

# INTERAKTIVNA LABORATORIJSKA APLIKACIJA S KOLABORATIVNIM ROBOTOM IN HOLOGRAFSKIM VMESNIKOM MEŠANE RESNIČNOSTI HOLOLENS NA PRIMERU VIJAČENJA

Saša Stradovnik, Rok Pučko, Aleš Hace

## Izveček:

Večina kolaborativnih robotskih aplikacij, ki jih dandanes srečamo v industriji, je še vedno načrtovana klasično za izvajanje točno določenih ponavljajočih se nalog. Interakcija med robotom in človekom navadno ni vključena v izvedbo naloge, saj je lahko za človeka nevarna. Z razvojem kolaborativnih robotskih sistemov se ponuja možnost, da se lahko tudi človek s svojo kreativnostjo aktivno vključuje v delovni proces, kar omogoča večjo prilagodljivost robotske aplikacije, ki jo sicer z običajno robotizacijo težko dosežemo. V članku opisujemo nov način intuitivnega sodelovanja med robotom in človekom, kjer kot obliko naravne in učinkovite interakcije uporabimo fizični stik med njima ter interaktivno komunikacijo preko holografskega vmesnika. Demonstracija je narejena na primeru eksperimentalne laboratorijske aplikacije vijachenja, kjer so uporabljeni kolaborativni robot Universal Robot UR3e in spremljajoče tehnologije kolaborativnih robotskih sistemov, kot je vmesnik mešane resničnosti. Tega smo razvili z namenom virtualne parametrizacije in simulacije robotske naloge v realnem delovnem prostoru robota.

## Ključne besede:

kolaboracija človek – robot, kolaborativni robot, fizična interakcija človek – robot, mešana resničnost, robotsko vijachenje

## 1 Uvod

Kolaborativne robotske aplikacije omogočajo, da je človek aktivno vključen v proizvodne postopke na načine, kot jih avtomatizacija s klasično robotiko za zdaj še ne dopušča. Razlogov za to je več. S klasično robotizacijo pogosto ne moremo popolnoma avtomatizirati sistema ali pa to ni ekonomsko upravičeno. Z vključevanjem človeka v proces pa lahko dosežemo bolj optimalno izvedbo, saj lahko uporabimo njegovo spretnost, inteligenco, kreativnost, sposobnost zaznavanja in odločanja, ki nam s trenutno razvojno stopnjo robotskih tehnologij še ni na voljo.

Tehnična specifikacija ISO/TS 15066 kot sestavni del standarda ISO 10218 definira 4 varnostne metode oz. ravni za sodelovanje med človekom in robotom [1, 2]. Aplikacija je lahko kolaborativna, če omogoča takšno načrtovanje robotizacije, da je raven tveganja

za človeka sprejemljiva. Kolaborativnost na podlagi ročnega vodenja (ang. »Hand-guiding operation«) in omejene mehanske moči in sile (ang. »Power&force limiting«) zahtevata uporabo kolaborativnega robota.

Za naravno interaktivno sodelovanje človeka s kolaborativnim robotom je potreben intuitivni komunikacijski vmesnik. Ta vmesnik lahko vključuje različne tehnologije, s katerimi človek sodeluje z robotom: varna fizična interakcija, tehnologija oboogatene resničnosti, tehnologija prostorskega zaznavanja s 3D kamero itd.

Obogatena resničnost (ang. Augmented Reality, AR) je tehnologija, ki lahko realni svet prekrije z dodatnimi digitalnimi informacijami in tako omogoča prepletanje resničnega in virtualnega sveta, kar v naprednejši obliki pogosto imenujemo tudi mešana resničnost (ang. Mixed reality, MR). Aplikacije mešane resničnosti se razvijajo predvsem v smeri grafičnega prikazovanja 3D virtualnih objektov v prostoru, vključujejo pa tudi prostorsko predstavitev zvočnih signalov, zajem vhodnih podatkov iz okolja preko kretenj, prepoznavo objektov in glasov ter njihovo lokalizacijo. Ti dve tehnologiji prinašata v kombinaciji s kolaborativnimi robotskimi sistemi številne

Saša Stradovnik, mag. inž., Rok Pučko, mag. inž.,  
izr. prof. dr. Aleš Hace, univ. dipl. inž., vsi Univerza  
v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalni-  
štvo in informatiko

nove, izboljšane možnosti komunikacije med robotom in človekom, ki so bile do sedaj omejene zgolj na našo domišljijo. V ta namen so bile razvite aplikacije [3], ki uporabljajo obogateno resničnost predvsem za prikaz procesnih parametrov in navodil za človeka, prikaz opozorilnih sporočil ter vizualizacijo nevarnih območij pri aplikacijah, ki si jih delita človek in robot. Prav tako se razvijajo tudi aplikacije [4–6] interaktivnega programiranja robotov z uporabo obogatene resničnosti, kjer je uporabljena predvsem projekcijska obogatena resničnost. Ta tehnologija omogoča prikaz 2D interaktivnih objektov samo na delovni površini. Vsem navedenim aplikacijam je skupno, da z uvedbo navedenih tehnologij želijo zmanjšati mentalne obremenitve človeka in se približati bolj intuitivnemu delu z roboti.

V članku predstavljamo nadgradnjo projekcijske obogatene resničnosti v kolaborativnih robotskih aplikacijah z interaktivnim vmesnikom mešane resničnosti s hologrfskimi očali. Predlagani naprednejši pristop k snovanju kolaborativne robotske aplikacije prikazujemo na konceptnem hibridnem delovnem mestu, kjer si delovni prostor in nalogo delita človek in robot. Interaktivni vmesnik MR smo uporabili za fleksibilno parametrizacijo in virtualno simulacijo robotske naloge, za uporabo katerega ne potrebujemo posebnega znanja o programiranju robotov. Kombiniramo ga lahko z intuitivnim fizičnim vmesnikom, ki omogoča neposredno fizično interakcijo med človekom in robotom. Ta je načrtovana tako, da je za človeka varna in omogoča prilagajanje robotske naloge preko kinestetičnega učenja z demonstracijo takrat, ko robotu ne uspe uspešno izvršiti dela robotske naloge. Za demonstracijo predlaganega koncepta v laboratorijskem okolju smo izbrali proces vijachenja, ki je pogosto v industriji montaže in ima odličen potencial za kolaborativno robotizacijo [7–9], saj vključuje različno zahtevne elementarne operacije, ki jih lahko učinkovito razdelimo med robota in človeka v sodelovalni nalogi na hibridnem delovnem mestu.

## 2 Kolaborativno vijachenje

V laboratorijski robotski kolaborativni aplikaciji vijachenja uporabljamo industrijskega kolaborativnega robota UR3e proizvajalca Universal Robots [10]. Zadnji sklep tega robota je neskončno vrtljiv, kar smo izkoristili kot vijačnik. Predmet sodelovalne naloge je vijachenje vijakov v predvidene navojne luknje nekega izdelka. Razdelitev nalog med robotom in človekom je določena glede na zmožnosti in razpoložljivosti prvega in drugega, kot je prikazano v *tabeli 1*. Naloga robota je priviti vstavljene vijake do predpisanega navora, človek pa v tej aplikaciji vstavlja vijake na pravilno mesta, hkrati pa lahko tudi:

- ▶ vizualno pregleda vijake in poškodovane ali neustrezne odstrani,
- ▶ pomaga robotu tako, da del naloge opravi človek sam (npr. človek zavija nekaj vijakov, ven-

**Tabela 1 :** Razdelitev nalog človek – robot

Naloga	Izvajalec	
	Človek	Robot
Vstavljanje vijakov	✓	
Vijačenje	✓	✓
Meritev navora		✓

dar ni nujno, da jih privije do konca, saj je to lahko fizično naporno),

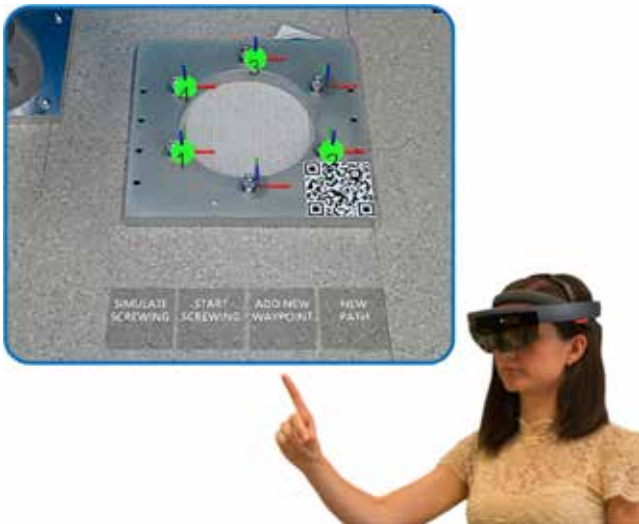
- ▶ fleksibilno definira potek robotske naloge (npr. določi zaporedje vijakov z vmesnikom MR),
- ▶ če robotu ne uspe izvršiti neke operacije (npr. ugotovi manjkajoči ali neustrezno vstavljeni vijak) lahko ustrezno adaptira robotsko nalogo oz. program.

Laboratorijska postavitve robotske celice hibridnega delovnega mesta prikazuje *slika 1*.

Za opravljanje naloge je človeku na voljo interaktivni in intuitivni komunikacijski vmesnik, ki je zasnovan na očalih MR HoloLens in fizični interakciji človek – robot. *Slika 2* prikazuje uporabnika in njegov pogled skozi očala MR – pogled zajema delovno mesto, ki je obogateno z vnaprej določenimi virtualnimi objekti, s katerimi lahko fleksibilno definira potek robotske naloge. Fizična interakcija človek – robot je zasnovana na detekciji dotika, kot prikazuje *slika 3*, in človeku nudi intuitiven način posredovanja določenih infor-



**Slika 1 :** Laboratorijska postavitve hibridne delovne celice



Slika 2 : Vmesnik MR (HoloLens).



Slika 3 : Fizična interakcija človek - robot.

Tabela 2 : Opis signalizacije.

Opis	Signalizacijski obroč
Svetlo modro obarvan obroč signalizira, da robot čaka na zagon vijačnega cikla.	
Svetlo modro obarvan rotirajoči prekinjeni obroč signalizira avtonomno vijačenje po predhodno definirani robotski nalogi.	
Rumeno obarvan obroč signalizira, da je robot v stanju kinestetičnega vodenja. Preklop v to stanje se je zgodil zaradi detekcije dotika.	
Vijolično obarvan obroč signalizira, da je robot v stanju sprotno adaptacije programa (izvede se s kinestetičnim vodenjem). Preklop v to stanje se je zgodil zaradi detekcije odstopanja od predvidenega normalnega poteka vijačenja.	

macij robotu (npr. človek lahko enostavno adaptira določen del robotskega programa).

Na vrh robota smo namestili signalizacijski obroč YouRing, ki delno nadomešča uporabniško konzolo robota. Obroč ima vgrajeno funkcijsko tipko ter svetlobno in zvočno telo. Svetlobna signalizacijska stanja za našo kolaborativno aplikacijo so podrobno opisana v tabeli 2.

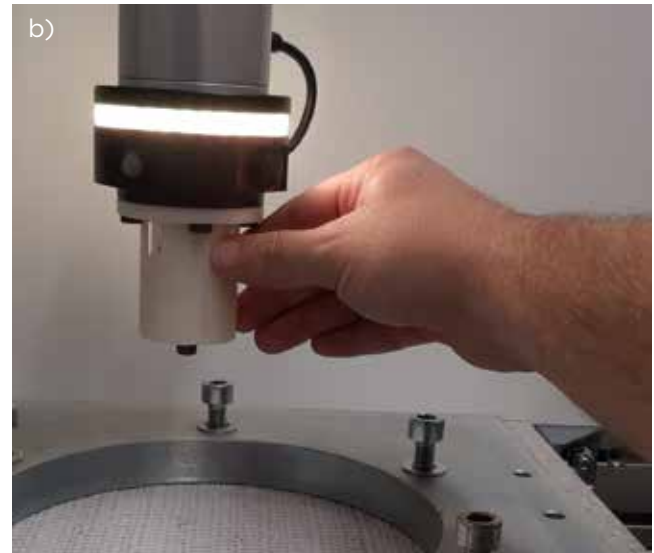
## 2.1 Robotski program

Robotski program omogoča:

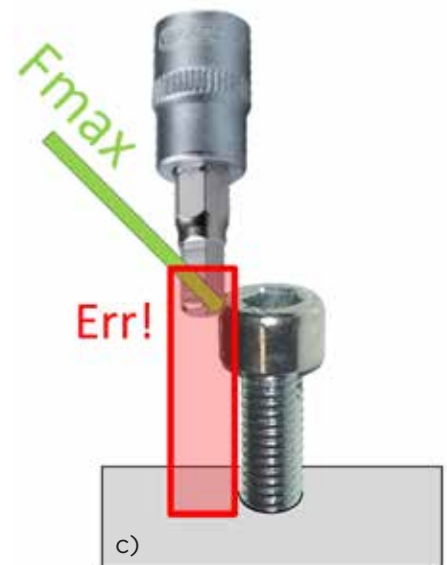
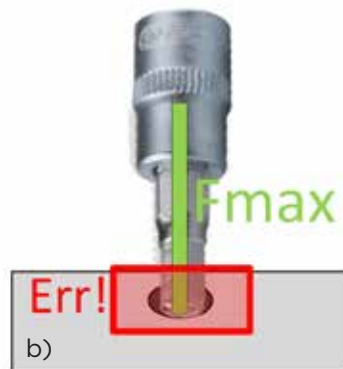
- ▶ avtonomno delovanje po določenem vrstnem redu vijačenja na podlagi predhodno definirane poteka naloge (z vmesnikom MR),
- ▶ detekcijo določenega odstopanja od predvidenega normalnega poteka vijačenja,
- ▶ sprotno adaptacijo robotskega programa (sprotno učenje operativnih točk),
- ▶ vmesnik med človekom in robotom na podlagi fizične interakcije.

Proces robotiziranega vijačenja lahko začne človek tako, da preko vmesnika MR definira potek robotske naloge in potem sproži izvajanje te naloge. Vijačni cikel je definiran od trenutka, ko robot začne z vijačenjem, do trenutka, ko zavijači zadnji definirani vijak.

Človek lahko med vijačnim ciklom po potrebi začasno robota ustavi. Pri tem se lahko uporabi vmesnik fizične interakcije, ki je vključen v robotski program in ima natančno definiran odziv robota. V našem primeru smo ob detekciji dotika predvideli začasno zaustavitev izvajanja robotskega programa s preklpom v kinestetični način premikanja robota. Preklop v kinestetični način je enostaven in intuitiven. Po začasni prekinitvi se lahko sproži nadaljevanje izvajanja robotskega programa. Postopek je prikazan na sliki 4.

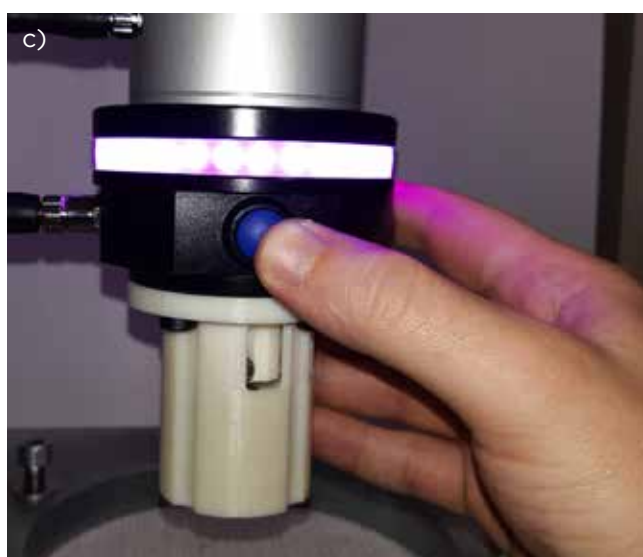
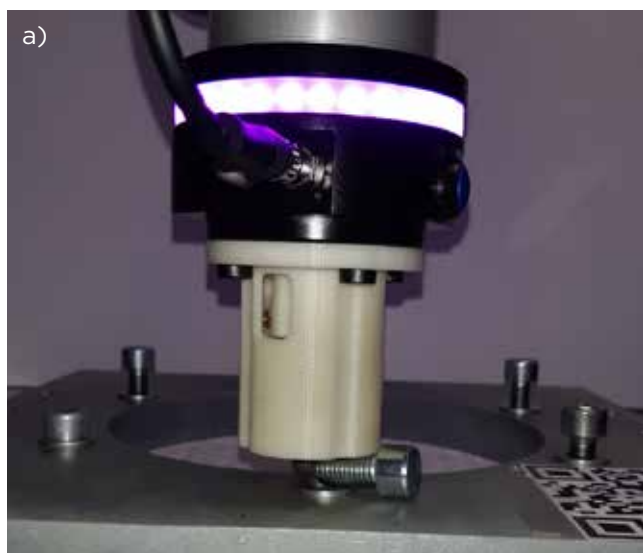


*Slika 4 : Detekcija dotika s preklopom v kinestetično vodenje: a) človek se dotakne robota b), kinestetično vodenje - človek lahko robota prosto premika v določenem območju delovnega prostora, c) človek lahko sproži nadaljnje izvajanje robotskega programa.*



*Slika 5 : Zaznavanje prisotnosti in pravilnega položaja vijaka; a) robot zazna vijak na pričakovanem mestu, b) robot zazna odsotnost vijaka, c) robot zazna napačno pozicijo*





**Slika 6 :** Detekcija odstopanja: a) robot zazna silo dotika z vijakom, ki ni na pričakovanem mestu, b) adaptacija robotskega programa – človek nauči robota na novi položaj vijaka, c) človek lahko sproži nadaljnje izvajanje robotskega programa.

Robotski program je načrtovan tako, da sprti diagnosticira morebitna odstopanja na določenih delih procesa vijčenja. Program zaznava morebitno odsotnost vijaka na vijčnem mestu in prav tako morebitni spodrslijaj pri vijčenju vijaka (npr. položaj vijaka ni takšen, kot ga robot pričakuje ali pa je vijak postavljen poševno ipd.). Zaznavanje odstopanja od predvidenega poteka procesa je zasnovano na principu tipanja okolice z vgrajenim senzorjem sile na vrhu robota. Robot pozicionira vijčno orodje nad vijak in se začne gibati proti glavi vijaka. Odstopanje določi na podlagi položaja, v katerem zazna silo, kot je prikazano na *sliki 5*.

Pri zaznanem odstopanju se robot ustavi in preklopi v kinestetični način premikanja ter hkrati to ustrezno signalizira človeku preko signalizacijskega obroča. Človek ima nato možnost umakniti robota in ga s kinestetičnim vodenjem naučiti na novi položaj vijaka, kot je to prikazano na *sliki 6*.

## 2.2 Varnostne omejitve

V kinestetičnem načinu vodenja lahko človek premika robota v omejenem delovnem prostoru. Te omejitve predstavljajo enega od varnostnih funkcij kolaborativnega robota. V našem primeru smo omejili položaj orodja z mejnimi ravninami, kot prikazuje *slika 7*, ter tudi rotacijo vijčnega orodja tako, da se prepreči njegova usmeritev proti človeku.



**Slika 7 :** Varnostna omejitev delovnega prostora – rdeče obrobljen in svetlo poudarjen kvader predstavlja prostor, v katerem je lahko orodje robota.



Slika 8 : Zaščitna zaustavitev robota blizu mejne ravnine.

Če človek med kinestetičnim vodenjem orodja robota pripelje v bližino ene od mejnih ravnin, najprej začuti odbojno silo. Če kljub odbojni sili nadaljuje in doseže mejno ravnino, se avtomatsko sproži zaščitna zaustavitev, o čemer nas robotski sistem obvesti na uporabniški konzoli robota, kot to prikazuje *slika 8*.

### 3 Interaktivni komunikacijski vmesnik s hologrfskim vmesnikom mešane resničnosti

Zdajšnja tehnologija mešane resničnosti podpira vrsto različnih vmesnikov. Eno izmed bolj intuitivnih komunikacij lahko dosežemo z uporabo naprav, nameščenih na glavi, med njimi pa gotovo izstopajo očala Microsoft HoloLens [11], ki so prikazana na *sliki 9* in smo jih uporabili pri naši laboratorijski aplikaciji vijačenja.

HoloLens je prvi popolnoma samostojni hologrfski računalnik, ki združuje najsodobnejšo optiko in senzorje ter omogoča, da so 3D hologrami postali del našega resničnega sveta. Primarni način komunikacije z uporabnikom temelji na sledenju pogledu, prepoznavi kretenj in glasov. Z usmerjanjem pogleda lahko uporabnik posreduje informacije o tem, kaj gleda, in s tem določi svoje namere. V kom-



Slika 9 : Vmesnik za mešano resničnost HoloLens [11].

binaciji s prepoznavo človekovih kretenj ali govora lahko uporabnik potrjuje svoje namere in proži izvršitev določenih ukazov.

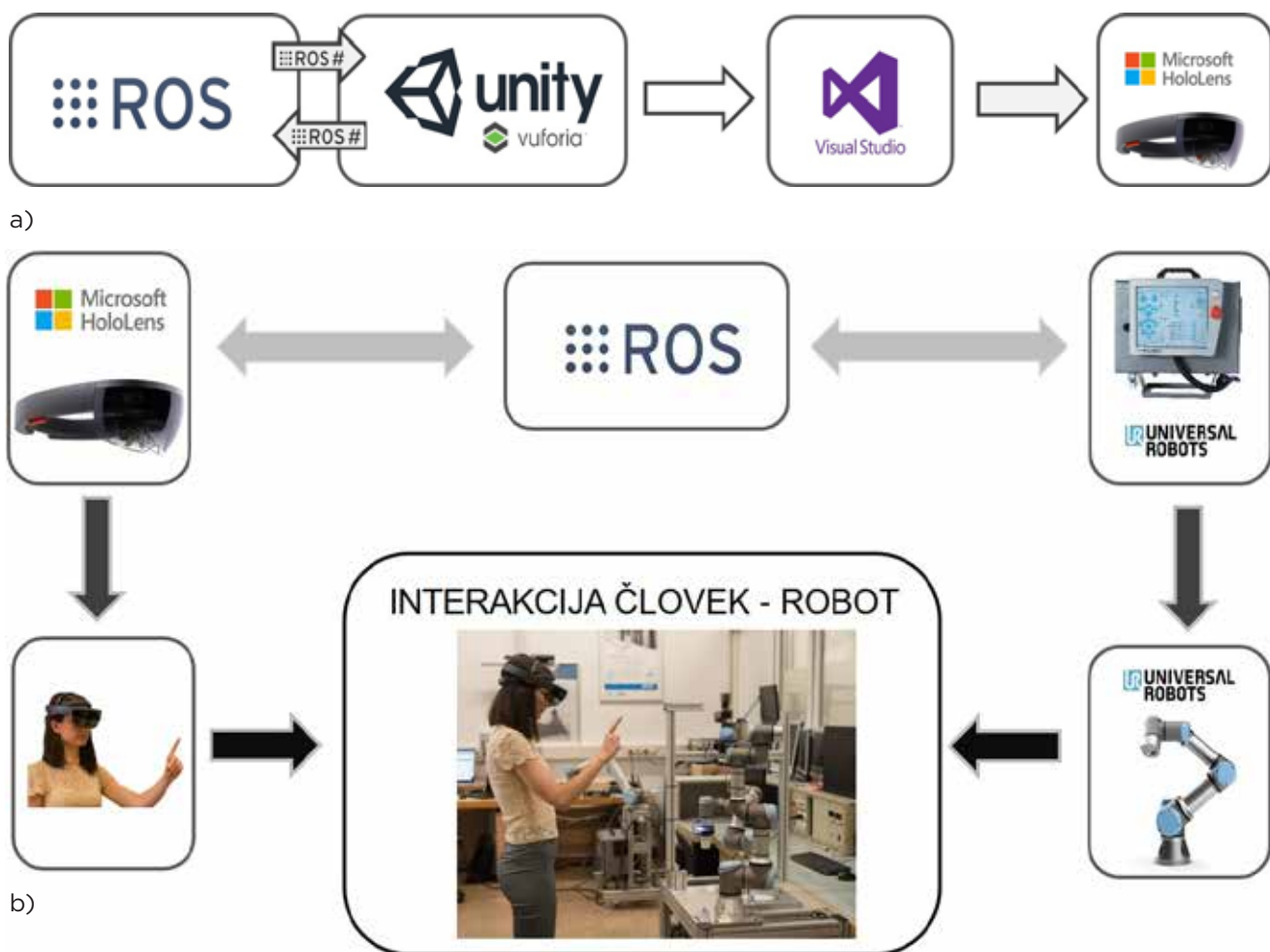
Programska oprema Unity3D [12] je namenjena oblikovanju virtualnih interaktivnih 3D objektov hologrfskega vmesnika. Za integracijo očal HoloLens v robotski sistem smo vključili še ROS [13], robotski operacijski sistem, ki združuje programske knjižnice in orodja, ki pomagajo pri razvoju takšnih robotskih aplikacij. Komunikacija med Unity3D in ROS poteka preko t. i. »rosbridge« in programske knjižnice ROS#, ki omogoča uvoz ali izvoz datotek v .urdf formatu iz ROS v Unity3D ali obratno ter izmenjavo informacije preko t. i. »publisher«-jev in »subscriber«-jev. Komunikacija med robotom in ROS-om poteka preko t. i. komunikacijskega protokola »websocket«, preko katerega pošiljamo podatke o vrstnem redu vijačenja ter poziciji novih točk vijačenja.

Za potrebe razvoja naše laboratorijske aplikacije smo vzpostavili povezavo UR3e - ROS - HoloLens, kot prikazuje *slika 10*.

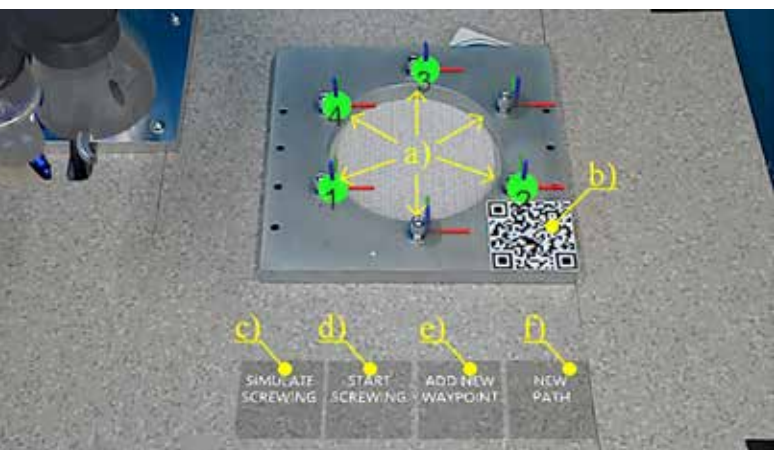
Vmesnik MR, ki je prikazan na *sliki 11*, omogoča definiranje robotske trajektorije ter določitev zaporedja vijačenja. Prostorska poravnava virtualnih objektov glede na realno okolje in objekte v njem je dosežena z uporabo markerja v obliki kode QR. Prepoznavo in sledenje markerjem omogoča knjižnica Vuforia [14], ki jo lahko integriramo v programsko okolje Unity3D.

Pogled skozi hologrfski vmesnik omogoča parametrizacijo robotske naloge s fleksibilnim določanjem zaporedja izvajanja. Hologrfski vmesnik vključuje šest virtualnih gumbov v obliki sfer s koordinatnim sistemom, ki določajo pozicijo in orientacijo posameznega mesta vijačenja. S pogledom na izbrano mesto in s kretljivo izberemo mesto vijačenja in določimo zaporedje izvajanja. Kot povratna informacija o izbiri se vsaka izbrana sfera obarva zeleno. Na njej se izpiše tudi zaporedna številka vijačenja, kot to prikazuje *slika 11*. Pod omenjenimi virtualnimi gumbi so nameščeni še gumbi za začetek simulacije vijačenja, začetek izvedbe vijačenja na robotu, dodajanje novih točk in oblikovanja nove trajektorije.

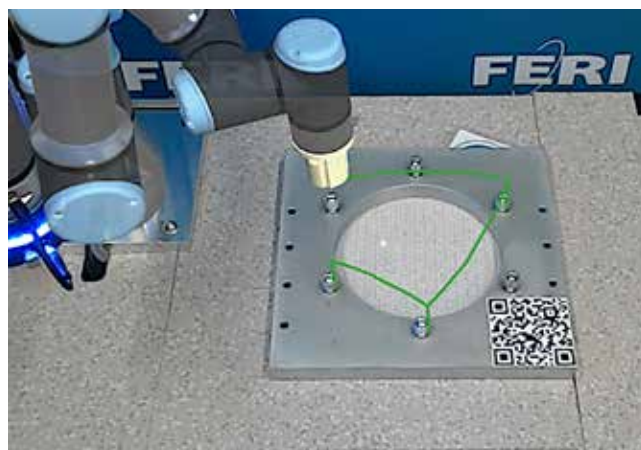
Za validacijo definirane robotske trajektorije lahko hologrfski vmesnik prikaže simulacijo gibanja robota z virtualnim 3D modelom robota, kot je to razvidno na *sliki 12*. Simulacija predvidene robotske trajektorije se izvede pred izvajanjem programa na realnem robotu, da bi prostorsko prikazali pot orodja virtualnega robota v realnem delovnem prostoru realnega robota. Pot ponazarja zelena krivulja, prikazana na *sliki 12*. Virtualna simulacija pomaga pri preverjanju korektnosti sekvence vijačenja, izvedljivosti robotske naloge s stališča dosegljivega delovnega prostora robota ter singularnih točk robota. Namen simulacije je tudi preverjanje kolizij robota z okolico.



**Slika 10 :** a) Snovanje aplikacije za mešano resničnost z očali HoloLens, b) Struktura aplikacije za mešano resničnost z očali HoloLens.



**Slika 11 :** Vmesnik MR: a) Virtualni gumbi za izbiro mesta vijačenja, b) Marker MR, c) Izvedba simulacije vijačenja, d) Izvedba vijačenja na realnem robotu, e) Dodajanje nove točke, f) Oblikovanje nove trajektorije.

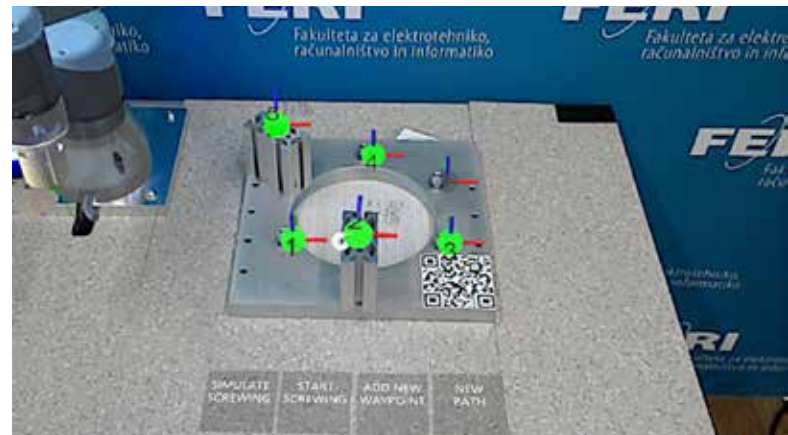
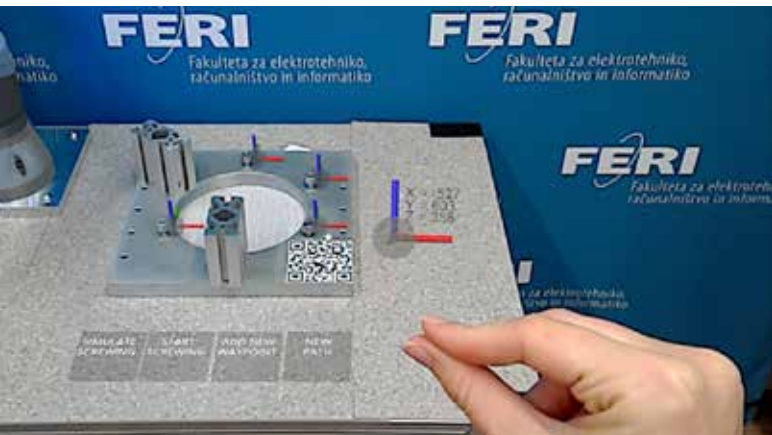


**Slika 12 :** Holografski virtualni 3D model robota UR3e med izvajanjem simulacije prekriva realno okolje.

Če človek oceni, da je med simulacijo prišlo oz. bi lahko prišlo do kolizije, ima možnost replaniranja robotske naloge. Kolizijam se lahko izogne s ponovno parametrizacijo z drugačnim vrstnim re-

dom vijačenja. Če se na ta način ne more izogniti kolizijam, lahko uporabnik definira nove vmesne točke, ki jim lahko s premikanjem roke spremenjapozicijo, kot je prikazano na *sliki 13*. Nato jih lahko aktivno vključi v načrtovanje in parametrizacijo nove poti orodja.





Slika 13 : a) Dodajanje novih točk (določanje pozicije s premikanjem roke) b) Kreiranje nove trajektorije.

## 4 Zaključek

Kolaborativne robotske aplikacije prinašajo v industrijo nove možnosti avtomatizacije proizvodnih procesov. Enostavno jih lahko vpeljemo v procese montaže, ki vključujejo tipične operacije, kot je vijachenje. Pri tem lahko elementarne operacije razdelimo tako, da človek vstavlja vijake v luknje, robot pa jih privijači. Na ta način se bistveno poenostavi naloga robota in tako tudi proizvodna tehnologija, saj zahtevnejši del procesa še vedno z lahkoto opravi človek. V nasprotju s popolnoma avtomatiziranimi sistemi vijachenja se zmanjša potreba po dodatni opremi, ki bi bila namenjena sortiranju, orientiranju in doziranju vijakov do vijachnika, ki je nameščen na robotu. Fizično zahtevnejše naloge vijachenja prevzame robot, medtem ko si s človekom deli delovni prostor. Definiranje robotske trajektorije je fleksibilno do te mere, da omogoča dinamično spreminjanje robotske trajektorije na zelo intuitiven način, saj lahko neposredno prilagaja trajektorijo skoraj vsak uporabnik preko holografskega vmesnika, brez predhodnega znanja o programiranju robotov.

Predstavljena laboratorijska aplikacija združuje nekatere osnovne pomembne elemente, ki so potrebni za razvoj človeku varne in intuitivne kolaborativne aplikacije ter predstavlja nov način interakcije, v katero sta aktivno vključena človek in robot skupaj drug ob drugem v istem delovnem prostoru. Komunikacija med njima poteka interaktivno in na človeku intuitiven in učinkovit način (fizični stik, holografski vmesnik). Očala mešane resničnosti ponujajo možnost naprednejše komunikacije in interakcije človek – robot preko holografskih objektov prav zaradi možnosti prostorskega prikaza in interakcije z virtualnimi objekti, kar je pri sorodnih tehnologijah, kot je npr. projekcijska, težje izvesti. Z vmesnikom mešane resničnosti lahko robotsko nalogo definiramo fleksibilno in pred zagonom preverimo še izvedljivost z virtualnim robotom v realnem okolju.

Video demonstracija interaktivne laboratorijske aplikacije s kolaborativnim robotom in holografskim

vmesnikom mešane resničnosti HoloLens na primeru vijachenja je na voljo na naslovih <https://youtu.be/t1kfek717ek> in <https://youtu.be/REnv4ywydeg>.

## Viri

- [1] ISO 10218-1/2:2011: Robots and Robotic Devices Safety Requirements for Industrial Robots Part 1: Robots/Part 2: Robot Systems and Integration.
- [2] ISO/TS 15066:2016: Robots and robotic devices – Collaborative robots.
- [3] G. Michalos, P. Karagiannis, S. Makris, Ö. Tokcalar, and G. Chryssolouris, "Augmented reality (AR) applications for supporting human-robot interactive cooperation" presented at the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems - CIRP CMS 2015 2015.
- [4] Z. Materna, M. Kapinus, V. Beran, P. Smrž, and P. Zemčík, "Interactive Spatial Augmented Reality in Collaborative Robot Programming: User Experience Evaluation," presented at the 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2018.
- [5] S. Erjavec, M. Mihelj, M. Munih, and S. Šlajpah, "Uporaba sodelujočega robota in obogatene resničnosti na primeru aplikacije sestavljanja," Ventil, vol. 3, 2019.
- [6] Guidebook & recommendation for the deployment of HORSE framework for Application Experiments, (<http://www.horse-project.eu/sites/default/files/publications/HORSE-D7.2-v1.00.pdf>).
- [7] Cherubini, A., Passama, R., Fraise, P., Crosnier, A.: A unified multimodal control framework for human-robot interaction, Robotics and Autonomous Systems 2015 vol. 70, str.: 106-115.
- [8] Gerbers, R., Mücke, M., Dietrich, F., Dröder, K.: Simplifying robot tools by taking advantage of sensor integration in human collaboration robots, 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, Elsevier 2016 vol.



- 44, str.: 287- 292.
- [9] Halme, R., Lanz, M., Kamarainen, J., Pieters, R., Latokartano, J., Hietanen, A.: Review of vision-based safety systems for human-robot collaboration, 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Elsevier 2018 vol. 72, str.: 111-116.
- [10] Universal Robots, (<https://www.universal-robots.com/>).
- [11] Microsoft HoloLens, (<https://www.microsoft.com/en-US/hololens>).
- [12] Unity3D, (<https://unity3d.com/>).
- [13] ROS, (<http://www.ros.org/>).
- [14] Vuforia, (<https://www.vuforia.com/>).

## Interactive Laboratory Screwing Application with a Collaborative Robot and Mixed Reality Glasses HoloLens

### Abstract:

Most collaborative robot applications, which can be currently seen in industry, have been designed to perform deterministic repetitive manufacturing tasks. The interaction between a robot and a human is usually not provided in the task execution, since it presents a potential harmful hazard for the human worker. However, the collaborative robot systems provide a possibility to involve a human with his intelligent creativity and motion dexterity into the process workflow, which may improve flexibility of the collaborative robotic application that can be achieved only hardly by a conventional robotization approach. In this paper, we describe a new approach for intuitive collaboration between robot and human worker in which a physical human-robot contact and interactive communication through holographic interface can be used as a natural and intuitive interaction. We demonstrate the proposed approach on the case of the experimental laboratory screwing application with collaborative robot UR3e from Universal Robots, which furthermore enables upgrading with other technologies for facilitating human-robot collaboration such as mixed reality. This holographic interface was developed with the purpose of virtual parametrization and simulation of a robotic task in a real robot workspace.

### Keywords:

human-robot collaboration, collaborative robot, human-robot physical interaction, mixed reality, robotic screwing

### Zahvala

To delo je bilo delno sofinancirano z raziskovalnim programom št. P2-0028 Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in v okviru projekta ROBOTool-1, OP20.03540, kjer naložbo sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.



**IRT 3000**  
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE

# SPLAČA SE BITI NAROČNIK



**ZA SAMO 50€ DOBITE:**

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 števil)
- strokovne vsebine na več kot 140 straneh
- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov
- možnost ugodnejšega nakupa strokovne literature

**UGODNOSTI ZA  
NAROČNIKE REVIE**

Vsak novi naročnik prejme  
majico in ovratni trak

**NAROČITE SE!** ☎ 01 5800 884 ✉ [info@irt3000.si](mailto:info@irt3000.si) 🌐 [www.irt3000.si/narocam](http://www.irt3000.si/narocam)

Na voljo tudi digitalna različica revije

**WWW.IRT3000.COM**