Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

**УДК: 7.5**
**ДОИ: https://doi.org/10.24867/35IH03Mancev**

# Развој модула за навигацију мобилне платформе заснованог на Raspberry Pi микрорачунару и фузије сензора

# Development of a Mobile Platform Navigation Module Based on the Raspberry Pi Microcomputer and Sensor Fusion

Марко Манчев, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

**Област – МЕХАТРОНИКА**

**Кратак садржај –** *У овом раду приказана је реализација модула за навигацију мобилне платформе са GPS модулом и магнетометарским сензором. Дат је комплетан развој овог модула, са одабиром свих компоненти које су коришћене. Описано је тестирање свих компоненти појединачно, као и заједно у модулу за навигацију. Дати су предлози за даљи развој модула за навигацију, у виду додавања сензора и алгоритама кретања.*

**Кључне речи (три до пет):** *Навигација, Мобилна платформа, GPS модул, магнетометарски сензор, Raspberry Pi микрорачунар*

**Abstract** – *This paper presents the implementation of a mobile platform navigation module with GPS modules and magnetometer sensors. A complete development of the mobile platform navigation module is provided, with a selection of all components used. The testing of all components individually, as well as together in the navigation module, is described. Suggestions are given for further development of the navigation module, in the form of adding sensors and movement algorithms.*

**Keywords: (three to five):** *Navigation, Mobile platform, GPS module, magnetometer sensor, Raspberry Pi microcomputer*

---

**НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био ванр. проф. др Ласло Тарјан.**

## 1. УВОД

У данашње време, доста сензора се користи за праћење кретања возила и њихове оријентације на отвореном простору. *GPS* (енгл. *Global Positioning System*) је систем који пружа поуздане информације о локацији и времену предмета у сваком тренутку и у свим временским условима на Земљи и заснован је на *GNSS* (енгл. *Global Navigation Satellite System*) систему [1]. Са друге стране, магнетометар је инструмент за мерење јачине магнетног поља и представља сензор који може да мери константно или променљиво магнетно поље [2]. У даљем тексту је описано решење на Raspberry Pi микрорачунару на који је интегрисан GPS модул и магнетометар. Пре одабира правог сензора за позиционирање, потребно је проучити разне употребе GPS модула и магнетометарских сензора у различитим описаним пројектима који су се имплементирали у индустрији.

У раду [3] представљен је систем где се *GPS* модул користио за детектовање сопствене позиције дрона. Координате о сопственој позицији су се процењивале по растојањима рачунатих из разлике времена између радио сигнала послатих од сателита и системског времена микрокомпјутера; антена која се користила овде је била *MTK* 3339. Конкретно, употребљен је *Adafruit Ultimate GPS Breakout*. Овај модул комуницира серијским путем, тј. *UART* (енгл. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) комуникацијом.
Следећи рад [4] описује систем у коме се *GPS* модул користио као примарни референтни извор за синхронизацију времена. Употребљен је модул *L76K GNSS* компаније *Quectel*. Модул такође користи *UART* комуникацију, и тако остварује бидирекциону комуникацију. Модул подржава дуал-мод операције тако што симултано користи *GPS* и *BDS* (енгл. *BeiDou Navigation Satellite System*) системе, што омогућава временску прецизност уз минимално кашњење.
Рад [5] објашњава магнетометарски сензор у функцији високо прецизног дигиталног компаса. Сензор служи за мерење магнетског поља и пружа високу тачност мерења компоненти геомагнетног поља у три правца. Користи се како би пружио информације о јачини магнетног поља у X, Y и Z правцима. Када се сензор постави хоризонтално, у његовој равни се налазе X и Y осе. Све три осе су нормалне једна на другу, X представља правац унапред, Y оса се налази десно у односу на X осу, а Z оса је нормална на хоризонталну раван сензора и усмерена је од сензора.

## 2. РАЗВОЈ МОДУЛА ЗА НАВИГАЦИЈУ

Модул за навигацију има задатак да прати тренутну позицију и оријентацију мобилне платформе у простору и да на основу унапред задате листе координата, које платформа треба да обиђе током путање кретања, врши навигацију, тј. даје све неопходне информације драјверу за управљање кретањем (енгл. *Motion Control*).

Да би се обезбедило континуално праћење позиције и оријентације у реалном времену користиће се *GPS* сензорски модул и магнетометар. За *GPS* модул је изабран *Neo-m8n GPS module*, док је за магнетометарски сензор изабран *QMC5883P*. У даљем тексту ће бити описана ова два сензора, као и сама реализација новог модула за навигацију.

Идеја овог рада је била да се реализује комплетан независни склоп за детектовање и сналажење у простору, који би се даље користио у некој мобилној платформи. У овој структури, *GPS* модул би давао тренутне координате позиције, док би магнетометарски сензор служио за правилну оријентацију у простору према унапред задатом циљу. Такође, како би се потврдило да цео склоп ради, додат је и дисплеј за испис информација које долазе са сензора. Главна управљачка јединица која комуницира са сензорима и ради фузију података је *Raspberry Pi 3 Model B*, а направљена је и *PCB* (енгл. *Printed Circuit Board*) плоча ради лакшег повезивања компоненти. Подаци ће се, поред дисплеја, слати и преко *MQTT* (енгл. *Message Queuing Telemetry Transport*) протокола персоналном рачунару због исписа података, а касније би овај протокол могао да се користи за комуникацију са драјвером за управљање кретањем мобилне платформе.

### 2.1. GPS модул Neo-m8n

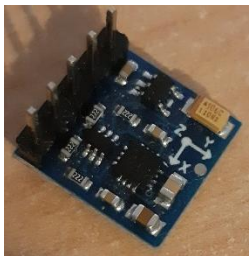
За позиционирање користиће се *GPS* модул који шаље податке серијским путем преко *UART* комуникације. Пинови који су за то задужени су *TX* (енгл. *transmit*), који служи за слање порука, и *RX* (енгл. *receive*), који служи за примање порука. Поред ових пинова, имају и 2 пина за напајање, *VCC* (енгл. *Voltage Common Collector*) и *GND* (енгл. *ground*). Модул се напаја напоном у распону од 3 до 5,5 V. Овај модул има могућности коришћења две врсте антена, *SMA* (енгл. *Sub Miniature version A*) и *IPEX*. *GPS* модул добија поруке у *NMEA* (енгл. *National Marine Electronics Association*) формату, које ће се потом рашчланити како би се добили одређени подаци [6]. Слика 1 приказује коришћени модул.




Слика 1. *GPS* модул *Neo-m8n* са *SMA* антеном

### 2.2. Магнетометарски сензор QMC5883P

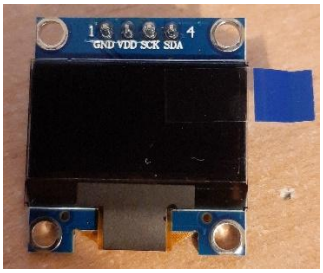
Одређивање оријентације, тј. угла закретања од жељеног правца одређиваће се помоћу магнетометарског сензора. Изабран је магнетометарски сензор ознаке *QMC5883P*. Овај модул комуницира преко $I^2C$ комуникације. Два пина, која му то омогућавају су *SDA* (енгл. *Serial Data*) и *SCL* (енгл. *Serial Clock*). Поред ова два пина, има и пинове за напајање *VCC* и *GND*, код којих је распон напона од 2,16 до 3,6 V [7]. Сензор има могућност да детектује јачину магнетног поља у три правца нормална на њега - X, Y и Z правци. Измерене вредности се онда складиште у два осмобитна регистра, А регистар, који чува више вредности, и Б регистар, који чува ниже вредности. Комбинујући ова два регистра, добија се шеснаестобитни регистар који има нумерички опсег од 0XF800 до 0X07FF [8]. Овај сензор је изабран у односу на сензор *HMC5883L* који је раније споменут у анализи сличних пројеката, због његове доступности на тржишту. Сензор је приказан на слици 2.2.



Слика 2.1 Магнетометарски сензор *QMC5883P*

### 2.3. OLED 0.96 SSD1306 display

Како би резултати са магнетометарског сензора и *GPS* модула могли бити приказани на самом модулу, додат је и *OLED* (енгл. Organic Light Emitting Diode) 0.96 *SSD1306 display*. У односу на стандардни *LCD* (енгл. Liquid Crystal Display) 2x16 дисплеј, овај дисплеј је одабран јер нуди већу резолуцију, у овом случају 128x64. Дисплеј комуницира преко $I^2C$ комуникације, те има четири пина, *GND*, *VCC*, *SDA* и *SCL*. Напајање дисплеја је у распону од 3,3 до 5 V. Овај дисплеј је приказан на слици 2.




Слика 2. *OLED 0.96 SSD1306 display*

### 2.4. Микрорачунар Raspberry Pi 3 Model B

Срце модула, тј. уређај који прима сигнале са сензора и обрађује их а након тога шаље на дисплеј и следећем модулу, је *Raspberry Pi 3 Model B* (слика 3). Овај *SBC* (енгл. *single-board computer*) је изабран због своје велике доступности, и лаког писања кода. Због аутономности рада у фази тестирања за напајање компјутера додата је и екстерна батерија, али се она може напајати и стабилисаним извором напајања. *Raspberry Pi* захтева напајање од 5 V и струју напајања од 2.5 A. Са њега су се користиле две комуникације, *UART* и $I^2C$. Пинови за *UART*, су били *TX* и *RX*, док су

за $I^2C$ комуникацију коришћени пинови *SDA* и *SCL*. Излазни пинови за напајање на Raspberry Pi су коришћени за напајање свих сензора у модулу за навигацију.



Слика 3. *Raspberry Pi 3 Model B*

## 3. ТЕСТИРАЊЕ ИЗАБРАНИХ МОДУЛА

При имплементацији сваког сегмента у целину, битно је било испитати да ли појединачни модули раде како је очекивано, због чега је првобитно тестиран сваки понаособ, а затим је проверено и да ли сви заједно одговарајуће функционишу.

### 3.1. Тестирање GPS модула

Први модул који је тестиран је *GPS* модул. Овај модул прима информације о координатама искључиво када је небо ведро, како би био у могућности да се повеже са сателитима. Модул добија поруке у *NMEA* формату, које садрже све информације о координатама и времену. Како би ова порука била приказана потребно је да су *Raspberry Pi 3 Model B* и *GPS* модул повезани, односно да је *RX* пин компјутера повезан на *TX* пин модула, и да је *TX* пин компјутера повезан на *RX* пин модула. Такође, модул се напаја преко *SBC*, користећи слободне пинове за напајање.
Када *minicom* (порт за комуникацију преко *UART* интерфејса) прикаже задовољавајуће податке, потребно је написати скрипту у програмском језику *python*. Скрипта на основу поруке у *NMEA* формату, рашчлањује (парсира) дату поруку па потом приказује тренутну географску ширину, географску дужину и надморску висину. Ова скрипта је приказана на слици 4, док је њен испис приказан на слици 5.

```python
import serial
import pynmea2

def read_gps():
    # Open serial connection to GPS module
    gps_serial = serial.Serial("/dev/serial0", baudrate=9600, timeout=1)

    while True:
        try:
            line = gps_serial.readline().decode("ascii", errors="replace")
            if line.startswith("$GPGGA"):
                msg = pynmea2.parse(line)
                print(f"Latitude: {msg.latitude}, Longitude: {msg.longitude}")
                print(f"Altitude: {msg.altitude} {msg.altitude_units}")
        except pynmea2.ParseError as e:
            print(f"Parse error: {e}")
        except KeyboardInterrupt:
            print("Exiting...")
            break

if __name__ == "__main__":
    read_gps()
```

Слика 4. Скрипта за испис података добијених од *GPS* модула [9]

```
Latitude: 45.2688335, Longitude: 19.809798666666666
Altitude: 121.3 M
Latitude: 45.26883333333333, Longitude: 19.809799
Altitude: 121.4 M
Latitude: 45.26883333333333, Longitude: 19.809798833333332
Altitude: 121.4 M
Latitude: 45.26883333333333, Longitude: 19.8097985
Altitude: 121.3 M
Latitude: 45.26883333333333, Longitude: 19.809798333333333
Altitude: 121.3 M
Latitude: 45.26883333333333, Longitude: 19.809798
Altitude: 121.3 M
Latitude: 45.26883316666667, Longitude: 19.809797666666668
Altitude: 121.3 M
```

Слика 5. Испис *GPS* података на *terminal*

### 3.2. Тестирање магнетометарског сензора

Следеће је тестиран магнетометарски сензор *QMC5883P*. Као што је већ речено, сензор складишти податке у шеснаестобитни регистар. Сензор са *Raspberry Pi 3 Model B* компјутером комуницира преко $I^2C$ комуникације. Сензор добија напајање од компјутера, са слободних пинова за напајање. Како би писање програма и тестирање било олакшано, коришћена је *PiicoDev_QMC6310* библиотека [10]. Разлика која је направљена је та што је $I^2C$ адреса магнетометарског сензора *QMC5883P* другачија од оне коришћене у библиотеци, односно адреса овог сензора је *0x2C*. Пре самог исписа података, потребно је одрадити калибрацију сензора, што је обухваћено у скрипти у програмском језику *python*. У скрипти се, на основу информација које региструје сензор, прерачунава угао под којим је сензор заокренут. Скрипта је приказана на слици 6, а њен испис на *terminal* је приказан на слици 7.

```python
# Calibrate the sensor by turning it in a circle
# Display the heading with compensation for magnetic declination

from Magn import PiicoDev_QMC6310
from PiicoDev_Unified import sleep_ms          # Cross-platform compatible sleep function

compass = PiicoDev_QMC6310(range=800)          # Initialise the sensor with 800uT range. Valid
ranges: 200, 800, 1200, 3000 uT

# Calibration recommended for best results.
#compass.calibrate() # only need to calibrate once

# Optional: Declination is the difference between magnetic-north and true-north ("heading") and
depends on location
compass.setDeclination(5.52) # Found with: https://www.magnetic-
declination.com/Australia/Newcastle/122944.html

def compass_heading ():
   heading = compass.readHeading()   # get the heading from the sensor
   if compass.dataValid():           # Rejects invalid data
         heading = round(heading)      # round to the nearest degree
   return heading
      # print( str(heading) + "°")    # print the data with a degree symbol
      #sleep_ms(100)
```

Слика 6. Скрипта за испис података са магнетометарског сензора [10]

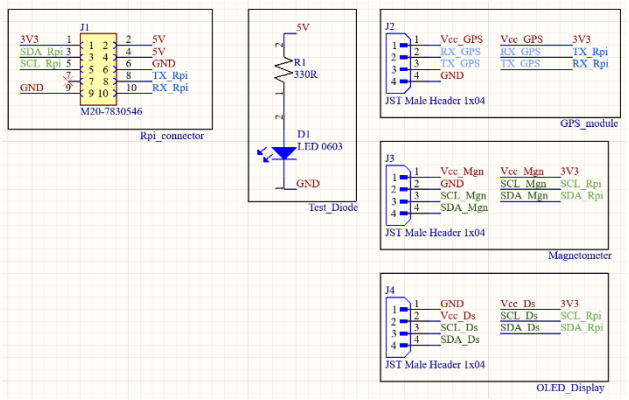
```
196°
195°
194°
198°
196°
196°
194°
194°
```

Слика 7. Испис података о углу на *terminal*

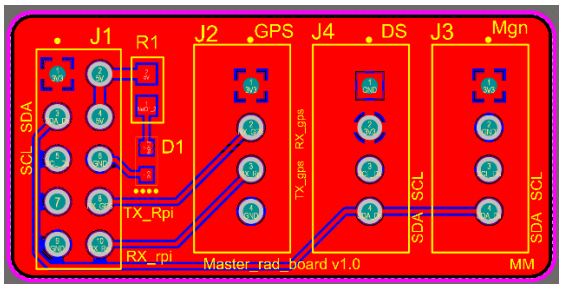
## 4. РЕАЛИЗАЦИЈА МОДУЛА ЗА НАВИГАЦИЈУ

У овом поглављу је описана реализација целокупног модула за навигацију и његово тестирање. Као што је то већ раније написано модул за навигацију представља систем који је задужен за добијање тренутне локације и оријентације мобилне платформе. Приказ свих обрађених информација ће бити приказан прво на дисплеју, а потом и послат преко *MQTT* протокола на други уређај, који на основу тих података врши даље управљање.

Пошто модул за навигацију чине 3 компоненте, *GPS* модул, магнетометарски сензор и дисплеј, направљена је *PCB* плоча која обезбеђује лако повезивање на *Raspberry Pi 3 Model B*. Плоча је повезана сходно правилима за сваку компоненту, која су била споменута у претходном поглављу. Такође, како би било приказано да ли плоча функционише додата је и једна диода за тестирање. Плоча је рађена у програму *Altium Designer*. Шема плоче је приказана на слици 8, док је повезивање компоненти електронске плоче приказано на слици 9.



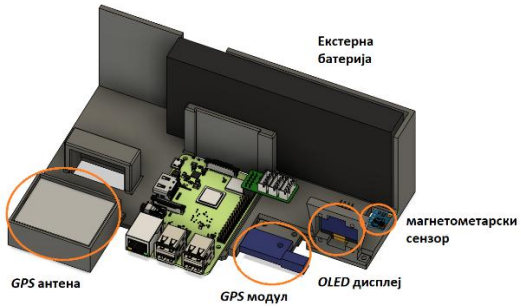

Слика 8. Шематски приказ електронске плоче




Слика 9. Повезивање компоненти на електронској плочи

Све компоненте је потребно повезати заједно у једну целину, а затим и тестирати. Направљена је заједничка носећа пластична плоча, која је одштампана на 3Д штампачу, како би сви потребни елементи били на једном месту. Целокупни склоп модула је приказан на слици 10.

Жељена путања кретања мобилне платформе, чију позицију и оријентацију треба да прати модул за навигацију, дефинисана је као текстуални фајл у ком је низ координата које треба проћи, и овај фајл је смештен на *Raspberry Pi 3 Model B* компјутеру. Током рада компјутер чита следеће жељене координате из текстуалног фајла. GPS модул прима тренутне координате и шаље их компјутеру, а магнетометарски сензор такође прима и прослеђује податке. Потом, компјутер на основу растојања тренутних координата, жељених координата и тренутног угла под којим је заокренут склоп, врши прорачун растојања и угла до следеће жељене тачке.




Слика 10. Целокупни склоп модула за навигацију

Тестирано је и да подаци о углу, дистанци и времену могу да се пренесу на неки други уређај. Ово је имплементирано и тестирано преко *MQTT* протокола, у коме постоје 3 члана за комуникацију, издавач (енгл. *publisher*), посредник (енгл. *broker*) и претплатник (енгл. *subscriber*). У овом протоколу, битна ствар је да су сви уређаји на истој мрежи, како би размена података била могућа [11]. У случају овог рада, персонални рачунар је уједно и посредник и претплатник, а *Raspberry Pi 3 Model B* је издавач. За испис података добијених преко *MQTT* протокола, коришћен је *MQTT explorer*. Такође, како би све функционисало и како би било могуће слати поруке, у програму је неопходно да се персонализовани рачунар, тј. претплатнички уређај, претплати на исту тему (енгл. *topic*) на коју издавач објављује, док је посредникова улога да размена порука буде одговарајућа [12]. Део скрипте, писан у програмском језику *python,* приказан је на слици 11, док је испис добијених података у програму *MQTT explorer* приказан на слици 12.

```
Broker_IP="192.168.100.18"
Topic_NoFix="rad/no_fix"
Topic_Fix="rad/has_fix"

try:
 line=gps_serial.readline().decode("ascii", errors="replace")
 heading = compass.readHeading()

 if line.startswith("$GNGGA"):
   msg = pynmea2.parse(line)
   Fix=msg.is_valid
   latitude = msg.latitude
   longitude = msg.longitude
   altitude = msg.altitude

 if compass.dataValid():
   heading = round(heading)
 if(Fix==True):
  latest_distance = calculate_distance(latitude, longitude, dest_lat, dest_lon)

  latest_bearing = calculate_bearing(latitude, longitude, dest_lat, dest_lon)

  relative_angle = (latest_bearing-heading) % 360

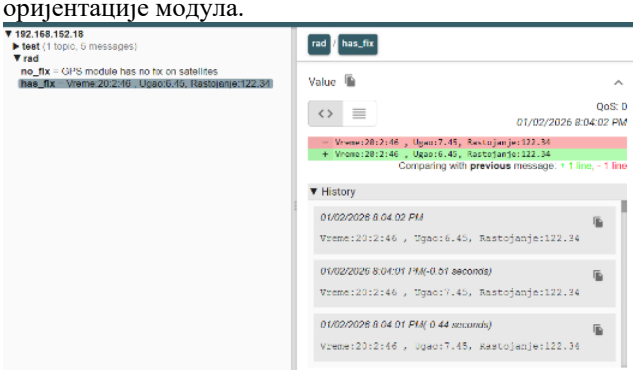
  client.publish(Topic_Fix, f"Ugao:{relative_angle}, Rastojanje:{latest_distance}")
 else:
  client.publish(Topic_NoFix, "GPS module has no fix on satellites")
```

Слика 11. Део скрипте везан за слање података од издавача до претплатника

### 4.1. Тестирање готовог модула за навигацију

Тестирање готовог уређаја је извршено, под ведрим небом и зимским временским условима, ради провере података са сензора и њихових исписа на дисплеј. Модул за навигацију је био тестиран тако што

се посматрала раздаљина између тренутне и жељене позиције; и када је она била довољно мала на дисплеју је приказана одговарајућа порука. Овај принцип тестирања је био примењен на две различите жељене локације и поред зимских услова модул за навигацију је давао коректне резултате координата локације и оријентације модула.




Слика 12. Испис добијених података у програму *MQTT explorer*

## 5. ЗАКЉУЧАК

Развијени модул за навигацију мобилне платформе, који је реализован помоћу GPS пријемника и магнетометра је током тестирања приказао задовољавајуће резултате у погледу давања позиције и оријентације самог модула. Даље се поменути модул може интегрисати на мобилну платформу без икаквих додатних дорада. У овој верзији, тренутни модул податке ка следећој компоненти, шаље у виду MQTT порука, али по потреби могао би се имплементирати и неки други тип протокола. Даљи развој модула би могао да се огледа у виду додавања сензора ради избегавања препрека током кретања у виду ултразвучних, *LiDAR*-а (енгл. *Light Detection and Ranging*), камера или фузије више сензора, као и развоја алгоритма за паметно мапирање и избегавање препрека.

Други сегмент који би захтевао даљи развој је кориснички интерфејс у виду неке мобилне апликације, помоћу које би корисник лако могао да задаје захтевану путању кретања мобилне платформе у текстуалном облику или обележавањем на некој конкретној онлајн мапи.

## 6. ЛИТЕРАТУРА


[1] A. Damani, H. Shah, K. Shah, and M. Vala, “Global-positions-systems for objects tracks,” Int, J, Comput. Appl., vol. 109, no. 8, p. 3977–3984, 2015.

[2] S. Bratić, Đ. Prosenica, Lj. Gajić, S. Terzić, S. Kasapović, M. Urekar, “ Comparing Filter Efficiency: Complementary vs. Kalman Filters on Accelerometer and Gyroscope Signals ” , University of Novi Sad, August 2024

[3] M. Kan, S. Okamoto, and J. Hoon Lee, “ Development of Drone Capable of Autonomous Flight Using GPS ”, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2018 Vol II IMECS 2018, March 14-16, 2018, Hong Kong

[4] H. Mu, M. Yung, “A full-duplex voice communication system based on GNSS time synchronization and LoRa transmission”, School of Communications and Information Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China, 2025

[5] T. He, F. Li, Y. Du, Y. Zhang, Y. Li, Y. Liu, “Design and implementation of digital compass based on HMC5883L magnetoresistive sensor”, Sichuan Vocational College of Information Technology, Guangyan 628017, Sichuan, China, 2025

[6] U-blox, “NEO-8 series”, https://content.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8-FW3_DataSheet_UBX-15031086.pdf (Приступљено јануар 2026)

[7] Adafruit, “Adafruit HMC5883L Breakout - Triple-Axis Magnetometer Compass Sensor”, https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-hmc5883l-breakout-triple-axis-magnetometer-compass-sensor.pdf (Приступљено јануар 2026)

[8] T. He, F. Li, Y. Du, Y. Zhang, Y. Li, Y. Liu, “Design and implementation of digital compass based on HMC5883L magnetoresistive sensor”, Sichuan Vocational College of Information Technology, Guangyan 628017, Sichuan, China, 2025

[9] “Using the NEO-6M GPS Module with the Raspberry Pi”, https://38-3d.co.uk/blogs/blog/using-the-neo-6m-gps-module-with-the-raspberry-pi (Приступљено јануар 2026)

[10] Core Electronics, “PiicoDev Magnetometer-Getting Started Guide”, https://core-electronics.com.au/guides/piicodev/piicodev-magnetometer-getting-started-guide/ (Приступљено јануар 2026)

[11] U. Hunkeler, H. L. Truong and A. Stanford-Clark, "MQTT-S — A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks," 2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08), Bangalore, India, 2008, pp. 791-798, doi: 10.1109/COMSWA.2008.4554519.

[12] A. Morchid, R. Jebabra, H. Qjidaa, R. El Alami, M. Ouazzani Jamil, “Agri-tech innovations for sustainability: A fire detection system based on MQTT broker and IoT to improve environmental risk management”, December 2024


**Кратка биографија:**




**Марко Манчев** рођен је у Новом Саду 2001. год. Дипломски рад под називом „Механички актуисан аутоматски измењивач алата пројектован за индустријског робота ABB IRB140“ на Факултету техничких наука одбранио је 2024.године.

**Контакт**: markomnc.mancev@gmail.com