



Arduino platforma i senzor udaljenosti za mjerenje brzine svjetlosti u tekućini

Antonio Svedružić¹, Danijel Ptičar²

Uvod

Posljednjih godina u obrazovnim krugovima sve se češće spominje pojam STEM (akronim čije je značenje *Science, Technology, Engineering and Mathematics*). Filozofija obrazovanja kroz STEM paradigmu može se opisati riječima *Massima Banzia* i njegovog tima koji su razvili popularnu i sveprisutnu Arduino platformu: "Ne možemo se nadati novim generacijama znanstvenika i inženjera ako ne dopustimo učenicima pravo na samostalno istraživanje, aktivno uključivanje u dizajn i rad na istraživanju te iskorištavanje njihove kreativnosti u tehnološkom okruženju." [1] Vođeni tom idejom mnogi učitelji fizike sve češće koriste prednosti Arduina u eksperimentalnom radu s učenicima.

Arduino je računalna i programska platforma čiju glavnu jezgru čini mikrokontroler koji može primati i slati signale u okolinu i iz okoline. Platforma je otvorenog tipa, što znači da je dozvoljeno dijeljenje podataka o platformi, softverskih komponenti kao i programskog koda. U obrazovnom pogledu to znači znatno jeftinija eksperimentalna oprema od postojećih komercijalnih alternativa te mogućnost kreiranja novih platformi koje su međusobno uskladive. Ukratko, temeljna prednost platforme je jednostavnost i sloboda u sklopovlju te programskoj podršci. U sprezi s dostupnim senzorima (npr. temperature, vlage, gibanja i sl.) čine primjenjiv eksperimentalni postav za mjerenje raznih fizičkih veličina. Ipak, najznačajnija prednost u radu s Arduinoom je njegova obrazovna komponenta odnosno mogućnost kurikularnog povezivanja sadržaja iz cijelog STEM spektra. Tako je u eksperimentalnoj nastavi fizike moguće povezati znanja iz elektronike, programiranja i programskih alata, fizike i matematike. Izvršni primjeri integriranja STEM aktivnosti temeljenih na Arduino platformi opisani su u literaturi kao na primjer; istraživanje harmonijskih gibanja korištenjem ultrazvučnog senzora udaljenosti i Arduino Uno baze [2], aditivno ili RGB miješanje boja kontrolirano Arduino Uno mikrokontrolerom [3], vremenska stanica za mjerenje temperature i vlažnosti zraka bazirana na Arduino platformi [4] i mnogi drugi koji se mogu pronaći u Arduino bazi projekata [5].

U ovom radu prikazat ćemo Arduino Nano platformu spregnutu s laserskim senzorom udaljenosti za mjerenja brzine svjetlosti u prozirnim sredstvima. Navedeni senzor prema Arduino bazi i dostupnoj literaturi do sada nije korišten u te svrhe.

¹ Autor je profesor fizike u OŠ Ljudevita Gaja, Zaprešić; e-pošta: antonio.svedruzic@skole.hr

² Autor je profesor matematike i informatike u SŠ Bana Josipa Jelačića, Zaprešić;
e-pošta: danijel.pticar@zg.t-com.hr

Mjerenje brzine svjetlosti u prozirnim tekućinama

Talijanski fizičar *Galileo Galilei* prvi je spoznao da svjetlost ima konačnu brzinu pa ju je pokušao izmjeriti. Međutim, imao je problem jer nije mogao mjeriti iznimno kratak vremenski razmak za koji svjetlost prođe određeni put. Danas znamo zašto, svjetlost se u vakuumu rasprostire brzinom od $3 \cdot 10^8$ m/s. Zbog toga je za mjerenje kratkih vremenskih razmaka potrebno imati velike udaljenosti. Tako je danski astronom *Römer* odredio brzinu svjetlosti koristeći vremena okultacija Jupiterovih satelita. Danas je napredak tehnologije omogućio mjerenje brzine svjetlosti na laboratorijskom stolu kad su udaljenosti izvora i reflektirajućeg tijela vrlo male. Jedan od načina je upotreba diodnog lasera čiji se intenzitet modulira visokom frekvencijom [9]. Svjetlosna zraka nakon što prođe određenu udaljenost odbija se i putuje natrag u aparaturu. Promjena u fazi primljenog signala uspoređuje se s poslanim signalom. Brzina svjetlosti tada se računa iz izmjerene fazne razlike, modulirane frekvencije i duljine puta koju je svjetlost prošla. Međutim, za ovu metodu nužan je relativno složen i skup laboratorijski pribor i veće predznanje iz fizike i matematike koje nije primjereno za učenike osnovne škole.

U ovom radu dan je prijedlog metode i eksperimentalnog postava za određivanje brzine svjetlosti u prozirnim tekućinama pomoću laserskog senzora udaljenosti i Arduino mikroupravljača koji ne zahtijeva skupu i zahtjevnu opremu.

Općenito, laserski senzor za mjerenje udaljenosti mjeri vrijeme potrebno da svjetlost prođe put od izvora do plohe od koje se odbija i natrag. Uređaj emitira dvije zrake od kojih jedna prolazi referentni put unutar senzora, a druga put kojem se mjeri udaljenost. Zbog različitih duljina puteva postoji razlika u fazi svjetlosnih zraka. Koristeći posebnu tehniku usporedbe faznih razlika prema podatkovnoj datoteci proizvođača [10] senzor mjeri udaljenosti do 2 metra s točnošću od 1 milimetar. Senzorom je moguće mjeriti isključivo udaljenosti (s_s) u zraku, gdje prema:

$$s_s = c_{\text{zrak}} \cdot \frac{t}{2} \quad (1)$$

elektronika senzora množi vrijeme (t) s brzinom svjetlosti u zraku (c) odnosno 299 792 458 m/s. U ostalim sredstvima senzor će mjeriti pogrešne udaljenosti. Zbog razlike u brzini svjetlosti u različitim prozirnim sredstvima senzor mjeri veće udaljenosti od stvarnih (uz pretpostavku da je brzina svjetlosti u zraku najveća). Poznavanjem stvarne udaljenosti (s_r) (izmjerene mjernom vrpcom):

$$s_r = c_{\text{sredstvo}} \cdot \frac{t}{2} \quad (2)$$

gdje je c_{sredstvo} brzina svjetlosti u prozirnem sredstvu, izjednačavanjem izraza (1) i (2) po $\frac{t}{2}$ dobije se izraz za izračunavanje brzine svjetlosti u ostalim prozirnim sredstvima:

$$c_{\text{sredstvo}} = \frac{s_r}{s_s} \cdot c_{\text{zrak}} \quad (3)$$

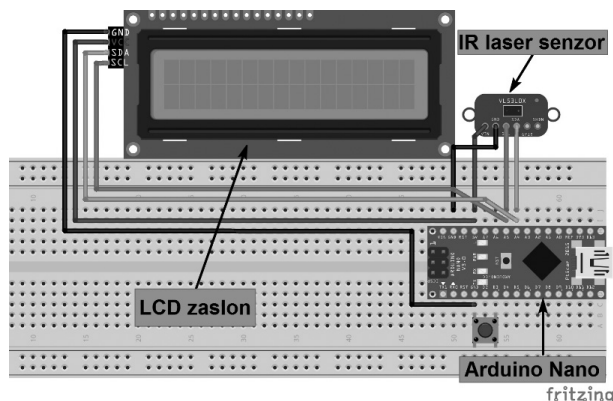
Eksperimentalni postav prikazan je na slici 3, a moguće ga je mijenjati s obzirom na potrebe istraživanja. U ovom radu korištena je mala PVC posuda tankih rubova na čiju je jednu stranu pričvršćen senzor, a na drugu neprozirna odbijajuća podloga. Mjeri se udaljenost između stijenki posude mjernom vrpcom (s_r), a potom senzorom udaljenosti (s_s). Iz izraza (3) računa se brzina svjetlosti u prozirnem sredstvu. Budući da svjetlost prolazi kroz stijenke plastične posude u tekućinu moguće je provjeriti utjecaj stijenki na promjenu u brzini svjetlosti. Prema gore opisanom postupku dobivena je brzina

svjetlosti u vodi od 219 256 470 m/s. Izračunat je omjer brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u vodi, odnosno indeks loma (n) koji iznosi 1.367.

Kao alternativa IR senzoru moguće je koristiti laserski senzor za mjerenje udaljenosti s diodnim laserom u vidljivom dijelu spektra valne duljine od 630 nm do 680 nm. U toj varijanti eksperiment značajno poskupljuje zbog visoke cijene uređaja. Pritom valja naglasiti da postoje uređaji koji laser koriste isključivo kao pokazivač usmjerenosti prilikom mjerenja udaljenost dok se tehnika mjerenja zasniva na ultrazvuku. Takav tip uređaja nije pogodan za opisanu metodu. Mjerenja brzine svjetlosti laserskim uređajem za mjerenje udaljenosti prema radovima Heiszlera [11] i Ochoa [12] daje vrlo dobre rezultate za brzine svjetlosti u odabranim tekućinama.

Opis Arduino komponenti i programskog koda

Uređaj za mjerenje udaljenosti sastavljen je od Arduino Nano mikroupravljača (ATmega328p), 16×2 LCD zaslona s I2C 8 bitnim ekspanderom, laserskog senzora VL53L0X, eksperimentalne pločice, vodiča i prekidača (slika 1). Komponente sklopa dostupne su za online kupnju, a za navedeno sklopovlje potrebno je izdvojiti svega 10-ak dolara. Glavna komponenta uređaja je laserski senzor za mjerenje udaljenosti VL53L0X proizvođača STMicroelectronics. Senzor koristi IR lasersku diodu ($\lambda = 940$ nm) kojom se mjeri udaljenosti od najviše 2 m. Za komunikaciju sa senzorom koristi se I2C sabirnica. Umjesto PC računala upotrijebljen je 16×2 LCD ekran koji je spojen na I2C sabirnicu čime je broj vodiča smanjen, a povećana je mobilnost i cijena uređaja. Na Arduino bazi je korištena I2C sabirnica koja se nalazi na pinovima A4 (SDA – *serial data*) za prijenos podataka i A5 (SCL – *serial clock*), +5 V napajanje senzora i LCD ekrana, te pin D3 na koji je spojen prekidač.



Slika 1. Komponente uređaja za mjerenje udaljenosti.
Shema je nacrtana u programu Fritzing [8]

Za upravljanje LCD ekranom koristi se LiquidCrystal I2C biblioteku koja je dostupna na mreži [6]. Adresa LCD zaslona u pravilu se nalazi na 0×27 i $0 \times 3F$ što ovisi o verziji LCD-a pa je najsigurnije spajanje LCD-a na Arduino te pokretanje I2C scanner koji javlja adresu zaslona. Na zaslonu se prikazuju prosječna udaljenost, trenutno očitana udaljenost i broj mjerenja.

Cijeli kôd

```
#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

VL53L0X sensor;
int32_t range_sums=0, counter=0;
float distavg=0;

void setup()
{
    Wire.begin(); // inicijalizacija i2c sabirnice
    pinMode(3,INPUT_PULLUP); // gumb

    sensor.init(); // inicijalizacija senzora
    sensor.setTimeout(500);

    // parametri osjetljivosti i točnosti
    sensor.setSignalRateLimit(0.25);
    sensor.setVcselPulsePeriod(VL53L0X::VcselPeriodPreRange, 14);
    sensor.setVcselPulsePeriod(VL53L0X::VcselPeriodFinalRange, 10);
    sensor.setMeasurementTimingBudget(33000);

    lcd.init(); // inicializacija LCD-a
    lcd.backlight(); // uključi osvjetljenje
}

void loop()
{
    if(digitalRead(3)==0) { // reset sr. vrj.
        range_sums=0;
        counter=0;
    }

    uint16_t range = sensor.readRangeSingleMillimeters();

    if (sensor.timeoutOccurred()) return;

    range_sums+=range; // zbroj udaljenosti
    counter++; // brojač mjerenja
    if(counter==0) distavg=0;
    else distavg=(float)range_sums/(float)counter;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(distavg); // ispis sr. vrijednosti
    lcd.write(' ');
    lcd.print(range); // trenutna udaljenost
    lcd.write(' ');
    lcd.print(counter); // brojač
    lcd.write(' ');
    delay(50);
}
```

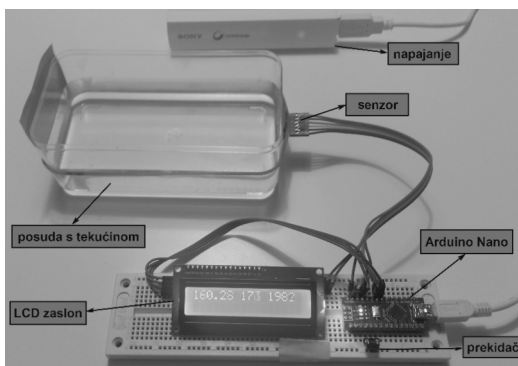
Slika 2. Kôd za komunikaciju sa senzorom (izvor: autori rada).

Za komunikaciju s VL53L0X senzorom postoje dvije biblioteke Adafruit i Pololu [7]. Za potrebe mjerenja korištena je biblioteka Pololu zbog mogućnosti ugađanja odabranih parametara senzora. U radu sa senzorom ustanovljene su oscilacije očitanih vrijednosti duljina osobito kad svjetlosna zraka prolazi kroz medij koji nije zrak. Zbog toga je sustav kreiran tako da računa srednju vrijednost izmjerenih duljina, a pritiskom na ugrađeni prekidač poništava varijable “zbroy udaljenosti” i “broj mjerenja”. U biblioteci koju nudi proizvođač senzora moguće je podešavati tri parametra osjetljivosti senzora (*setSignalRateLimit*, *setVcscelPulsePeriod* i *setMeasurementTiming Budget*) koji su dodatno prilagođeni potrebama ovog istraživanja. Funkcija za očitavanje senzora je *readRangeSingleMillimeters* koja daje udaljenost u milimetrima. Na slici 2 prikazan je cijeli kôd za komunikaciju sa senzorom.

Modifikacije i nove mogućnosti

Budući da je laserskim senzorom povezanim Arduinoom moguće mjeriti brzine svjetlosti u tekućinama navodimo nekoliko eksperimentalnih ideja koje je moguće realizirati koristeći opisani postav. Prvo, mjerenjem brzine svjetlosti u prozirnim tekućinama kao što su alkohol, glicerol, ulje i sl. moguće je provjeriti kako indeks loma tekućine zavisi o gustoći (m/V) tekućine. Ovim bi se istraživanjem provjerila česta pretpostavka kako tekućine veće gustoće ujedno imaju veći indeks loma. Drugo, utvrditi utjecaj koncentracije otopljene tvari (šećer, sol i sl.) na indeks loma tekućine. Za niže koncentracije $< 40\%$ (otopina NaCl) otopljene tvari zavisnost je linearna [13] pa je korištenjem računalnog programa za crtanje grafova moguće odrediti kalibracijski pravac koji će potom poslužiti za određivanje koncentracije otopljene tvari realnim uzorcima (npr. koncentracija šećera u sokovima ili soli u morskoj vodi). Treće, provjeriti utjecaj temperature na indeks loma tekućine i utvrditi vrstu zavisnosti.

Navedeni prijedlozi istraživanja Arduino platformom i opisanim senzorom integriraju sve STEM aktivnosti. Konstrukcija i uparivanje mikrokontrolera sa senzorom zahtijevaju poznavanje elektronike i programiranja, znanja iz fizike – utjecaj medija na brzinu svjetlosti, znanja iz matematike – crtanje grafa i njegova linearizacija. Stoga bi povezivanje Arduino platforme i nekog od dostupnih senzora mogla biti ideja vodilja nastavnicima i učenicima za buduća eksperimentalna istraživanja koja pokrivaju gotovo sve sadržaje STEM područja.



Slika 3. Eksperimentalni postav za mjerenje brzine svjetlosti u tekućini.

Literatura

- [1] https://www.esc19.net/cms/lib011/.../make_gettingstartedwitharduino_3rdedition.pdf (preuzeto 24.06.2018.)
- [2] C. GALERIU, S. EDWARDS, G. ESPER (2014), *An Arduino Investigation of Simple Harmonic Motion*, *The Physics Teacher*, Vol. 52, 157–159.
- [3] P. SIMEÃO, C. HAHN, M. HAHN (2016), *A Simple Experimental Setup for Teaching Additive Colors with Arduino*, *The Physics Teacher*, Vol. 54, 244–245.
- [4] D. MUSTAČ, J. TRSTENJAK (2016), *Vremenska stanica za mjerenje temperature i vlažnosti zraka bazirana na Arduino platformi s prikazom na LCD zaslonu*, *Obrazovanje za poduzetništvo*, Vol. 6, 2, 109–123.
- [5] <https://create.arduino.cc/projecthub/projects/tags/sensor> (preuzeto 24.06.2018.)
- [6] <https://playground.arduino.cc/Main/I2cScanner> (preuzeto 24.06.2018.)
- [7] <https://github.com/pololu/vl53l0x-arduino> (preuzeto 24.06.2018.)
- [8] <http://fritzing.org/home> (preuzeto 24.06.2018.)
- [9] <http://www.fizika.unios.hr/pof2/wp-content/uploads/sites/49/2011/02/Vjezba-6.pdf> (preuzeto 24.06.2018.)
- [10] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf> (preuzeto 24.06.2018.)
- [11] F. J. HEISZLER (2017), *Measuring the speed of light in classroom*, *Physics Education*, 52, (1).
- [12] R. OCHOA, R. FIORILLO, C. OCHOA (2014), *Index of Refraction Measurements Using a Laser Distance Meter*, *The Physics Teacher*, Vol. 52, 167–168.
- [13] http://www.frederiksen.eu/fileadmin/user_upload/PDF/Export_Manuals/545920_AE_sugarsolution.pdf (preuzeto 24.06.2018.)