

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja LARICS

Zdenko Kovačić¹, Stjepan Bogdan², Tamara Petrović³, Matko Orsag⁴

¹ član HATZ-a

***Sažetak:** U ovom radu predstavljen je Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.*

***Ključne riječi:** robotika, inteligentni sustavi upravljanja, bespilotne letjelice*

1. Uvod

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) Fakulteta elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu osnovan je 1996. godine i prvi je laboratorij na FER-u kojem je 22.11.2011. dodijeljen status istraživačkog laboratorija. Istraživanja koja provodi LARICS usmjerena su na područja upravljanja tehničkim sustavima, robotike i umjetne inteligencije s primjenama letećih, hodajućih i mobilnih robota u industrijskim postrojenjima, medicini, poljoprivredi i drugim interdisciplinarnim područjima. Poseban naglasak u aktualnim istraživanjima dan je na bespilotne letjelice te autonomne i kolaborativne robotske sustave.

Laboratorij je trajno orijentiran na suradnju s industrijom i tijekom svog postojanja uspješno je surađivao s brojnim industrijskim partnerima iz Hrvatske i inozemstva. Fakultetsko vijeće FER-a dodijelilo je 13.11.2019. godine LARICSu godišnju nagradu za znanost za postignut svjetski priznati istraživački rezultat u području robotike. U laboratoriju trenutno radi 25 istraživača (4 nastavnika, 3 poslijedoktoranda te 18 doktoranada - Slike 1 i 2) surađujući na 17 istraživačkih projekata. Laboratorij ima prostore na 9., 10. i 11. katu FER-ovog nebodera i u prizemlju D zgrade FER-a, a letni hangar s pripadajućom infrastrukturom (OptiTrack sustav za praćenje pokreta, UWB sustav za praćenje kretanja, serverska računala i zaštitna mreža) smješten je na Sve-

učilišnom kampusu Borongaj. Istraživanje na području bespilotnih sustava provodi se korištenjem 3 multirotorske letjelice nosivosti 3 kg i 4 letjelice nosivosti 1.5 kg, opremljene različitim sensorima (mono i stereo kamere, dubinske kamere, LIDAR). Za istraživanje kooperativnih sustava koriste se 6 mobilnih robota Pioneer, 2 mobilna robota Scout i ViV, robot izrađen u laboratoriju, te humanoidni roboti Pepper. Eksperimentalna potvrda istraživanja na području kognitivne percepcije i robotske manipulacije provodi se na robotskim rukama Schunk, Kuka, Franka i Kinova.



Slika 1: Članovi LARICS-a na skupu DroneDays 2021.

Do sada je kroz istraživačke aktivnosti u laboratoriju obranjeno 15 doktorskih disertacija te preko 300 diplomskih i završnih radova. U nastavku su predstavljene istraživačke i edukacijske aktivnosti laboratorija kroz opis odabranih projekata.

2. Istraživačke aktivnosti laboratorija

Istraživačke djelatnosti laboratorija obuhvaćaju nekoliko smjerova u robotici i inteligentnim sustavima. Temelji istraživanja leže u višegodišnjem iskustvu članova laboratorija u područjima zračne manipulacije (eng. aerial manipulation) i heterogenih

robotskih sustava (eng. heterogeneous robotic systems). Budući da su glavni pokretači istraživanja u robotici specifični i zahtjevni scenariji primjene robota, projektne aktivnosti laboratorija fokusirane su na aplikativne aspekte robotskih tehnologija.

Većina robota današnjice precizno je izrađena za izvršavanje specifičnog zadatka i često ne mogu biti korišteni za raznovrsne primjene. Međutim, heterogeni robotski sustav, koji se sastoji od flote robota različitih veličina, oblika i mogućnosti, može ponuditi rješenje raznorodnih problema kroz suradnju u smislu integracije i dijeljenja prikupljenih podataka sa senzora [1] te zajedničko izvršavanje zadataka koje samostalno niti jedan robot u timu ne bi mogao obaviti [2]. Planiranje misije za takve sustave zasniva se na upravljačkoj strukturi s više razina koja spaja planiranje i koordinaciju na visokoj razini s reaktivnim izvođenjem i nadzorom na niskoj razini. Navedeno planiranje se može razdvojiti na dva problema - dekompozicija zadataka (što se radi) i podjele zadataka (tko radi što) [3,4], čija su rješenja predstavljena procesom višerobotskog donošenja odluka [5], uglavnom na decentralizirani način, čime se ostvaruje koordinacija izvedivih planova u realnom vremenu uz postojeće poznavanje okoline u kojoj heterogeni sustav djeluje.

Istraživačkim aktivnostima u laboratoriju uglavnom se razmatraju timovi sastavljeni od zemaljskih robota (hodača i/ili vozila) i bespilotnih letjelica (koje mogu biti opremljene robotskim manipulatorima). Scenariji koji se razmatraju uključuju interakciju s okolinom: inspekcija infrastrukture [6,7], konstrukcija i sklapanje [8], poljoprivreda [9], provođenje zdravstvenih mjera u urbanim prostorima [10] te prihvata i transport predmeta [11].



Slika 2: Članovi LARICSa na međunarodnom robotičkom natjecanju "The Mohamed Bin Zayed International Robotics Challenge" u Abu Dhabiju, UAE, 2020.

U nastavku je dan detaljniji prikaz projekata koji se trenutno provode u LARICS-u prema programima iz kojih su financirani.

2.1. Istraživački projekti iz programa Obzor 2020

Trenutno se u LARICS-u provodi 5 projekata iz programa Obzor 2020, što predstavlja najveći broj projekata iz tog programa koji su se istovremeno provodili u bilo kojem laboratoriju FER-a. Jedan od projekata, AeroTwin, koordiniraju djelatnici LARICS-a.

AerialCore - Aerial Cognitive Integrated Multi-task Robotic System with Extended Operation Range and Safety

Glavni cilj AerialCore projekta je razvoj temeljnih tehnoloških modula i integriranog zračnog kognitivnog robotskog sustava koji će imati napredne sposobnosti u operativnom dometu i sigurnosti u interakciji s ljudima, odnosno zračnim suradnicima (ACW), za aplikacije kao što su inspekcija i održavanje velikih infrastrukture. Projekt će integrirati zračne robote s različitim karakteristikama kako bi zadovoljili sljedeće zahtjeve: i) dalekodometna (nekoliko kilometara) i lokalno vrlo točna (centimetarska) inspekcija infrastrukture (dalekovodi); ii) aktivnosti održavanja infrastrukture temeljene na zračnoj manipulaciji koja uključuje interakciju s okolinom; iii) suradnja iz zraka s radnicima u pregledu i održavanju infrastrukture.

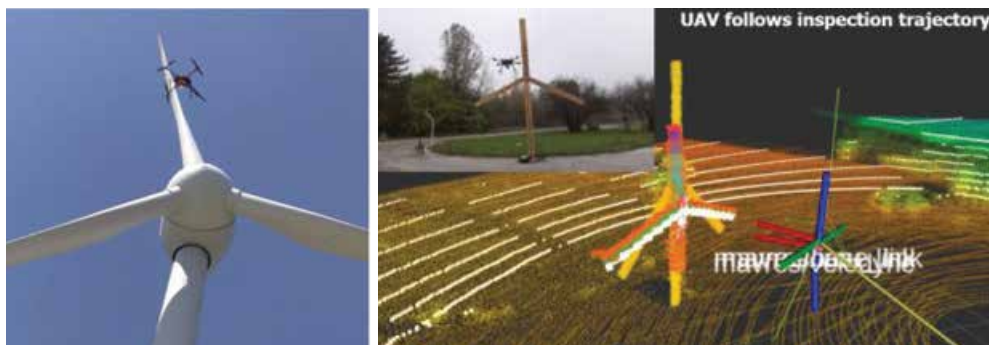
ENCORE - ENergy aware BIM Cloud Platform in a COst-effective Building RENovation Context

Glavni cilj projekta ENCORE je povećati udio renoviranih zgrada u Europi i svijetu pružanjem učinkovitih i pristupačnih BIM alata koji pokrivaju cijeli životni ciklus obnove zgrade (od prikupljanja podataka do izvođenja projekta i puštanja u rad/isporuke). ENCORE će također osigurati mehanizme za stanovnike ili vlasnike kojima će moći provjeriti valjanosti projekta, bilo na licu mjesta korištenjem proširene stvarnosti ili on-line. Po završetku projekta obnove zgrade, ENCORE rješenje će automatski generirati plan rada za građevinske radove, a nakon što je obnova završena, tehnologija razvijena u okviru ENCORE projekta osigurat će kontinuirano praćenje potrošnje energije kako bi se moglo procijeniti kvalitetu radova na obnovi.

AeroWind - Autonomous UAV inspection of wind turbine blades

Ovaj projekt, koji se temelji na prethodnim istraživanjima koje je proveo LARICS kroz FP7 projekt EuRoC, za cilj ima razvoj sustava za autonomnu inspekciju lopatica vjetroturbina pomoću bespilotnih letjelica (Slika 3). Stotine tisuća teško dostupnih lopatica vjetroturbina mora se pregledati na godišnjoj razini u Europi i diljem svijeta, kako bi se na vrijeme uočila moguća oštećenja. Postojeće metode vizualnog pregleda

prilično su spore, skupe i zahtijevaju složenu koordinaciju sudionika u inspekciji - operatera bespilotnih sustava, vlasnika vjetroturbina i u slučaju offshorea vjetroparka i pomorskih koordinacijskih centara, posade pomoćnog plovila i drugih uključenih subjekata. Razvijeni sustav autonomne inspekcije i) implementirat će nove metode za navigaciju i upravljanje bespilotnim letjelicama, temeljenih na najsuvremenijim tehnologijama (stereo-vizijski sustavi, LIDAR i dubinske kamere), ii) povećat će brzinu i učinkovitost inspekcije lopatica vjetroturbina, i iii) značajno će smanjiti troškova pregleda i zastoja vjetroturbina.



Slika 3: Inspekcija vjetroturbina pomoću letjelica na projektu AeroWind

AeroTwin - Twinning coordination action for spreading excellence in Aerial Robotics

Sveobuhvatni cilj AeRoTwin projekta je smanjiti jaz i nedostatke u umrežavanju između LARICS-a i međunarodno vodećih laboratorija u EU, značajnim povećanjem istraživačkih i inovativnih kapaciteta laboratorija u području zračne robotike. Pomno planiranim nizom aktivnosti (gostujući predavači, višetjedne posjete vodećim istraživačkim organizacijama, organiziranje radionica, sudjelovanje na konferencijama, i dr.), AeRoTwin treba podići razinu kvalitete istraživanja u LARICS-u, kao i istraživačko-znanstveni profil osoblja. Projektom se treba poboljšati znanstvenu vidljivost, kvalitetu upravljanja inovacijama i transfer tehnologije.

WatchPlant - Smart Biohybrid Phyto-Organisms for Environmental In Situ Monitoring

Kroz projekt WatchPlant planira se razviti novi biohibridni sustava, sastavljen od niza senzora postavljenih na biljke. Bežičnom komunikacijom između senzora, koji će imati vlastito napajanje iz obnovljivih izvora, omogućit će se razmjena podataka parametara okoline (vlaga, temperature, zagađenje, i sl.) koji će biti određeni kroz mjerenje floemskog soka biljaka na koje su postavljeni senzori. U sustav će biti integrirani složeni algoritmi za distribuiranu obradu informacija, donošenja odluka te modeliranja i prilagođavanja podataka.

2.2. Istraživački projekti iz ERDF programa

U laboratoriju se trenutno provodi 5 projekata financiranih kroz program Europskih strukturnih i investicijskih fondova (ERDF). Dva projekta koordiniraju djelatnici LARICS-a (Hektor i Ekokomvoz), dok na preostala tri LARICS sudjeluje kao partner.

Hektor - Heterogeneous autonomous robotic system in viticulture and mariculture

Glavni cilj projekta HEKTOR je ponuditi sustavno rješenje za koordinaciju i suradnju pametnih heterogenih robota/vozila (pomorskih, kopnenih i zračnih) sposobnih za autonomnu suradnju i distribuciju zadataka u otvorenom nestrukturiranom prostoru. HEKTOR je zamišljen kao modularan i autonoman sustav, prilagođen različitim zadacima u vinogradarstvu (Slika 4) i marikulturi s predviđenom mogućnošću ljudske intervencije pri obavljanju različitih poslova, pregleda i intervencija. Cilj projekta u dijelu vinogradarstva je po prvi put u Hrvatskoj uvesti robotske sustave u tehnologiju uzgoja vinove loze, posebice na izrazito strmim, zahtjevnim terenima na kojima se do sada primjenjivao isključivo ljudski rad, dok je cilj projekta u disciplini marikultura po prvi puta u Hrvatskoj uključiti robotske sustave u proces kaveznog uzgoja ribe.



Slika 4: Autonomno mobilno vozilo za radove u vinogradu, razvijano u projektu Hektor - prvi eksperimenti u vinogradu Jazbina 2021. godine

Ekokomvoz - Development of environmentally friendly vehicle for cleaning public surfaces with autonomous control system based on artificial intelligence

Cilj projekta je razvoj ekološki prihvatljivog vozila za čišćenje javnih površina sa sustavima pomoći operateru vozila i sustavima autonomne kontrole elemenata rada vozila na temelju umjetne inteligencije. Nadalje, kroz projekt će se razviti i sustav za daljinsko praćenje vozila i mjerenje kvalitete zraka u urbanim područjima. Ekološki prihvatljivo vozilo koristit će dva različita pogonska sustava - osim standardnog motora s unutrašnjim izgaranjem, vozilo će biti opremljeno električnim pogonom koji će se napajati iz baterija i iz pogonske ćelije na vodik.

ASAP - Autonomous System for Assessment and Prediction of Infrastructure Integrity

Cilj ASAP projekta je razviti sustav za autonomnu inspekciju i predviđanje promjena u integritetu prometne infrastrukture, kao dijela inteligentnih transportnih sustava. Sustav uključuje autonomno provođenje eksperimentalnog ispitivanja materijala i konstrukcije pomoću robota i bespilotnih letjelica (Slika 5). Bežičnim putem prikupljat će se podatci mjerenja u stvarnom vremenu, a zatim će se obavljati naknadna analiza rezultata eksperimentalnih ispitivanja radi usporedbe s numeričkim modelima za procjenu vijeka trajanja i nosivosti strukture. Svi rezultati pohranjivat će se bazu podataka za krajnje korisnike.



Slika 5: Ispitivanje konstrukcije mosta bespilotnom letjelicom na projektu ASAP

VirtUAV - Development of a system of unmanned aerial vehicles (UAVs) controlled in virtual environments

Projektom će se razviti sustav za treniranje pilota i pripremu misija bespilotnih letjelica u virtualnim okruženjima. Virtualna okruženja stvarat će se naprednim metodama 3D modeliranja koje će, između ostalog, omogućiti generiranje sintetičkih skupova podataka za treniranje algoritama umjetne inteligencije. Algoritmi će omogućiti autonomnu navigaciju letjelice i mapiranje okoline te identifikaciju objekata od interesa. Sustav za planiranje, praćenje i analizu letačkih misija u virtualnom okruženju omogućit će sigurno i učinkovito upravljanje flotom bespilotnih letjelica.

AgroSparc - Smart and predictive agriculture for resilience to climate change

Cilj projekta je razviti matematičke modele različitih faza rasta pšenice primjenom umjetne inteligencije te koristiti te modele za predviđanje razvoja usjeva i žetve. Analiza velikih podataka provodit će se s obzirom na različite klimatske uvjete, umjetno stvorene i permutirane u komorama za izradu prototipa, te povezane s pokazateljima razvoja biljaka u različitim fazama rasta. Modeli će biti otvoreni za javnost i moći će se koristiti interaktivno putem portala za predviđanje razvoja biljaka u stvarnim i hipotetičkim klimatskim uvjetima. Povratne informacije od poljoprivrednika koristit će se kao dodatni podatci za podešavanje razvijenih modela.

2.3. Istraživački projekti iz HRZZ programa

U posljednjih desetak godina LARICS je sudjelovao u provedbi 3 projekta financiranih od strane Hrvatske zaklade za znanost, a trenutno se provodi jedan projekt. Velika uloga HRZZ-a u razvoju laboratorija ostvaruje se kroz program razvoja karijere doktoranda, u kojem trenutno sudjeluje 4 doktoranda zaposlenih u laboratoriju, dok je kroz program prošlo 5 završenih doktoranada.

Specularia - Structured Ecological CULTivation with Autonomous Robots In Agriculture

Glavni cilj projekta je razviti heterogeni robotski sustav za rad u stakleniku za ekološku proizvodnju biljaka. Sustav se sastoji od tri agenta: bespilotnog zračnog vozila (UAV), bespilotnog zemaljskog vozila (UGV) i podatnog robotskog manipulatora s više stupnjeva slobode. UAV je opremljen laganim manipulatorom s više stupnjeva slobode koji nosi senzore za nadzor biljaka (Slika 6). Smještajem senzora na manipulator omogućuje se bespilotnoj letjelici da leti unutar područja gdje turbulencije uzrokovane vrtnjom propelera ne mogu oštetiti biljke. UGV je opremljen mehanizmom koji mu omogućuje transport kontejnerskih jedinica za uzgoj biljaka, koji su najmanja organizacijska jedinica unutar staklenika. Zadatak podatnog manipulatora je obavljanje delikatnog rukovanja biljkama, kao što je manipulacija cvjetovima i plodovima, te obrezivanje biljaka.



Slika 6: Primjera robota Franka za branje paprika u projektu Specularia

3. Edukacijske aktivnosti laboratorija

LARICSovi istraživači sudjeluju kao nositelji kolegija, predavači i asistenti u izvođenju nastave na preddiplomskom, diplomskom i doktorskom studiju Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva, a od većih kolegija u kojima sudjeluju mogu se izdvojiti kolegiji Osnove robotike, Elementi sustava automatizacije, Praktikum robotike i Sustave s diskretnim događajima. Nastavna izvrsnost osigurava se kroz kontinuirano unapređivanje nastavnog sadržaja pa tako i na najnovijem studijskom programu Fakulteta elektrotehnike i računarstva članovi LARICSa predaju nove kolegije Zračna robotika, Višerobotski sustavi te Lokomocija robota. Od 2021. godine LARICS sudjeluje u Erasmus+ zajedničkom diplomskom programu za robotiku "Intelligent Field Robotic Systems (IFRoS)". Svake godine LARICSovi istraživači i profesori mentoriraju više desetaka studenata na seminarskim radovima, završnim, diplomskim i doktorskim radovima, a studentski rad rezultirao je s 23 Rektorove nagrade Sveučilišta u Zagrebu, od 2000. godine do danas. LARICS često i predano sudjeluje u aktivnostima za popularizaciju znanosti, kroz službeni je program popularizacije znanosti Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu "ŠUZA - Iz škole u znanost i akademsku zajednicu", kao i kroz vlastite programe i radionice [12]

Zaključak

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) od svog osnutka provodi svjetski priznata istraživanja iz područja robotike i umjetne inteligencije s naglaskom na zračnoj i industrijskoj robotici te heterogenim robotskim sustavima.

LARICSOvi istraživači predano sudjeluju u obrazovanju novih generacija stručnjaka u ovom veoma aktivnom području kao i u popularizaciji znanosti široj publici.

Literatura

- [1] Andersone, I., Heterogeneous Map Merging: State of the Art, *Robotics* Vol. 8(3):74 (2019), <https://doi.org/10.3390/robotics8030074>
- [2] Arbanas, B; Ivanovic A.; Car, M et al., *Autonomous Robots* , Vol. (2018) 42, str. 1601–1618, <https://doi.org/10.1007/s10514-018-9712-y>
- [3] Petrovic, T.; Haus, T.; Arbanas, B.; Orsag, M. & Bogdan, S., Can UAV and UGV be best buddies? Towards heterogeneous aerial-ground cooperative robot system for complex aerial manipulation tasks, *Zbornik 12. International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, 2015, pp. 238-245.
- [4] Draganjac, I.; Miklič, D.; Kovačić, Z.; Vasiljević, G. & Bogdan, S., Decentralized Control of Multi-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 13 (4) (2016), str. 1433-1447, doi: 10.1109/TASE.2016.2603781.
- [5] Amato, C.; Konidaris, G.; Cruz, G., Maynor, C. A.; How, J. P. & Kaelbling, L. P., Planning for decentralized control of multiple robots under uncertainty, *Zbornik IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2015, str. 1241-1248, doi: 10.1109/ICRA.2015.7139350.
- [6] Car, M.; Markovic, L.; Ivanovic, A.; Orsag, M. & Bogdan, S., Autonomous Wind-Turbine Blade Inspection Using LiDAR-Equipped Unmanned Aerial Vehicle, *IEEE Access*, Vol. 8, str. 131380-131387, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009738.
- [7] Ivanovic A, Markovic L, Car M, Duvnjak I, Orsag M. Towards Autonomous Bridge Inspection: Sensor Mounting Using Aerial Manipulators. *Applied Sciences*. Vol. 11(18), 2021; str. 8279. <https://doi.org/10.3390/app11188279>
- [8] Krizmancic, M.; Arbanas, B.; Petrovic, T.; Petric, F. & Bogdan, S., Cooperative Aerial-Ground Multi-Robot System for Automated Construction Tasks, *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 5, br. 2, str. 798-805, 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.2965855.
- [9] Polic, M.; Ivanovic, A; Maric, B.; Arbanas, B.; Tabak, J. & Orsag, M., Structured Ecological Cultivation with Autonomous Robots in Indoor Agriculture, *Zbornik 16. International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, 2021, str. 189-195, doi: 10.23919/ConTEL52528.2021.9495963.
- [10] Alvear, O., Calafate, C.T., Zema, N.R. et al., A Discretized Approach to Air Pollution Monitoring Using UAV-based Sensing, *Mobile Networks and Applications*, Vol. 23, (2018), str. 1693–1702, <https://doi.org/10.1007/s11036-018-1065-4>
- [11] Orsag, M., Korpela, C.M., Bogdan, S. et al. Hybrid Adaptive Control for Aerial Manipulation, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 73 (2014), str. 693–707, <https://doi.org/10.1007/s10846-013-9936-1>
- [12] Božićni robotski sajam, <http://www.mojmaksimir.com/content/bo%C5%BEi%C4%87ni-robot-party-u-ckim-u>, pristupljeno: 2022-01-30.