

Inkluzivna asistivna tehnologija – razvoj LTE IoT komunikacijskog uređaja FlexiSOS

Sažetak

Tutorijal FlexiSOS predstavlja interdisciplinarnu STEM aktivnost razvoja LTE IoT asistivnog uređaja namijenjenu radu s darovitim učenicima. Aktivnost povezuje elektroniku, programiranje, IoT komunikaciju, 3D modeliranje i razvoj inkluzivne tehnologije. Učenici kroz projektni i istraživački rad razvijaju funkcionalni prototip uređaja za slanje hitnih i korisničkih zahtjeva putem LTE mreže. Aktivnost potiče razvoj kreativnosti, rješavanje stvarnih problema i razumijevanje društveno odgovorne tehnologije.

Opis

LTE ASISTIVNI UREĐAJ S GPS LOKACIJOM I POTVRĐENIM SOS SUSTAVOM

PROBLEM
U hitnim situacijama korisnici često:
• nemaju mobilni telefon pri ruci
• ne mogu koristiti aplikacije
• nisu sigurni je li pomoć pozvana
• postojeća rješenja ne daju lokaciju ni potvrdu primitka

RJEŠENJE - FLEXISOS
Jednostavan uređaj koji omogućuje:
• komunikaciju jednim pritiskom
• izravno slanje SMS poruke
• rad bez Wi-Fi mreže
• bez aplikacija, bez komplikacija

FUNKCIONALNOST
5 funkcija:
• Glad
• Žed
• Toalet
• Pomoć
• SOS
• jedan pritisak = jedna jasna poruka

INOVACIJA
• Poruka + GPS lokacija ODMAH
• lokacija se šalje u trenutku poruke
• skrbnik zna što se događa i gdje
• razlika između reakcije i kašnjenja

TEHNOLOGIJA
Sustav uključuje:
• LTE komunikaciju (bez mobilnog telefona)
• GPS modul
• cloud potvrdu
• OLED zaslon
• pouzdan i neovisan sustav

SOS SUSTAV
Hitni način rada:
• trenutna SMS
• automatsko ponavljanje
• potvrda primitka
• daljinsko otkazivanje
• sustav aktivno traži reakciju

INKLUZIJA I PRISTUPAČNOST
• velike fizičke tipke
• tekstualne oznake
• jasni vizualni simboli
• Brailleovo pismo na svakoj tipki
• korištenje dodirnom, bez ekrana
• prilagođeno osobama sa smanjenim vidom
• Pristupačnost nije dodatak – ona je dio dizajna.

PRIMJENA
Predviđeno za:
• starije osobe
• osobe s invaliditetom
• rehabilitacija
• kućna skrb
• sigurnost za korisnika i obitelj

Učimo dodirnom

FlexiSOS ne šalje samo poruku, šalje: ✓ potvrđenu, ✓ razumljivu, ✓ i lociranu informaciju!

Tutorijal „Inkluzivna asistivna tehnologija – razvoj LTE IoT komunikacijskog uređaja FlexiSOS“ predstavlja sveobuhvatan, interdisciplinarni i praktično usmjeren projekt namijenjen radu s darovitim učenicima kroz STEM područja elektronike, programiranja, IoT sustava, mobilnih komunikacija, 3D modeliranja i razvoja asistivne tehnologije. Tutorijal je razvijen s ciljem povezivanja suvremenih tehnoloških znanja s društveno korisnim djelovanjem, pri čemu učenici kroz istraživački i projektni rad razvijaju stvaran uređaj namijenjen povećanju sigurnosti, autonomije i kvalitete života starijih osoba, osoba s invaliditetom i korisnika kojima je potrebna jednostavna i pouzdana komunikacija u hitnim situacijama. FlexiSOS je samostalan LTE komunikacijski uređaj koji

omogućuje slanje unaprijed definiranih zahtjeva i hitnih upozorenja jednim pritiskom, bez potrebe za pametnim telefonom ili Wi-Fi mrežom. Sustav koristi LTE-M i NB-IoT komunikaciju, izravni SMS prijenos i cloud¹ potvrdu primitka putem IoT platforme, čime se osigurava da poruka nije samo poslana nego i potvrđena. Tutorijal omogućuje razvoj cjelovitog ugrađenog IoT sustava koji

¹ Cloud platforma – internetska infrastruktura za povezivanje, nadzor i razmjenu podataka između IoT uređaja i korisničkih aplikacija.

uključuje razvoj embedded² firmwarea³, LTE komunikaciju, rad s cloud servisima, projektiranje napajanja, razvoj senzorskih sustava, dizajn korisničkog sučelja te 3D modeliranje i izradu kućišta. Aktivnost je posebno prikladna za rad s darovitim učenicima jer omogućuje visoku razinu istraživačkog rada, samostalnog rješavanja problema i integracije znanja iz više STEM područja. FlexiSOS razvijen je kao primjer suvremenog interdisciplinarnog STEM pristupa koji kod učenika potiče kreativno i kritičko razmišljanje, istraživački pristup učenju, razvoj inovativnosti i sposobnost rješavanja stvarnih problema. Fokus je stavljen na razvoj društvene odgovornosti i razumijevanje inkluzivnih tehnologija. Kroz aktivnost učenici razvijaju svijest o važnosti pristupačne tehnologije i ulozi tehnike u poboljšanju kvalitete života ranjivih skupina društva. Aktivnost omogućuje provedbu projektne, istraživačke i problemske nastave te je prikladan za izvannastavne aktivnosti, rad s darovitim učenicima, školske projekte i interdisciplinarnu STEM radionice.

Ciljevi aktivnosti

Glavni cilj aktivnosti je razvoj funkcionalnog LTE asistivnog IoT uređaja koji omogućuje jednostavnu i pouzdanu komunikaciju korisnika s njegovateljima ili članovima obitelji. Tijekom rada učenici razvijaju znanja iz elektronike, programiranja ugrađenih sustava, mobilnih komunikacija i IoT tehnologija te sposobnost povezivanja tih znanja u cjelovit tehnološki sustav. Aktivnost učenicima omogućuje razumijevanje rada LTE i NB-IoT komunikacije, razvoj vještina programiranja mikroupravljačkih sustava, korištenje cloud platformi i razvoj sposobnosti projektiranja, testiranja i optimizacije elektroničkih sustava.

Ishodi učenja

Nakon provedene aktivnosti učenik razumije principe rada LTE IoT komunikacijskih sustava, koristi Arduino razvojnu platformu za razvoj ugrađenih sustava, programira senzorske sustave i upravljanje događajima temeljenima na logici stanja sustava. Učenik razvija sposobnost korištenja cloud platformi za IoT komunikaciju, analizira probleme stabilnosti napajanja i razvija algoritme za obradu podataka senzora. Aktivnost omogućuje razvoj sposobnosti dokumentiranja procesa razvoja tehničkog projekta, testiranja i optimizacije rada sustava. Aktivnost povezuje ishode iz područja informatike, tehničke kulture, fizike i matematike kroz interdisciplinarni STEM pristup. Učenici razvijaju kompetencije iz programiranja, elektronike, automatike, digitalne komunikacije i projektiranja tehničkih sustava. Aktivnost posebno doprinosi razvoju: digitalnih kompetencija, algoritamskog i računalnog razmišljanja, istraživačkog i projektnog učenja, kreativnog rješavanja problema, tehničke i informacijske pismenosti, suradničkog rada i komunikacijskih vještina, društvene odgovornosti i razvoja inkluzivnih tehnologija.

Razvoj učeničkih kompetencija

Područje	Razvijene kompetencije
Programiranje	razvoj algoritama, logika stanja, obrada podataka
Elektronika	povezivanje senzora i analiza elektroničkih sklopova

² Embedded sustav – ugrađeni računalni sustav namijenjen izvršavanju specifičnih funkcija unutar elektroničkog uređaja u stvarnom vremenu.

³ Firmware – ugrađeni programski sustav koji upravlja radom elektroničkog uređaja i omogućuje komunikaciju između hardvera i programskih funkcija.

Područje	Razvijene kompetencije
IoT sustavi	LTE komunikacija, cloud sinkronizacija
Inženjerski pristup	testiranje, optimizacija i rješavanje problema
3D modeliranje	CAD dizajn i razvoj kućišta
Komunikacija	dokumentiranje i prezentacija projekta
Inkluzija	razumijevanje pristupačne tehnologije

Metodički scenarij provedbe aktivnosti

Aktivnost „Inkluzivna asistivna tehnologija – razvoj LTE IoT komunikacijskog uređaja FlexiSOS“ provodi se kao projektna i istraživačka STEM aktivnost namijenjena radu s darovitim učenicima u izvannastavnim aktivnostima, fakultativnoj nastavi ili interdisciplinarnim školskim projektima. Aktivnost se može realizirati tijekom 8 do 12 školskih sati ili kroz višetjedni projektni rad.

Faze provedbe aktivnosti

Faza rada	Aktivnosti učenika	Uloga nastavnika
Uvod i istraživanje problema	Analiza potreba osoba kojima je potrebna asistivna tehnologija, istraživanje LTE IoT sustava i komunikacije	Usmjerava istraživanje, postavlja problemska pitanja
Planiranje sustava	Izrada koncepta uređaja, definiranje senzora i funkcionalnosti	Mentorira i pomaže pri tehničkom planiranju
Razvoj elektroničkog sklopa	Spajanje senzora, OLED zaslona i LTE modula	Pružna tehničku podršku i nadzire sigurnost rada
Programiranje firmwarea	Razvoj logike rada uređaja, obrada senzora i komunikacija	Pomaže pri analizi pogrešaka i optimizaciji
Testiranje i optimizacija	Testiranje stabilnosti napajanja, LTE komunikacije i senzora	Usmjerava učenike prema analitičkom pristupu
3D modeliranje i izrada kućišta	CAD modeliranje i prilagodba kućišta	Mentorira proces razvoja proizvoda
Prezentacija projekta	Demonstracija rada uređaja i analiza rezultata	Organizira prezentaciju i vrednovanje

Prilagodbe i proširenja za darovite učenike

Primjeri prilagodbi

Područje	Primjer prilagodbe
Programiranje	Razvoj naprednije logike stanja i optimizacije LTE komunikacije
Elektronika	Samostalno projektiranje naponske stabilizacije i upravljanja energijom
IoT sustavi	Integracija cloud platforme i daljinske potvrde SOS poziva
Razvoj proizvoda	Dizajn vlastitog 3D kućišta i ergonomskih rješenja
Istraživački rad	Analiza potrošnje energije i optimizacija trajanja baterije
Kreativno rješavanje problema	Razvoj dodatnih funkcionalnosti poput GPS lokacije ili telemetrije
Dokumentiranje	Izrada tehničke dokumentacije i prezentacija projekta

Aktivnost je posebno prikladna za rad s darovitim učenicima jer omogućuje visok stupanj samostalnosti, interdisciplinarnosti i istraživačkog pristupa radu.

Vrednovanje aktivnosti

Vrednovanje se provodi kontinuirano tijekom razvoja projekta te završnom prezentacijom funkcionalnog prototipa.

Element vrednovanja	Opis
Funkcionalnost uređaja	Ispravnost rada senzora, OLED prikaza i LTE komunikacije
Kvaliteta programskog koda	Organizacija, stabilnost i logika rada firmwarea
Stabilnost sustava	Pouzdanost rada napajanja i komunikacije
Kreativnost i inovativnost	Originalnost tehničkih rješenja i nadogradnji
Dokumentacija	Kvaliteta tehničkog opisa i prikaza razvoja
Timski rad	Suradnja i raspodjela zadataka
Prezentacija projekta	Jasnoća i kvaliteta predstavljanja rezultata
Razumijevanje inkluzije	Primjena pristupačnog i korisnički prilagođenog dizajna

Potrebna oprema

Za provedbu aktivnosti razvoja LTE IoT asistivnog uređaja FlexiSOS potrebno je osigurati elektroničke komponente, razvojne alate, programsko okruženje i opremu za izradu prototipa i mehaničkih dijelova uređaja.

Elektroničke komponente

- Arduino MKR NB 1500 razvojna pločica
- LTE / NB-IoT kompatibilna SIM kartica s aktiviranom podatkovnom i SMS uslugom
- fleksibilni senzori (flex senzori) ili drugi analogni senzori pritiska/savijanja
- OLED zaslon 128×64 s I2C komunikacijom
- Li-Po baterija 3,7 V (preporučeno 3000–4000 mAh)
- spojni vodiči (jumper wires)
- breadboard ili prototipna pločica
- otpornici za naponske djelitelje i stabilizaciju ulaza
- USB kabel za programiranje i napajanje uređaja
- prekidači, tipkala ili dodatni senzori prema potrebi
- LTE antena (ako nije integrirana)
- konektori i materijal za stabilno povezivanje komponenti

Računalna i programska oprema

- računalo ili prijenosno računalo
- Arduino IDE razvojno okruženje
- biblioteke za OLED zaslon i LTE komunikaciju
- upravljački programi za Arduino razvojnu pločicu
- pristup internetu za IoT komunikaciju i cloud platformu
- cloud platforma za IoT nadzor i razmjenu podataka
- alat za serijsku komunikaciju i dijagnostiku sustava

Oprema za razvoj i testiranje

- multimetar za mjerenje napona i provjeru spojeva
- USB napajanje ili laboratorijski izvor napajanja
- punjač za Li-Po baterije
- oprema za testiranje stabilnosti napajanja
- alati za montažu i organizaciju elektroničkih komponenti
- izolacijski i zaštitni materijal za sigurniji rad

Oprema za 3D modeliranje i izradu kućišta

- računalo s CAD softverom (npr. Fusion 360, Tinkercad ili sličan alat)
- 3D printer
- filament za 3D ispis (PLA ili PETG)
- alati za obradu i prilagodbu ispisanih dijelova
- mjerni alat za provjeru dimenzija i poravnanja komponenti

Organizacijski i nastavni resursi

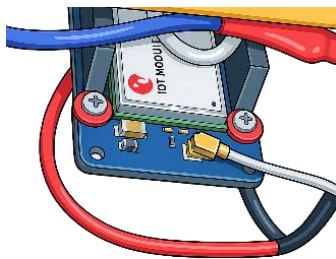
- tehnička dokumentacija projekta
- upute za spajanje i programiranje sustava
- pripremljeni primjeri programskog koda
- radni listovi i istraživački zadaci za učenike
- prostor za timski i projektni rad
- prezentacijska oprema za demonstraciju rada uređaja

Preporučena dodatna oprema za napredne nadogradnje

- GPS modul
- dodatni biometrijski ili okolišni senzori
- prilagođena PCB pločica
- zvučnik ili vibracijski aktuator za dodatnu pristupačnost
- Wi-Fi ili Bluetooth komunikacijski moduli
- dodatni sustavi za pohranu podataka i telemetriju

Aktivnost se može prilagoditi dostupnoj opremi škole, pri čemu se osnovna funkcionalnost sustava može realizirati i s manjim brojem komponenti, dok naprednije nadogradnje omogućuju dodatno istraživanje i razvoj složenijih IoT funkcionalnosti.

Tehnička osnova projekta

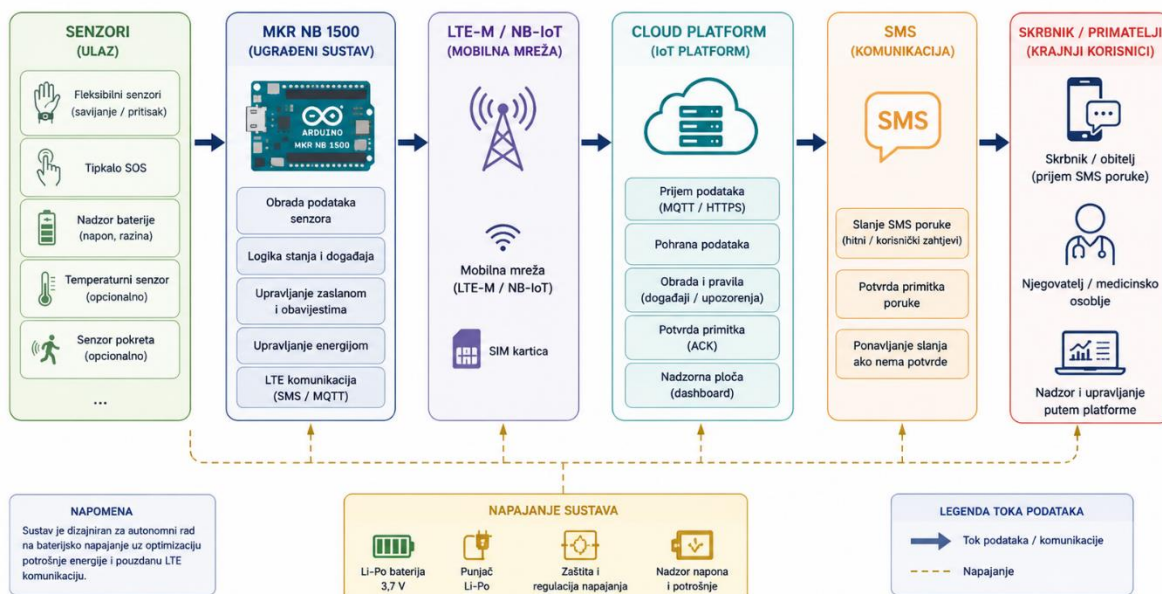


FlexiSOS temelji se na platformi Arduino MKR NB 1500 koja integrira SAMD21 mikrokontroler, u-blox SARA-R410 LTE/NB-IoT modem, SIM komunikacijski sustav i integrirani Li-Po punjač. Ova platforma omogućuje potpuno samostalnu LTE-M / NB-IoT komunikaciju bez Wi-Fi mreže ili uparenih mobilnih uređaja. Sustav koristi fleksibilne senzore povezane na analogne ulaze uređaja, OLED zaslon za prikaz informacija korisniku te LTE komunikaciju za slanje poruka i komunikaciju s cloud servisom. Aktivnost uključuje razvoj cjelovitog firmware



sustava koji implementira upravljanje sensorima, LTE komunikaciju, slanje SMS poruka, cloud sinkronizaciju, SOS logiku ponavljanja, upravljanje OLED zaslonom i nadzor stanja baterije. Ovaj hibridni pristup kompenzira ograničenja NB-IoT dolaznih SMS poruka, uz očuvanje operativne neovisnosti.

BLOK DIJAGRAM SUSTAVA FlexiSOS



Na slici je prikazana logička arhitektura sustava FlexiSOS. Sustav se sastoji od senzorskog ulaznog podsustava, ugrađenog mikroupravljačkog sustava Arduino MKR NB 1500, LTE komunikacijskog sloja, cloud platforme za nadzor i potvrdu događaja te završnog komunikacijskog sloja za obavještanje skrbnika putem SMS poruka.

Funkcionalnosti uređaja



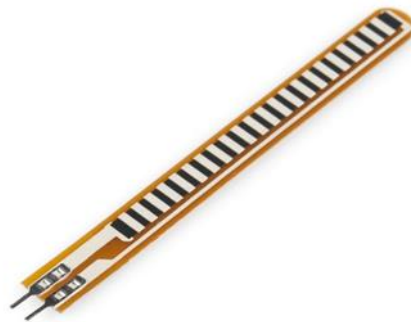
FlexiSOS omogućuje slanje više vrsta zahtjeva jednim pritiskom, pri čemu pojedini senzori služe za komunikaciju osnovnih potreba korisnika poput gladi, žeđi, potrebe za odlaskom na toalet, poziva za pomoć ili aktivacije hitnog SOS upozorenja. Kada korisnik aktivira hitni senzor, uređaj automatski šalje hitni SMS upozorenja, aktivira SOS stanje u cloud sustavu i pokreće kontrolirani ciklus ponavljanja upozorenja. Istovremeno se na OLED zaslonu prikazuje status sustava i odbrojavanje sljedećeg pokušaja komunikacije. Ako skrbnik potvrdi primitak upozorenja putem cloud platforme, uređaj detektira promjenu stanja, prekida SOS ciklus i prikazuje korisniku potvrdu da je pomoć zaprimljena.

SOS ciklus i prikazuje korisniku potvrdu da je pomoć zaprimljena.

Senzorsko ulazno sučelje

Pet fleksibilnih senzora omogućuje intuitivnu fizičku interakciju:

- A0 Glad
- A1 Žeđ
- A2 Toalet
- A3 Hitno (Pad)
- A4 Pomoć



Svaki ulaz uključuje: analognu zaglađivanje (postupno ujednačavanje očitanih vrijednosti senzora kako bi se smanjio utjecaj šuma i naglih promjena), histerezni prag (razlika između vrijednosti pri kojoj se senzor aktivira i vrijednosti pri kojoj se ponovno deaktivira, čime se sprječava stalno uključivanje i isključivanje oko iste granice), debounce vremensku zaštitu (kratko vremensko kašnjenje kojim se provjerava je li aktivacija senzora stvarna, a ne posljedica kratkotrajnog titranja signala) i zaštitu od ponovne aktivacije, odnosno cooldown

(vremenski period nakon aktivacije tijekom kojeg isti senzor ne može ponovno pokrenuti istu radnju), čime se osigurava deterministička detekcija i eliminira lažno aktiviranje.

Primjer rada: Kada korisnik aktivira hitni senzor, sustav automatski pokreće logiku eskalacije hitnog slučaja. U prvom koraku uređaj trenutno šalje SMS poruku upozorenja s porukom „HITNO! Pao/la sam!“, čime se osigurava trenutačna obavijest skrbniku ili članu obitelji. Istovremeno se u cloud sustavu aktivira SOS stanje kako bi uređaj mogao pratiti status hitnog poziva i omogućiti daljinsku potvrdu primitka upozorenja. Nakon početne aktivacije uređaj pokreće kontrolirani ciklus



ponavljanja upozorenja u intervalima od 60 sekundi, pri čemu je maksimalan broj ponavljanja ograničen na pet pokušaja. Tijekom tog procesa OLED zaslon korisniku prikazuje odbrojanje do sljedećeg slanja poruke te trenutni broj ponavljanja, čime se omogućuje jasan vizualni prikaz statusa sustava. Ovakav način rada osigurava dovoljnu razinu hitnosti i pouzdanosti komunikacije, ali istovremeno sprječava nekontrolirano preplavlivanje porukama. Ako skrbnik putem cloud nadzorne ploče potvrdi da je upozorenje zaprimljeno, uređaj detektira promjenu stanja pomoću edge-trigger mehanizma prijelaza vrijednosti iz 0 u 1. Nakon detekcije potvrde sustav automatski zaustavlja ciklus ponavljanja, šalje višepoljno ažuriranje podataka u cloud sustav te na OLED zaslonu prikazuje poruku „SOS OTKAZAN“. Takva višestupanjska logika rada omogućuje pouzdano daljinsko otkazivanje hitnog poziva, eksplicitnu potvrdu primitka upozorenja te sprječavanje neželjenih resetiranja i pogrešnih aktivacija sustava.

Firmware

Firmware uređaja organiziran je kroz više funkcionalnih stanja. U stanju nadzora uređaj kontinuirano prati ulazne senzore, stanje napajanja, LTE povezanost i korisničke zahtjeve. Kada korisnik aktivira jedan od senzora, sustav prelazi u stanje slanja zahtjeva, u kojem se priprema i šalje odgovarajuća SMS poruka. U slučaju aktivacije hitnog senzora, uređaj prelazi u stanje SOS eskalacije, gdje se pokreće logika ponavljanja upozorenja i praćenja potvrde primitka. Paralelno s time, sustav periodično provjerava stanje u oblaku kako bi utvrdio je li skrbnik potvrdio zaprimanje hitnog poziva. Ako se potvrda pojavi, firmware prelazi u stanje potvrde otkazivanja, zaustavlja daljnje ponavljanje poruka i prikazuje korisniku informaciju da je SOS poziv otkazan. Uređaj također ima stanje upozorenja na bateriju, u kojem nadzire razinu napajanja i obavještava korisnika o potrebi punjenja. Jedna od ključnih tehničkih značajki firmwarea jest upravljanje životnim ciklusom LTE socketa. Budući da mobilna komunikacija može biti osjetljiva na prekide, kašnjenja i ograničenja mreže, firmware mora pažljivo otvarati, koristiti i zatvarati komunikacijske veze. Time se smanjuje mogućnost blokiranja sustava i povećava pouzdanost prijenosa podataka. Logika provjere oblaka temelji se na promjeni stanja, što znači da uređaj ne reagira na statičnu vrijednost, nego na stvarni prijelaz signala potvrde. Takav edge-trigger pristup sprječava neželjeno ponavljanje radnji i omogućuje precizno prepoznavanje korisničke potvrde iz cloud sustava. Posebna pažnja posvećena je i HTTP komunikaciji s cloud platformom. Budući da IoT servisi često imaju ograničenja učestalosti slanja podataka, firmware koristi agregaciju HTTP zahtjeva kako bi više podataka poslao u jednom ažuriranju, umjesto da se nepotrebno šalje velik broj pojedinačnih zahtjeva. Time se sustav usklađuje s ograničenjima brzine cloud platforme i istovremeno održava stabilna komunikacija. Kontrolirano je i osvježavanje OLED zaslona kako bi prikaz bio jasan i ažuran, ali bez nepotrebnog opterećivanja mikrokontrolera. Firmware također uključuje zaštitne mehanizme za sprječavanje duplikata SMS poruka. To je posebno važno jer bi nekontrolirano višestruko slanje moglo nepotrebno uznemiriti skrbnika ili stvoriti dojam pogrešne aktivacije. Sustav zato koristi logiku stanja, vremenske intervale i zaštitu od ponovne aktivacije kako bi svaka poruka bila poslana samo kada je to stvarno potrebno. Uz to, implementirana je strategija stabilizacije početnog LTE strujnog udara, jer LTE modem pri pokretanju i spajanju na mrežu može zahtijevati povećanu količinu energije. Firmware zato kontrolira redoslijed pokretanja i komunikacijskih radnji kako bi se smanjila mogućnost resetiranja uređaja. Rezultat ovakvog pristupa jest IoT sustav vođen stanjima, a ne samo jednostavan SMS odašiljač. FlexiSOS se ponaša kao cjelovit ugrađeni komunikacijski sustav koji nadzire okolinu, obrađuje ulaze, upravlja mrežnom komunikacijom, komunicira s oblakom, prikazuje informacije korisniku i reagira na promjene u stvarnom vremenu. Time projekt nadilazi osnovnu razinu školskog elektroničkog sklopa i postaje primjer naprednog inženjerskog rješenja primjerenog radu s darovitim učenicima.

Primjer testnog firmwarea za senzorski sustav

Sljedeći primjer prikazuje pojednostavljeni testni program za očitavanje fleksibilnih senzora i prikaz podataka na OLED zaslonu tijekom razvoja sustava.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// ===== OLED =====
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_ADDR 0x3C
```

```

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

// ===== FLEX SENSORS =====
const int FLEX_COUNT = 5;
const int flexPins[FLEX_COUNT] = {A0, A1, A2, A3, A4};

// Adjust per sensor later if needed
int flexThreshold[FLEX_COUNT] = {
  820, 820, 820, 820, 820
};

// ===== ADC SMOOTH READ =====
int readFlex(int pin) {
  int sum = 0;
  for (int i = 0; i < 5; i++) {
    sum += analogRead(pin);
    delayMicroseconds(5);
  }
  return sum / 5;
}

// ===== SETUP =====
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(1000);

  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, OLED_ADDR)) {
    while (true);
  }

  display.clearDisplay();
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  display.setTextSize(1);
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("FINAL FLEX TEST");
  display.println("MKR NB 1500");
  display.display();

  Serial.println("Final flex sensor test started");
}

// ===== LOOP =====
void loop() {
  int values[FLEX_COUNT];

  // Read sensors
  for (int i = 0; i < FLEX_COUNT; i++) {
    values[i] = readFlex(flexPins[i]);
  }
}

```

```

// ----- OLED -----
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.setTextSize(1);
display.println("A0 A1 A2 A3 A4");

display.setCursor(0, 12);
for (int i = 0; i < FLEX_COUNT; i++) {
    display.print(values[i]);
    display.print(" ");
}

display.setCursor(0, 30);
for (int i = 0; i < FLEX_COUNT; i++) {
    if (values[i] > flexThreshold[i]) {
        display.print("^ ");
    } else {
        display.print("- ");
    }
}

display.setCursor(0, 48);
display.println("^ = BENT");

display.display();

// ----- SERIAL -----
for (int i = 0; i < FLEX_COUNT; i++) {
    Serial.print("A");
    Serial.print(i);
    Serial.print(": ");
    Serial.print(values[i]);
    Serial.print(" ");
}
Serial.println();

delay(300);
}

```

Stabilnost napajanja i pouzdanost

Stabilnost napajanja jedan je od temeljnih elemenata pouzdanog rada uređaja FlexiSOS, osobito zato što se radi o samostalnom baterijski napajanom LTE sustavu namijenjenom uporabi u stvarnim uvjetima. Uređaj koristi 3,7 V Li-Po bateriju kapaciteta 4000 mAh, što omogućuje dugotrajan rad bez stalne potrebe za priključenjem na vanjski izvor napajanja. Integrirani sklop

punjenja omogućuje jednostavno punjenje putem USB priključka, dok se stanje baterije prati očitanjem napona preko ADC ulaza mikrokontrolera. Tijekom razvoja posebna je pažnja posvećena problemima koji se često pojavljuju kod mobilnih IoT uređaja. LTE modem pri spajanju na mrežu može stvarati kratkotrajne strujne udare koji, ako napajanje nije stabilno, mogu uzrokovati resetiranje mikrokontrolera ili prekid rada cijelog sustava. Uz to su se pojavili izazovi povezani s pogrešnom



kalibracijom ADC očitavanja, nestabilnim pokretanjem uređaja isključivo na baterijskom napajanju, oscilacijama naponske grane i „plutajućim” analognim ulazima koji mogu dovesti do netočnih očitavanja senzora. Kako bi se ti problemi riješili, u sustav je uvedeno zaglađeno filtriranje napona, čime se smanjuje utjecaj kratkotrajnih promjena i šuma na očitavanja baterije. Primijenjena je i logika višestrukog uzorkovanja, pri čemu uređaj ne donosi zaključke na temelju jednog očitavanja, nego analizira više uzastopnih vrijednosti kako bi dobio stabilniju i pouzdaniju procjenu stanja napajanja. Kontrolirano vrijeme pokretanja omogućuje da se pojedini dijelovi sustava aktiviraju u pravilnom redoslijedu, čime se smanjuje opterećenje baterije i sprječava nestabilnost pri inicijalizaciji LTE modula. Dodatno je provedeno ispravno skaliranje naponskog djelitelja kako bi ADC očitavanja odgovarala stvarnom naponu baterije. Time je omogućeno preciznije praćenje napajanja i pravodobno upozoravanje korisnika na potrebu punjenja. Stabilizacijom analognih ulaza smanjena je mogućnost lažnih očitavanja senzora, što je posebno važno jer uređaj mora razlikovati stvarnu korisničku aktivaciju od električnog šuma ili nestabilnog signala. Nakon primjene navedenih rješenja FlexiSOS se pouzdano pokreće i radi isključivo na baterijskom napajanju, automatski se spaja na LTE mrežu i zadržava stabilan rad tijekom duljeg razdoblja. Uređaj može raditi više dana u stanju pripravnosti, što ga čini prikladnim za praktičnu asistivnu primjenu. Ovaj dio projekta učenicima omogućuje razumijevanje stvarnih inženjerskih izazova u razvoju baterijski napajanih IoT sustava te pokazuje koliko su stabilnost napajanja, pravilno mjerenje napona i kontrolirano pokretanje važni za pouzdanost cijelog uređaja.

3D modeliranje i mehanički dizajn

Aktivnost uključuje razvoj potpuno prilagođenog 3D kućišta koje sadrži otvor za OLED zaslon, prostor za bateriju, vodilice za kabele, nosače senzora i USB pristup. Učenici koriste CAD modeliranje, 3D dizajn i 3D ispis te kroz iterativni razvoj proizvoda testiraju ergonomiju i funkcionalnost kućišta. Razvoj kućišta omogućuje integraciju tehničke kulture, strojarstva i digitalne proizvodnje u jedinstven projekt.

Mehanički dizajn uređaja FlexiSOS razvijen je kao potpuno prilagođeno rješenje koje omogućuje sigurnu, preglednu i funkcionalnu integraciju svih elektroničkih komponenti u jedinstveno kućište. Kućište je izrađeno postupkom 3D ispisa, čime je omogućena brza izrada prototipa, provjera dimenzija, testiranje ergonomije i naknadno prilagođavanje konstrukcije stvarnim potrebama uređaja i korisnika. Posebna pažnja posvećena je preciznom otvoru za OLED zaslon kako bi prikaz informacija bio jasno vidljiv i pravilno poravnat s vanjskom površinom kućišta.

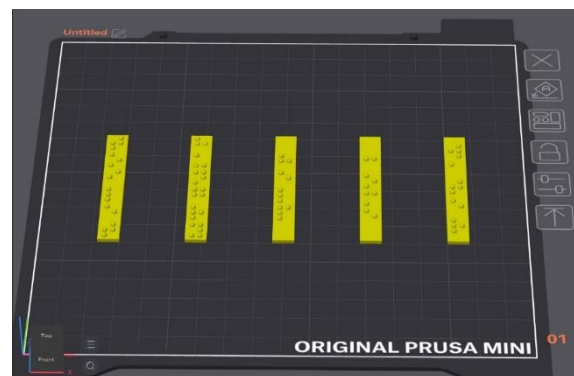


Unutrašnjost kućišta oblikovana je tako da omogućuje strukturirano vođenje kabela, smještaj senzora i sigurnu organizaciju elektroničkih sklopova. Integrirani prostor za bateriju osigurava stabilan položaj Li-Po baterije i smanjuje mogućnost pomicanja tijekom uporabe, dok je geometrija kućišta prilagođena slobodnom prolazu LTE antene kako bi se očuvala kvaliteta mobilne komunikacije.

U konstrukciju je uključen i bočni USB pristup, što omogućuje jednostavno punjenje uređaja i povezivanje s računalom bez potrebe za rastavljanjem kućišta. Potpora za poravnanje senzora dodatno osigurava da korisnički ulazi budu pravilno postavljeni, lako dostupni i funkcionalni u svakodnevnoj uporabi. Na taj način mehanički dizajn nije samo zaštitni omotač elektronike, nego važan dio ukupne funkcionalnosti sustava. Kućište je oblikovano prema stvarnim tehničkim zahtjevima uređaja, a ne prema gotovom generičkom modelu. Prioriteti dizajna bili su ergonomsko rukovanje, strukturalna izdržljivost, mogućnost servisiranja i kompaktna integracija svih komponenti. Uređaj mora biti dovoljno čvrst za svakodnevnu uporabu, dovoljno kompaktan za praktično nošenje ili postavljanje uz korisnika te dovoljno pristupačan za održavanje, punjenje i eventualne nadogradnje. Ovakav pristup učenicima pokazuje kako razvoj tehnološkog proizvoda ne završava programiranjem i povezivanjem elektroničkih komponenti, nego uključuje i promišljeno oblikovanje fizičkog proizvoda koji mora biti funkcionalan, siguran, upotrebljiv i prilagođen krajnjem korisniku.

Inkluzija i pristupačnost

FlexiSOS je osmišljen kao pristupačan asistivni uređaj koji mogu koristiti i osobe sa smanjenim vidom, slabijom motorikom ili poteškoćama u komunikaciji. Tijekom razvoja posebna je pažnja posvećena univerzalnom dizajnu i pristupačnosti kako bi korištenje uređaja bilo što jednostavnije, intuitivnije i neovisnije o dodatnoj tehnologiji poput pametnog telefona ili zaslona osjetljivog na dodir. Svaka tipka na uređaju ima jasno definiranu i fizički prepoznatljivu funkciju. Tipke su oblikovane u većem fizičkom formatu kako bi ih



korisnici mogli lakše pritisnuti čak i u slučaju smanjene preciznosti pokreta ili slabije motorike ruku. Uz tekstualne oznake i vizualne simbole, implementirano je i Brailleovo pismo, čime je omogućeno da korisnici dodiranjem prepoznaju funkciju pojedine tipke bez potrebe za gledanjem zaslona. Takav pristup omogućuje korisniku da samostalno i jednostavno pošalje jasnu poruku ili hitni poziv za pomoć, čak i ako ne može koristiti klasične digitalne uređaje ili ima ograničenja vida i komunikacije. FlexiSOS time ne promatra pristupačnost

kao dodatnu opciju, nego kao temeljni dio dizajna i funkcionalnosti sustava. Temeljna ideja jest da svaka osoba mora imati mogućnost pozvati pomoć, neovisno o tome vidi li, govori li ili koristi mobilni telefon.

Sigurnosne i etičke napomene

FlexiSOS razvijen je kao obrazovni i istraživački prototip namijenjen učenju i demonstraciji rada asistivne IoT tehnologije. Uređaj nije certificirani medicinski sustav niti zamjena za profesionalne sigurnosne ili medicinske uređaje.

Tijekom rada potrebno je voditi računa o:

- sigurnom rukovanju Li-Po baterijama i elektroničkim komponentama
- pravilnom korištenju LTE komunikacije i SIM kartica
- zaštiti privatnosti korisnika i sigurnosti podataka
- odgovornom testiranju SOS funkcionalnosti
- razumijevanju ograničenja mobilne mreže i cloud komunikacije

Posebna se pažnja posvećuje razvoju etičke svijesti učenika o važnosti inkluzivne tehnologije i društveno odgovornog razvoja tehničkih sustava.

Nadogradnja



Skalabilnost projekta omogućuje daljnji razvoj i nadogradnju sustava. U budućnosti se arhitektura može proširiti GPS lokacijom u hitnim slučajevima, čime bi skrbnik osim poruke mogao dobiti i informaciju o lokaciji korisnika. Moguća je i integracija zdravstvene telemetrije, primjerice praćenje osnovnih fizioloških pokazatelja, što bi uređaj dodatno približilo području digitalnog zdravstva i udaljenog medicinskog nadzora. Daljnji razvoj može uključivati izradu namjenske nadzorne ploče za skrbnike, optimizaciju ultra-niskoenergetskog načina mirovanja,

miniaturizaciju sustava putem prilagođene PCB pločice i razvoj prema zahtjevima medicinske certifikacije. Time FlexiSOS prerasta iz obrazovnog prototipa u skalabilnu platformu spremnu za daljnju kliničku, istraživačku i komercijalnu primjenu.

Zaključno

Ogledni primjer aktivnosti „FlexiSOS“ prikazuje mogućnost prilagodbe sadržaja, metoda rada i razine složenosti nastavnih aktivnosti za darovite učenike kroz interdisciplinarni STEM pristup. Aktivnost učenicima omogućuje istraživački i projektni rad u kojem samostalno razvijaju funkcionalno tehničko rješenje primjenom znanja iz elektronike, programiranja, IoT komunikacije i 3D modeliranja.



Kroz rad na projektu darovitim učenicima omogućuje se viša razina autonomije, kreativnog rješavanja problema, eksperimentiranja i povezivanja znanja iz više područja. Aktivnost potiče razvoj istraživačkih kompetencija, kritičkog mišljenja, tehničke i digitalne pismenosti te razumijevanje društveno odgovorne i inkluzivne primjene tehnologije.

Primjer pokazuje kako se složeniji STEM sadržaji mogu uspješno prilagoditi radu s darovitim učenicima kroz projektnu, problemsku i istraživačku nastavu te kako razvoj stvarnog funkcionalnog proizvoda može povećati motivaciju učenika, potaknuti inovativnost i omogućiti primjenu znanja u stvarnim životnim situacijama.