

Modularni mobilni robotski sistem za odprte inovacije

Klaus-Dieter Rupp¹, Luis Roberto Martinez¹, Unai Ziarsolo², Linus Lööw³

1 DHBW-Heidenheim, Marienstrasse 20, 89518 Heidenheim Nemčija;

2 TKNKA, Španija;

3 Curt Nicolin College, Švedska;

Klaus-Dieter.Rupp@dhbw-heidenheim.de

Povzetek

V okviru projekta EXAM4.0 smo razvili mobilnega robota, ki je modularni sistem, zasnovan za sestavljanje v učnih tovarnah. Poleg osnovnih metod sistem zahteva konfiguracijo, programiranje in končno sistemsko testiranje.

Robot je sestavljen iz delov, ki so pretežno 3D-natisnjeni. Ti deli se lahko združijo v podkomponente velikosti 40 mm, primerne za MPS sistem. Podkomponente se lahko nato združijo v komponente velikosti 100 mm. Končna montaža omogoča izdelavo mobilnega robota, ki tehta približno 5 kg. Interakcija med robotom, študenti, učitelji, raziskovalci in opremo je možna na več nivojih. Konfigurator z modulom za upravljanje naročil, logističnim modulom, proizvodnjo delov, montažo, generiranjem kode in optimizacijo je mogoče demonstrirati.

Robot je mogoče konfigurirati z različnimi pogonskimi sistemi in različnimi krmilniki. Podpira enostavno daljinsko upravljanje ter platforme, kot so Arduino, ESP32 in Raspberry Pi. Prav tako lahko gosti sisteme MQTT, OPC/UA ali ROS. Večino senzorskih sistemov je mogoče enostavno sestaviti in konfigurirati v preprostem modularnem proizvodnem sistemu. Preprost sistem z lastnoročno natisnjenimi deli je mogoče izdelati za nekaj več kot 100 €.

1. Uvod

Učne tovarne običajno izdelujejo zelo preproste izdelke. Ti izdelki so unikatni. Z učnimi tovarnami je težko realizirati odprte inovacijske izdelke. Opredelili bomo postopek za realizacijo kompleksnih kiber-fizičnih sistemov v okviru učne tovarne. Cilj je izboljšati komunikacijo med izdelkom in učno tovarno, razviti izzivalen izdelek za študente ter ustvariti platformo s skupnostjo, ki bo pomagala učiteljem in raziskovalcem. S pomočjo platforme bomo zmanjšali obseg dela, ki ga učitelji potrebujejo za pripravo laboratorijev.

Cilj / (Raziskovalno) vprašanje

- Ali lahko opredelimo izdelek, ki bi ga bilo mogoče realizirati v učni tovarni?
- Katere tehnologije Industrije 4.0 bi lahko dodali interakciji med izdelkom in učno tovarno?
- Katere dodatne spretnosti bi se lahko usposabljal v učni tovarni z uporabo kiber-fizičnega sistema (CPS) kot izdelka?
- Kako lahko zmanjšamo individualni trud učiteljev pri pripravi laboratorijev?

Metodologija

- Platforma za odprte inovacije
- Sodelovalna učna tovarna
- Kompetenčno usmerjeno učenje
- Procesi od zibelke do zibelke (cradle to cradle)

* kontaktni avtor. Tel.: +49 170 5414240

E-mail naslov: Klaus-Dieter.Rupp@dhbw-heidenheim.de

2. Zasnova robota

Robot je bil razvit v okviru projekta Erasmus+ EXAM4.0. Osrednji pristop je bil povezati vse kvalifikacije poklicnega izobraževanja z osrednjim univerzalnim izdelkom. Kompetence mehanske proizvodnje z modernimi aditivnimi metodami naj bi bile povezane s kompetencami interneta stvari (IoT). Robot ponuja zelo raznoliko platformo, ki se lahko uporablja za prenašanje znanj o prilagojeni množični proizvodnji. Cilj je izdelati ta robot individualno v sodelovalni učni tovarni. Uporabljena naj bi bila tako prilagojena konfiguracija kot sodobni proizvodni procesi. Z vzpostavitvijo platforme za odprte inovacije naj bi se izdelek nadalje razvijal in vključeval v skupnost CoVE. Že v okviru projekta EXAM4.0, zdaj pa tudi v projektu LCAMP, smo v tesnem stiku z izobraževalnimi podjetji in poskušamo komponente prilagoditi realnim potrebam industrije. Poleg integracije kot izdelka v osrednjo učno tovarno bo robot služil tudi kot nosilna platforma za razvoj tehnologij na drugih področjih. Nazadnje je načrtovana tudi uporaba robota v sami učni tovarni.

Robot bi moral biti univerzalno uporaben pri poučevanju:

- Prilagojena proizvodnja
- Nosilni sistem za senzorje za zajem podatkov za avtonomne sisteme
- Mobilni osnovni sistem za intralogistiko v skladu z zahtevami Industrije 4.0
- Vozlišče kiber-fizičnega sistema s komunikacijskimi protokoli ROS, OPC/UA in MQTT
- S pomočjo digitalnega dvojčka so mogoča pripravljala dela ali zaključne učne enote
- Zaradi ugodne velikosti je mogoče mobilne robote enostavno shraniti v omari ali na polici.

Komponente morajo biti enostavno dostopne in ustrezati običajnim standardom:

- Tipični pogoni NEMA17, ki ustrezajo približno 40 mm v učni tovarni
- Optimalna velikost sistema. Stroški komponent nesorazmerno naraščajo z večanjem velikosti
- Nizka stopnja nevarnosti. Visokozmogljive komponente povečujejo potencial nevarnosti

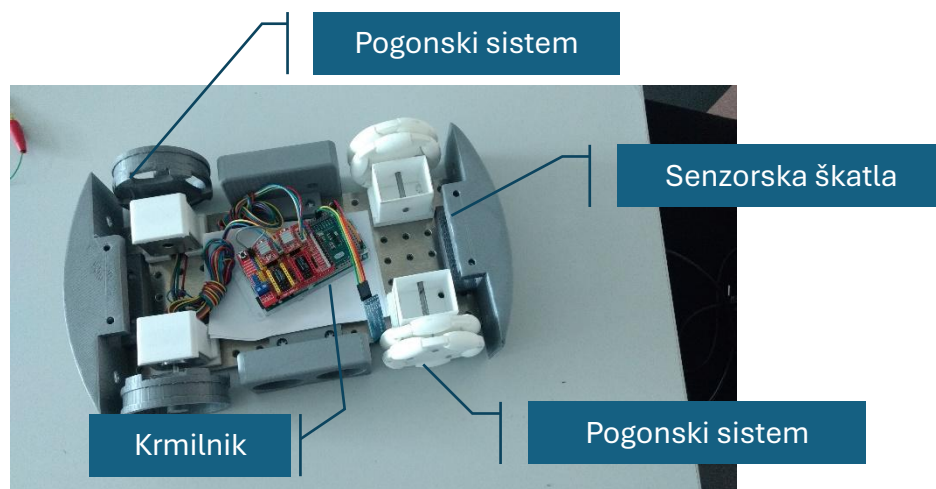
- Uporabljajo se lahko tipični mikrokrmilniki, kot so Arduino, STM32 ESP32, Raspberry Pi in druge plošče, ki se uporabljajo v okolju IoT. Na voljo so tudi knjižnice za komunikacijske protokole in navigacijo robota. V skupnosti je možna specifična razširitev.

V učni tovarni bi morale biti mogoče izdelati komponente

- Primerna velikost komponent
- Možnost avtomatizirane montaže z zadostnimi tolerancami
- Modularna zasnova za čim večjo standardizacijo in s tem ohranitev zamenljivosti.

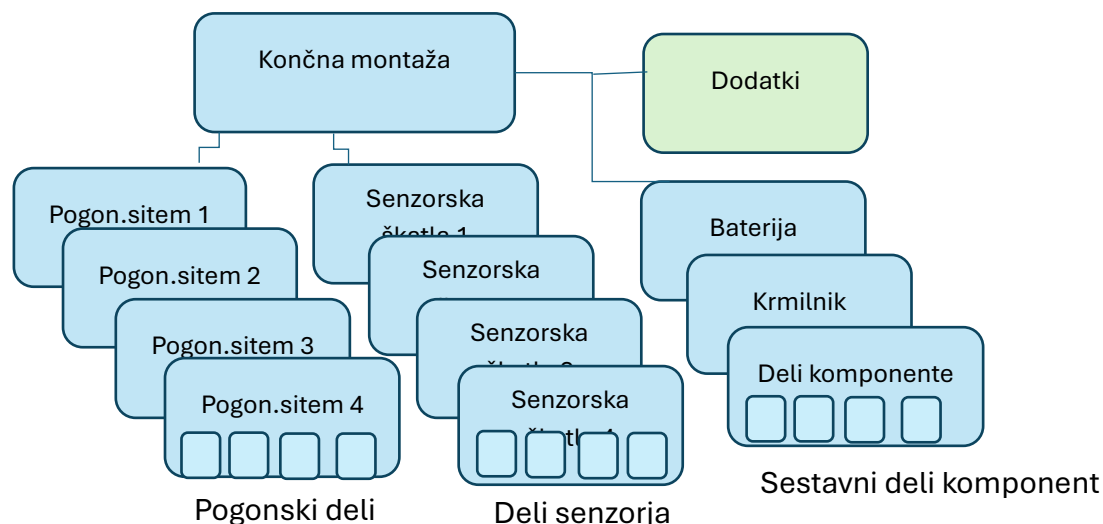
2.1. Struktura robota

Velikost robota temelji na možnostih učne tovarne in vidikih poučevanja tehnologij robotike. Kot smernica za uporabno velikost se nam je zdel optimalen odtis med formatoma A4 in A3. Za konstrukcijo komponent smo določili mrežo z razmakom 2 cm. Celotna struktura je plastno zasnovana in sestavljena iz podsistemov. Ti podsistemi imajo običajne velikosti in skupen standard za povezovanje; zato so zamenljivi.



Slika 1. Modularni robotski sistem.

Komponente so povezane s sponkami. Te bi morale biti sposobne avtomatiziranega vstavljanja. Povezavo bi bilo treba znova odstraniti. Za robustnejšo zasnovo se lahko uporabijo tudi vijaki ali zakovice.



Slika 2. Struktura robota.

Sistem je sestavljen iz podkomponent velikosti 40 mm: Te podkomponente običajno sestavljajo senzorski sistemi (lidar, ultrazvok, infrardeči senzorji, mikrofoni, kamera in prikazovalne naprave, kot so RGB, LED, zvočniki ali RFID markerji). Ta nabor podkomponent je mogoče razširiti po želji. Električna povezava še ni določena (RJ11).

Te komponente so sestavljene v modularnem proizvodnem sistemu Festo didaktike. Sestavljajo jih 3D-natisnjen osnovni del in vezje senzorja. Vsak senzor ima svoj individualni osnovni del. Podkomponente so integrirane v senzorsko škatlo. To se izvaja v robotski celici, ki pripada učni tovarni. Drug izziv je električna povezava. Tukaj je še prostor za razvoj. Najprej predvidevamo ročno montažo, ki jo je mogoče vključiti tudi v standardiziran proizvodni proces. Izdelano iz komponent velikosti 60 mm, 80 mm ali 100 mm.

Tipični primeri so pogonski sistem, ki ga sestavljajo kolo, pogon in krmilnik pogona, ali mikrokrmilnik z razširitvami za povezovanje perifernih naprav. Nato so na voljo senzorske škatle kot komponente, ki lahko vsebujejo več senzorjev in se lahko tudi inteligentno povežejo. Celoten sistem meri od 30 cm do 40 cm v dolžino in približno 24 cm do 30 cm v širino. Sistem je zgrajen na osnovni plošči.

3. Integracija robota v sodelovalno učno tovarno CLF

3.1. Platforma za odprte inovacije

Robot bo nadaljevan kot projekt odprtih inovacij na platformi LCAMP. Platforma za odprte inovacije je sestavljena iz treh področij:

- Deli in komponente se shranjujejo kot inženirski deli v oblaku. Za ta namen bo uporabljena platforma 3DEXPERIENCE (3DX), ki omogoča povezovanje ljudi, idej, podatkov in rešitev v enotnem sodelovalnem okolju. Platforma bo simulirala upravljanje zasnove od zagonskih

podjetij do velikih podjetij za inoviranje, proizvodnjo in trgovanje na povsem nove načine. Ker bo 3D-tisk ključni proces, bo platforma upravljala različne formate datotek za ta namen.

- IoT sistemi z digitalnimi dvojčki: Programska oprema za različne krmilnike bo splošno dostopna. V naslednji fazi bo ta programska oprema vzpostavljena tudi kot projekt na GitHubu. Digitalni dvojček bo dostopen prek oblaka podjetja Simumatik.
- Upravljanje naročil za sodelovalno učno tovarno
Za mobilni robot je osrednja komponenta konfigurator, s katerim se določi konfiguracija robota. Ta konfiguracija določa tako izbor in komponente mobilnega robota kot tudi konfiguracijo digitalnega dvojčka.

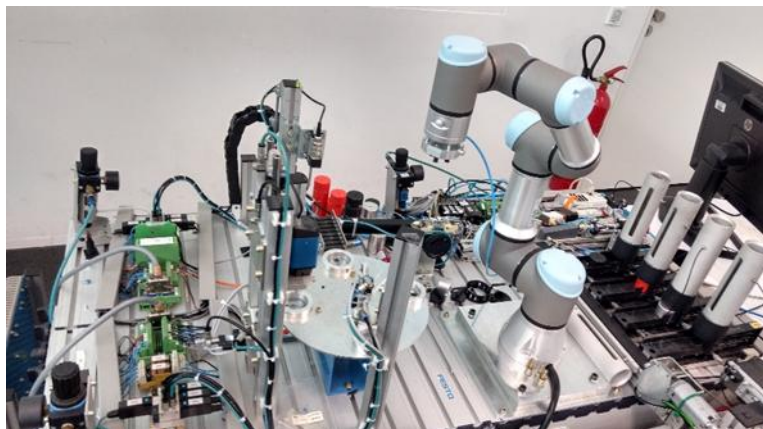
3.2. Digitalni dvojček

Za robota je vzpostavljen digitalni dvojček. Digitalni dvojček je izdelan s platformo SIMUMATIK (partner v projektu LCAMP). Podsistemi se lahko sestavijo s pomočjo konfiguratorja. Modularne vmesnike je prav tako mogoče konfigurirati. Konfiguracijo nadzorujejo XML-datoteke.

V projektu bosta na voljo dve osnovni konfiguraciji:

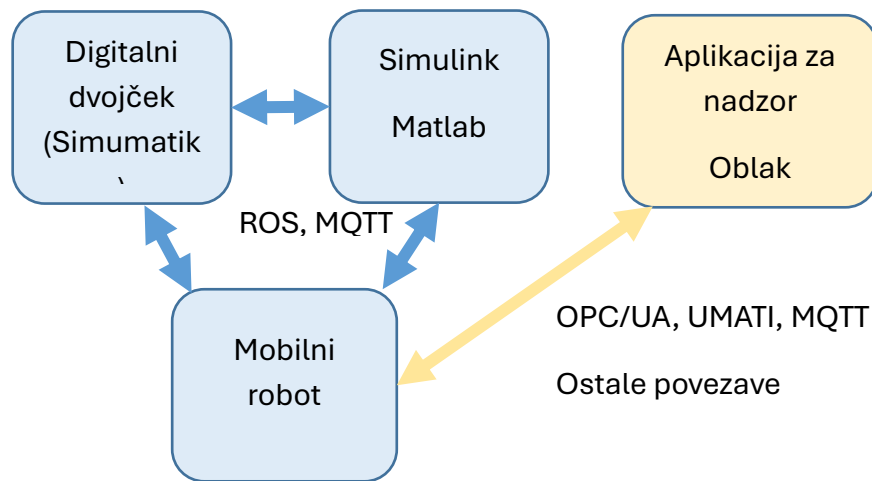
- z diferencialnim pogonom in dvema Omniwheel kolesoma
- s štirimi Mecanum kolesi

Poleg tega obstajajo več konfiguracij z različnimi senzorskimi škatlami. Krmilnik je lahko Arduino, STM32 ali ESP32, ki uporablja FreeRTOS, in na koncu Raspberry Pi z Linuxom.



Slika 3. Sestava senzorjev v modularnem proizvodnem sistemu.

4. Uporaba robota



Slika 4. Interakcija robota

Uporaba kot mobilni senzorski sistem

- Avtonomna navigacija: Robot se lahko uporablja kot platforma za razvoj ali demonstracijo avtonomne navigacije. Nosilni sistem lahko podpira senzorski sistem za avtonomno navigacijo (kamere, lidar, radar in drugi senzorji).
- Identifikacija z RFID: Če se uporablja več robotov, npr. za simulacijo prevozov po principu "milk run", je mogoče demonstrirati metode sodobne logistike.
- Komunikacija prek MQTT, OPC UA in ROS sistema: Možna povezava različnih komunikacijskih profilov se lahko prikaže v scenariju.

Enostavne transportne naloge so možne na odprtem prostoru. Uporaba kot prilagodljiv nosilni modul na postaji za medsebojno povezovanje zahteva razširjeno postavitev s transportnimi potmi širine 30 cm.

- Povezava z manjšimi roboti, npr. Dobot Magician
- Nosilne platforme za zlagalne module
- Uporaba robota za intralogistiko znotraj same učne tovarne je prav tako možna.



Slika 5. Uporaba z robotom.

Z mobilnim robotom dosežemo tudi cilj standardizacije učnih vsebin za učne tovarne. S pomočjo pripravljenih mikrocertifikatov je mogoče poučevati osrednje učne module in s tem pridobljene spretnosti. Ti gradniki so lahko zelo raznoliki: od osnovnih mehatroničnih znanj do veščin IoT in omrežnih tehnologij. Roboti naj bi bili uporabni tako za študente računalništva, kot tudi za nadaljnji razvoj študentov mehatronike in uporabo v aplikacijah študentov zdravstvene nege. V povezavi s sodelovalno učno tovarno je mogoče analizirati in poučevati tudi vprašanja s področja upravljanja izdelkov ali proizvodnje. Kot del projekta EU LCAMP se tu razvijajo prvi moduli.

5. Zaključek (Pričakovani rezultati)

Mobilni robot kot kiber-fizični sistem deluje kot platforma za najrazličnejše aplikacije.

Lahko se realizira v okviru učne tovarne.

Interakcija izdelka z učno tovarno.

Digitalni dvojček za robota (ki omogoča interakcijo z učno tovarno).

Vključitev v sodelovalno učno tovarno (CLF) z upravljanjem naročil in testnimi zmogljivostmi za kiber-fizične sisteme (CPS).

Zaključek

Ta robot smo zasnovali v dveh različicah kot koncept za naš naslednji projekt LCAMP. Od preprostih pasivnih valjev do visoko sofisticiranih sistemov je mogoče realizirati vse. V laboratoriju je mogoče razviti nove komponente in jih dodati v skupnost. Vse risbe in programski moduli so na voljo na platformi.

Prispevek k skupnosti učnih tovarn

Ta mobilni robot bi lahko postal standardni izdelek za učne tovarne kot kiber-fizični sistem.

Izjava o strokovnem pregledu: Strokovni pregled je izvedel znanstveni odbor 13. konference o učnih tovarnah 2023.

Ključne besede: Mobilni robot; digitalni dvojček; kiber-fizični sistem; sodelovalna učna tovarna.

Reference

- [1] CoVE Community <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/programme-guide/part-b/key-action-2/centres-vocational-excellence>
- [2] Festo Didaktik <https://www.festo-didactic.com/de-de/lernsysteme/fabrikautomation-industrie-4.0/lernfabrikbaukasten/mps-werkstuecke/werkstuecksatz-ausschuss-grundkoerper.htm?fbid=ZGUuZGUuNTQ0LjEzLjE4LjE4NjEuNDE1Mg>
- [3] EXAM4.0 Project <https://examhub.eu/>
- [4] <https://examhub.eu/proposals-for-advanced-manufacturing-4-0-labs/>
- [5] LCAMP Project <https://lcamp.eu/>
- [6] Simumatik <https://simumatik.com/>
- [7] umati (universal machine technology interface) <https://vdw.de/technik-und-normung/umati/>
- [8] ManuLern Project <https://www.eitmanufacturing.eu/news-events/activities/learning-through-manufacturing-challenges/>
- [9] Developing a Digital Twin Learning Factory of Automated Assembly Based on 'digital Triplet' Concept, Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2021 https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3859019
- [10] OPC UA <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN.pdf>
- [11] OPC/UMATI https://www.vdma.org/documents/34570/4887803/2021-1_Innomagazin_OPCUA-umati_en.pdf/fc63c293-38d7-049d-9a78-02ce256106f3
- [12] Jan Švec, Petr Neduchal, Marek Hruz Multi-modal communication system for mobile robot, 17th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDES 2022 — Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 17-19 May 2022 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322003378>
- [13] Fischertechnik Lernfabrik MQTT https://www.fischertechnik.de/-/media/fischertechnik/fite/service/elearning/lehren/lernfabrik/fabrik_2019_englisch_neu.ashx