ovoj realizaciji imaju oznaku S90. Ovi servo motori su korišćeni zbog svoje kompaktnosti i zbog male strujne potrošnje, tako da se mogu spojiti direktno na izlazne pinove mikrokontrolera.

Ovakav izbor motora nebi bio adekvatan prilikom realizacije stabilizatora za profesionalnu upotrebu jer opterećenje, pod kojim motori mogu da rade, nije dovoljno veliko za profesionalne kamere koje mogu da teže i do 650 grama. Još jedna mana ovih motora je ta što su ograničeni pozicijom do koje mogu da odu. Tako da bi za uglove veće od 90 stepeni motor nebi mogao da drži kameru stabilnom. Mnogo bolji izbor motora bi bio takozvani “gimbal” motor. Ovo je DC motor bez četkica. Mana ovih motora je što su skupi i upravljanje njima je komplikovanije jer zahtevaju dodatna drajverska kola, zbog velike strujne potrošnje koja ide i do nekoliko ampera u zavisnosti od veličine i snage samog motora. Takođe potreban je dodatni senzor za merenje tačnog položaja rotora. U tu svrhu se najčešće koriste senzori na bazi holovog efekta. Da bi ovaj senzor radio, na rotor motora se mora postaviti stalni magnet. Prednosti ovakvih motora jesu veoma male vibracije koje stvara prilikom rada, kao i “glatki” pomeraji rotora i veće opterećenje koje mogu da podnesu.

# Proračuni i simulacioni rezultati

## 3.1 Proračun za obrtni moment motora

Snagu i veličinu motora možemo da proračunamo tako što ćemo uzeti najzahtevniji položaj u kom se motor može naći, po pitanju opterećenja koje mu se nalazi na vratilu. Treba uzeti u razmatranje maksimalno opterećenje na vratilu motora. To će se desiti kad rotiramo uređaj oko X ose za približno 90 stepeni, zato što tada najopterećeni motor nosi jednu platformu i jedan servo motor. Takođe nam je od značaja i brzina odziva motora, motor mora biti dovoljno brz da isprati da isprati naše pomeranje. U suprotnom platforma nebi bila stabilna. Brzina odziva našeg motora je 0.14 sec/60 stepeni (4.8V). Ovakva brzina nam odgovara, ali poželjno je da ovo vreme što manje. Što se tiče obrtnog momenta, servo motor je u suštini običan DC motor sa četkicama koji ima povratnu spregu. Proračun za obrtni moment je dat u jednačini 1.

*(1)*

Gde je τ obrtni moment, F sila kojom delujemo na ruku, a to je u stvari težina tereta, lruke dužina ruke a ugao između vektora sile i vektora kraka poluge. U našem uređaju je to 90 stepeni pa se proračun svodi na:

(2)

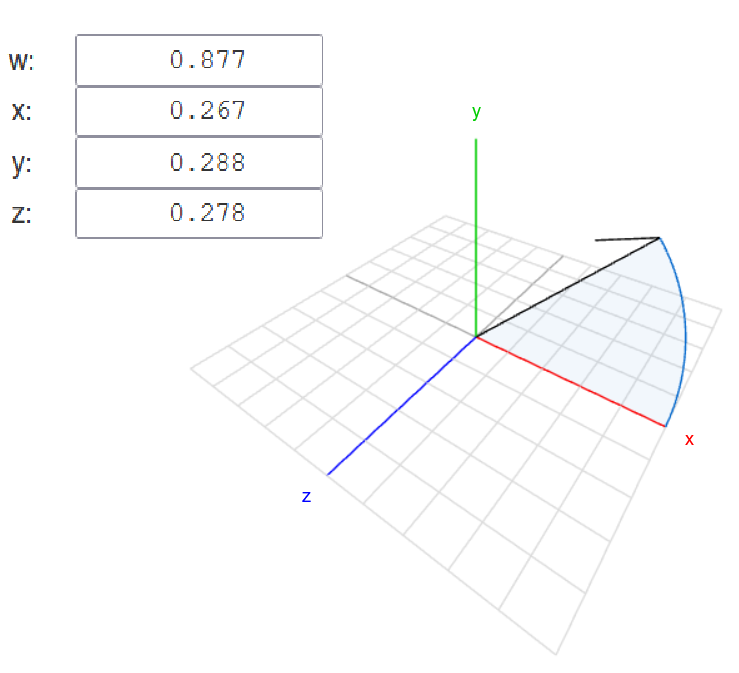
Dužina ruke kojom pomeramo platformu je oko 8cm, masa tereta koji će biti balansiran je približno 300 grama plus 55 grama kolko teži jedan servo motor (SG5010), koji je optimalan za izbor za ovu primenu. Težina tj sila koja deluje na platformu, a samim tim i na motore, je proračunata u jednačini (3).

(3)

Najbolji odabir motora bio bi Maxon 148867. Ovaj motor ima nominalni obrtni moment od 0.177 Nm i nominalnu brzinu obrtanja vratila od 6940 obrtaja po minuti. Sam motor ima masu od 480 grama. Ovo je običan DC motor sa četkicama koji radi pri naponu od 24V i ima strujnu potrošnju od 6A. Za upravljanje ovim motorm treba nam dodatni drajver (H most), pošto su napon i strujna potrošnja preveliki za arduino mikrokontroler. Uzimajući u obzir masu samog motora i još dodatno masu kamere koju bi trebalo da drži, možemo proračunati maksimalni obrtni moment, kojim će motor biti opterećen, koristeći jednačine (3) i (2). Dobijamo da maksimalni obrtni moment kojim će vratilo motora biti opterećeno iznosi 1.2 Nm zaokružimo to na 2 Nm zbog sigurnosti. Jasno vidimo da to premašuje mogućnosti našeg motora. Zato je potrebno da na vratilo motora dodamo redukciju koja će usporiti brzinu obrtanja motora za 11.3 puta, a povećaće njegov obrtni moment.

## Proračun ugla

Za informaciju o uglu koristi se gotova funkcija (dmpGetYawPitchRoll) iz Arduino biblioteke: MPU6050\_6Axis\_MotionApps20.h. Ova funkcija kao argumente prima kvaternion vektor i gravitacioni vektor, na osnovu toga, i pomoću Atan2 funkcije proračunava ugao pod kojim se nalazi senzor.



*Slika 3.1: Kvaternion vektor[8]*

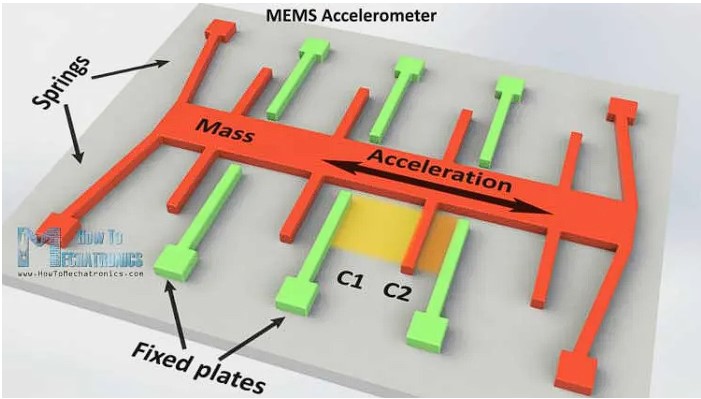
# Opis detalja predmeta projekta

## MPU6050 žiroskop i akcelerometar

Princip rada MPU6050 žiroskopa i akcelerometra zasniva se na radu MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) senzora. MPU6050 u sebi ima više senzora, u ovom projektu od značaja su žiroskop i akcelerometar.

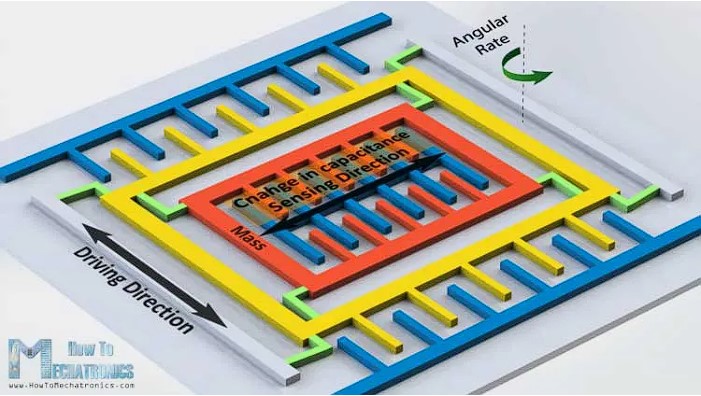
Princip rada akcelerometra bazira se na kondenzatorima sa promenljivom kapacitivnošću.

Akcelerometar se sastoji od fiksnih elektroda i mase koja se nalazi na mikro oprugama i može da se kreće. Prilikom ubrzanja tela, elektrode mase se kreću i sa fiksnim elektrodama stvaraju promenljivi kondenzator. Ova promena u kapacitivnosti biće srazmerna ubrzanju tela. Na slici 4.1 možemo videti unutrašnju mikrostrukturu akcelerometra. MPU6050 je digitalni senzor

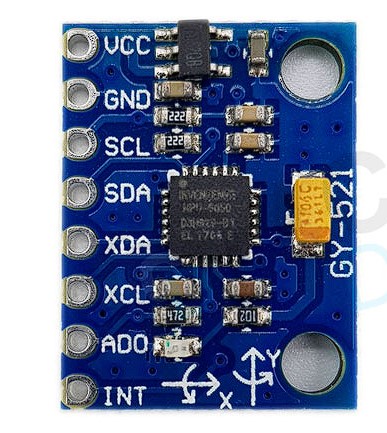
  
 *Slika 4.1: unutrašnja struktura akcelerometra[2]*

Žiroskop dobijamo kada bi strukturu akcelerometra postavili na platformu koja osciluje.

Tada bi se, u slučaju ugaonog pomeraja usled Koriolisovog efekta, masa akcelerometra pomerila i menjala bi kapacitivnosti kondenzatora koji se formiraju između fiksnih elektroda i elektroda mase koja se pomera. Na slici 4.2 može se videti unutrašnja struktura žiroskopa.



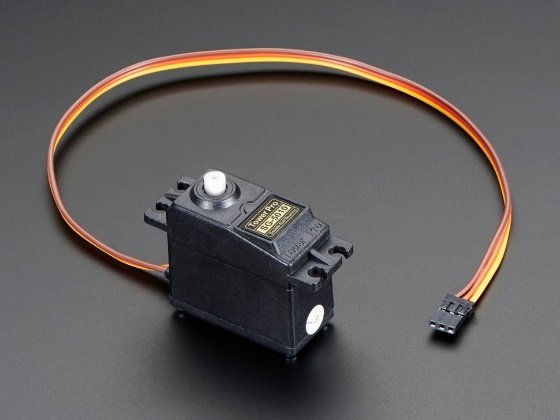
*Slika 4.2: Unutrašnja struktura žiroskopa [3]*

*Slika 4.3: MPU6050 žiroskop i akcelerometar* *[4]*

## Servo motori

Servo motori korišćeni u ovom projektu su oznake S90. Ovi motori mogu da se rotiraju 180 stepeni i mogu da ponesu teret od 9g na udaljenosti od 1 cm od ose motora. Na slici 4.4 vidi se servo motor korišćen u realizaciji projekta.

Servo motori su motori sa povratnom spregom. Povratna sprega može biti po položaju, linearnom ili ugaonom, po brzini ili ubrzanju. Servo motor se sastoji od motora, koji može biti sa četkicama (BDC) ili bez četkica (BLDC). Zatim servo sadrži senzor ugaonog ili linearnog položaja, kao i kondicioner koji služi za obradu signala sa senzora. Senzor može biti različitih tipova u zavisnosti od toga kolika nam tačnost treba. S90 (korišćen u ovom projektu) servo koristi običan potenciometar kao senzor položaja. Potenciometar je realizovan kao naponski razdelnik, i spojen je na vratilo motora. Kada se pomera položaj motora, menja se njegova otpornost kao i napon na njemu. Najčešće servo motorima upravljamo sa mikrokontrolerima. Pomoću mikrokontrolera na ulaz za kontrolu motora šaljemo PWM signal. U zavisnosti od faktora ispune signala motor se rotira na odgovarajuću poziciju. Ukoliko bi želeli da umesto servo motora koristimo motor sa četkicama (BDC), potrebne su nam dodatne periferije za upravljanje. Za slučaj BDC motora može se koristiti „H“ most, a u slučaju BLDC (DC motor bez četkica) motora koristi se puni most sa šest prekidača. Na vratilo motora se povezuje reduktor koji na račun brzine povećava obrtni moment. Za uređaj koji bi stabilizovao većinu profesionalnih kamera možemo koristiti servo motor SG5010.

*Slika 4.9: Servo motor SG90 [5] Slika 4.10: Servo motor SG5010[7]*

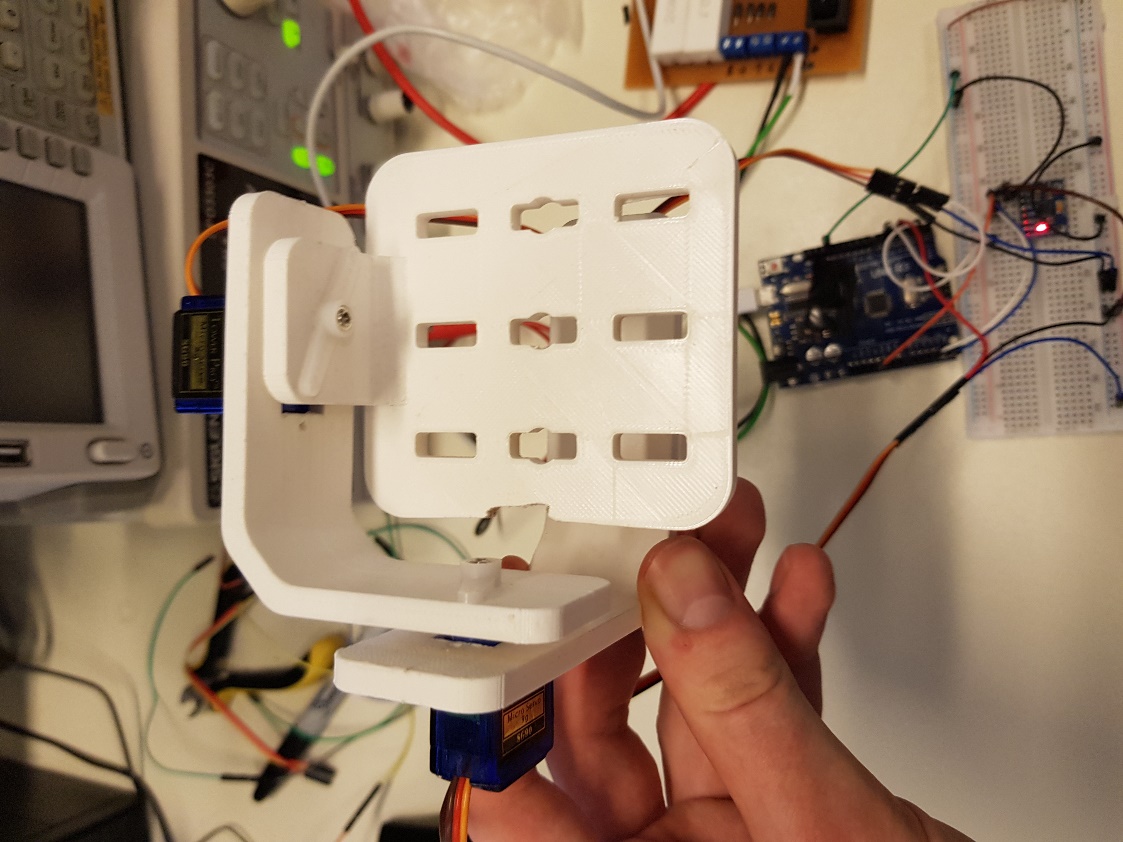
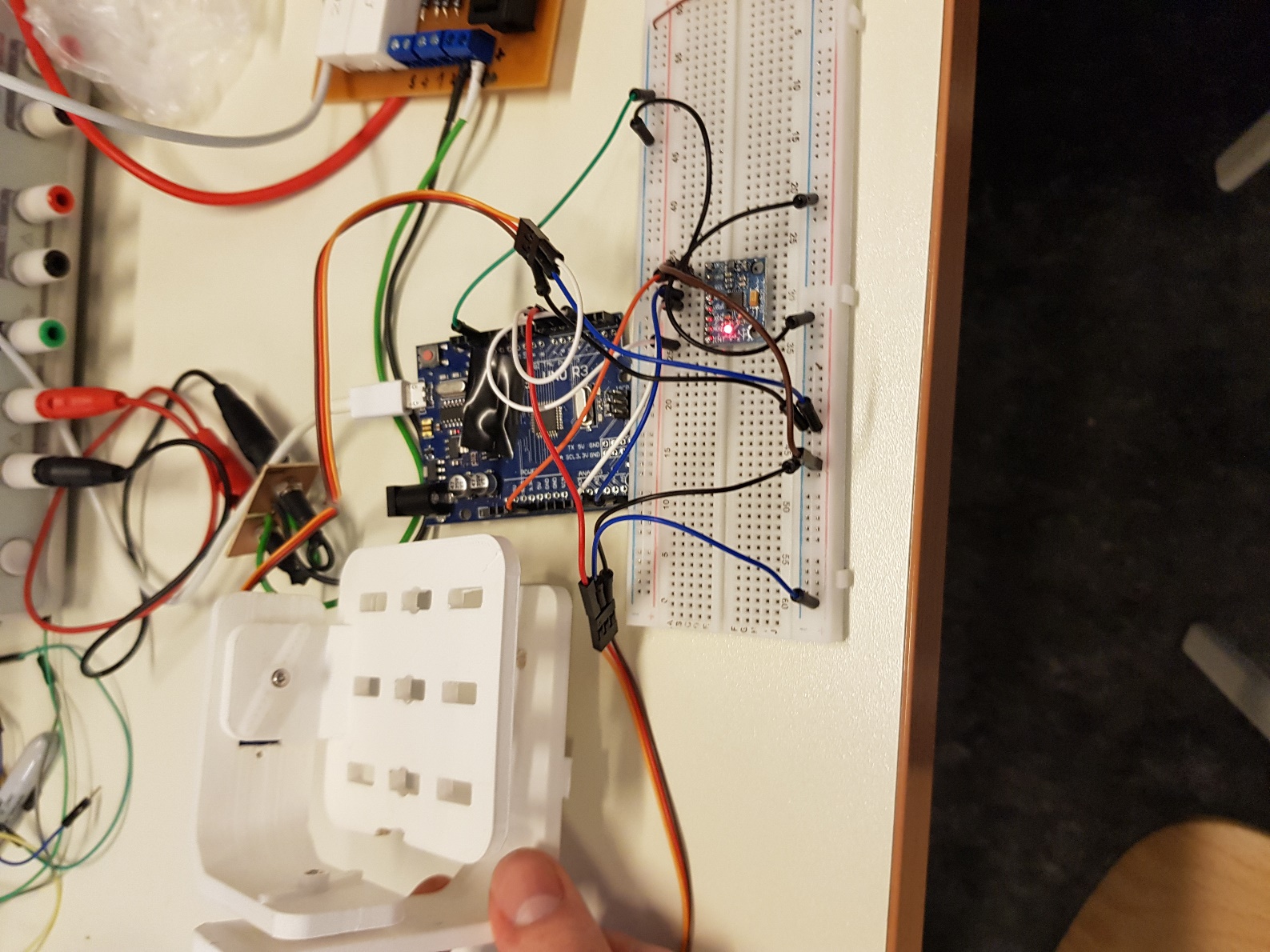
## Mikrokontroleri

Za generisanje upravljačkog PWM signala, kao i za obradu signala sa senzora, korišćen je mikrokontroler. Na raspolaganju imamo dosta različitih mikrokontrolera (npr. STM32, PIC, ARDUINO). U realizaciji ovog projekta korišćen je Arduino UNO mikrokontroler najpre zbog pristupačne cene kao i same dostupnosti kontrolera. Pored toga arduino je jednostavan za rad jer u sebi sadrži biblioteke za rad sa servo motorima i MPU6050 senzorom.

  
*Slika 4.11: Arduino UNO mikrokontroler [6]*

## Slika uređaja u krajnjem stadijumu izrade

Izgled sklopljenog uređaja dat je na slici 4.11. Iako ovakav uređaj suštinski funkcionalan, treba napomenuti da za “pravi gimbal” treba izraditi i dršku ili više njih, na koju će biti postavljen senzor MPU6050.

  
 *Slika 4.12: Izgled gotovog uređaja*

*Slika 4.13: Izgled gotovog uređaja*

# Rezultati testiranja

## 5.1 Rezultati testiranja žiroskopa

U daljem tektu možemo videti tabelu vrednosti ugla pomeraja servo motora, u zavisnosti od pomeraja žiroskopa izraženim u stepenima. Servo motor 1 pomera platformu oko Y ose, a servo motor 2 pomera platformu oko X ose. Na grafikonu 1 se može videti problem koji se javlja kada uređaj nagnemo blizu 90 stepeni. Servo motor 2 ode na svoj maksimalni položaj, iako nebi trebao značajnije da se pomera.

|  |  |
| --- | --- |
| **Servo motor 1** | **Servo motor 2** |
| -1.68 | 0.78 |
| 8 | 0.73 |
| 30.9 | 0.66 |
| 45.3 | 0.6 |
| 61 | 0.51 |
| 70 | 0.4 |
| 75 | 0.05 |
| 80 | -0.3 |
| 85 | -1 |
| 87 | -3.5 |
| 89.5 | -15 |
| 90.1 | -90 |

Grafikon 1

# Zaključak

Projekat je u najvećoj meri realizovan onako kako je zamišljeno. Platforma koja treba da nosi kameru ili neki teret, prati pomeraj oko X ili Y koji mi napravimo, tako što stoji vodoravno. Postoje ograničenja u vidu ugla za koji maksimalno možemo pomeriti uređaj. Maksimalni mogući ugao pomeraja je oko 87 stepeni. Ukoliko bi se prešao ovaj ugao, recimo oko Y ose, motor koji je zadužen za pomeraj oko X ose bi otišao na svoj maksimum od 90 stepeni. Ovaj problem je prikazan na grafikonu 1 u 3. poglavlju. Takođe uređaj je ograničen i maksimalnim mogućim uglom na koji motori mogu da se okrenu, a to je 90 stepeni. Profesionalni “gimbali” imaju i treću osu pomeraja tzv “Yaw” tj pomeraj oko Z ose. Iako žiroskop ima mogućnost detekcije pomeraja po Z osi, u ovom projektu nije korišćena kako bi se smanjio broj potrebnih aktuatora, i kako bi konstrukcija uređaja bila jednostavnija.

Što se tiče same konstrukcije uređaja, ona je odštampana na 3D štampaču. Sastoji se od jedne platforme i dve “ruke” od kojih je jedna spojena za jedan servo i druga koja služi da drži taj servo motor. Drugi servo je spojen na platformu.

Iako ovaj uređaj radi, može se još dosta toga uraditi da bi se unapredio. Npr možemo dodati i treći aktuator, koji bi pomerao konstukciju oko Z ose. Takodje može se ugraditi sistem koji omogućava operateru da kontroliše kameru pomoću dugmića koji se nalaze na dršci, i nisu deo originalne kamere.

# Literatura

<https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyrocope-magnetometer-arduino/> [2] [3] datum pristupa sajtu: 01. Mart 2023.

<https://www.zhiyun-tech.com/en/product/weebills?type=website&page=header&source=weebills>[1]  
datum pristupa sajtu: 18. Februar 2023.

<https://www.optolab.ftn.uns.ac.rs/images/NASTAVA/SIA/files/predavanja/10-hemijski-i-mems-senzori.pdf> datum pristupa sajtu: 01. Mart 2023.

<https://www.optolab.ftn.uns.ac.rs/images/NASTAVA/SIA/files/predavanja/9-servo-i-koracni-motori.pdf> datum pristupa sajtu: 01. Mart 2023.

<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mpu6050-module-with-arduino> [4] datum pristupa sajtu: 28. Mart 2023.

<https://www.diyelectronics.co.za/store/servos/63-towerpro-micro-9-gram-hobby-servo-sg90.html> [5] datum pristupa sajtu: 28. Mart 2023.

<https://datasheetspdf.com/pdf/791970/TowerPro/SG90/1>  
datum pristupa sajtu 28. Mart 2023.

[https://www.adafruit.com/product/155 [6](https://www.adafruit.com/product/155%20%5b6)] datum pristupa sajtu 30. Maj 2023.

<https://www.quaternions.online> [8] datum prstupa sajtu 30. Maj 2023.