

Avtomatizacija preizkusne naprave

Adam Hrastnik, Marko Munih

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: ah1223@student.uni-lj.si

Test device automation

Increasing product demand, has lead Sentinel Labs d.o.o. to offload most of their manufacturing to 3rd party manufacturers. Product testing is however still done in-house, and mostly hand operated. In this article, we describe the process of upgrading the current test device towards full automation. Upgrades were designed with cost effectiveness and scalability in mind. Most of the previously hand operated steps were automated. Designing and controlling of automated parts is described. Unfortunately, due to time constraints, we only managed to automate the test device partially. An operator must still be present during testing; however, they have slightly more time to focus on other tasks.

1 Uvod

Seminar – ki je opisan v tem članku – je nastal v sodelovanju s podjetjem Sentinel Labs d.o.o. [1]. Podjetje se ukvarja z razvojem strojne in programske opreme na področju pametnih nadzornih sistemov v navtiki. Čeprav je podjetje dokaj mlado, hitro prodira na navtični trg; kar pomeni, da je tudi povpraševanje čedalje večje. Trenutno so za večji del izdelave strojne opreme/naprav že zadolženi zunanji izvajalci, toda preizkušanje še vedno poteka znotraj podjetja – v razvojnem oddelku.

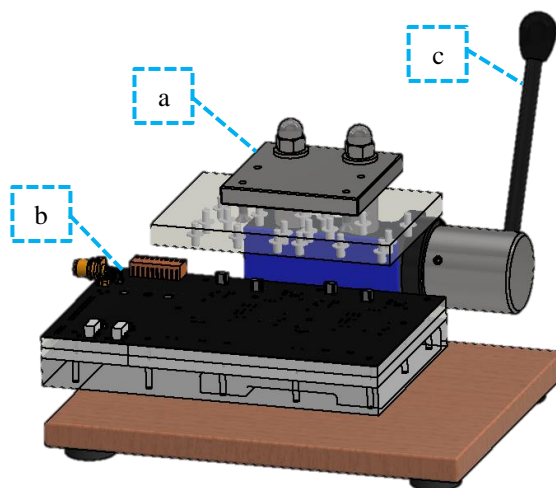
Preizkušanje naprav se izvaja delno ročno. Za niz petstotih naprav razvijalec povprečno porabi dva dni, oz. 16 delovnih ur. Včasih se zgodi, da pride do zapletov in je potrebno del naprav preizkusiti ponovno (lahko tudi večkrat), kar še dodatno zasede razvijalca. Zasedenost razvojne ekipe, oz. želja po njeni razbremenitvi, pa je tudi razlog za nastanek opisanega seminarja.

2 Zasnova avtomatizacije



Slika 1: Panel tiskanih vezij

Preizkušanje posamezne naprave poteka, preden je naprava popolnoma sestavljena. Naprava je sestavljena iz tiskanega vezja in baterije; oboje pa je nameščeno v ohišju. Preizkušanje poteka v zgodnji stopnji sestave, in sicer takoj po tem, ko so tiskana vezja sestavljena. Tiskana vezja se v tej stopnji nahajajo še na panelih – po dve skupaj, kot prikazuje Slika 1.

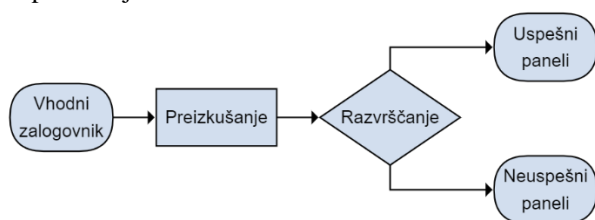


Slika 2: Prejšnja, ročna preizkusna naprava

Za namen učinkovitejšega preizkušanja, je že bila razvita preizkusna naprava (od zdaj naprej imenovana »ročna preizkusna naprava«), ki je celoten preizkusni postopek delno že avtomatizirala (Slika 2). Ročna preizkusna naprava je v grobem sestavljena iz primeža (Slika 2 - a) in preizkusne plošče (Slika 2 - b). Primež se upravlja s pomočjo ročice na desni strani (Slika 2 - c). Z zasukom ročice, se glava primeža dviga in spušča. Na spodnji strani primeža je pritrjena preizkusna plošča, na kateri so nameščeni vzmetni kontakti in priključki za vso potrebno zunanjo opremo. Glavna naloga primeža je, da zagotovi enakomeren in ustrezen stik med panelom tiskanih vezij in preizkusno ploščo. Ko je stik med njima vzpostavljen, se s pomočjo zunanjih naprav preveri delovanje obeh tiskanih vezij na panelu.

Preizkusni postopek z uporabo ročne preizkusne naprave, se začne tako, da upravljalca ročno vstavi panel tiskanih vezij v primež in vzpostavi z zasukom ročice stik s panelom. Ko je stik vzpostavljen, zažene na osebnem računalniku program, ki preizkusi delovanje tiskanih vezij (program za preizkušanje). Program je popolnoma samodejen, zato med njegovim izvajanjem upravljalca ne potrebuje biti prisoten. Po končanem preizkušanju,

upravljalca panel ročno odstrani in razvrsti glede na uspešnost preizkušanja. Celoten preizkusni postopek za en panel traja med 3 in 5 min.



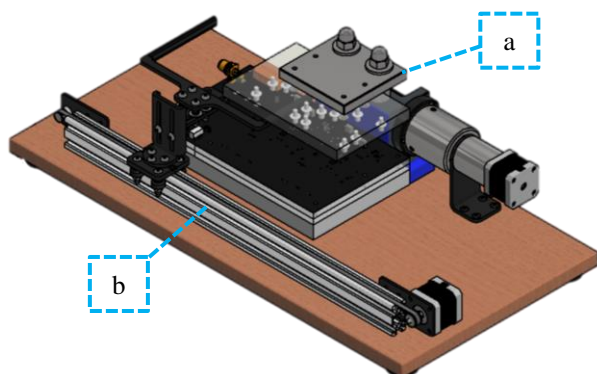
Slika 3: Potek avtomatiziranega preizkusnega postopka

Naloga opisane seminarja je torej nadgraditi trenutno ročno preizkusno napravo v avtomat, ki izvaja preizkusni postopek kar se da samostojno. Pri tem je zahteva podjetja, da to dosežemo na cenovno ugoden način. Poleg mehanskih nadgradenj, bo potrebno nadgraditi še program za preizkušanje, tako da bo lahko sam upravljal z avtomatom – toda to ni tema opisane seminarja. Omenimo naj samo, da se ta izvaja ločeno na osebnem računalniku, v obliki uporabniškega vmesnika.

Da nadgradimo ročno preizkusno napravo v avtomat, moramo avtomatizirati vse prej omenjene korake, ki jih je do zdaj izvajal upravljalca ročno. Potek avtomatiziranega preizkusnega postopka, ki smo si ga zamislili, prikazuje Slika 3. Za samostojno delovanje, moramo dodati tako na vходу, kot izhodu avtomata zalogovnike. Te bodo zagotovili, da lahko avtomat deluje samostojno, vsaj dokler se vhodni zalogovnik ne sprazni, oz. izhodni ne zapolnijo. Na vходу je dovolj en sam zalogovnik, na izhodu pa sta potreba dva – eden za panele, ki so prestali preizkušanje, in drugi za tiste, ki niso. Za samodejno pomikanje panela med zalogovniki in primežem, potrebujemo dodati podajalnik.

Po novem se bo preizkusni postopek začel s tem, da upravljalca v vhodni zalogovnik naloži panele tiskanih vezij. Z zagonom programa, bo avtomat panele enega za drugim preizkusil in razvrstil v ustrezen izhodni zalogovnik – glede na uspešnost preizkušanja. Zalogovniki seveda ne morejo biti neskončno veliki, zato bo občasna prisotnost upravljalca še vedno potrebna; ta bo predvsem odvisna od kapacitete zalogovnikov.

3 Sestava avtomata



Slika 4: Avtomatizirana preizkusna naprava

Glede na željen potek avtomatskega postopka preizkušanja (Slika 3), razdelimo sestavo avtomata na sledeče dele:

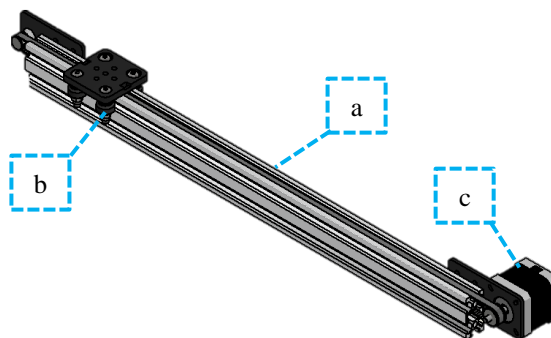
- Primež za vzpostavitev stika s panelom tiskanih vezij (Slika 4 – a)
- Podajalnik (Slika 4 – b)
- *Vhodni zalogovnik
- *Izhodna zalogovnika

*Prvotno je bil namen opisane seminarja realizirati avtomatizacijo celotnega poteka preizkušanja, kot prikazuje Slika 3. Zaradi časovnih omejitev, pa smo se odločili, da zalogovnikov – vsaj v okviru opisane seminarja – ne izdelamo. Vseeno bomo omenili, kako smo si zamislili njihovo zasnovo, saj je delovanje zalogovnikov razlog za končno obliko podajalnika.

Da bi zgradili kolikor je mogoče preprost podajalnik, smo se odločili za uporabo aktivnih zalogovnikov. Zamislili smo si zalogovnike v obliki navpičnih tekočih trakov, ki bi sami polagali ali prevzemali panele s podajalnika. Za razliko od pasivnih zalogovnikov, je v tem primeru podajalnik neodvisen od kapacitete zalogovnikov. Ena izmed prvotnih idej zasnove avtomata, je bila uporaba 3-osnega podajalnika s pasivnimi zalogovniki. To bi sicer precej poenostavilo projekt, toda bi pri večanju kapacitete zalogovnikov hitro naleteli na omejitve širjenja delovnega območja podajalnika. Aktivni zalogovniki tako po našem mnenju omogočajo lažje razširjanje njihove kapacitete, ter so primernejši za večje nize naprav.

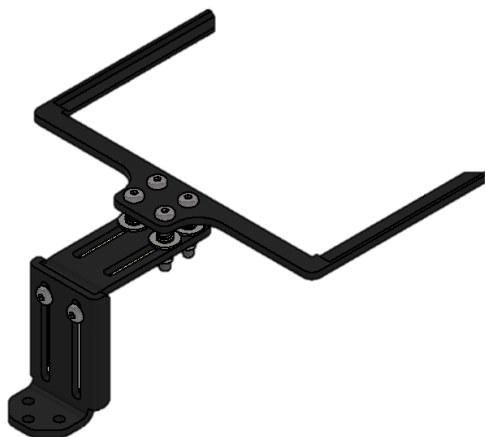
Za pogone vseh gibljivih delov, smo si izbrali koračne motorje NEMA 17 [2]. Prednost teh je, da omogočajo preprostejše vodenje, za razliko od običajnih DC motorjev [3]. DC motorji namreč potrebujejo za ustrezno vodenje po navadi še kodirnike za merjenje orientacije [4], kar pa prinese dodatne mehanske in krmilne zahteve. Slabost pri uporabi samih koračnih motorjev, pa je ravno pomankanje kodirnikov, oz. točneje povratne zanke zasuka. Zato moramo biti vedno pozorni na možnost, da koračni motor koraka ne izvede. To težavo, pa lahko precej olajšamo z uporabo končnih stikal in rednim ponastavljanjem absolutnega zasuka motorja.

3.1 Podajalnik



Slika 5: Podajalnik

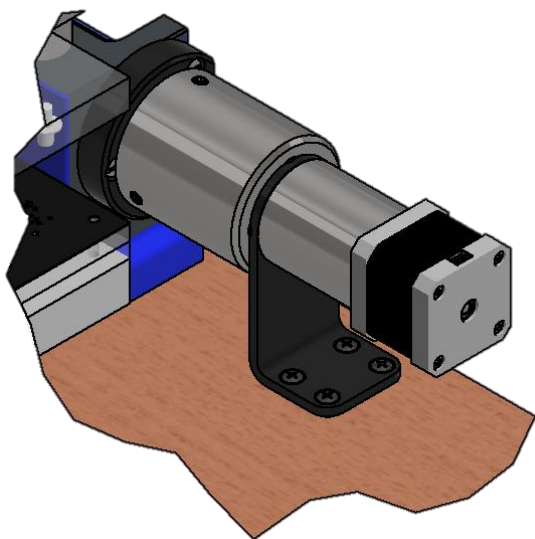
Podajalnik je zasnovan kot eno osni CNC stroj [5] (Slika 5). Za vodilo podajalnika samo izbrali standardni industrijski aluminijast profil, velikosti 20x40 mm (Slika 5 - a). Na profil smo pritrdili voziček (Slika 5 - b), ki se vozi po vzdolžnih utorih profila. Voziček poganja koračni motor (Slika 5 - c) preko jermenskega prenosa. Tak način zasnove linearnega aktuatorja je zelo cenovno ugoden. Sicer ne omogoča visoke natančnosti, toda ta v našem primeru ni bistvenega pomena.



Slika 6: Držalo panelov tiskanih vezij

Vrh podajalnika je posebno držalo za panele tiskanih vezij, ki je nameščeno na vozičku podajalnika. Prikazuje ga Slika 6. Držalo je nastavljivo po položaju v dveh oseh, kar omogoča natančen stik med panelom in preizkusno napravo. Med vilicam – na katere se položi panel – in nastavljivim temeljem držala, so nameščene vzmeti. Te so nujne, saj bi se sicer ob vzpostavitvi stika s panelom, zvil celotno držalo. Pri izbiri vzmeti je bilo potrebno paziti na primerno togost. Vzmeti morajo biti zmožne prenesti težo panela, brez nagibanja držala; še vedno pa morajo biti dovolj mehke, da prevzamejo silo vzpostavitve stika, namesto konstrukcije držala.

3.2 Primež



Slika 7: Pogon primeža

Pri primežu za vzpostavitev stika s panelom tiskanih vezij, je naloga avtomatizacije rahlo lažja, saj potrebujemo zamenjati le ročico z motorjem. Pri tem pa je potrebno upoštevati silo, ki je potrebna za ustrezno vzpostavitev stika preizkusne plošče s panelom. Sila s katero pritiska primež na panel, mora biti večja od sile, s katero se upirajo vzmetni kontakti na preizkusni plošči; te se upirajo s silo, ki je približno 150 N. Da bi zagotovili primerno silo, smo se odločili za motor, ki ima pritrjen reduktor s prestavnim razmerjem 50:1. Končno zasnovo pogona primeža prikazuje Slika 7.

4 Krmiljenje avtomata

Za nalogo krmiljenja, smo izbrali krmilnik, ki je sicer namenjen 3D tiskalnikom [6], ampak se je za našo nalogo izkazal kot optimalna izbira. Krmilnik ima vgrajen mikrokrmilnik z USB vmesnikom in ravno toliko gonilnikov za koračne motorje, kot jih potrebujemo. Gonilniki za koračne motorje sicer podpirajo mikrokorakanje [3], ampak se ta ne uporablja. Krmilnik tako vsebuje vse komponente, ki jih potrebujemo za delovanje pogonov v avtomatu; kar pomeni, da ne potrebujemo nobene dodatne elektronike, razen napajalnika. Vgrajen mikrokrmilnik je AVR ATmega 2560. Združljiv je z okoljem Arduino, ki omogoča preprosto in hitro zasnovo programske opreme, saj ima okolje na voljo kup programskih knjižnic.

Krmilnik ni namenjen samostojnemu delovanju, temveč je namenjen upravljanju s pomočjo ukazov preko USB vmesnika. Tako lahko program za preizkušanje tiskanih vezij – ki teče na osebnem računalniku – neposredno upravlja z avtomatom. S tem zagotovimo, da je celoten preizkusni postopek sinhroniziran.

4.1 Podajalnik

Pri vodenju podajalnika nas zanima razmerje med enim korakom koračnega motorja in pomikom vozička podajalnika. S tem lahko nastavljamo položaj vozička na profilu kar v standardni dolžinski meri. Zaradi relativno majhnih pomikov, se položaj določi v milimetrih.

$$s_{rf} = \frac{n_m}{n_g \cdot b_p} \quad (1)$$

$$s_n = p \cdot s_{rf} \quad (2)$$

- n_m ... Število korakov polnega zasuka motorja
- n_g ... Število zob na izhodnem zobniku motorja
- b_p ... Razmak med utori na jermenu
- s_{rf} ... Koračno razmerje podajalnika
- p ... Željen pomik vozička podajalnika
- s_n ... Število potrebnih korakov motorja za doseg željenega pomika vozička podajalnika

Z uporabo enačbe (1), dobimo v našem primeru koračno razmerje $s_{rf} = 5$. Drugače povedano, da premaknemo voziček podajalnika za 1 mm, potrebuje koračni motor izvesti 5 korakov. Izračun števila korakov, ki jih potrebuje opraviti koračni motor podajalnika, da

premaknemo voziček v željen položaj – prikazuje enačba (2). Predznak rezultata enačbe (2) pove smer vrtenja motorja.

4.2 Primež

Prvotno smo želeli vgraditi v primež senzor sile in voditi primež glede na silo stika panela s preizkusno ploščo. Za vgradnjo senzorja, pa se na koncu nismo odločili, zaradi zahtev po dodatni elektroniki in kompleksnejši programski opremi. Namesto vodenja po sili, smo se odločili za preprostejše vodenje po zasuku pogonske gredi primeža.

$$s_{rc} = \frac{n_m \cdot g_r}{2\pi} \quad (3)$$

$$s_n = r \cdot s_{rc} \quad (4)$$

- n_m ... Število korakov polnega zasuka motorja
- g_r ... Prestavno razmerje reduktorja na motorju
- s_{rc} ... Koračno razmerje pogonske gredi primeža
- r ... Željen zasuk pogonske gredi primeža
- s_n ... Število potrebnih korakov motorja za željen zasuk pogonske gredi primeža

Podobno kot pri podajalniku, potrebujemo najprej določiti koračno razmerje (3). Tu je izračun rahlo drugačen, saj nas zanima zasuk, oz. izhodni kot. Izračun potrebnega števila korakov za doseg željenega zasuka, prikazuje enačba (4).

4.3 Ukazi

Tabela 1: Seznam in opisi podprtih ukazov

Ukaz	Opis
<i>movrel</i>	Relativen pomik podajalnika
<i>movabs</i>	Absoluten pomik podajalnika
<i>clampton</i>	Vzpostavitev stika s panelom
<i>clamptonoff</i>	Sprostitev stika s panelom

Avtomat se upravlja s pomočjo ukazov, ki se jih pošlje preko serijskega vmesnika [7]. Tako lahko ukaze pošiljamo ročno preko ustreznega programskega vmesnika ali pa napišemo program, ki to počne sam. Spisek ukazov prikazuje Tabela 1. Če se krmilniku pošlje več ukazov hkrati, jih ta izvede zaporedno.

5 Rezultati

Število ročnih korakov postopka preizkušanja se je bistveno zmanjšalo. Toda brez zalogovnikov z ustrežno kapaciteto, avtomat še ne more delovati samostojno; saj mora upravljalca še vedno na začetku ročno panel vstaviti v podajalnik, po preizkušanju pa ga odstraniti. Delna avtomatizacija preizkusne naprave – ki nam jo je uspelo izvesti – žal ne doprinese bistvenega prihranka časa za razvojni oddelek.

Šele pri polni avtomatizaciji bi opazili bistven prihranek časa, saj bi avtomat lahko deloval, dokler se eden od izhodnih zalogovnikov ne bi zapolnil, oz. vhodni spraznil. Ocenjujemo, da bi polna avtomatizacija – pri nizu 250-tih panelov in zalogovnikih kapacitete za 30 panelov – razvojnemu oddelku povprečno prikrajšala več kot 15 ur, oz. približno 95 % časa v primerjavi s preizkušanjem z ročno preizkusno napravo. V prihodnosti, ko bodo naročila bolj obsežna, pa se s polno avtomatizacijo lahko izognemo najemu zunanega izvajalca za namen preizkušanja naprav – kar lahko mesečno prihrani tisoče evrov.

6 Zaključek

Vseh prvotno zastavljenih ciljev seminarja žal nismo uspeli doseči. Ocenjen prihranek časa razvojnega oddelka iz rezultatov tako ne moremo dokazati. Toda glede na to kar nam je uspelo, smo mnenja, da ocena drži. Prikazana delna avtomatizacija, prikrajša upravljalca avtomata povprečno do 45 s na panel. Upravljalca mora sicer biti še vedno konstantno prisoten, ima pa rahlo več časa za vmesna opravila.

Naslednji korak v razvoju avtomata, bo seveda izdelava vseh zalogovnikov. Ko bomo usposobili prvotno predvideno avtomatizacijo, bi bila prva izboljšava namestiti na primež senzor sile – kot je bilo omenjeno v 4.2. S tem bi natančno zagotovili ustrežno silo, s katero primež vzpostavi stik panela s preizkusno ploščo.

Literatura

- [1] „Sentinel - Connect with your boat“. <https://www.sentinelmarine.net/> (pridobljeno jan. 20, 2021).
- [2] „NEMA 17 Stepper motor - RepRap“. https://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor (pridobljeno jan. 30, 2021).
- [3] T. Roy, H. Kabir, in M. Chowdhury, „Simple Discussion on Stepper Motors for the Development of Electronic Device“, let. 5, str. 1089–1096, feb. 2014.
- [4] M. Maung, M. Latt, in C. Nwe, „DC Motor Angular Position Control using PID Controller with Friction Compensation“, *Int. J. Sci. Res. Publ. IJSRP*, let. 8, nov. 2018, doi: 10.29322/IJSRP.8.11.2018.p8321.
- [5] A. Suryawanshi, D. Sudhakar, in B. Patil, „Low cost and open source software-based CNC router for machining contours“, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, let. 872, str. 012084, jun. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/872/1/012084.
- [6] „MKS BASE 1.0 - RepRap“. https://reprap.org/wiki/MKS_BASE_1.0 (pridobljeno jan. 21, 2021).
- [7] U. Osisiogu, „Seminar Paper on Serial Communication“, jun. 07, 2015, doi: 10.13140/RG.2.2.32809.85605.