Zasnova in izdelava vmesnika za povezavo senzorjev s platformo myRIO-1900

Matic Kraševec, Andraž Rihar

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
E-pošta: andraz.rihar@fe.uni-lj.si

Design and Development of a Sensor Interface for the myRIO-1900 platform

Sensors represent one of the foundations for an automated and electrified future. As existing platforms are either too complex or non-intuitive, an interface was designed and developed to serve as a dedicated educational tool for laboratory practices of senior-year electrical engineering students. A custom developed printed circuit board connects two ultrasonic distance sensors to the myRIO platform, which acquires, processes, and transmits data to a computer. The results are displayed in real time on an informative and intuitive graphical user interface. The platform was tested by senior-year students, with tests verifying its suitability and ease-of-use.

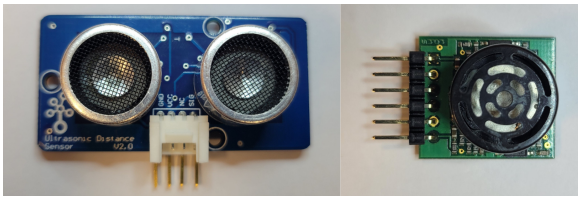
1 Uvod

V zadnjih letih smo priča pospešeni elektrifikaciji vsakdanjega življenja, ki skupaj z razvojem močnostne elektronike, električnih pogonov in naprednih sistemov vodenja predstavlja enega ključnih dejavnikov tehnološkega napredka industrije. Ob naraščanju zahtevnosti procesov, aplikacije vse pogosteje vključujejo točne, zanesljive in dostopne napredne senzorske sisteme. Predvsem pomembno postaja merjenje razdalje z ultrazvočnimi (UZ), radarskimi in laserskimi tipi senzorjev.

Znanja o senzorjih toka, napetosti, vrtilne hitrosti in razdalje so ključna tudi za študente mehatronike s Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, zato se o njih učijo v okviru predmeta Senzorji in merilni pretvorniki v drugem letniku druge stopnje magistrskega študija. Zgradba in delovanje senzorjev sta vedno poučevana v kombinaciji: i) predavanj o teoretičnem ozadju ter ii) praktičnega dela s senzorji na laboratorijskih vajah.

Da se študentje v okviru laboratorijskih vaj lahko osredotočijo na delovanje in zgradbo senzorja, je treba zagotoviti enostaven priklop, dostop do ključnih signalov ter intuitivno uporabo. Ker imajo senzorji različne priključke (slika 1), potrebujejo vzbujanje z namenskimi signali in kakšne specialne komunikacijske protokole, je smiselno uporabiti komercialni senzorski sklop v kombinaciji z namenskim demonstracijskim vmesnikom.

Pregled področja pokaže, da primeri takih vmesnikov že obstajajo, a so podvrženi različnim pomanjkljivostim. Cano-Lozano *in sod.* so izdelali didaktični UZ merilnik razdalje in vključili lastna analogna elektronska vezja za



Slika 1: Primera ultrazvočnih senzorjev razdalje: Ultrasonic Ranger (levo) [1] in PMOD MaxSonar (desno) [2].

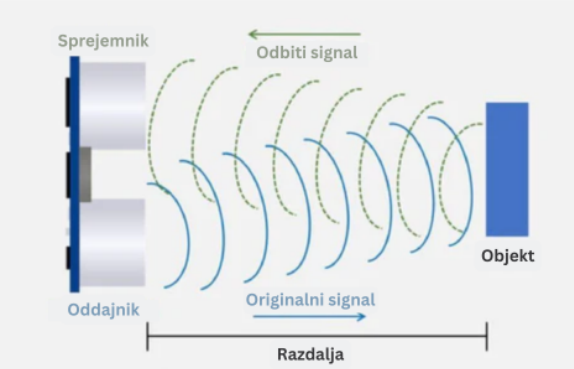
obdelavo signalov [3], vendar je uporaba zdaj omejena na meritve z osciloskopom in nima uporabniškega vmesnika. Podobno rešitev je predstavil tudi Cardoso [4]. Lastno razvit merilnik razdalje predstavi Rupnik [5], ki pa za generiranje prožilnih signalov in branje ključnih podatkov uporabi platformo NI myRIO z FPGA. Digitalna izvedba in povezava z računalnikom lahko izboljšata nastavljivost sistema in uporabniško izkušnjo. Platforma myRIO je posebej interesantna, ker jo študentje mehatronike poznajo že iz nižjih letnikov. Prototip žal predvideva uporabo zgolj ene vrste senzorja in sicer z ločenim oddajnikom in sprejemnikom.

Povezljivost myRIO s posameznimi komercialnimi senzorji podjetje NI podpira z že pripravljenimi demonstracijskimi vajami, ki omogočajo tudi uporabo grafičnih uporabniških vmesnikov (GUI) [6]. Senzorji so na myRIO priključeni z žičkami, kar omejuje integracijo sistema. Rešitve z uporabo drugih mikrokrmilniških platform (Arduino, Raspberry PI in Elvis [7]) obstajajo, vendar bi študentom lahko povzročale dodaten izziv, saj se v nižjih letnikih z njimi ne srečajo.

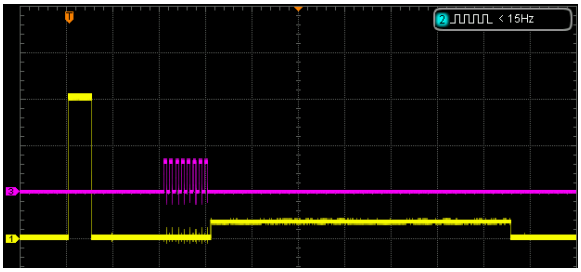
Podjetje Studica ponuja senzorski sklop, ki s platformo myRIO poleg UZ povezuje še več različnih senzorjev in komponent [8], vendar je naprava skupaj z vsemi komponentami večja od krmilnika in prekompleksna.

Za kakovosten študij UZ senzorjev razdalje na fakulteti je torej potreben vmesnik, ki bo naslavljal pomanjkljivosti obstoječih platform in bo omogočal enostaven priklop dveh po zgradbi različnih komercialnih UZ senzorjev, po potrebi dostop do ključnih električnih veličin, dobro uporabniško izkušnjo z digitalnim uporabniškim vmesnikom, ter bo kompakten, intuitiven in zanesljiv.

Namen tega prispevka je predstavitev zasnove in izdelave sistema, ki ustreza zgoraj naštetim zahtevam.



Slika 2: Princip delovanja ultrazvočnega senzorja razdalje.



Slika 3: Oscilogram ene periode (20 ms) delovanja senzorja Ranger s prožilnim pulzem in odzivom na SIG pinu (rumeno), ter visokofrekvenčni pulzi ultrazvočnega oddajnika (roza).

2 Metodologija

2.1 Ultrazvočni senzorji razdalje

Ultrazvočni (UZ) senzorji razdalje običajno sestojijo iz enega ali dveh piezoelektričnih elementov. Eden od elementov (oddajnik, angl. transmitter) ob vzbujanju ustvari UZ valovanje, ki potuje skozi prostor, se odbije od objekta in se vrne do istega ali drugega elementa, ki deluje kot sprejemnik (angl. receiver) in zaznano valovanje spremeni v visokofrekvenčno napetost (slika 2). Namensko vezje izmerjeno napetost obdela in glede na trenutek začetka vzbujanja izmeri čas preleta uporabljenega UZ valovanja. Če valovanje potuje skozi zrak pri sobni temperaturi in zmerni vlagi, lahko z enačbo (1) ob upoštevanju hitrosti zvoka $v_{zvok} = 343$ m/s in časa preleta $t_{preleta}$ določimo razdaljo l med senzorjem in objektom. Kadar merimo čas preleta odbitega signala, valovanje isto razdaljo prepotuje dvakrat, kar upoštevamo s faktorjem $1/2$, kadar pa se sprejemnik nahaja pri objektu, tega faktorja ne uporabljamo. Senzor s kombiniranim oddajnikom in sprejemnikom ima omejeno minimalno razdaljo merjenja (mrtva cona), ker pri bližnjih objektih še ne uspe ločiti med oddanim in sprejetim signalom.

$$l = \frac{t_{\text{preleta}}}{2} \cdot 343\,\text{m/s} \qquad (1)$$

Tabela 1: Karakteristični podatki izbranih ultrazvočnih (UZ) senzorjev razdalje

	Ultrasonic Ranger	**PMOD MaxSonar**
Nap. napetost / V	3,2 – 5,2	3,3
Merilno območje / cm	2 – 350	15 – 648
Ločljivost / cm	1	2,54
UZ frekvenca / kHz	40	42
Izhodni signal	PWM	UART, AN, PWM

Primera takih senzorjev, ki sta uporabljena tudi na laboratorijskih vajah, predstavljata: i) Ultrasonic Ranger podjetja Seeed studio z ločenim oddajnikom in sprejemnikom [1] ter ii) PMOD MaxSonar s kombiniranim oddajnikom in sprejemnikom [2] (slika 1). Ključni podatki izbranih senzorjev so podani v tabeli 1.

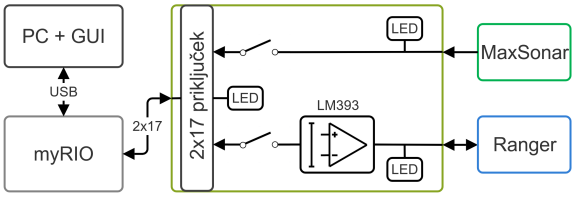
Izbrana senzorja podpirata različne načine podajanja meritev. Senzor Ultrasonic Ranger deluje po principu signala PWM (Pulse-Width Modulation). Prožilni signal s trajanjem vsaj 10 µs sproži 8 ciklov proženja oddajnika s frekvenco 40 kHz. Ob zadnjem pulzu na SIG pinu vrne pravokotni pulz z vrednostjo 0,7 V, ki zavzame vrednost 0 V ob detekciji vrnjenega UZ valovanja (slika 3). Trajanje pulza je enako času preleta. Senzor MaxSonar ima poleg PWM principa tudi analogen (AN) ter UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) izhod. UART protokol je kompleksnejši in na laboratorijskih vajah ni obravnavan. Izbran je analogen izhod, kjer je merjena razdalja preprosto proporcionalna izhodni napetosti 9-bitnega pretvornika na AN pinu.

2.2 Strojna oprema vmesnika

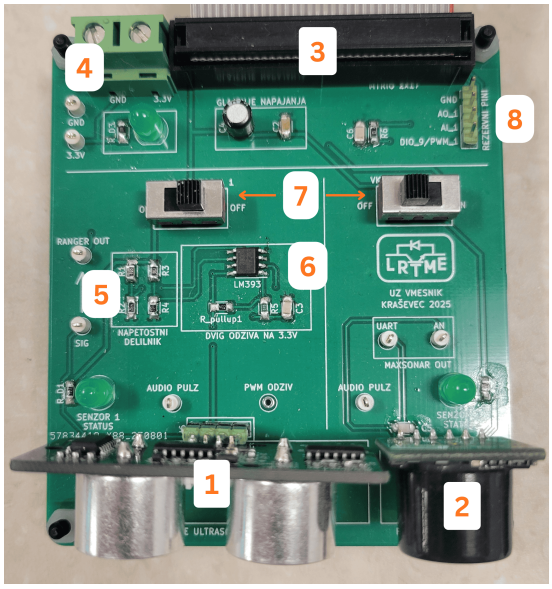
Po zasnovani konceptualni shemi (slika 4) je bilo izdelano dvostransko tiskano vezje vmesnika (slika 5), ki bo služilo za povezavo senzorjev z razvojno platformo myRIO-1900. To odlikujejo zmogljiv sistem na čipu Xilinx Zynq-7010 z ARM procesorjem in vgrajenim FPGA modulom, ter številni vhodno-izhodni digitalni in analogni priključki.

V grobem vezje sestoji iz naslednjih delov: i) sklop napajanja senzorjev in prilagodilnih elektronskih vezij z napetostjo 3,3 V, ii) priključki za priklop UZ senzorjev, iii) dvopoložajni stikali za vklop/izklop posameznega senzorja, iv) LED diode za signalizacijo delovanja, v) priključek za platformo myRIO ter vi) rezervni pini.

Pred vzorčenjem je treba signal senzorja Ranger dodatno prilagoditi, zato je na tiskanem vezju tudi okenski komparator LM393 z dvojnim uporovnim delilnikom za določitev mej okna. Ta odziv senzorja dvigne z 0,7 V



Slika 4: Poenostavljena shema vmesnika.

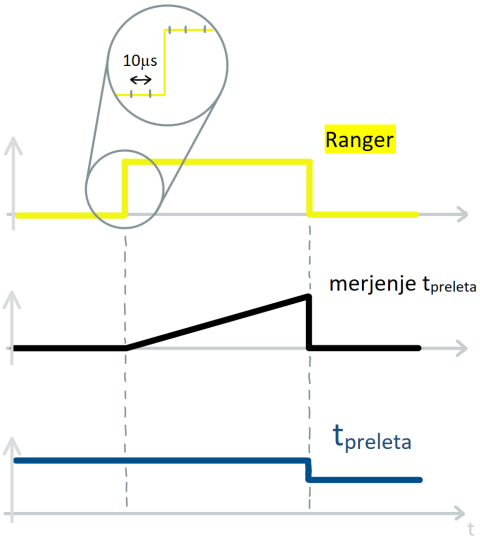


Slika 5: Tiskano vezje: Ranger (1), MaxSonar (2), priključek za myRIO (3), terminal za rezervno napajanje (4), delilnik (5), okenski komparator (6), stikala (7), rezervni pini (8).

na 3,3 V, kar omogoča digitalno vzorčenje. Na vezju so tudi označeni testni pini, ki ponujajo dostop do ključnih signalov in bogatijo pedagoško vrednost vmesnika.

2.3 Programska oprema vmesnika

Programiranje vgrajenega sistema na čipu platforme myRIO je bilo izvedeno v programu LabVIEW podjetja NI. To omogoča gradnjo virtualnih instrumentov z grafičnim programiranjem funkcionalnosti in oblikovanjem uporabniškega vmesnika, hkrati pa ga odlikuje enostavna povezljivost z izbrano razvojno platformo.



Slika 6: Časovni potek merjenja časa preleta (širine odziva) senzorja Ranger. Izmerjeni čas se vsakih 10 µs interno poveča, dokler ima odziv logično vrednost 1. Ob prehodu z 1 na 0 se meritev zapiše na izhod in se tako spremeni le enkrat na periodo.

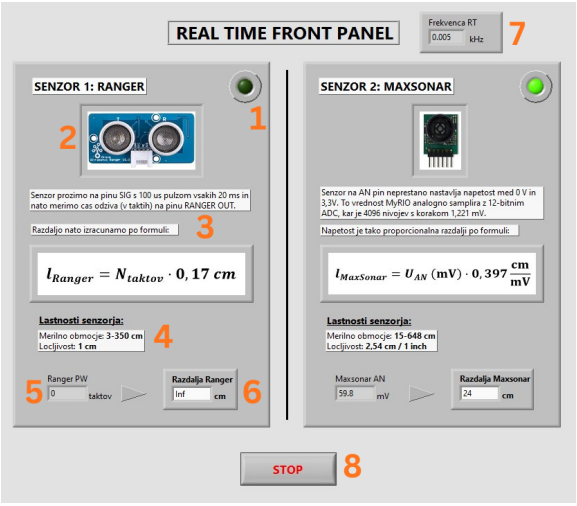
Ker je realno-časovni del myRIO prepočasen (do 1 kHz), je večina programske kode implementirane na vgrajenem FPGA modulu. Ta omogoča vzporedno delovanje več while zank, ki lahko posamezne naloge izvajajo celo z različnimi frekvencami. Osnova delovanja programa je števec (angl. counter), ki s frekvenco 40 MHz narekuje osnovni takt programa. Primerjava števca z vrednostjo prožilnega (angl. trigger) signala omogoči pripravo prožilnih pulzov s konstantno frekvenco 50 Hz. Senzor Ranger namreč za delovanje potrebuje prožilni pulz vsakih 20 ms. Tretja zanka s frekvenco 1 MHz meri čas trajanja odziva senzorja, ki je torej enak času preleta merjene razdalje (slika 6).

Senzor MaxSonar na enem izmed pinov podaja analogno vrednost napetosti, ki je proporcionalna razdalji do objekta. To napetost merimo z 12-bitnim AD pretvornikom, ki je vgrajen na razvojni platformi.

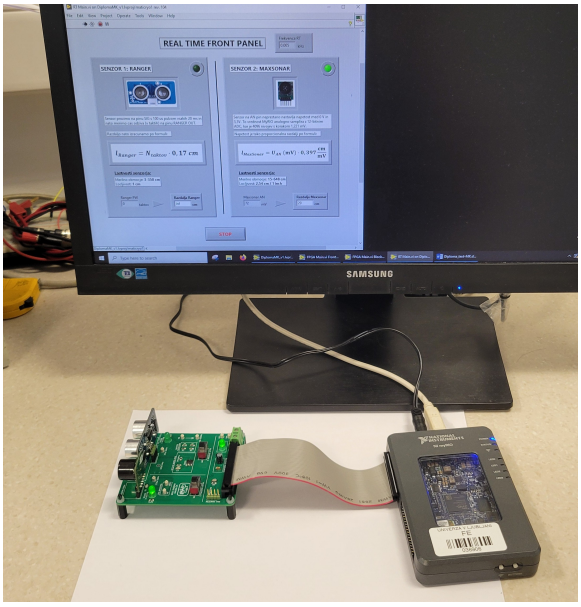
Obe meritvi sta s frekvenco 5 Hz posredovani v glavni program (RT), kjer so implementirani preračuni v dejanske vrednosti v centimetrih, ki se prikazujejo na uporabniškem vmesniku.

2.4 Grafični uporabniški vmesnik

Grafični uporabniški vmesnik predstavlja čelno ploščo sistema (slika 7) in je pripravljen v LabVIEW-u. Prikazuje zgradbo in osnovni opis delovanja obeh senzorjev, ter princip preračuna merjenih razdalj. Tako študentu daje vpogled v delovanje ter interpretacijo fizikalnega ozadja izvedenih meritev. S pedagoškega vidika sta za uporabo najpomembnejši berljivost, intuitivnost in enostavnost uporabe, zato je čelna plošča razdeljena na dva ločena sklopa in je tako vizualno karseda podobna postavitvi senzorjev na fizičnem vmesniku. Dodatno asociacijo nudijo fotografije senzorjev ter digitalni indikatorji napajanja.



Slika 7: Grafični uporabniški vmesnik sistema v okolju LabVIEW: Indikator napajanja senzorja (1), slika senzorja (2), opis delovanja in ključnih preračunov (3), specifikacije senzorja (4), surov uvožen podatek iz FPGA modula (5), končna meritev (6), hitrost osveževanja prikaza (7) in gumb za izklop sistema (8).

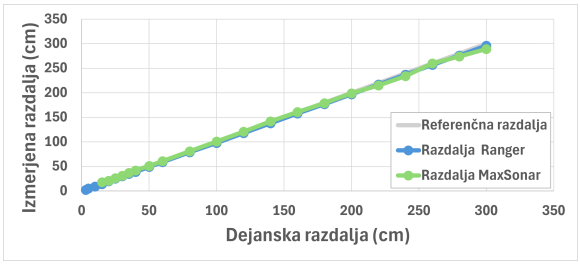


Slika 8: Eksperimentalna postavitev sistema prikazuje tiskano vezje vmesnika, myRIO-1900 in grafični uporabniški vmesnik.

3 Rezultati in razprava

V prvem koraku je bilo izvedeno eksperimentalno testiranje posameznih sklopov strojne in programske opreme vmesnika. Z osciloskopom je bila preverjena ustreznost vseh ključnih prožilnih in izhodnih signalov. Ko je bilo ugotovljeno, da program senzorje proži pravilno in elektronska vezja na vmesniku ustrezno prilagodijo napetostne nivoje, je bil preverjen zajem PWM in analognih signalov na platformi myRIO. Implementirani so bili manjši popravki, ki so zagotovili pravilno obdelavo signalov in točen preračun razdalje. Pravilnost prožilnih, vmesnih in izhodnih signalov je ključna točka laboratorijske vaje in je za pedagoški proces posebej pomembna.

V drugem koraku so bile izvedene meritve statičnih karakteristik obeh senzorjev (slika 9). Te so bile pridobljene s postopnim povečevanjem razdalje med večjim objektom z ravno površino in senzorjem, ter odčitavanjem rezultatov z uporabniškega vmesnika. Referenčna razdalja je bila ugotovljena z merilnim trakom. Rezultati potrjujejo ustreznost delovanja obeh senzorjev in prikazujejo linearno statično karakteristiko na merilnem območju do 300 cm. Relativna napaka za vsak senzor ne presega 4 %



Slika 9: Izmerjene statične karakteristike UZ senzorjev.

dejanske vrednosti, kar potrjuje ustreznost sistema.

Meritve so bile najprej izvedene za vsak senzor posamično, nato pa še s sočasno vklopljenima senzorjema. V tem primeru je zaradi interference prihajalo do medsebojnih motenj in na delu območja do netočnih meritev.

Končno je bil sistem v študijskem letu 2025/2026 uporabljen na laboratorijskih vajah. Študenti, ki so vajo izvajali s pomočjo vmesnika, so to končali učinkoviteje kot njihovi kolegi, ki so uporabljali osnovne senzorje. Pohvalili so predvsem zasnovo in enostavnost uporabe sistema.

4 Sklepne ugotovitve

Ugotavljamo, da izdelani vmesnik s programom in GUI-jem deluje v skladu s pričakovanji in izhodiščnimi zahtevami. Med uporabo nismo ugotovili pomanjkljivosti, pokazale pa so se številne prednosti v primerjavi s konkurenčnimi izvedbami. V prihodnjem študijskem letu bo na podlagi pozitivnega odziva študentov izdelanih več kosov vmesnika za redno uporabo v študijskem procesu.

Zahvala

Delo sofinancira ARIS (programska skupina P2-0258).

Literatura

[1] Seeed studio, “Grove – Ultrasonic Ranger,” 2026, https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Ultrasonic_Ranger/ [Dostopano: 20.07.2026].

[2] Digilent, “Pmod MAXSONAR,” 2026, https://digilent.com/reference/pmod/pmodmaxsonar/start [Dostopano: 20.07.2026].

[3] P. Cano-Lozano, A. García, J. M. Mora-Merchán, S. García, A. Gallardo, in J. I. Guerrero, “Ultrasonic distance measurement equipment for practical laboratory sessions,” v *2024 XVI Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAEE)*. IEEE, 2024, str. 1–6.

[4] J. T. Cardoso-jean in C. A. de Souza Filho, “Development of a didactic ultrasonic level sensor through a modular approach,” v *2019 Congresso Brasileiro de Educacao em Engenharia*, 2019, str. 1–10.

[5] D. Rupnik, “Razvoj programirljivega ultrazvočnega merilnika razdalje,” Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija, 2022.

[6] NI, “Sonic Range Finder,” 2026, https://education.ni.com/teach/resources/55/sonic-range-finder [Dostopano: 06.09.2026].

[7] J. Gao, Y. Guo, in W. Zhang, “Experimental design of ultrasonic ranging based on NI ELVIS III and LabVIEW,” *Experiment Science and Technology*, let. 23, št. 4, str. 126–134, 2025.

[8] Studica, “Robotics Sensor and Motor Training Kit,” 2026, https://www.studica.com/robotics-sensor-motor-training-kit-72030_1 [Dostopano: 20.07.2026].