

Izdelava simulatorja učnega sistema s prosto dostopnimi orodji

Nejc Ilc, Uroš Lotrič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: nejc.ilc@fri.uni-lj.si, uros.lotric@fri.uni-lj.si

Povzetek. Ena pomembnih modernih smernic optimizacije poslovanja sta vzpostavitev in uporaba navideznih dvojnikov fizičnih sistemov. Na trgu obstaja veliko namenskih orodij za izdelavo navideznih sistemov, ki pa so plačljiva in za manjše projekte težko upravičijo začetni vložek. Za potrebe pedagoškega procesa smo z igralnim pogonom Unity razvili lasten simulator s 3-D upodabljanjem učnega sistema. Simulator posnema fizične naprave dovolj dobro, da ga študenti lahko koristno uporabljajo pri razvoju programov za industrijski krmilnik in pri integraciji z višjimi sistemi vodenja. Odzivi študentov kažejo, da jim simulator močno olajša izdelavo projektne naloge in pripomore k bolj dovršenim izdelkom. Orodja in postopke izdelave simulatorja, ki smo jih uporabili na primeru učnih naprav Fischertechnik, lahko neposredno uporabimo za simulacijo drugih učnih in tudi industrijskih sistemov.

Ključne besede: simulacija, vizualizacija, vodenje procesov, izobraževanje

Implementation of a training-model simulator with free tools

One of the important modern concepts in production optimization is implementation and usage of digital twins – virtual copies of physical setups. There are many tools on the market targeting at the digital twin concept, but are payable and for small projects it is difficult to justify the initial investment. For the needs of a faculty course, we developed our own simulator with a 3D visualization of physical training models based on the Unity game engine. The simulator imitates the physical devices well enough to enable students developing efficient programs for industrial controllers and practicing integration with higher-level systems. The simulator greatly alleviates the work on project tasks and contributes to more accomplished final projects. The tools and procedures used to create the simulator present a good base for the development of more complex simulators of other training models or even industrial systems.

1 Uvod

Z uveljavljanjem koncepta Tovarna 4.0 prihaja do pomembnih sprememb v podjetjih na vseh ravneh poslovanja [1]. Nov koncept med drugim poudarja močno povezavo med fizičnim in navideznim svetom [2]. S prepletanjem fizičnega in navideznega sveta inženirji in programerji lažje spremljajo, načrtujejo, programirajo in preverjajo pravilnost delovanja sistemov [3], [4]. Pri tem igrajo pomembno vlogo verno modeliranje in simulacije, ki omogočajo hitro

in cenovno ugodno preverjanje različnih scenarijev in iskanje najboljših rešitev [5], [6]. Navidezna učna okolja so pomembna za pridobivanje novih znanj in veščin, ki se v konceptu Tovarne 4.0 pričakujejo od zaposlenih [7]. Sistemi za vizualizacijo in simulacijo so v številnih panogah nepogrešljivi učni pripomoček pri izobraževanju inženirjev [8], [9].

Na trgu je na voljo veliko komercialnih rešitev za simulacijo in upodabljanje krmiljenih naprav v 3-D okolju ter za navidezni zagon, na primer Emulate 3D [10], Factory I/O [11], Siemens PLM [12] in Virtual Universe Pro [13]. Vse te rešitve uporabniku ponujajo delo v 3-D okolju in vključujejo uporabo naprav in komponent znanih izdelovalcev, možnost vključevanja lastnih modelov naprav, simulacije procesov in podobno.

Kot alternativa uporabi plačljivih rešitev se ponuja izdelava lastne rešitve, ki je lahko bolj prilagojena potrebam končnih uporabnikov. Pomembne naloge modeliranja in simulacije sistemov so: upodabljanje v 3-D prostoru, simulacija fizikalnih procesov, zaznavanje trkov, animacija navideznega modela in interakcija z uporabnikom. Vse te naloge se izvajajo tudi v računalniških igrah. Za njihov razvoj je na voljo precej prosto dostopnih orodij oziroma igralnih pogonov, ki poskrbijo za naštetje naloge, so dobro dokumentirani in imajo močno podporo razvijalske skupnosti [14], kot denimo CryEngine [15], Torque [16], Unity [17] in Unreal Engine [18]. Ta orodja so dobra osnova tudi za razvoj resnih iger (ang. serious games), ki so namenjene izobraževanju



Slika 1: Učne naprave Fischertechnik (od leve proti desni): pnevmatski sistem, proizvodnja linija in robotska roka

inženirjev s pomočjo simulacij v navideznih okoljih [19].

Za številna podjetja je pri sprejemanju novih industrijskih smernic velika težava pomanjkanje ustrezno izobraženih kadrov [20]. Na področju avtomatizacije postajajo znanja o mrežah, varnosti, razvoju programske opreme, ravnanju s podatki in analizi podatkov nepogrešljiva. Študenti na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani številna od navedenih znanj pridobijo med študijem. Da bi bili lažje kos izzivom, ki jih prinašajo novi koncepti poslovanja, jim želimo s predmetom Procesna avtomatika približati svet industrijskih krmilnikov in jim predstaviti možnosti za uspešno integracijo z višjimi sistemi vodenja, kot so proizvodni in poslovni informacijski sistemi. Študenti na laboratorijskih vajah uporabljajo učne sisteme, ki pa so jim na voljo samo dve uri na teden. Za kakovostno izvedbo projektne naloge morajo kar nekaj dela opraviti tudi doma.

Da bi študentom omogočili učinkovito delo tudi zunaj laboratorijskih vaj, hkrati pa jih pripravili na delo z navideznimi sistemi po študiju, smo se odločili razviti lasten simulator učnih sistemov. Simulator FTsim temelji na igralnem pogonu Unity in ponuja učinkovito predstavitev učnih naprav podjetja Fischertechnik [21], prek emulatorja S7-PLCSIM [22] pa se integrira v Siemensovo razvojno okolje TIA portal. Simulator ne vključuje vseh funkcionalnosti komercialnih rešitev, vsekakor pa je brezplačna alternativa in je lahko dobro izhodišče za nadgradnjo v kompleksnejši simulacijski sistem.

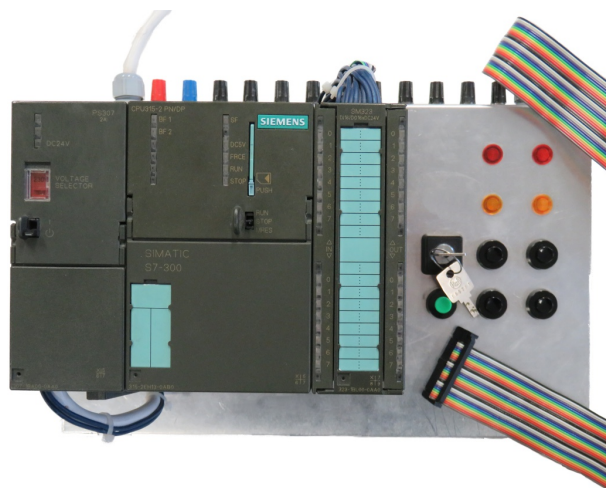
V nadaljevanju je v 2. poglavju predstavljen fizični učni sistem s prednostmi in omejitvami. V 3. poglavju sta opisana zgradba in delovanje simulatorja FTsim, v 4. poglavju pa je podana analiza odzivov študentov pri delu s simulatorjem. Nazadnje so v 5. poglavju strnjene glavne ugotovitve in nanizane možnosti za nadaljnji razvoj simulacijskega sistema.

2 Učni sistem

Učni sistem je sestavljen iz učne naprave, sestavljene iz kock Fischertechnik, in krmilne enote. Študenti imajo na voljo tri tipe učnih naprav, predstavljenih na sliki 1:

- pnevmatski sistem z vrtljivo mizo, obdelovalnim strojem, pnevmatskimi valji in transportnim trakom,
- proizvodno linijo z dvema obdelovalnima strojema, transportnimi trakovi in prekladalcema in
- robotsko roko s štirimi prostostnimi stopnjami.

Učne naprave so opremljene z mehanskimi in svetlobnimi tipali, optičnimi dajalniki, enosmernimi motorji in pnevmatskimi valji.

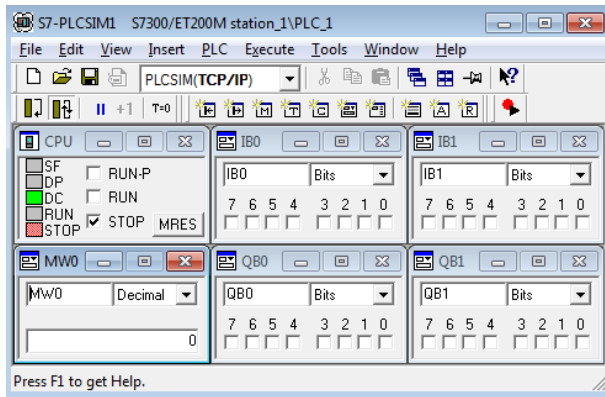


Slika 2: Krmilna enota s krmilnikom Siemens S7-315

Učne naprave prek ploščatega kabla priklopimo na krmilno enoto, ki jo vidimo na sliki 2. Krmilno enoto sestavljajo: industrijski krmilnik Siemens serije S7-300 s 16 digitalnimi vhodi in 16 digitalnimi izhodi, nekaj mehanskih tipk, ključ in signalne lučke.

Za programiranje učnega sistema uporabljamo razvojno okolje Simenes TIA portal. Vanj je vključen emulator S7-PLCSIM, prikazan na sliki 3, ki z nekaj

omejitvami dobro emulira Siemensove industrijske krmilnike. Uporabniški vmesnik emulatorja je precej preprost – dovoljuje opazovanje in spreminjanje vhodov, izhodov, pomnilniških bitov in nekaterih drugih podatkovnih struktur. Čeprav lahko posnamemo zaporedje več dogodkov, simulacija kompleksnejših sistemov hitro postane težko obvladljiva.



Slika 3: Okno emulatorja krmilnikov Siemens S7-PLCSIM

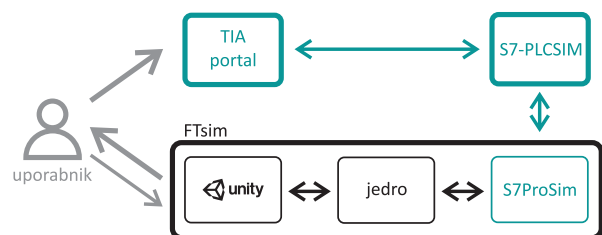
Delo s fizičnim učnim sistemom je velika motivacija za študente, saj so ob uspešni izvedbi nalog dodatno stimulirani z dejanskim premikanjem naprav. Na žalost je organizirano delo z učnim sistemom omejeno na dve šolski uri tedensko, pri čemer pripravljanje in pospravljanje sistema vzame približno četrto ure. Niso vse naloge strogo vezane na učni sistem, na primer izdelava nadzornega sistema, povezovanje z višjimi sistemi vodenja prek OPC [23], in jih lahko izvedejo tudi z emulatorjem industrijskih krmilnikov S7-PLCSIM. Ker ta ne vključuje vizualizacije krmiljene naprave, si mora študent delovanje naprave dobro predstavljati v mislih, kar poveča verjetnost napak, poleg tega je hkratno delo na različnih mestih naprave zaradi ročnega sproženja dogodkov naporno in zamudno.

3 Simulator učnih sistemov FTsim

Za upodobitev učnih naprav Fischertechnik v navideznem 3-D okolju in razvoj simulacijskega modela učnih sistemov smo izbrali razvojno ogrodje Unity, ki poleg zmogljivega igralnega pogona vključuje tudi grafični urejevalnik navideznega sveta, nadzor obnašanja navideznega modela prek skript in je brezplačen za nekomercialno uporabo.

Simulator FTsim je zgrajen iz treh večjih modulov in se v celotno uporabniško okolje vključuje, kot prikazuje slika 4. Uporabnik razvija krmilniški program v orodju TIA portal, v katerega je integriran emulator industrijskih krmilnikov S7-PLCSIM. Emulirane vhode, izhode in druge podatkovne strukture krmilnika beremo ali pišemo prek programskega vmesnika

S7ProSim. Unity podpira pisanje lastne programske kode v jeziku JavaScript ali C#. Ta omogoča vključitev drugih dinamičnih knjižnic v kodo projekta, zato smo ga uporabili za izvedbo osrednjega modula simulatorja – jedra. Ta določa pravila obnašanja navideznega modela glede na izhode iz emulatorja, s katerimi krmilimo izvršne člene na napravi. Po drugi strani simulacija učne naprave posreduje podatke o tipalih, ki se zapisujejo na emulirane vhode krmilnika. Igralni pogon Unity poskrbi za izris modela v 3-D okolju, upravlja uporabniški vmesnik in simulira fizikalne procese. Z orodji, ki jih ponuja igralni pogon Unity, lahko dobro simuliramo procese brez natančnega poznavanja fizikalnih enačb, kar nam močno olajša postavitve modela procesa.

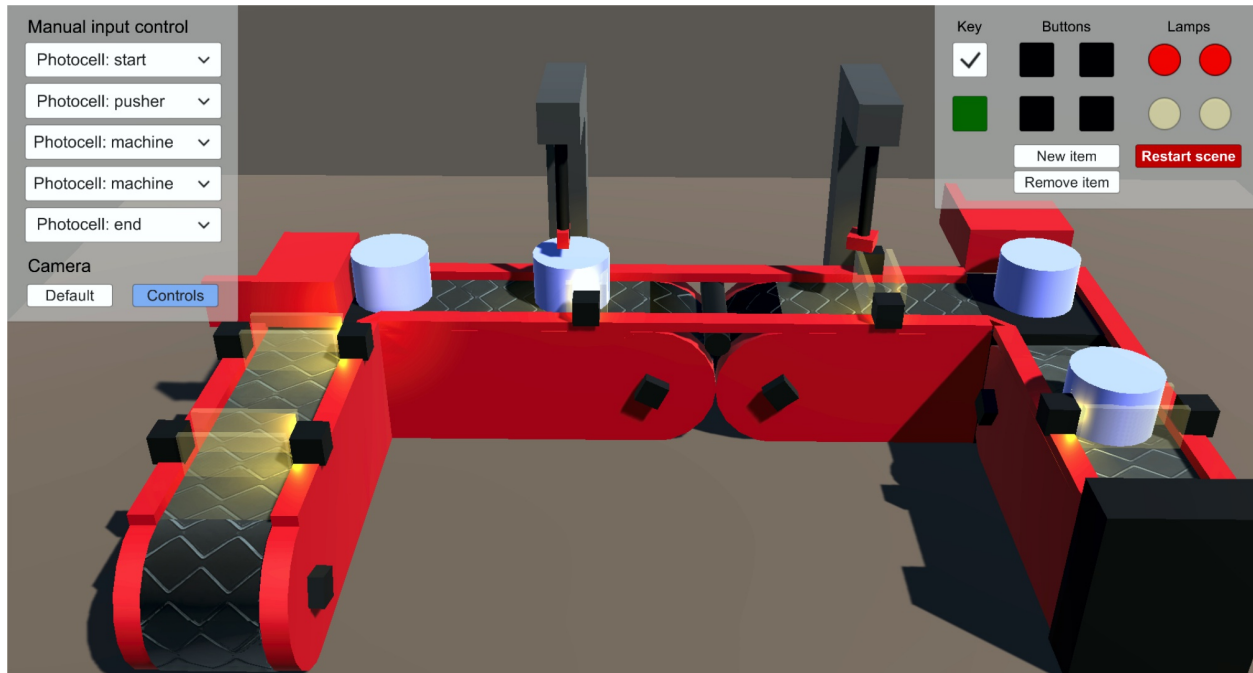


Slika 4: Zgradba simulatorja FTsim in njegova interakcija z okoljem

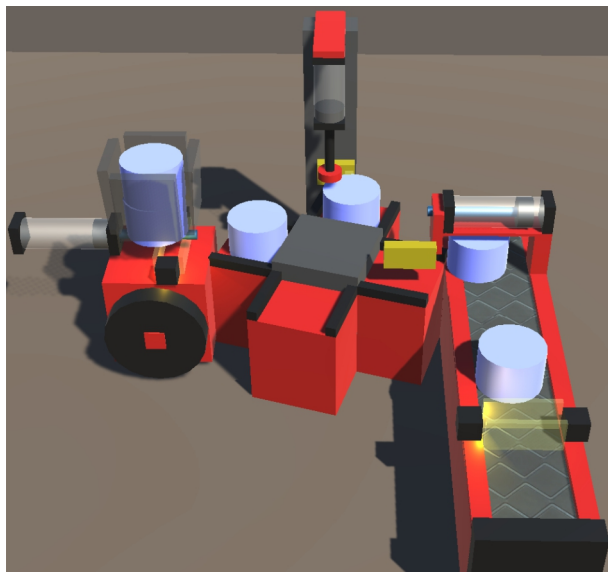
3.1 Modeliranje učnih naprav

Naš cilj ni bil visokorealistična upodobitev fizičnih učnih naprav, temveč preprosta in hkrati učinkovita predstavitev njihovih osnovnih gradnikov, kot je videti na slikah 5, 6 in 7. Dimenzijska razmerja in hitrost animacij posameznih funkcijskih sklopov navidezne naprave so enake tistim iz fizičnega sveta. Tako je denimo čas potovanja obdelovanca, ki je na slikah prikazan kot svetel valj, po transportnem traku enak v obeh svetovih.

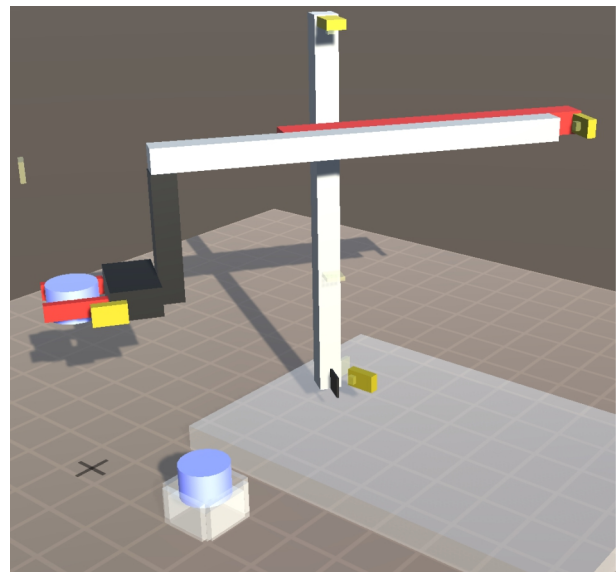
Modele učnih naprav smo izdelali iz osnovnih teles, ki so na voljo v urejevalniku navideznih svetov orodja Unity: kocka, valj in krogla. Z izjemo teksture za transportni trak smo preostale površine prekrili s homogenimi barvami, kar daje občutek, da gre za model igrače. Uporabili smo fizikalni model, ki ga ponuja igralni pogon, in navideznim objektom nastavili maso ter definirali različne materiale, ki se med sabo ločijo po prožnosti in koeficientu trenja. Transportni trak smo zaradi preprostosti modelirali kot statično površino z animirano teksturo. Na obdelovance, ki se je dotikajo, deluje s silo v smeri, ki je ustrezna smeri vrtenja motorja. Pnevniški valj, ki je del naprave pnevmatski sistem, potiska obdelovance na vrtljivo mizo in z nje. Predstavili smo ga kot togo telo, palico, na katero ob želenem premiku delujemo s silo in jo s tem premaknemo. Podobno delujeta tudi prekladalca v modelu proizvodne linije z dvema obdelovalnima strojema – na sliki 5 je zgoraj levo



Slika 5: Upodobitev proizvodne linije z dvema obdelovalnima napravama v simulatorju FTsim



Slika 6: Model pnevmatskega sistema v simulatorju FTsim



Slika 7: Model robotske roke v simulatorju FTsim

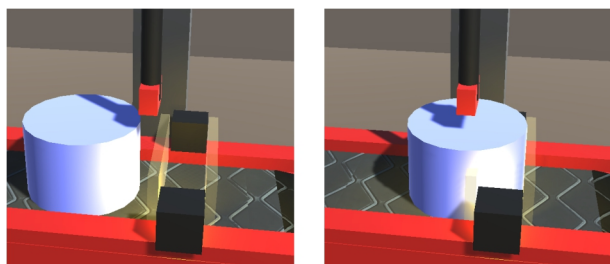
viden trenutek, ko levi prekladalec potiska obdelovanece iz prvega na drugi transportni trak. Obdelovalna stroja, brusilnik in vrtalnik, smo upodobili kot vrteča se kvadra, vpeta na nosilno konstrukcijo. Učno napravo robotska roka smo abstrahirali s pokončnim in prečnim nosilcem v obliki kvadra; na slednjega je z ene strani pripeta nosilna konstrukcija prijemale. Navpični nosilec se vrti okoli pravokotnice na podlago, prečni nosilec pa se premika navzgor in navzdol oziroma naprej in nazaj v vodoravni smeri. Prijemalo

robotske roke je modelirano z dvema kvadrroma na koncu držala v obliki črke L, kar je vidno na sliki 9. Ko je aktiven izhod za premik motorja prijemale, se kvadra drug drugemu približujeta oziroma se drug od drugega oddaljujeta.

Za modeliranje tipala smo uporabili delno prosojne kvadre, skozi katere lahko drugi objekti prosto potujejo, in na njih omogočili zaznavo trkov – tako smo dobili na dotik občutljivo zaznavno ploščo. Mehansko tipalo je predstavljeno z eno zaznavno ploščo. Ko se obdelovanec nahaja v telesu plošče, je

tipalo aktivno. Takrat na ustrezen vhod emulatorja pošljamo logično enico, drugače ničlo. Svetlobno tipalo je modelirano z dvema zaznavnima ploščama, kar prikazuje slika 8. Na levi strani slike vidimo obe zaznavni plošči in obdelovanec, ki se ne dotika nobene od plošč: svetlobni žarek ni prekinjen in na ustrezen vhod emulatorja zapišemo logično enico. Šele ko se obdelovanec dotika obeh zaznavnih plošč hkrati, kot je vidno na desni strani slike, je svetlobni žarek popolnoma prekinjen in na ustrezen vhod na emulatorju zapišemo logično ničlo. Sprva smo svetlobno tipalo modelirali z eno samo zaznavno ploščo, ki pa ni zadovoljivo posnemala obnašanja svetlobnega snopa iz resničnega sveta, kar se je izrazilo kot ustavljanje obdelovancev pod obdelovalnimi stroji na neustreznih mestih.

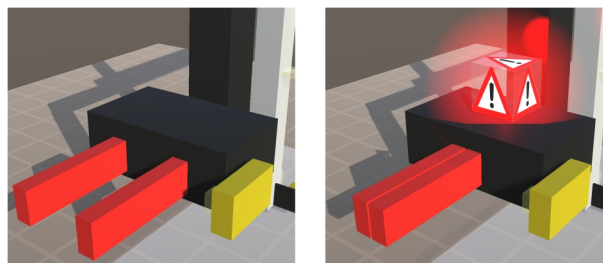
Položaj posamezne osi robotske roke v primeru fizične učne naprave določamo na podlagi štetja pritiskov na posebno mehansko tipalo, nameščeno poleg motorja, na katerega periodično pritiska zobato kolo, ki je vpeto na os motorja. Obstaja tudi novejša različica robotske roke, ki ima vgrajen optični dajalnik impulzov v dva izmed motorjev, kar se odraža v natančnejšem določanju obratov motorja in s tem položaja robotske roke v navpični in radialni smeri. Obe izvedenki smo modelirali na enak način: ko se neka os robotske roke premika v eno ali drugo smer, v določenem časovnem razmiku za kratko obdobje aktiviramo pripadajoči krmilni vhod, ki je v resničnem svetu vezan na mehansko stikalo. Tako dobimo signal v obliki kratkih pulzov. Pri optičnem dajalniku je razlika samo ta, da je teh pulzov na časovno enoto približno stokrat več.



Slika 8: Izvedba svetlobnega tipala: (levo) obdelovanec pred tipalom in (desno) obdelovanec prekine svetlobni žarek z dotikom obeh zaznavnih plošč

Posebno pozornost smo namenili opozarjanju uporabnika na stanja in premike navideznega modela, ki bi v resničnem svetu lahko povzročili mehanske poškodbe učne naprave. Prekladalca imata vsak po en par mehanskih tipal, ki se sprožita ob doseženi skrajni legi. Če programer tega ne upošteva in potisne prekladalec čez to mejo, kar razberemo iz trenutnega položaja potisne plošče, se prikaže opozorilo v obliki rotacijske luči z znakom za nevarnost. Podobno so mehanska tipala nameščena na skrajni

legi vsake izmed štirih osi gibanja robotske roke. Na levi strani slike 9 vidimo prijemalo robotske roke. Svetlejši kvader na desni strani prijemala je nosilec mehanskega tipala, ki se sproži, ko se prijemalo odpre do največje dovoljene mere. Če se motor, ki premika prijemalo, kljub temu ne ustavi, se sproži opozorilo, kot prikazuje desna stran slike 9. V smeri zapiranja prijemala pa je zgodba drugačna – tu ni mehanskega tipala, temveč moramo na položaj prijemala sklepati s pomočjo optičnega dajalnika oziroma pritiskov na mehansko stikalo, kot smo že omenili. Če se prijemalo zapre do skrajnosti, tako da se prijemalni plošči stakneta, in se motor še vedno ne ustavi, lahko pride pri fizični napravi do trajne poškodbe mehanizma motorja. Zato tudi v tem primeru uporabniku prikazemo opozorilo.



Slika 9: Prijemalo robotske roke: (desno) prijemalo je v vmesni, dovoljeni legi; (levo) prijemalni plošči sta sklenjeni in ker se motor za zapiranje prijemala ni ustavil, prikazemo opozorilo

3.2 Upravljanje simulatorja

Ko uporabnik naloži svojo programsko kodo na emulirani krmilnik S7-PLCSIM, lahko odzive programa preizkuša v oknu simulatorja FTsim. Za to skrbi uporabniški vmesnik, ki je prikazan na sliki 5. V zgornjem levem kotu je za vsako tipalo na voljo spustni seznam. Z njim lahko neko tipalo postavimo v aktivno ali neaktivno stanje. Tako je olajšano preizkušanje robnih primerov in proženje alarmov. Pod spustnimi meniji je še nekaj gumbov za spreminjanje zornega kota kamere in priklic navodil za upravljanje simulatorja. Premikanje kamere v vseh smereh je mogoče z miško.

V zgornjem desnem kotu okna simulatorja je krmilna plošča, ki oponaša videz in delovanje mehanskih tipk, ključa in signalnih lučk s krmilne enote, prikazane na sliki 2. Stanje ključa in mehanskih tipk spreminjamo bodisi z miško bodisi s tipkovnico. Pod tipkami je gumb za dodajanje novega obdelovanca na začetno pozicijo in gumb za odstranitev najstarejšega obdelovanca. Pri proizvodni liniji z dvema obdelovalnima strojema in pnevmatskem sistemu je začetna pozicija vnaprej določena: svetlobno tipalo levo spodaj na sliki 5 oziroma posebna vhodna enota skrajno levo na sliki 6. Navidezni model robotske

roke pa dovoljuje uporabniku, da si sam izbere mesto, kjer se pojavijo novi obdelovanci – to je posebna polprosojna ploščad, vidna v sredini spodaj na sliki 7, ki jo premikamo s smernimi tipkami na tipkovnici. Uporabniku je v vsakem trenutku na voljo ponastavitev simulatorja v začetno stanje s pritiskom na gumb pod signalnimi lučkami.

4 Odziv študentov

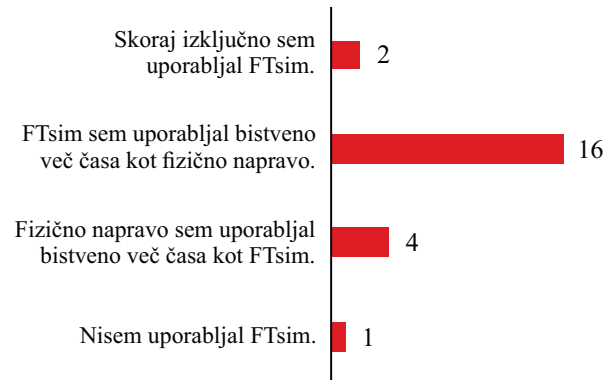
Simulator FTsim smo razvili, da bi študentom pri predmetu Procesna avtomatika olajšali delo na projektni nalogi. V okviru projektne naloge, ki jo delajo delno na laboratorijskih vajah in delno doma, študenti avtomatizirajo učno napravo in jo povežejo z drugimi sistemi vodenja – pripravijo nadzorni sistem, povežejo več učnih sistemov v usklajeno celoto ali pa učni sistem z uporabo protokola OPC povežejo z lastnim programom za osebni računalnik. Med študenti smo v šolskem letu 2017/2018 izvedli anketo, s katero smo želeli ovrednotiti uporabnost in sprejetje simulatorja FTsim.

Vprašalnik je v celoti izpolnilo 23 študentov. Staviljen je bil iz petih vprašanj z odgovori na štiri-stopenjski lestvici in enega vprašanja odprtega tipa:

- 1) *Kolikšno je približno razmerje med časom, ko ste delali s fizičnimi učnimi napravami in časom, ko ste uporabljali simulator FTsim?* Mogoči odgovori: skoraj izključno sem uporabljal FTsim, FTsim sem uporabljal bistveno več časa kot fizično napravo, fizično napravo sem uporabljal bistveno več časa kot FTsim, nisem uporabljal FTsim.
- 2) *Kako ste na splošno zadovoljni s simulatorjem FTsim?* Mogoči odgovori: zelo nezadovoljen, nezadovoljen, zadovoljen, zelo zadovoljen.
- 3) *Kako dobro simulator posnema učno napravo, s katero ste delali?* Mogoči odgovori: zelo slabo, slabo, dobro, zelo dobro.
- 4) *Ocenite stabilnost in zanesljivost delovanja simulatorja (hrošči, sesutja ipd.).* Mogoči odgovori: zelo nezanesljivo, nezanesljivo, zanesljivo, zelo zanesljivo.
- 5) *V kolikšni meri se strinjate s trditvijo: "Uporaba simulatorja FTsim je pripomogla k temu, da sem izdelal bolj dovršen projekt, kot bi ga sicer."?* Mogoči odgovori: zelo se ne strinjam, se ne strinjam, se strinjam, zelo se strinjam.
- 6) Neobvezno odprto vprašanje za dodatna pojasnila in druga sporočila.

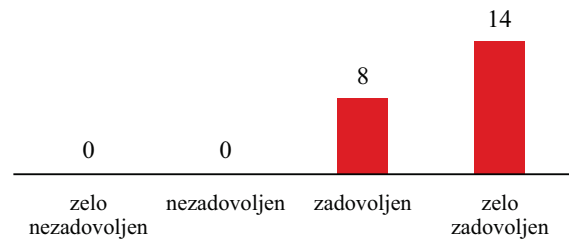
V okviru laboratorijskih vaj so študenti svobodno razpolagali s časom, ki so ga namenili delu s simulatorjem. Dostop do fizičnih učnih naprav je bil omejen na dve uri tedensko. Odgovori na 1. vprašanje, ki jih prikazuje slika 10, kažejo na to, da so študenti, z izjemo petih, bistveno več časa namenili delu s simulatorjem, kar potrjuje domnevo, da je bilo precej

projektne dela treba opraviti zunaj laboratorijskih vaj. Iz tega lahko sklepamo, da je simulator opravil svoje poslanstvo in zadovoljivo nadomestil fizične učne naprave.



Slika 10: Odgovori na 1. vprašanje: "Kolikšno je približno razmerje med časom, ko ste delali s fizičnimi učnimi napravami, in časom, ko ste uporabljali simulator FTsim?"

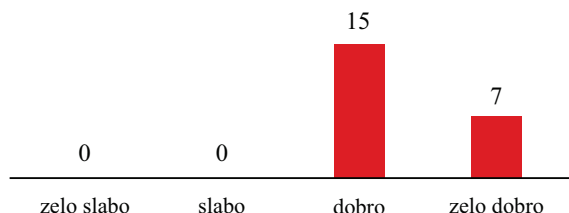
Histogram na sliki 11 prikazuje porazdelitev odgovorov na 2. vprašanje, ki je preverjalo splošen vtis ob uporabi simulatorja FTsim. Vsi anketiranci so bili zadovoljni ali zelo zadovoljni z izdelkom.



Slika 11: Odgovori na 2. vprašanje: "Kako ste na splošno zadovoljni s simulatorjem FTsim?"

Graf na sliki 12 prikazuje odgovore na 3. vprašanje, in kot je videti, so vsi študenti mnenili, da simulator dobro oziroma zelo dobro posnema fizične učne naprave. Večina odgovorov je bila sicer "dobro", kar pomeni, da je v tem pogledu še nekaj prostora za izboljšave. Nekaj konstruktivnih predlogov so nam študenti zaupali v odgovorih na zadnje vprašanje, kjer so tudi komentirali nedoslednosti navideznega modela v primerjavi s fizično napravo: padanje obdelovancev s transportnih trakov v primeru nepravilnosti s prekladalcem, napačne dolžine transportnih trakov, neustrezna izvedba svetlobnega tipala z eno samo zaznavno ploščo, nenavadno poskakovanje obdelovancev zaradi napačno postavljenih parametrov fizikalnega modela, občasno zatikanje pnevmatskih

valjev in njihovo sunkovito proženje. V različici simulatorja 1.5 je bila velika večina teh pomanjkljivosti odpravljena.



Slika 12: Odgovori na 3. vprašanje: "Kako dobro simulator posnema učno napravo, s katero ste delali?"

Deloma so se odgovori na 4. vprašanje o zanesljivosti delovanja simulatorja prekrivali s prejšnjim vprašanjem, saj so nedoslednosti v posnemanju fizične učne naprave lahko hkrati tudi programski hrošči. Iz slike 13 je razvidno, da večina vprašanih ocenjuje delovanje simulatorja kot zanesljivo ali zelo zanesljivo, dva pa menita, da je nezanesljivo. Iz individualnih pogovorov med samimi vajami smo dobili informacije o nenadnih sesutjih predvajalnika Unity, kar se je v izjemnih primerih dogajalo samo na določenih konfiguracijah osebnih računalnikov. Domnevamo, da gre za težave z gonilniki grafičnega procesorja v povezavi z izvajanjem simulatorja na navideznem stroju, na žalost pa za natančnejšo diagnostiko nismo zbrali dovolj podatkov.

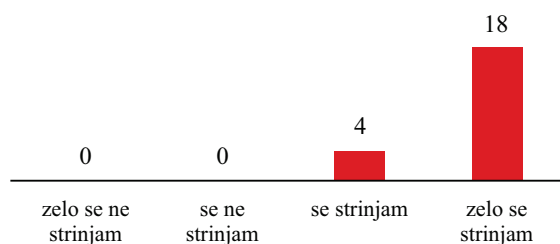


Slika 13: Odgovori na 4. vprašanje: "Ocenite stabilnost in zanesljivost delovanja simulatorja (hrošči, sesutja ipd.)"

S 5. vprašanjem smo želeli ovrednotiti dosego glavnega cilja celotnega projekta izdelave simulatorja. Odgovori, zbrani na sliki 14, dokazujejo, da je bil cilj dosežen, saj so se vsi študenti strinjali s trditvijo, da so po zaslugi simulatorja FTsim svoje projekte izdelali bolj dovršeno, kot bi jih brez njega.

5 Sklep

Simulator FTsim smo izdelali za podporo študentom pri delu na projektnih nalogah v okviru predmeta



Slika 14: Odgovori na 5. vprašanje: "V kolikšni meri se strinjate s trditvijo: 'Uporaba simulatorja FTsim je pripomogla k temu, da sem izdelal bolj dovršen projekt kot bi ga sicer.'?"

Procesna avtomatika. Simulator učnih naprav Fischertechnik, ki ga študenti uporabljajo pri izdelavi projektnih nalog, je zasnovan na igralnem pogonu Unity in se prek knjižnice Siemens S7ProSim povezuje na emulator Siemenovih industrijskih krmilnikov Siemens S7-PLCSIM.

Simulator FTsim teče v okolju Microsoft Windows in je prosto dostopen na [24]. Za modeliranje premikov obdelovancev, izvršnih členov in tipal naprav smo uporabili izključno elemente, ki jih ponuja urejevalnik orodja Unity. S simulatorjem FTsim smo uporabniško izkušnjo za delo s Siemensovim razvojnim okoljem v odsotnosti fizičnega učnega sistema dvignili na veliko višjo raven. Simulator FTsim je namenjen izključno simulaciji učnih naprav Fischertechnik v povezavi z industrijskimi krmilniki Siemens. Kljub temu je postopek izdelave simulatorja dovolj splošen, da ga lahko uporabimo pri simuliranju drugih učnih ali realnih industrijskih naprav.

Študenti so pokazali veliko zanimanje za simulator: prvi prototip je bil izdelan v okviru seminarske naloge, v obdobju preizkušanja pa so s konstruktivnimi pripombami močno pripomogli k sedanji podobi, ki ponuja številne dodatne funkcije, izboljšano upodobitev naprav in ima odpravljenih večino programskih napak. Simulator dovolj verno upodablja fizične učne naprave, zato so nekateri študenti tudi na laboratorijskih vajah raje posegli po simulatorju.

Obstaja veliko možnosti za izboljšanje simulatorja FTsim. Med drobne izboljšave spadajo prikaz vhodno/izhodnega modula industrijskega krmilnika v oknu simulatorja, prikaz oznak vhodov in izhodov, na katere so vezani tipala in izvršni členi, premikanje obdelovancev in proženje tipal ter izvršnih členov z miško. Za bolj doživeto izkušnjo bi bilo najprej treba dodati zvoke, za izdelavo bolj robustnih programov pa omogočiti tudi simulacijo izrednih dogodkov, na primer motnje pri delovanju tipal ter izvršnih členov in izginotje obdelovanca.

Na področju izobraževanja se v zadnjih letih pojavlja nov tok, ki spodbuja učenje na podlagi nepo-

sredne izkušnje oziroma potopitve v učno okolje z vsemi čuti [25]. Simulator FTsim bi bilo zanimivo nadgraditi v igro, ki bi študentom postavljala izzive in sproti vrednotila njihove dosežke [26]. Pri tem velja razmisliti o uporabi tehnologije za navidezno resničnost, ki jo Unity tudi podpira [27]. Mehanizem igre bi poskrbel, da bi bili projekti pravilno zgrajeni od začetka do konca, študenti pa bi bili z reševanjem izzivov dodatno motivirani za delo [28].

Zahvala

Zahvaljujeva se študentoma Klemenu Gantarju in Matevžu Krenu za pripravo prvega prototipa simulatorja in vsem drugim za sodelovanje v anketi in pomoč pri izboljšavah.

Literatura

- [1] H. Lasi, P. Fettke, H. G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, "Industry 4.0," *Business and Information Systems Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, 2014.
- [2] R. Baheti and H. Gill, "Cyber-physical Systems," *The Impact of Control Technology*, vol. 12, no. 1, pp. 161–166, 2011.
- [3] C. Park, S. Bajimaya, S. Park, G. Wang, J. Kwak, and K. Han, "Development of Virtual Simulator for Visual Validation of PLC Program," in *International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents Web Technologies and International Commerce (CIMCA-IAWTIC'06)*. IEEE, 2006, pp. 32–32.
- [4] H. Vermaak and J. Niemann, "Virtual commissioning: A tool to ensure effective system integration," in *IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [5] J. Vachálek, L. Bartalský, O. Rovný, M. Morhác, and M. Lokšik, "The Digital Twin of an Industrial Production Line Within the Industry 4.0 Concept," in *21st International Conference on Process Control*, M. Fikar and M. Kvasnica, Eds., 2017, pp. 258–262.
- [6] G. Xiwen, Y. Wu, L. Guoli, and L. Chao, "Dynamic simulation of an induction-motor centrifugal-pump system under variable speed conditions," *Elektrotehniški vestnik*, vol. 84, pp. 125–132, 2017.
- [7] K. Schuster, K. Groß, R. Vossen, A. Richert, and S. Jeschke, "Preparing for Industry 4.0 – Collaborative Virtual Learning Environments in Engineering Education," in *Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016*, S. Jeschke, I. Isenhardt, F. Hees, and K. Henning, Eds. New York, USA: Springer International Publishing, 2016, pp. 417–427.
- [8] V. Potkonjak, M. Gardner, V. Callaghan, P. Mattila, C. Guetl, V. M. Petrović, and K. Jovanović, "Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review," *Computers & Education*, vol. 95, pp. 309–327, 2016.
- [9] A. P. Rios, V. Callaghan, M. Gardner, and M. J. Alhadad, "Interactions within Distributed Mixed Reality Collaborative Environments," in *International Conference on Intelligent Environments*. IEEE, 2014, pp. 382–383.
- [10] Emulate3D Inc. Domača stran izdelka Emulate 3D. [Online]. Available: <https://www.demo3d.com>
- [11] Real Games. Domača stran izdelka Factory I/O. [Online]. Available: <https://factoryio.com>
- [12] Siemens. Domača stran produkta Siemens Product Lifecycle Management. [Online]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com>
- [13] IRAI. Domača stran izdelka Virtual Universe Pro. [Online]. Available: <http://www.virtual-universe-irai.com>
- [14] P. Petridis, I. Dunwell, D. Panzoli, S. Arnab, A. Protopsaltis, M. Hendrix, and S. de Freitas, "Game engines selection framework for high-fidelity serious applications," *International Journal of Interactive Worlds*, vol. 2012, p. 1, 2012.
- [15] Crytek GmbH. Domača stran igralnega pogona CryEngine. [Online]. Available: <https://www.cryengine.com>
- [16] GarageGames. Domača stran odprtokodnega igralnega pogona Torque. [Online]. Available: <http://www.garagegames.com/products/torque-3d>
- [17] Unity Technologies. Domača stran igralnega pogona Unity. [Online]. Available: <https://unity3d.com>
- [18] Epic Games. Domača stran igralnega pogona Unreal Engine. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com>
- [19] B. Cowan and B. Kapralos, *An Overview of Serious Game Engines and Frameworks*. Springer International Publishing, 2017, pp. 15–38.
- [20] The Boston Consulting Group. Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0. [Online]. Available: <https://www.bcgperspectives.com/content/articles/lean-manufacturing-operations-time-accelerate-race-toward-industry-4>
- [21] Fischertechnik GmbH. Domača stran podjetja Fischertechnik. [Online]. Available: <https://www.fischertechnik.de/en>
- [22] Siemens. (2017) Domača stran produkta Simatic S7-PLCSim. [Online]. Available: <http://w3.siemens.com/mcsm/simatic-controller-software/en/step7/simatic-s7-plcsim>
- [23] J. Lange, F. Iwanitz, and T. Burke, *OPC: From Data Access to Unified Architecture*. VDE-Verlag, 2010.
- [24] N. Ilc, K. Gantar, and M. Kren. 3D simulator – FTsim. [Online]. Available: <http://laspp.fri.uni-lj.si/nejci/code/FTsim.zip>
- [25] Immersive Education Initiative. Domača stran iniciative. [Online]. Available: <http://immersiveducation.org>
- [26] C. Dichev and D. Dicheva, "Gamifying education: what is known, what is believed and what remains uncertain: a critical review," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 14, no. 1, pp. 1–36, 2017.
- [27] A. Somrak and J. Guna, "Pregled naprav, tehnologij in področij uporabe navidezne, izboljšane in mešane resničnosti," *Elektrotehniški vestnik*, vol. 85, pp. 54–61, 2018.
- [28] D. Vlachopoulos and A. Makri, "The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 14, no. 1, pp. 1–33, 2017.

Nejc Ilc je diplomiral leta 2009 in doktoriral leta 2016 na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, kjer je kot asistent zaposlen v Laboratoriju za adaptivne sisteme in paralelno procesiranje. Raziskovalno ukvarja s strojnimi učenjem, predvsem z metodami za razvrščanje podatkov v gruče. Na pedagoškem področju se posveča mobilni robotiki in avtomatizaciji proizvodnih procesov.

Uroš Lotrič je izredni profesor na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Raziskovalno dela na področju informacijske teorije v povezavi z visoko zmogljivim računanjem in vodenjem procesov. Omenjena področja pokriva tudi v pedagoškem procesu.