

Prilagoditev poučevanja avtomatike in robotike na UL FE med študijem na daljavo

Sašo Blažič, Matjaž Mihelj, Andrej Zdešar, Matevž Bošnjak, Simon Tomažič, Janez Podobnik,
Sebastjan Šlajpah, Peter Kmecl, Igor Škrjanc, Marko Munih
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Tržaška 25, Ljubljana

saso.blazic@fe.uni-lj.si, matjaz.mihelj@fe.uni-lj.si, andrej.zdesar@fe.uni-lj.si,
matevz.bosnak@fe.uni-lj.si, simon.tomazic@fe.uni-lj.si, janez.podobnik@fe.uni-lj.si,
sebastjan.slajpah@fe.uni-lj.si, peter.kmecl@fe.uni-lj.si, igor.skrjanc@fe.uni-lj.si,
marko.munih@fe.uni-lj.si

Adaptation of control systems and robotics teaching at the UL FE during the online study

In this paper, the adaptation of the pedagogic process in the time of pandemic will be presented. A key element in acquiring engineering competencies by the students are laboratory exercises, which are performed during all professional courses at the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, so we will focus on the necessary updates in laboratory exercises in the fields of control systems and robotics. During some courses, the exercises have been performed on realistic simulators, which allow the students to get acquainted with many scenarios often encountered in practice. In other cases, the exercises, which otherwise run on laboratory equipment, were adjusted so that students could operate this equipment from the home environment. It was necessary to build hardware and software interfaces, ensure secure communication, etc. Some exercises were adapted so that students received basic components by classical mail, and they had to develop the required solutions. The described adjustments were very well received by the students, but both the students and the assistants assessed that the implementation was more time-consuming than the classic one.

Kratek pregled prispevka

V okviru prispevka bomo predstavili prilagoditve v izvajanju pedagoškega procesa, ki smo jih izvedli v času pandemije. Ključen element pri pridobivanju inženirskih kompetenc so laboratorijske vaje, ki se jih izvaja pri vseh strokovnih predmetih na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, zato se bomo osredotočili na potrebne posodobitve, ki smo jih izvedli pri laboratorijskih vajah s področja avtomatike in robotike. Pri nekaterih predmetih smo vaje postavili na realistične simulatorje, ki omogočajo spoznavanje z veliko scenariji, ki jih srečamo v praksi. V nekaj primerih smo vaje, ki sicer tečejo na laboratorijski opremi, prilagodili tako, da so študentje s to opremo lahko upravljali iz domačega okolja. Pri tem je bilo treba zgraditi strojne in programske vmesnike, poskrbeti za varno komunikacijo idr. Pri nekaj predmetih so študentje na dom po pošti prejeli osnovne gradnike, na osnovi katerih so razvili zahtevane rešitve. Opisane prilagoditve so študentje zelo dobro sprejeli, so pa tako študentje kot asistenti ocenili, da je bila izvedba časovno bolj zahtevna od klasične.

1 Uvod

Leta 2020 se je življenje mnogih prebivalcev našega planeta korenito spremenilo zaradi pandemije povezane s koronavirusom SARS-CoV-2 in boleznijo COVID-19, ki jo ta virus povzroča. V večini svetovnih držav se je nenadoma povsem zaustavilo ali pa vsaj zelo ohromilo javno življenje. V veliki meri so bili prizadeti tudi izobraževalni sistemi posameznih držav. Marca 2020 so se tako rekoč čez noč vsi izobraževalni procesi v Republiki Sloveniji pričeli izvajati na daljavo. Na ta kvantni preskok nihče ni bil popolnoma pripravljen, a smo se vsi, ki izvajamo izobraževanje, po svojih zmožnostih trudili, da bi se šolanje uspešno izvajalo še naprej in da bi učenci, dijaki in študentje bili deležni vsaj podobnega prenosa znanja, veščin, izkušenj in kompetenc kot v preteklih letih.

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani je ustanova, ki se tako na pedagoškem kot tudi na raziskovalnem področju ukvarja tudi s sodobnimi digitalnimi tehnologijami in učenjem na daljavo, zato smo bili brez za študente zaznavnega prehodnega pojava sposobni prenesti na oddaljeno izvajanje tako predavanja kot razne vaje, ki se izvajajo v učilnicah. Seveda pa je ključni element pri izobraževanju inženirjev praktično delo v visokotehnološko opremljenih laboratorijih, kjer študentje delajo na kompleksni industrijski in laboratorijski opremi. Tovrstno laboratorijsko delo, ki se običajno izvaja neposredno v laboratoriju, je relativno zelo zahtevno izpeljati tako, da bi ga študentje izvajali od doma. V prvem valu pandemije marca 2020 je bila težava tudi v tem, da je bil tudi za zaposlene zelo otežen dostop do fakultetnih prostorov, zaradi česar so bili izvajalci pedagoških aktivnosti prisiljeni najti rešitve, ki so večinoma temeljile na simulacijskem pristopu. Na ta način smo glede na vse omejitve pedagoški proces vključno z laboratorijskimi vajami sicer uspešno izvedli, a so bile prav pri laboratorijskem delu zaznavne prilagoditve, zaradi katerih je bila

uporabniška izkušnja študentov drugačna kot običajno.

Poleti 2020 smo se dobro pripravili na drugi val, ki smo ga za razliko od prvega s precejšnjo gotovostjo pričakovali. Veliko praktičnih vaj smo reorganizirali na način, da so študentje delali z realno opremo, ki je na voljo v laboratorijih, pri čemer je bilo treba nabaviti določeno dodatno opremo in poskrbeti za izdelavo vmesnikov za dostop do opreme, kar je vključevalo tako novo strojno kot programsko opremo. Poleg tega je bilo treba rešiti še probleme varne digitalne komunikacije, sprotnega snemanja ipd.

V nadaljevanju prispevka se bomo osredotočili na konkretne rešitve pri prilagajanju izvajanja laboratorijskih vaj v Laboratoriju za avtomatiko in kibernetiko ter v Laboratoriju za robotiko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

2 Laboratorij za avtomatiko in kibernetiko

Laboratorij za avtomatiko in kibernetiko (LAK) je zelo močno vpet v izvajanje študijskih programov na vseh treh stopnjah študija, ki se izvajajo na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. V tem prispevku se bomo osredotočili na predmete, ki se izvajajo v LAK na prvih dveh stopnjah študija. Večina teh predmetov je po strukturi zelo podobna, saj se poučevanje izvaja v obliki predavanj in laboratorijskih vaj. Kot že rečeno, so se predavanja v zadnjem letu izvedla v celoti na daljavo. Sam prehod predavanj na izvedbo na daljavo ni predstavljal večjih težav in je bil izveden v izjemno kratkem času. Seveda pa drugačen način izvedbe narekuje, da predavatelji način podajanja snovi prilagodijo novo nastali situaciji, pripravijo zanimive animacijske prikaze, rešitve praktičnih problemov s pomočjo računalniških orodij ipd.

Ključni element pri izobraževanju bodočih inženirjev so laboratorijske vaje, kjer študentje z delom na realni opremi dobijo prepotrebna

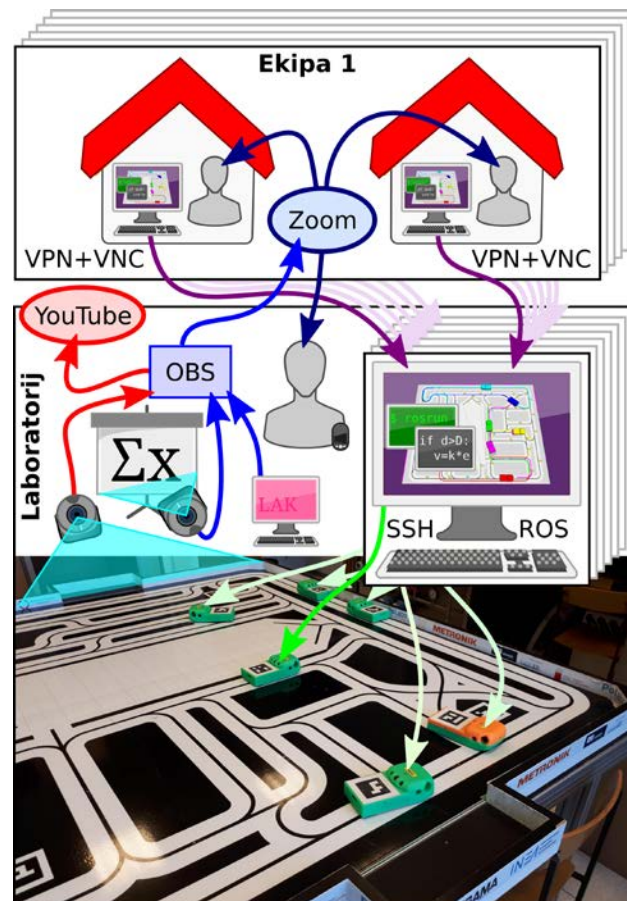
znanja, večine in izkušnje za učinkovit prehod v delovno okolje po študiju. V LAK študentje v okviru laboratorijskih vaj najprej spoznajo osnovne gradnike, ki jih najdemo v sistemih vodenja, torej senzorje, aktuatorje, krmilnike, regulatorje, načine komunikacije ipd. Kasneje se študentje spoznajo z načini vodenja zveznih procesov, načrtovanjem in izvedbo krmilij za vodenje proizvodnih sistemov, modeliranjem in simulacijo procesov. Na drugi stopnji študija se bolj podrobno posvetijo širšemu naboru problemov, kamor sodijo digitalno vodenje, identifikacija dinamičnih sistemov, inteligentni sistemi za podporo odločanju, avtonomni mobilni sistemi, inteligentno vodenje, multivariabilno vodenje, proizvodni management, industrijska informatika itn. V nadaljevanju tega poglavja bomo predstavili nekaj konkretnih rešitev, ki smo jih pri posodabljanju študijskega procesa za študij na daljavo izvedli pri nekaj predmetih, ki se izvajajo v okviru LAK.

2.1 Avtonomni mobilni sistemi

Predmet Avtonomni mobilni sistemi (AMS) se izvaja v drugem letniku magistrskega študija za študente študijskih smeri Avtomatika in informatika ter Robotika. Predmet je sestavljen iz treh ur predavanj in dveh ur laboratorijskih vaj tedensko. Predavanja in vaje potekajo ločeno tudi v angleškem jeziku za tuje študente na izmenjavi. Namen laboratorijskih vaj je, da študentje samostojno implementirajo algoritme, ki so jih spoznali tekom predavanj, na praktičnem primeru. Po desetih terminih laboratorijskih vaj sledi ob zaključku semestra zagovor vaj, ki poteka kot demonstracija delovanja avtonomnega mobilnega sistema.

V zadnji letih so laboratorijske vaje potekale na poligonu, ki predstavlja fizični model industrijske hale z miniaturnimi avtomatsko vodenimi vozički (MAVV). Na voljo imamo šest MAVV-jev, tako da lahko na poligonu hkrati dela do šest neodvisnih ekip študentov. Poligon je prikaza na sliki 1 spodaj in je podrobneje opisan v [3]. Za čas epidemičnih razmer smo se odločili, da vaje prilagodimo za

izvajanje od doma tako, da študentom omogočimo oddaljen dostop do laboratorija in dela na poligonu z MAVV-ji – pri čemer sta dva asistenta vedno fizično prisotna v laboratoriju.



Slika 1: Nadgradnja za oddaljeno delo

Za omenjeni način izvedbe laboratorijskih vaj smo se odločili iz več razlogov. Pri izvedbi celotnih vaj v simulacijskem okolju bi morali pripraviti ustrezen programski paket, ki bi si ga študentje namestili na svoje računalnike, a pri tem bi lahko prihajalo do tehničnih težav, ki bi jih zaradi heterogene opreme težko reševali. Čeprav bi simulacijsko okolje lahko vzpostavili tudi na računalnikih v laboratoriju ali v oblaku, in nato študentom le zagotovili oddaljen dostop do računalnikov, bi priprava simulacijskega okolja zahtevala tudi precej dodatnega dela. Epidemične razmere so skrajno negotove in zahtevajo hitro prilagajanje na različne situacije. Pri uporabi simulacijskega okolja bi se v primeru sproščanja ukrepov in vrnitve študentov na fakulteto težko izvedlo preklon v običajni način izvedbe na fizičnem poligonu, torej bi

vaje verjetno morale potekati še naprej v simulacijskem okolju. Ker gre pri izbranem načinu le za nadgradnjo izvedbe laboratorijskih vaj z oddaljene lokacije na obstoječi opremi, teh težav ni, in je celo možno sproti spreminjati režim izvajanja: od doma, v laboratoriju in tudi hibridno (člana v ekipi izmenično prisotna v laboratoriju, vedno pa delata sočasno). Za izbrani način izvedbe laboratorijskih vaj se je kasneje dokaj hitro izkazalo, da je bila odločitev tudi dobra.

Na sliki 1 je shematično prikazano, kako smo omogočili in organizirali delo na opremi v laboratoriju z oddaljene lokacije. Študentom smo zagotovili oddaljen dostop do računalnikov v laboratoriju preko navideznega zasebnega omrežja (VPN) in protokola VNC, ki omogoča upravljanje z oddaljenim računalnikom. Študente smo razdelili v šest ekip (običajno s po dvema študentoma). Vsaki ekipi smo dodelili računalnik in MAVV. Študentje v ekipi so nato lahko vsi upravljali z dodeljenim računalnikom in na njem izvajali delo, tako kot bi ga izvajali v laboratoriju. Na računalniku v laboratoriju je bila nameščena in pripravljena vsa programska oprema za izvedbo vaj. Delo je potekalo kot običajno v operacijskem sistemu GNU/Linux z uporabo okolja ROS (angl. Robot Operating System). Do MAVV-ja so se študentje nato povezali še preko oddaljene povezave SSH, kar je enako tudi ob običajni izvedbi vaj.

Za komunikacijo s študenti in med študenti smo uporabili storitev za video sestanke Zoom. Preko Zooma so asistenti podajali navodila in napotke za izvedbo vaj v skupni sobi. Večino časa pa so bili študentje v ekipah dodeljeni v ločene sobe v Zoomu. To je omogočilo komunikacijo med študenti in tudi z asistentoma, ki sta krožila med vsemi sobami. Vzpostavili smo tudi govorni sistem obveščanja, ki je omogočal, da so študentje priklicali asistenta, ko so potrebovali pomoč. Pri vključevanju v posamezne sobe sta asistenta uporabljala aplikacijo Zoom na telefonu, kar jima je omogočilo mobilnost v laboratoriju in prenos slike obnašanja MAVV-ja oz. dogajanja na določenem delu poligona.

Za spremljanje razmer v laboratoriju in na poligonu smo imeli še dve dodatni kameri. Ena kamera je ves čas trajanja vaj snemala poligon in sliko prenašala v živo na zasebni kanal v YouTubeu, do katerega so imeli dostop vsi študentje. Takšen prenos slike je imel večsekundno zakasnitev, kar je moteče pri preizkušanju sistemov, ki delujejo v realnem času. A lege mobilnih sistemov in tudi druga stanja so študentje lahko spremljali v virtualnem grafičnem okolju RViz (del ROS-a), saj lege vseh mobilnih sistemov merimo z referenčnim sistemom na osnovi strojnega vida, ki ima zanemarljivo zakasnitev. Drugo kamero smo uporabljali za prenos slike s table, ko je potekala razlaga. Pri tem smo uporabili tudi program OBS Studio, ki nam je omogočil, da smo združili slike z različnih kamer in tudi zaslonsko sliko (za prikaz elektronskih dokumentov in predstavitev), kar je omogočilo bolj pestro podajanje navodil.

Pri izvedbi sta bila v laboratoriju prisotna le asistenta, ki sta, poleg organizacije in vodenja vaj, skrbela tudi za vso potrebno interakcijo z MAVV-ji, ki bi jo sicer izvajali študentje sami. Študentje so zasnovali poskuse, asistenta pa sta jim pri tem pomagala, če je bilo potrebno kakršnokoli ročno poseganje v MAVV-je na poligonu.

Študentje so opravili vse laboratorijske vaje v enakem tempu, kot če bi bili fizično prisotni v laboratoriju. Pri tem ni prišlo do nikakršnega krnjenja programa izvedbe laboratorijskih vaj. Med samo izvedbo vaj tudi nismo imeli nobenih večjih tehničnih težav (prestaviti smo morali zgolj en termin za eno skupino zaradi nepredvidenih vzdrževalnih del). Tudi študentske ankete kažejo, da so bili študentje z izvedbo vaj zelo zadovoljni, čeprav se zavedamo, da bi lahko določene vsebine v laboratoriju izvedli bolje.

2.2 Gradniki sistemov vodenja in Gradniki v tehnologiji vodenja

Študentje se pri predmetih Gradniki sistemov vodenja in Gradniki v tehnologiji vodenja spoznavajo z gradniki, ki jih srečujemo v

procesih avtomatizacije, s poudarkom predvsem na merilnikih različnih veličin in razumevanju principov delovanja le-teh. Predmeta se izvajata v obliki predavanj, laboratorijskih vaj in seminarja, s katerim nadomeščajo pisni izpit pri predmetu. Laboratorijske vaje so vodene ter se izvajajo na laboratorijski opremi (Festo Didactic kompleti), medtem ko je pri seminarju večji poudarek na samostojnem delu oz. reševanju problema. Zaradi epidemije smo morali izvajanje laboratorijskih vaj na začetku semestra prekiniti, izvajanje seminarjev pa smo izvedli na daljavo. V študijskem letu 2020/21 so morali študentje narediti sistem za merjenje količine tekočine (vode) v izbrani posodi – naloga je bila izbrana tako, da so jo lahko študentje izvajali doma, a hkrati dovolj zahtevna, da so morali preučiti značilnosti ponujenih merilnikov ter jih nato pravilno uporabiti.

V pričakovanju težav zaradi epidemije smo že pred začetkom študijskega leta nabavili material za izvedbo seminarjev – za vsakega študenta smo naročili mikrokontroler ESP32 z razvojno ploščo ter merilnik (strošek do 10 EUR na študenta smo pokrili iz pedagoških sredstev). Pripravili smo nabor merilnikov, med katerimi so morali študentje izbrati želenega za izvedbo naloge: bremensko celico, merilnik tlaka, ultrazvočni merilnik razdalje, kapacitivni merilnik vlažnosti prsti, optični merilnik nivoja, merilnik magnetnega polja in termistor. Uvod v seminarje smo izvedli preko video konference, kjer smo na grobo predstavili vse merilnike ter naloge. Ker smo imeli omejen nabor posameznih tipov merilnikov, so se v sklopu priprave na seminar študentje morali opredeliti glede izbire merilnika ter svojo izbiro pojasniti z grobim opisom koncepta rešitve. Merilnike smo jim na podlagi izbir in dodelanosti rešitev razdelili ter v obliki pisemskih paketov razposlali na domače naslove.

Študentje so nato imeli dva meseca za izvedbo naloge, pri tem pa so imeli možnost pomoči asistenta preko elektronske pošte. Za uspešen zaključek so morali pripraviti poročilo ter predstaviti svoj izdelek v kratkem video posnetku. Posamezne video predstavitve smo na

koncu združili ter jih objavili na portalu YouTube, do katerega so lahko dostopali vsi študentje pri predmetih ter tako diseminirali ideje študentov. Seminarje smo ocenili na podlagi predstavitev, predvsem pa inovativnosti in funkcionalnosti rešitve. Večinoma so študentje uporabili klasične pristope z merjenjem sile oz. teže ter z merjenjem nivoja direktno z ultrazvočnim ali kapacitivnim merilnikom. Ti so bili v večini nadgrajeni z grafičnim vmesnikom preko WiFi ali druge IoT platforme. So pa študentje pokazali tudi zelo inženirske pristope in inovativne rešitve, kot so:

- integriranje volumskega pretoka iz Mariottove steklenice po času,
- merjenje mase vode preko odvoda temperature ob gretju posode,
- izvedba merilnika sile iz magnetnega senzorja in upogljivega kovinskega nosilca z magnetom,
- premikanje optičnega merilnika z modelarskim servo motorjem,



Slika 2: Fotografiji dveh študentskih izdelkov

- izvedba merilnika sile z vzmeteno mizo in s prenosom za merjenje odmika z enkoderjem,
- izvedba celotnega avtomata za točenje vode/pijače,
- izdelava enostavnega manometra za umerjanje merilnika tlaka ipd.

Študentje so v domačem okolju izdelali svoje rešitve, pri čemer so si pomagali tudi s kakšnimi komponentami, ki so jih našli ali izdelali v domačem okolju. Tudi ta način izvedbe vaj lahko zelo pozitivno ocenimo, saj so rezultati po naši oceni pri velikem številu študentov celo presegali pričakovanja.

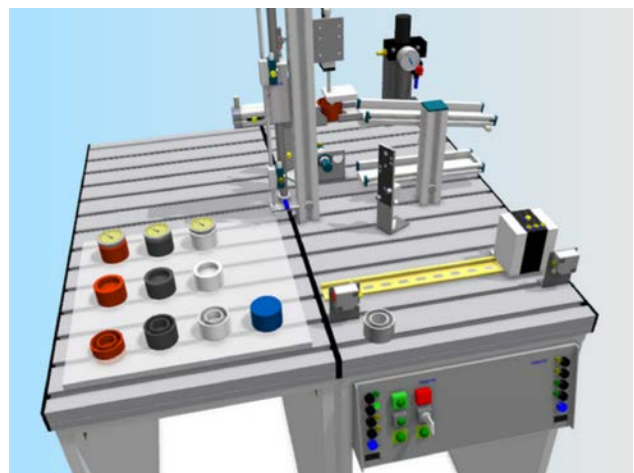
2.3 Okolje CIROS kot orodje za simulacijo proizvodnega sistema

Z namenom, da bi v času študija na daljavo študentom zagotovili poučne in zanimive laboratorijske vaje pri premetih Računalniško vodenje procesov in Industrijska informatika, smo se odločili za nakup simulacijskega okolja Festo CIROS [1] (Computer Integrated **RO**botics Simulation). V običajnih razmerah pri omenjenih predmetih študentje opravljajo laboratorijske vaje na napravi oz. modelu modularnega proizvodnega sistema (MPS) [2], ki je sestavljen iz petih postaj. Te predstavljajo v industriji najbolj pogoste funkcije in sicer od podajanja in kontrole obdelovancev, obdelave, transporta do skladiščenja. MPS predstavlja fleksibilen sistem za prikaz delovanja industrijskih komponent in enot (krmilnikov, senzorjev in aktuatorjev) na realni industrijski liniji.

Namen laboratorijskih vaj je prenos znanj s področja načrtovanja vodenja sistemov, s poudarkom na računalniškem vodenju tehnoloških procesov. Študentom želimo predstaviti različna programska orodja (npr. Siemens TIA Portal) in njihovo uporabnost pri izvedbi računalniškega vodenja. V okviru laboratorijskih vaj študentje načrtujejo logično in sekvenčno vodenje ter implementirajo koračna krmilja z lestvičnim diagramom, strukturiranim tekstom in funkcijskim

blokovnim diagramom. Ukvarjajo se tudi z načrtovanjem in izvedbo SCADA grafičnih vmesnikov.

CIROS Education je simulacijsko okolje, ki ponuja vnaprej zgrajene in konfigurirane 3D simulacijske modele. Ti na realističen način opisujejo avtomatizirane proizvodne procese z različno kompleksnostjo in tako uporabnikom omogočajo podroben vpogled v delovanje. CIROS omogoča analizo avtomatiziranih proizvodnih procesov, preizkušanje PLK programov in sistematičen način iskanja napak. Simulacijsko okolje v primerjavi z realno proizvodno linijo omogoča večjo prilagodljivost ter varno preizkušanje programske kode, ki še ne vključuje vseh varnostnih elementov. Elementi, ki sestavljajo simulacijske modele imajo fizikalno ozadje, kar pomeni, da aktuatorji (električni in pnevmatski pogoni) in senzori natančno posnemajo delovanje realnih komponent. CIROS okolje omogoča tudi opazovanje trkov med gibljivimi deli, kar je ključno pri preverjanju varnostnih elementov PLK programske kode. Simulacija MPS sistema v realnem času omogoča implementacijo digitalnih dvojčkov oz. vizualizacijo realnega procesa med delovanjem.



Slika 3: Primer 3D modela MPS postaje v okolju CIROS

Okolje CIROS omogoča komunikacijo tako z virtualnimi krmilniki kot tudi realnimi krmilniki preko vmesnika EasyPort. V našem primeru je za simulacijo krmilnika bilo uporabljeno okolje

Siemens S7-PLCSIM Advanced, ki se z okoljem CIROS poveže preko OPC strežnika EzOPC. CIROS okolje pa je možno uporabljati tudi v kombinaciji z okoljem Python ali MATLAB in Simulink, kar še dodatno poveča njegovo uporabnost.

Z uporabo okolja CIROS je bilo študentom, kljub študiju na daljavo, omogočeno dodatno eksperimentiranje pri programiranju krmilnikov in spoznavanje proizvodnje linije ter njenih komponent.

3 Laboratorij za robotiko

Poučevanje vsebin s področja robotike je poseben izziv, saj robot predstavlja povezavo med digitalnim svetom na eni strani in fizičnim svetom na drugi. Poučevanja robotike torej ni mogoče izvajati le v računalniški obliki. V Laboratoriju za robotiko poučujemo različne robotske vsebine. Osnovnih konceptov se študentje naučijo pri predmetih Osnove robotike oziroma Robotika. Z načrtovanjem robotskih sistemov se študentje spoprimejo pri predmetih Robotski mehanizmi ter Načrtovanje elektromehanskih izdelkov. Predmet Vodenje robotov obravnava napredne koncepte vodenja, ki jih študentje preizkusijo na realnih robotih. Sodobna medicina in industrija vedno bolj temeljita na interakciji človeka in robota (kirurški roboti, rehabilitacijski roboti, robotske proteze). Te vsebine obravnava predmet Roboti v stiku s človekom. V kontekstu industrije 4.0 (oz. industrije 5.0) postajajo vse pomembnejši sodelujoči roboti, ki omogočajo učinkovito izvedbo proizvodnih nalog (predmet Haptični in sodelujoči roboti). Predpostavka o fizični interakciji med človekom in robotom v medicini in industriji zahteva ustrezno izvedbo laboratorijskih vaj tudi v razmerah epidemije, kar predstavlja poseben izziv. Z robotiko so povezane tudi nekatere druge vsebine, kot so vgrajeni sistemi ter navidezna oziroma obogatena resničnost. Slednje so pretežno računalniške vsebine in njihova izvedba je posledično enostavnejša (uporaba razvojnih ploščic, ki jih študentje dobijo na dom oziroma izvedba simulacije robotske celice v virtualnem okolju).

Raznolikost vsebin zahteva raznolike načine izvedbe vaj, pri čemer pa je cilj študentu omogočiti čim bolj pristno izkušnjo dela z robotom. Pri predmetu Načrtovanje elektromehanskih izdelkov so študentje načrtovali robotska prijemala in elektroniko zanje z uporabo programov Autodesk Inventor in Altium Designer. Vaje pri predmetih Robotski mehanizmi ter Haptični in sodelujoči roboti smo povezali v obsežne semestrskeske projekte. Vsak študent je reševal lasten problem s pomočjo mentorja na Fakulteti za elektrotehniko, Inštitutu Jožef Stefan ali Univerzitetnem Rehabilitacijskem Inštitutu – Soča. Potreben material za izvedbo projekta so študentje pretežno dobili domov. Če pa je bilo potrebno izvajanje eksperimentalnega dela v laboratoriju in prisotnost študentov ni bila dovoljena, so bili zaposleni na različnih inštitucijah podaljšana roka študentov in so omogočili izvedbo algoritmov, ki so jih pripravili študentje na robotih. Primeri projektov so robot za manipulacija izvodov statorskih navitij motorja, robot za pobiranje stebelne zelenjave, precizno doziranje sipkih materialov z robotom, varnost sodelujočih robotov, lokalizacija mobilnega robota, ...

V nadaljevanju bodo podrobneje predstavljeni pristopi, ki so bili razviti, da bi študentom omogočili oddaljeni dostop do robotov v laboratoriju za namen opravljanja vaj pri predmetih Osnove robotike, Robotika, Vodenje robotov ter Roboti v stiku s človekom. Pri vseh naštetih predmetih vaje običajno potekajo v Laboratoriju za robotiko, ki je opremljen z različnimi industrijskimi, sodelujočimi in haptičnimi roboti. Študentje pri bazičnih predmetih na 1. bolonjski stopnji razvijajo koncepte robotskih celic, na 2. stopnji pa napredne algoritme vodenja robotov. Čeprav za vaje uporabljajo iste robote, je interakcija z njimi različna. Za razvoj robotskih celic študentje večino časa nalogo izvajajo neposredno na robotu, torej potrebujejo neposreden dostop do oprema. Za razvoj naprednih algoritmov vodenja pa je potreben le občasen dostop do robota za izvedbo preizkusa algoritmov vodenja.

Prvi val epidemije je prišel nepričakovano in v trenutku prehoda na študij od doma oddaljeni dostop do robotov v laboratoriju ni bil mogoč. Posledično smo izvajanje vseh aktivnosti v najkrajšem mogočem času (študentje niso izgubili nobene ure laboratorijskih vaj) prenesli v simulacijska okolja, ki omogočajo simulacijo robotskih celic: RobotStudio (ABB), Motosim EG-VRC (Yaskawa), RoboDK (omogoča simulacijo različnih robotov), Matlab/Simulink (splošno-namensko simulacijsko okolje). Simulacijsko okolje vsebuje 3D grafične in kinematične modele robotov ter virtualni krmilnik s pripadajočim programskim jezikom, virtualno učno enoto, ter podpira uvažanje dodatnih modelov objektov, perifernih naprav in prijemal. Naloge, ki bi jih študentje izvajali na realnih robotih, so bile izvedene v simulacijskem okolju, ki ohranja vse postopke učenja robotov in tudi omogoča prenos implementiranih algoritmov na robotski sistem. Študentje so izgubili fizični stik z robotom zaradi omejitev vstopa na fakulteto, kar pa smo deloma nadomestili s tem, da smo študentom omogočili delo v laboratoriju na prostovoljni osnovi v času poletnih počitnic, ko so bile epidemiološke razmere primernejše. V tem času so bile izvedene tudi priprave na pričakovani drugi val, s ciljem, da bi lahko študentje vaje na fizičnih robotih nemoteno opravljali tudi od doma.

Največji izziv je predstavljal oddaljeni dostop do robotov, ki mora zagotavljati tudi povratne informacije za njihovo ročno upravljanje. Povezavo smo zagotovili s programsko opremo za oddaljeni dostop AnyDesk, ki študentom omogoča priklop na laboratorijske računalnike. Na računalnikih je nameščena namenska programska oprema, s katero študentje lahko izvedejo posamezno vajo. Med izvajanjem vaje povratne informacije o trenutnem stanju in legi robota dobijo iz več kamer, ki so nameščene na robotu oziroma v njegovem delovnem prostoru. Kamere lahko spremljajo preko programa, ki smo ga pripravili v Laboratoriju za robotiko (slika 1 za eno kamero). Program omogoča spremljanje več

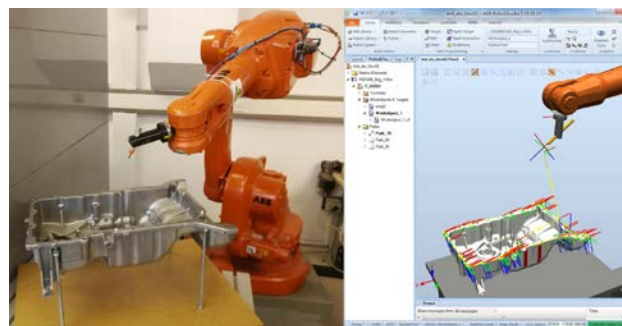
kamer sočasno ter nastavitve kontrasta, goriščne razdalje, povečave in orientacije. Komunikacija med študenti in asistenti je potekala s pomočjo aplikacije Microsoft Teams, ki se je izkazala za zanesljivo, ter ponuja potrebne funkcionalnosti: ustvarjanje sob za komunikacijo z različnimi skupinami študentov, možnost deljenja zaslona, deljenje datotek, pošiljanje sporočil, povabilo v skupni pogovor, ko so študentje potrebovali pomoč asistenta.



Slika 4: Program RoboCam z eno kamero

V nadaljevanju so predstavljeni štiri primeri nalog, ki jih študentje lahko izvajajo z oddaljenim dostopom in kombinacijo simuliranih scenarijev ter dela na robotu. Primeri si sledijo od nalog, ki so pretežno izvedene v simulaciji, do nalog, ki so v celoti izvedene na realnem robotu.

3.1 Nanašanje lepila z robotom



Slika 5: Naloga na robotu in simulacija v okolju ABB RobotStudio

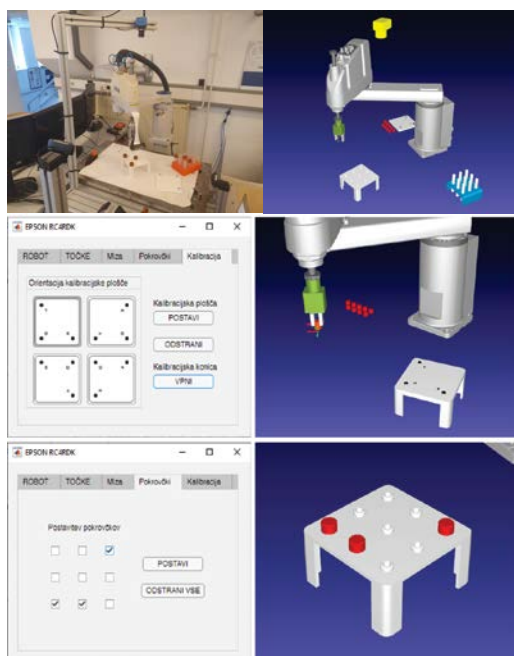
Študentje načrtajo robotsko celico in program za nanašanja lepila na obdelovanec v simulacijskem okolju ABB RobotStudio (slika 5). Celica vsebuje model dejanskega robota, orodja in obdelovanca. Po končanem razvoju v okolju RobotStudio asistent program naloži na robota, pri čemer je potrebno

obdelovancu le posodobiti koordinatni sistem, da se lega točk definiranih v RobotStudio ujema s točkami na obdelovancu. Program se nato izvede na dejanskem robotu.

3.2 *Epson SCARA in robotski vid*

Pri vaji se študentje spoznajo z robotom Epson SCARA, programskim jezikom SPEL+ in Matlab orodji za robotski vid. Študent na robotskem krmilniku pripravi program za prijemanje in privijanje zamaškov na plastične epruvete, nato pa ga nadgradi z zaznavo pozicije in manipulacijo poljubnega števila zamaškov.

V prvem valu epidemije, ko oddaljeni dostop do robota ni bil mogoč, smo vajo v celoti prenesli v simulacijsko okolje RoboDK (slika 6). Vaje v simulaciji potekajo enako kot na realnem robotu. Za manipulacijo z objekti smo razvili lastno aplikacijo v okolju Matlab. Študentje lahko premikajo robota, učijo točke (razvili smo Matlab vmesnik za programski jezik SPEL+), postavijo mizico za pokrovčke v poljubno lego, na njo postavijo kalibracijsko ploščo, vpnejo kalibracijsko špico ter postavijo poljubne zamaške na mizico.

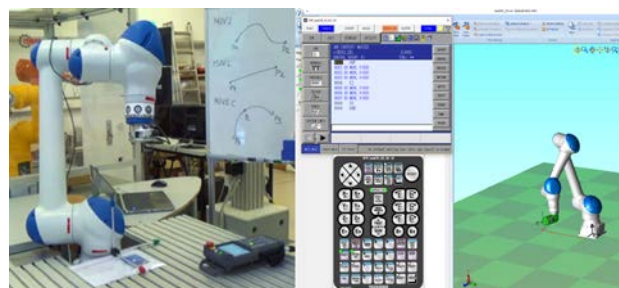


Slika 6: Robot Epson SCARA s periferijo v Laboratoriju za robotiko in v okolju RoboDK z Matlab uporabniškim vmesnikom za manipulacijo

V drugem valu epidemije smo vajo prilagodili za izvajanje na realnem robotu z oddaljenim dostopom. Ker je krmilnik robota osnovan na operacijskem sistemu Windows, smo z namestitvijo programa VNC študentom omogočili popoln dostop do funkcij robota in izvedbo naloge na enak način kot v laboratoriju. Študentje lahko dogajanje v laboratoriju spremljali preko dveh kamer.

3.3 *Zagotavljanje varnosti v sodelovalni aplikaciji z robotom Yaskawa HC10*

Študentje spoznajo različne varnostne funkcije za izvedbo sodelovalne aplikacije z robotom HC10 proizvajalca Yaskawa (slika 7). Naloga se izvaja v simulacijskem okolju in na robotu. Izvedena je v treh korakih: 1) definicija varnostne ovojnice prijemala in objekta v simulacijskem okolju, 2) izvedba nadzora sile in moči ob trku z varnostnim odmikom oziroma varnostno ustavitvijo in 3) uporaba laserskega skenerja proizvajalca SICK za definiranje varnostnega območja in prilagajanje hitrosti robota. Robotske programe študentje pripravijo v simulacijskem okolju, kjer tudi preverijo pravilnost gibanja robota. Na računalnik z MotoSim simulatorjem se povežejo z AnyDesk programom. Na računalnik sta priključeni dve kameri (širok in bližnji pogled na robota in delovno mesto) preko katerih študentje opazujejo izvedbo naloge. Izvedba na robotu zahteva fizično interakcijo s človekom (trk z operaterjem, zaznavanje bližine operaterja), zato preizkuse (zagon programa na robotu) izvede asistent v laboratoriju.



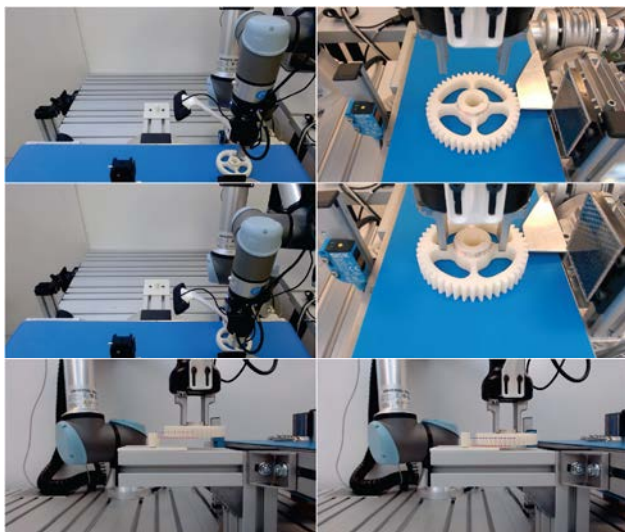
Slika 7: Sodelovalna aplikacija z robotom HC10

3.4 Manipulacija objekta na tekočem traku z robotom Universal Robot UR5e

Naloga se izvaja na realnem robotu in zajema detekcijo, sledenje in prijem objekta (zobnika) na tekočem traku ter vstavljanje na gred z zagozdo (slika 8). Robotsko celico sestavljajo robot Universal Robot UR5e s senzorjem sil in navorov v zapestju (vtičnik Force Copilot podjetja Robotiq, Kanada), prijemalo Robotiq Hand-E in tekoči trak s svetlobnimi vrati. Oddaljeni dostop je izveden z nadgradnjo krmilnika robota s programsko opremo ARC2 (Airgate, Danka) in programom TightVNC.

Za nadzor smo uporabili štiri spletne kamere: na prijemalu, pred robotom ter ob strani, ki pokrivajo delovno področje robota in ustrezno prikazujejo detajle za izvedbo naloge. Za dodatno varnost je bila definirana horizontalna virtualna ravnina, ki preprečuje trk robota s tekočim trakom. Vloga asistenta v laboratoriju je poleg pomoči pri izvedbi vaje omejena na postavljanje objektov v začetno lego.

Študentje najprej izvedejo povezavo med robotom in tekočim trakom. Sledi zaznavanje objekta na traku in prijem. Po uspešnem prijemu objekta sledi vstavljanje zobnika na gred z zagozdo v treh korakih: iskanje gredi, iskanje zagozde ter detekcija konca gredi. Senzor sil in navorov omogoča uspešno rešitev problema natikanja, ki brez globinske zaznave ob upravljanju robota na daljavo predstavlja težavo.



Slika 8: Postopek izvedbe naloge po korakih

4 Sklep

Študentje so ob dejstvu, da so morale vse vaje potekati na oddaljen način, pozdravili možnost izvajanja vaj na opremi z oddaljenim dostopom. Komunikacija med študenti in asistenti je potekala z uporabo okolij MS Teams in Zoom in se je izkazala za ustrezno. Študentje so se dobro prilagodili na izvajanje vaj in so bili zelo motivirani za delo. Oddaljen dostop do opreme ne bi bil mogoč brez prisotnosti asistentov v laboratoriju, ki lahko učinkovito pomagajo študentom. Kljub temu je bilo za izvedbo posamezne vaje potrebnega več časa. Podaljšal se je tudi čas čakanja študentov na pomoč asistenta, ki je težje preverjal sprotno delo in nudil podporo. Študentje in asistenti so ocenili, da se je izvedba vaj z oddaljenim dostopom do opreme izkazala nad začetnimi pričakovanji in kot zelo koristna v danih razmerah. Kljub vsemu pa je potrebno poudariti, da je tako delo bolj zahtevno tako za študente kot asistente in v normalnih razmerah ne more nadomestiti izvajanja vaj v laboratoriju. Kot največja pomanjkljivost se je pri vseh vajah pokazala manjkajoča komunikacija v živo, saj ta najbolj vpliva na motivacijo in aktivno komunikacijo študentov, ki je kritična za uspešno izvedbo vaj.

5 Literatura

- [1] CIROS: <<https://www.festo-didactic.com/us-en/products/software-e-learning/ciros/?fbid=dXMuZW4uNTc5LjE3LjIwLjE3MTA>>, 23. 3. 2021
- [2] MPS: <<https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/Overview/EN/index.html>>, 23. 3. 2021
- [3] A. Zdešar, M. Bošnjak in G. Klančar. Poligon z miniaturnimi avtomatsko vodenimi vozički za učenje in razvoj avtonomnih mobilnih sistemov. V: Zbornik 29. mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2020, Slovenska sekcija IEEE, 2020.