

3-osni gimbal za kameru upravlján Arduino mikrokontrolerom

3-axis camera gimbal controlled by Arduino microcontroller

¹Matija Mavrinac, ^{2*}Vesna Krajčí, ³Ivan Grakalić

Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51000 Rijeka

e-mail: ¹mmavrinac@veleri.hr, ^{2*}vkrajci@veleri.hr, ³igrakal@veleri.hr

Sažetak: *U radu je prikazan projekt izrade i primjene 3-osnog gimbala za kameru koji koristi Arduino mikrokontroler za upravljanje koračnim motorima s ciljem izvršenja unaprijed definiranih pokreta. Izrađeni gimbal omogućuje rotaciju kamere oko dvije osi i pomak uzduž treće, tj. zakretanje, nagnjanje i klizanje kamere. Gimbal se sastoji od 20 komada 3D ispisanih plastičnih dijelova, Arduino Nano mikrokontrolerske pločice, pločice za proširenje Arduino CNC štit V4, tri koračna motora Nema17 17HS6002-N27B, tri upravljačke pločice TMC2208, tri Hallova senzora A3144, HC-06 Bluetooth bežičnoga modula, istosmjernoga pretvarača za smanjenje napona LM2596S, a može se proširiti s bežičnim internetskim modulom ESP8266. Svi navedeni dijelovi gimbala su detaljno opisani u radu. Osim toga u sustavu gimbala treba upotrijebiti šest neodimijskih magneta, aluminijski profilni V-klizač 2040 duljine 80 cm, 2GT zupčasti remen i zupčanik s 36 zubaca. Opisan je način spajanja dijelova sustava, programiranje i upravljanje sustavom. Sustavom se upravlja putem računala, žično ili bežično, preko Arduino sučelja ili aplikacije. Gimbal je testiran i pokazao je veliku točnost pokretanja kamere. Predstavljeni gimbal za kameru je znatno jeftiniji od sličnih profesionalnih rješenja. Sustav je moguće dodatno unaprijediti kako bi se omogućilo bežično upravljanje pomoću pametnoga telefona.*

Ključne riječi: *gimbal, rotacije kamere, Arduino mikrokontroler, koračni motor*

Abstract: *The paper presents a project of building and application of a 3-axis camera gimbal that uses an Arduino microcontroller to control stepper motors in order to perform predefined movements. The created gimbal allows the camera to rotate around two axes and move along the third, i.e. pan, tilt and slide. The gimbal consists of 20 pieces of 3D*

printed plastic parts, an Arduino Nano microcontroller board, an Arduino CNC shield V4 expansion board, three Nema17 17HS6002-N27B stepper motors, three TMC2208 stepper motor driver chips, three A3144 Hall effect sensors, a HC-06 Bluetooth wireless module, a LM2596S DC-DC step-down converter, and can be expanded with an ESP8266 Wi-Fi module. All listed gimbal parts are described in detail in the paper. In addition, the gimbal system requires six neodymium magnets, a 80 cm long aluminium profile V-slot 2040, a 2GT timing belt and a 36-tooth gear. The process of system assembling, programming and controlling is described. The system is controlled by computer, wired or wirelessly, by Arduino interface or applications. The gimbal has been tested and has shown high accuracy in camera movement. The presented camera gimbal is significantly cheaper than similar professional solutions. The system can be further improved to enable wireless control by smartphone.

Key words: *gimbal, camera rotations, Arduino microcontroller, stepper motor*

1. Uvod

U filmskoj industriji često se koriste razni mehanički sustavi za postizanje željenoga kuta kamere i druge manipulacije kadra. Gimbal s dvije ili tri osi je jedan od takvih sustava koji omogućuje mirne i precizne, kao i brze pokrete za potrebe snimanja uživo, sa zaustavljanjem vremena ili zaustavljanjem pokreta (Gimbal, 2025.).

Komercijalni sustavi za manipulaciju kamerom su profesionalni i skupi sustavi, što se može vidjeti na primjeru bežične glave za kameru Five Second Head koja košta 1300 EUR (Senna, 2025.). Gimbal za kameru prikazan u ovom radu predstavlja prijenosni i autonomni sustav za videosnimanje i fotografiranje, a izrađen je za manje od 135 EUR, ali je bio potreban pristup 3D printeru zbog izrade dijelova od kojih se gimbal sastoji.

Slijedi objašnjenje izbora sklopovlja potrebnoga za izradu vlastitoga gimbala.

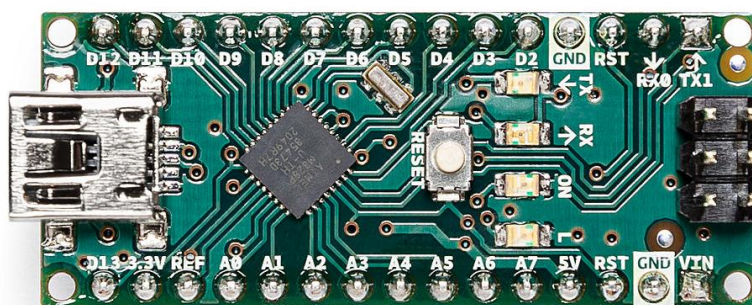
2. Sklopovlje

Gimbal se sastoji od Arduino Nano mikrokontrolera, pločice za proširenje Arduino CNC štit V4, tri koračna motora Nema17 17HS6002-N27B, tri upravljačke pločice TMC2208, tri Hallova senzora A3144, HC-06 Bluetooth bežičnoga modula, istosmjernoga pretvarača za smanjenje napona LM2596S, a može se proširiti s bežičnim internetskim modulom ESP8266. Svi navedeni dijelovi gimbala su detaljno opisani u nastavku rada. Osim toga za sustav gimbala treba izraditi 20 komada 3D ispisanih plastičnih dijelova te upotrijebiti šest

neodimijskih magneta, aluminijski profilni V-klizač 2040 duljine 80 cm, 2GT zupčasti remen i zupčanik s 36 zubaca.

Za upravljanje gimbalom koristi se mala upravljačka pločica otvorenoga koda Arduino Nano (Slika 1) koja potječe iz 2008. godine i temelji se na ATmega328 mikrokontroleru s frekvencijom 16 MHz. Na pločici se nalazi 20 digitalnih ulazno-izlaznih nožica, 8 analognih nožica i mini USB priključak (Arduino, 2025.).

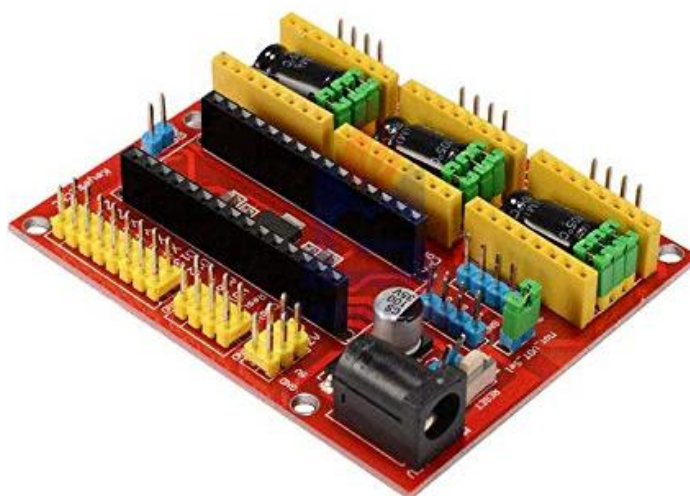
Slika 1. Upravljačka ploča Arduino Nano.



Izvor: https://store.arduino.cc/cdn/shop/files/A000005_03.front_1000x750.jpg

Pločica za proširenje Arduino CNC štit V4 (Slika 2) koristi se za upravljanje 3D pisačima i CNC uređajima. Ova verzija CNC štita podržava tri upravljačke pločice za upravljanje koračnim motorima, tj. jednu upravljačku pločicu manje od verzije V3, ali je kompaktnija i radi s mikrokontrolerom Arduino Nano, uz istosmjerni ulazni napon od 12 V od 36 V (Opencircuit, 2022.).

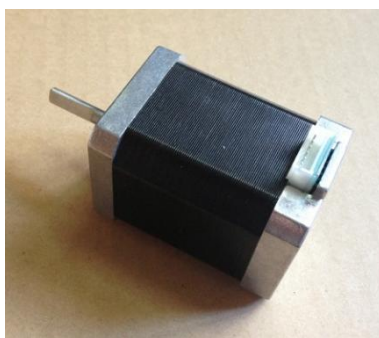
Slika 2. Arduino CNC štit V4.



Izvor: <https://m.media-amazon.com/images/I/41ZGa9v04QL.jpg>

Pogon gimbala omogućen je pomoću tri bipolarna koračna motora Nema17 17HS6002-N27B (Slika 3) duga 6 cm, s vrlo malim korakom od samo 1.8° i velikim zakretnim momentom 0.65 Nm pa su pogodni za projekte u kojima je potrebno postići velike zakretne momente i male brzine (RobotDigg, 2016.).

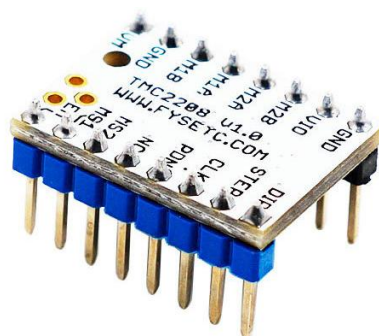
Slika 3. Koračni motor Nema17 17HS6002-N27B.



Izvor: <https://www.robotdigg.com/crab/image/2016/09/24/bc69fe09e922b5070e3c5ef5f1c04bf5.jpeg>

Za upravljanje koračnim motorima koriste se tri upravljačke pločice TMC2208 (Slika 4). To je vrlo tiha upravljačka pločica za koračne motore koja daje struju od 1.4 A ili najviše 2 A, radi pri ulaznom naponu od 5.5 V do 36 V te ima 256 mikrokoraka (Fysetc, 2021.).

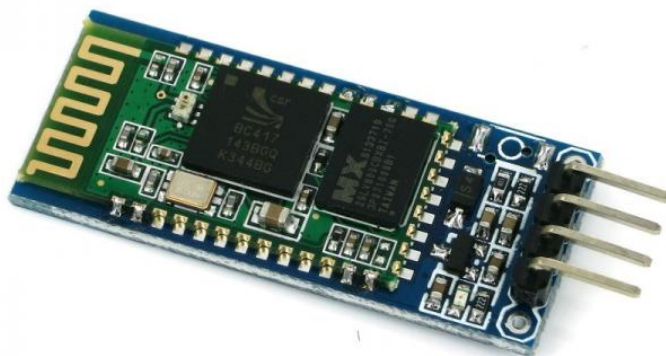
Slika 4. Upravljačka pločica TMC2208.



Izvor: <https://wiki.fysetc.com/images/TMC2208.jpg>

HC-06 (Slika 5) je Bluetooth modul stvoren za bežičnu komunikaciju na udaljenostima manjim od 100 m. Može se povezati s velikim brojem mikrokontrolera te radi na napajanju od 3.3 V do 6 V i u frekvencijskom području od 2.402 GHz do 2.480 GHz (RucksikaaR, 2021.). Koristi se za bežičnu komunikaciju s Arduino Nano mikrokontrolerom.

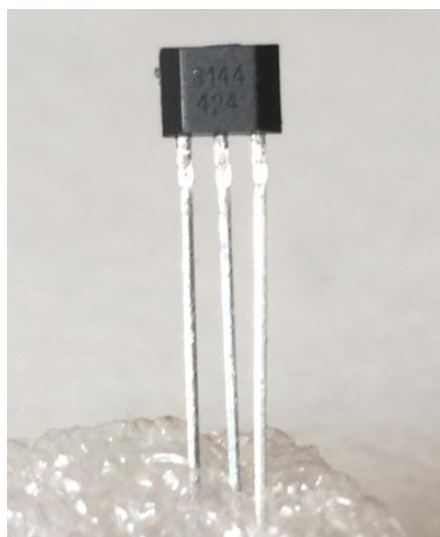
Slika 5. Bežični HC-06 Bluetooth modul.



Izvor: <https://ardubotics.eu/7259-thickbox/slave-wireless-hc-06-bluetooth-slave-module.jpg>

Tri Hallova senzora A3144 (Slika 6) služe za pozicioniranje gimbala u početnu poziciju te određivanje trenutnoga i krajnjega položaja gimbala. Senzori funkcioniraju na principu Hallovoga efekta, priključeni su na istosmjerni napon od 4.5 V do 28 V (najčešće 5 V) te registriraju promjenu magnetskoga polja u svojoj blizini (Components101, 2018.).

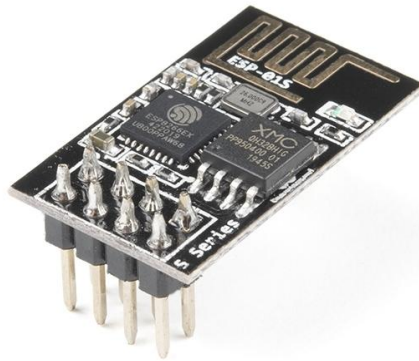
Slika 6. Hallov senzor A3144.



Izvor: <https://components101.com/sites/default/files/components/3144-Hall-Sensor.jpg>

Sustav gimbala se može proširiti bežičnim internetskim modulom ESP8266 (Slika 7) koji ima integriran TCP/IP protokol pa mikrokontroleru može omogućiti pristup bežičnom internetu. Kompatibilan je s Arduino Nano verzijom 3.0 i novijima te radi na 3.3 V umjesto standardnih 5 V istosmjernog napona pa je potrebno smanjiti napon (Sparkfun, 2022.).

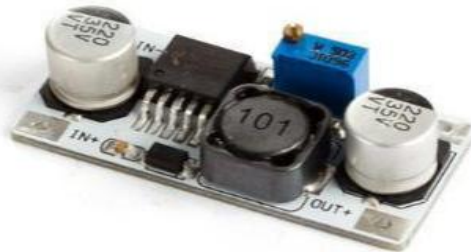
Slika 7. Bežični internetski modul ESP8266.



Izvor: https://www.sparkfun.com/media/catalog/product/cache/6481a7e801770ff450b11f3cf63d7638/1/7/17146-WiFi_Module_-_ESP8266__4MB_-01.jpg

U svrhu smanjenja napona većeg od 5 V, odnosno 3.3 V, može se koristiti istosmjerni pretvarač za smanjenje napona LM2596S proizvođača Velleman (Slika 8). Pogodan je jer je malen, jeftin i pouzdan (Velleman, 2019.).

Slika 8. Istosmjerni pretvarač za smanjenje napona Velleman LM2596S.



Izvor: https://cdn.velleman.eu/downloads/29/vma404_a4v02.pdf

Sljedi objašnjenje spajanja prethodno navedenih komponenti u složeni sustav gimnala.

3. Izrada gimnala za kameru

Gimbal je zakretni oslonac koji omogućuje rotaciju objekta oko osi. Kod kamere se želi postići rotacija oko dvije osi, tj. zakretanje i nagnjanje te linearni pomak uzduž treće osi, tj. klizanje. Svi ti pokreti trebaju biti glatki i točni pa je potrebno koristiti koračne motore s vrlo malim korakom, što je omogućeno s koračnim motorima Nema 17 17HS6002-N27B (Slika 3) jer imaju vrlo mali korak od 1.8° (RobotDigg, 2016.) koji se u mikrokoračnom načinu rada dijeli na 16 dijelova. Brzina zakreta koračnih motora u tom načinu rada je ograničena na 20 °/s za zakret, 15 °/s za nagnj i 20 mm/s za klizanje. U mikrokoračnom

načinu rada koračni motori su nečujni, dok se pri punoj brzini u polovičnom koraku koračni motori osjetno čuju.

Gimbal bi trebao nositi kameru maksimalne mase 1 kg jer pri težoj kameri može doći do proklizavanja koračnih motora ili do zastoja budući da koračni motori nemaju dovoljno snage za manipulaciju teretom.

Gimbal može napajati baterija istosmjernoga napona 12 V. S baterijom kapaciteta 1000 mAh sustav bi trebao raditi oko 1 h. U programskom kôdu je implementirana funkcija koja omogućuje ispis potrošnje baterije na grafičkom sučelju računala.

Nakon provedenoga internetskoga istraživanja izabran je dizajn gimbala sličan dizajnu koji je osmislio korisnik Isaac Chasteau na platformi github.com (Chasteau, 2021.). Tri koračna motora smještena su na glavi gimbala gdje se nalaze sve elektroničke komponente. Glava homogeno klizi po profilnom klizaču što kontrolira jedan koračni motor, a druga dva omogućuju zakretanje i naginjanje. Na taj način gimbal ima kontrolu nad kamerom po sve tri osi x, y i z (Slika 9).

Slika 9. Izrađeni gimbal.

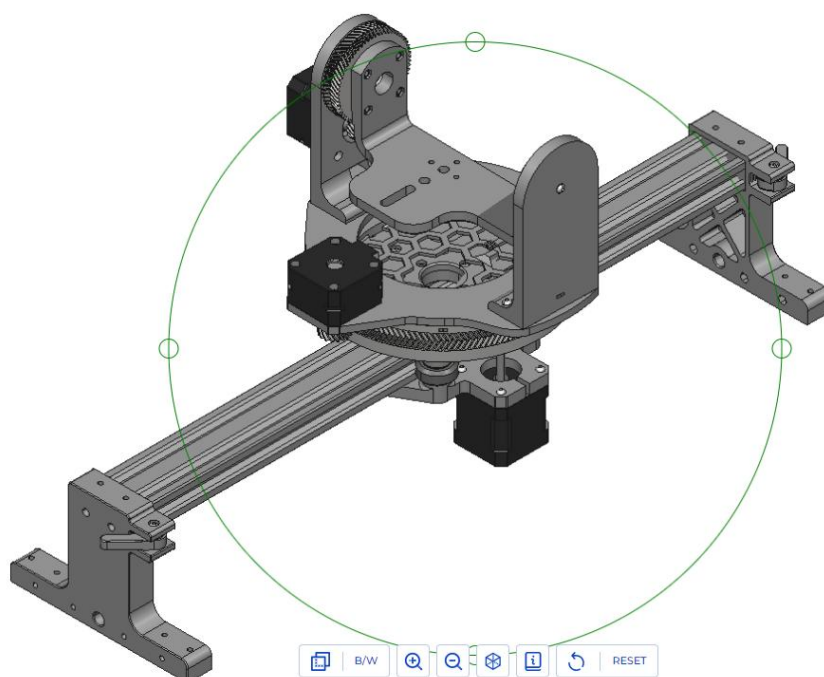


Izvor: Autori

Prilikom ispisa i sastavljanja 3D segmenata od plastike uočeni su i otklonjeni nedostaci izabranoga dizajna. Neki su elementi imali tanku stijenku što je rezultiralo njihovim

pucanjem prilikom sastavljanja pa su ti segmenti redizajnirani i ponovo ispisani. Otklanjanje nedostataka je rezultiralo skoro dvostruko duljim vremenom ispisa segmenata od početno planiranoga (oko 110 h) te je za ispis umjesto planiranih 600 g PETG 1.75 mm plastične niti potrošeno skoro 1 kg. Ispisano je 20 plastičnih dijelova gimbala (Slika 10).

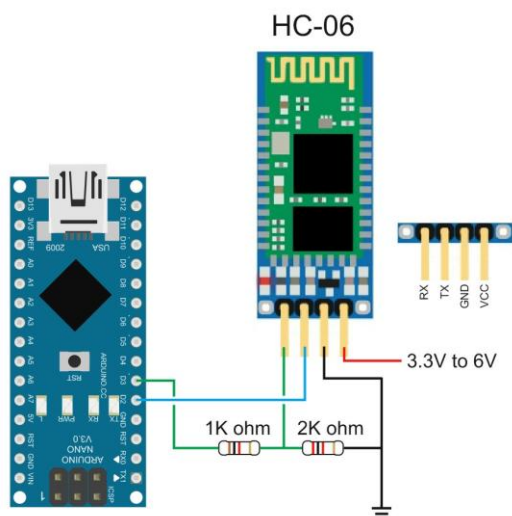
Slika 10. Model segmenata za ispis.



Izvor: Autori

Dva koračna motora nalaze se u samoj zakret-nagib glavi, dok se treći nalazi odozdo, izvan glave te se koristi za linearni pomak kamere ili klizanje (Slika 10). Motori su M2 vijcima pričvršćeni na predviđena postolja te koriste zupčanik za prijenos. Svakim koračnim motorom Nema17 17HS6002-N27B se upravlja pomoću upravljačke pločice TMC2208 kojoj mikrokontroler Arduino Nano šalje naredbe definirane u algoritmu. Svi elektronički dijelovi se nalaze u zakret-nagib glavi, dok su koračni motori i Hallovi senzori na njoj. S Arduino Nano mikrokontrolerom je moguće komunicirati pomoću serijskoga kabela ili Bluetooth bežičnoga modula HC-06 (Slika 11) (Currey, 2015.).

Slika 11. Shema spajanja Bluetooth bežičnoga modula HC-06.

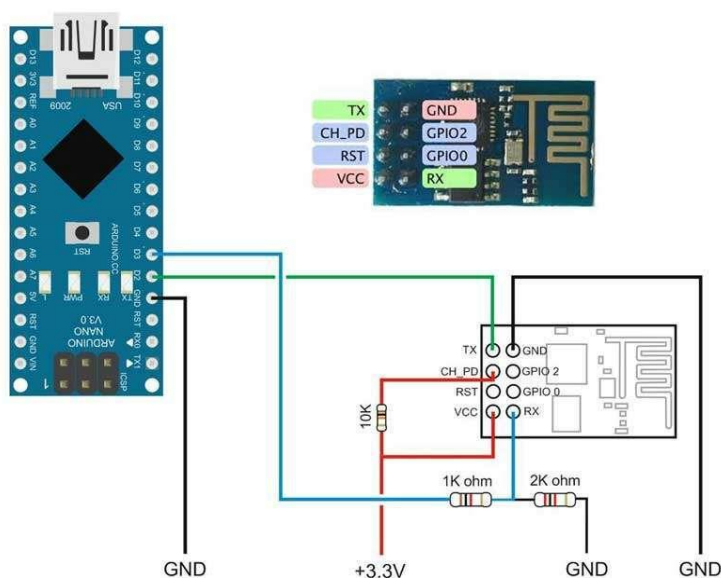


Izvor: https://www.martyncurrey.com/wp-content/uploads/2015/03/HC-06_01.jpg

4. Nadogradnja sustava bežičnim internetskim modulom ESP8266

Komunikacija s gimbalom se, osim pomoću serijskoga kabela ili Bluetooth bežičnoga modula HC-06, može provesti i iz daljine spajanjem na bežični internetski modul ESP8266 (Slika 13), pri čemu je njegovo napajanje 3.3 V (Jamal, 2017.).

Slika 13. Shema spajanja bežičnoga internetskoga modula ESP8266.



Izvor: https://i0.wp.com/electroniclovers.com/wp-content/uploads/2017/11/FV2TBKGI6EXF9MG.LARGE_.jpg

Programski kôd je izrađen u Arduino IDE paketu i sustav gimballa je testiran.

5. Testiranje gimballa

S gimbalom se može komunicirati pomoću Arduino grafičkoga sučelja ili grafičke aplikacije (Chasteau, 2022.). Programski kôd za upravljanje gimbalom je napisan u Arduino grafičkom sučelju (Chasteau, 2021.) i ubačen je u mikrokontroler Arduino Nano kao skripta. Definirano je 40 naredbi koje se mogu pozivati upisom velikoga početnoga slova ili posebnoga znaka u kojima je svako slovo ili posebni znak dodijeljen isključivo jednoj naredbi.

Gimbal je testiran i pokazao je očekivanu točnost pokretanja kamere.

6. Zaključak

Izabrani dizajn gimbala je uspješno prilagođen te su otklonjene pogreške u shemi spajanja komponenti i pojačani su plastični segmenti gimbala kako ne bi bili lomljivi. Prepravci i višestruka sastavljanja i rastavljanja gimbala su znatno povećali utrošeno vrijeme rada i količinu plastične niti za ispis. Predstavljeni gimbal za kameru omogućava točnu manipulaciju kamerom i znatno je jeftiniji od sličnih profesionalnih rješenja.

Sustav je moguće poboljšati bežičnim upravljanjem pomoću aplikacije na Android uređaju, npr. pametnom telefonu. Također može se napraviti i modularni sustav kojem se glava može skinuti s profilnoga klizača i spojiti na kran ili koloturni sustav, čime se dobiva novi sustav koji ima dodatne mogućnosti manipulacije kamerom.

Literatura

- Arduino. (2025). Arduino Nano. <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf> (26.03.2025.)
- Chasteau, I. (2021). Pan Tilt Mount. <https://github.com/isaac879/Pan-Tilt-Mount> (28.03.2025.)
- Chasteau, I. (2022). Pan Tilt Mount App. <https://github.com/cbradburne/Pan-Tilt-Mount-App> (28.03.2025.)
- Components101. (2018). A3144 Hall effect Sensor. <https://components101.com/sensors/a3144-hall-effect-sensor> (28.03.2025.)
- Currey, M. (2015). Arduino and HC-06 (ZS-040). <https://www.martyncurrey.com/arduino-and-hc-06-zs-040/> (29.03.2025.)
- Fysetc. (2021). TMC2208. <https://wiki.fysetc.com/TMC2208/> (27.03.2025.)
- Gimbal. (2025). Gimbal. <https://en.wikipedia.org/wiki/Gimbal> (28.03.2025.)
- Jamal, A. (2017). Learn How to Setup the Wifi Module ESP8266 by Using Just Arduino

- IDE. <https://electronicslovers.com/2017/11/learn-how-to-setup-wifi-module-esp8266.html> (30.03.2025.)
- Opencircuit. (2022). CNC Shield v4 Arduino Nano. <https://opencircuit.shop/product/cnc-shield-v4-arduino-nano> (28.03.2025.)
- RobotDigg. (2016). Nema17 60mm 17HS6002 high torque stepper motor. <https://www.robotdigg.com/upload/pdf/17HS6002-N27BA.pdf> (27.03.2025.)
- RucksikaaR. (2021). Interfacing the HC-06 Bluetooth module with Arduino. <https://projecthub.arduino.cc/RucksikaaR/interfacing-the-hc-06-bluetooth-module-with-arduino-94aabd> (28.03.2025.)
- Senna. (2025). Five Second Head. <https://senna.hr/products/five/> (26.03.2025.)
- Sparkfun. (2022). WiFi Module - ESP8266 (4MB Flash). <https://www.sparkfun.com/wifi-module-esp8266-4mb-flash.html> (29.03.2025.)
- Velleman. (2019). DC-DC adjustable voltage step down module LM2596S user manual. https://cdn.velleman.eu/downloads/29/vma404_a4v02.pdf (28.03.2025.)