

Optimizacija robotske manipulacije in programske opreme na liniji za sestavo elektromotorjev

Darko KORITNIK

Povzetek: Prispevek opisuje zamenjavo robota in programske opreme na 10 let stari avtomatski liniji za sestavo in meritve DC elektromotorjev. Zaradi zahtev po zmanjšanju taktnega časa in sprememb v manipulaciji je bil stari robot močno obremenjen in sčasoma se je pokazala potreba po nadgradnji. Zahteve po večji fleksibilnosti proizvodnje so narekivale tudi zamenjavo programske opreme in uporabniškega vmesnika na liniji. Opisan je tudi princip optimiranja gibanja robota z zveznim prehodom med gibi v notranjih in zunanjih koordinatah za zmanjšanje taktnih časov.

Ključne besede: zamenjava robota, nadgradnja krmilne programske opreme, nadgradnja uporabniškega vmesnika, gibanje v notranjih koordinatah, gibanje v zunanjih koordinatah



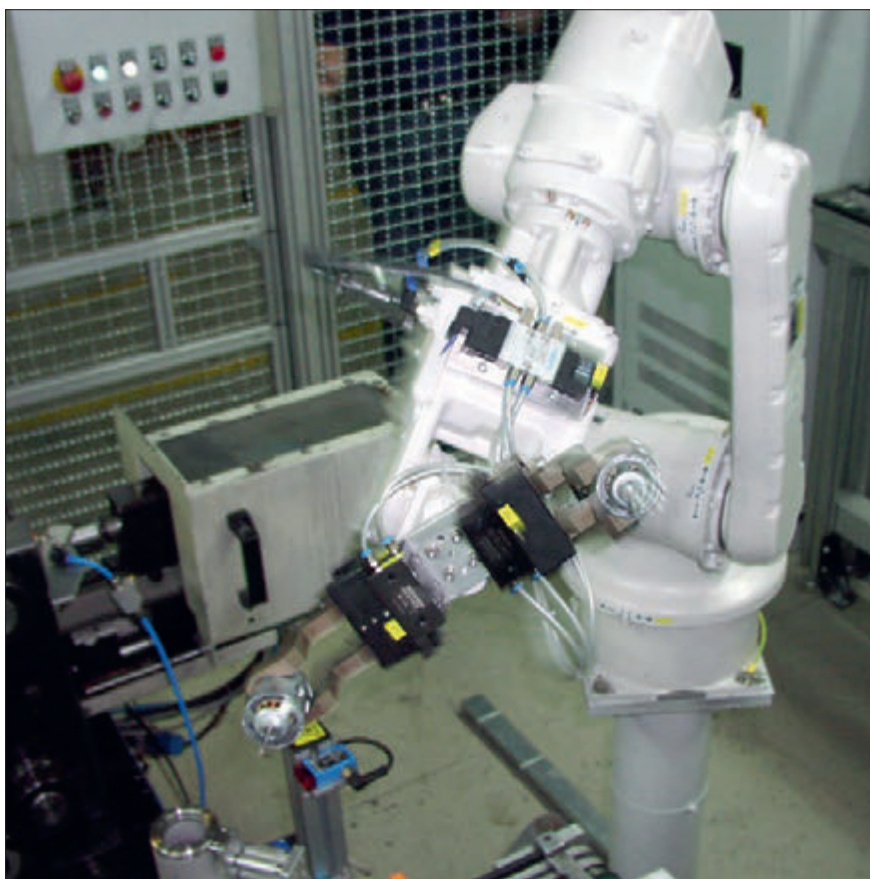
Slika 1. Ena od linij za sestavo in meritve DC motorjev pred nadgradnjo

Darko Koritnik, univ. dipl. inž.,
DAX, d. o. o., Trbovlje

■ 1 Uvod

Leta 2006 sta bili večjemu proizvajalcu elektromotorjev po naročilu dobavljeni dve avtomatski liniji za

sestavo in meritve DC motorjev (slika 1). V letih, ki so sledila, se je zaradi čedalje težjega dohajanja naročil okrepila želja po krajših taktnih časih



Slika 2. Stari robot EPSON PS3L z dvojnim prijemalom

in robot, ki je skrbel za posluževanje stroja za obdelavo gredi motorja, je deloval čedalje bolj na meji zmogljivosti. Prišlo je tudi do precejšnje diverzifikacije števila različnih tipov in različnih obdelav, kar je narekovalo večjo fleksibilnost proizvodnje na liniji. Pri tem je povpraševanje po tovrstnih elektromotorjih konstantno veliko in nič ne kaže na zmanjšanje naročil. Vse to je vodilo v odločitev, da se ena od linij temeljito nadgradi s sodobno programsko opremo in vmesnikom ter novejšim, zmogljivejšim in hitrejšim robotom za manipulacijo. Nadgradnja je bila izvedena v letu 2016.

■ 2 Linija pred nadgradnjo

Za časovno kritično operacijo – posluževanje stroja za obdelavo gredi motorja – je skrbel šest-osni antropomorfni robot EPSON PS3L, ki lahko nosi do 5 kg. Uporabniški vmesnik, ki deluje na sistemu Microsoft Windows 2000, je bil izveden kar v okviru glavnega krmilnega programa na robotskem krmilniku. Zaradi potrebe po krajših taktnih časih je

bilo treba prijemalo robota kmalu nadgraditi v dvojno prijemalo, kar je učinkovalo kot sprotni zalogovnik in je omogočilo manj daljših gibov robotske roke (krajša kumulativ-

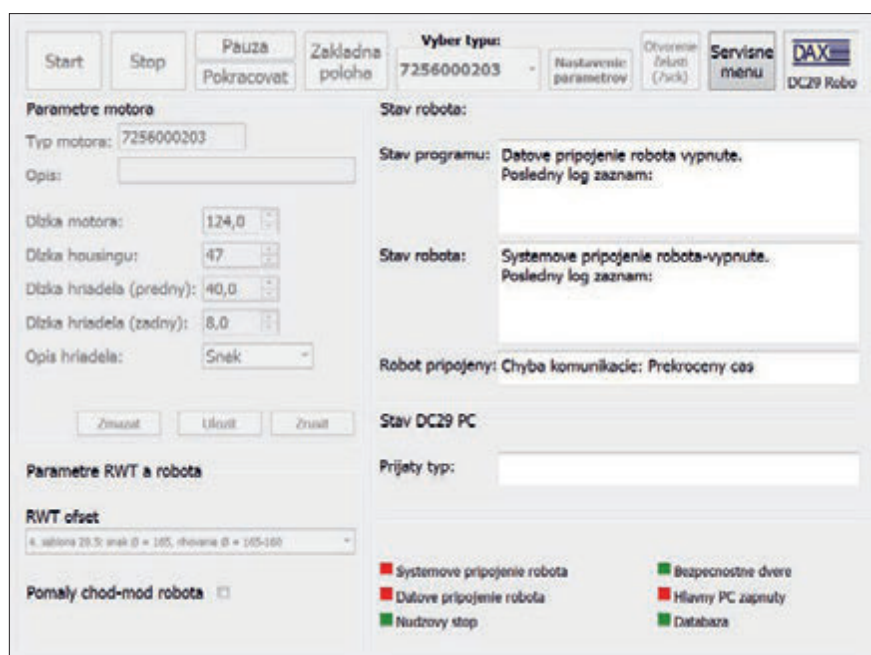
na pot za isto število motorjev) ter krajše mrtve čase (čase neizkoriščenosti) stroja za obdelavo gredi. Nasprotni učinek dvojnega prijemala je bil povečanje mase in rotacijske vztrajnosti. Slednja ima na hitrost gibanja pri spreminjanju orientacije prijemala še posebno negativen učinek, ker vztrajnostni moment narašča s kvadratom razdalje (glej *slika 2*). Praktično non-stop obratovanje robota na skrajnih mejah (veliko prijemalo in (pre)hitri premiki, tresenje) je v 10 letih povzročilo pojavljanje rahle zračnosti v sklepih, posledično puščanje masti in s tem povečanje možnosti odpovedi.

■ 3 Nadgradnja opreme

Robot PS3L smo zamenjali z novim robotom EPSON C8 (*slika 3*), ki lahko nosi do 8 kg in pri gibanju aktivno duši vibracije. Izmed variant s 700, 900 in 1400 mm dosega smo izbrali tisto z 900 mm dosega, kar je le nekoliko večje delovno področje od PS3L. Namesto starega krmilnika z integriranim Windows računalnikom novi robot C8 poganja namenski hitri krmilnik RC700, dodali pa smo industrijski panelni računalnik na dotik, na katerem teče v jeziku Python razviti grafični uporabniški vmesnik (*slika 4*) s podatkovno



Slika 3. Novi robot EPSON C8



Slika 4. Uporabniški vmesnik v slovaškem jeziku (linija obratuje na Slovaškem)

bazo. Robotski krmilni program in uporabniški vmesnik sta povezana preko EPSON-ovega vmesnika API.

■ 4 Optimizacija gibanja

Opisana nadgradnja opreme vsekakor pomeni izboljšanje v smislu surove moči, vendar je tudi vodenje robotov v desetih letih napredovalo in zdaj omogoča optimiranje, ki takrat ni bilo možno, npr. že omejeno aktivno zmanjševanje vibracij v realnem času pri robotu C8 zaradi piezo tehnologije. Prostor za optimizacijo je tudi v združevanju različnih načinov gibanja, ki jih robot omogoča. V grobem lahko vodenje robota razdelimo na vodenje v zunanjih koordinatah (kartezične koordinate) in vodenje v notranjih koordinatah (koti v sklepah robota). Slednje je enostavnejše od obeh principov in se uporablja, kadar želimo, da se robot kar najhitreje prestavi iz točke A v točko B, pri čemer nas vmesna pot oz. gibanje ne zanima: servosistem za vsak sklep (motor) robota posebej in neodvisno predvidi trapezno krivuljo toka in jo regulira, dokler sklep ni v končni legi. Če so vsi sklepi obremenjeni z maksimalnim dopustnim tokom, je to teoretično najhitrejša pot od A do B. Navadno se sicer obremenitev vseh sklepov prilagodi sistemu, ki bi

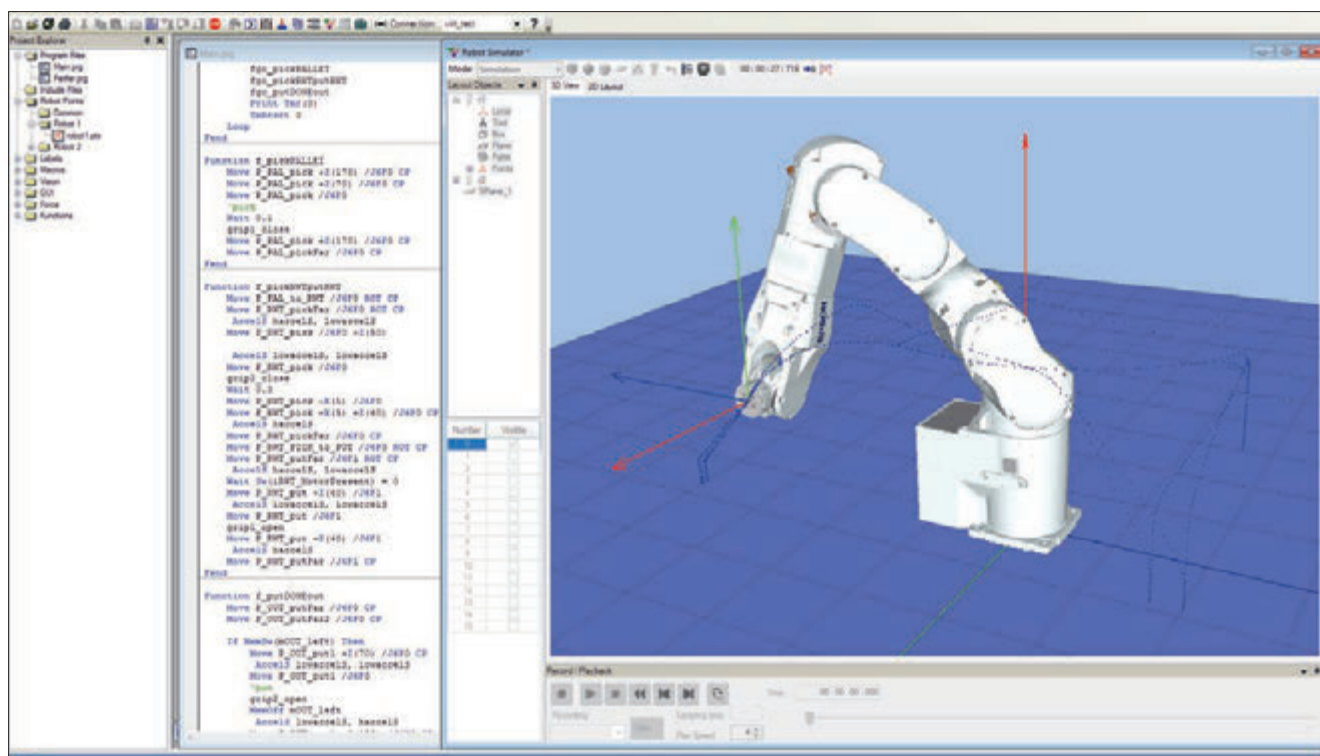
za premik v novo lego potreboval največ časa, zato da je gibanje sinhrono in vsi sklepi hkrati dosežejo končno lego.

Pri vodenju v zunanjih koordinatah nas poleg začetne in končne lege robota zanima tudi, kakšna je vmesna pot, npr. premica, krožnica, hitrostni profil ... Profili tokovne obremenitve za vsak sklep niso več neodvisni, gibanje med njimi mora biti koordinirano, da je rezultat predpisano gibanje prijemala robota. Inverzna kinematika se mora izračunavati za vsak kvant vmesne poti.

Večina robotskih aplikacij zahteva oba pristopa vodenja, npr. vstavljanje kosa po določeni krivulji z določeno hitrostjo, nato čim hitrejši premik v drugo območje po poljubni poti in tam spet linearen gib ... Kot problematičen se tu izkaže preklap med obema načinoma gibanja. Če se robot v točki preklopa ustavi, to pomeni izgubo časa za zaviranje in pospeševanje, robot pa ima v tej vmesni, načeloma manj pomembni točki, hitrost nič. Pri časovno kritičnih operacijah je te desetinke, včasih sekunde, izjemno težko izboriti drugje. Cilj je torej doseči zvezen prehod med gibanjem robota v notranjih in zunanjih koordinatah ter

obratno. Enostavna superpozicija prispevkov k tokovnim referencam v motorjih iz enega in drugega regulatorja v okolici točke preklopa ni primerna, ker lahko hitro pride do preobremenitve motorja, ki je praviloma že samo s prispevkom vodenja v notranjih koordinatah polno obremenjen. Poleg tega v okolici preklopa vodenje v zunanjih koordinatah ne bi bilo pozicijsko točno. Prednost je torej treba dati gibom v zunanjih koordinatah. Poskrbeti je treba, da robot v točki preklopa iz vodenja v zunanjih koordinatah ne zmanjša hitrosti, temveč nadaljuje gib. To je najlažje doseči tako, da mu gib enostavno podaljšamo z novo pomožno točko, ki leži na ekstrapolirani obstoječi trajektoriji in je od točke preklopa oddaljena vsaj za robotovo minimalno zavorno razdaljo do hitrosti nič. Ko robot doseže željeno končno točko giba v zunanjih koordinatah, preklopi na vodenje v notranjih koordinatah in zvezno nadaljuje gibanje, razlika je samo v tem, da trapezni profili tokov nimajo izhodišča v nič, temveč v trenutni vrednosti, ki ustreza trenutni hitrosti posameznega sklepa. Pomožne ekstrapolirane točke sicer robot nikoli ne doseže, vendar to ni pomembno. Preklop v obratni smeri poteka v obratnem vrstnem redu, željeno krivuljo v zunanjih koordinatah je treba ekstrapolirati pred gib in ne za gib, preklap med načinoma vodenja pa se mora zgoditi pred ekstrapolirano pomožno točko v trenutku, ko bi pri sicer izoliranem gibu robot začel zavirati.

Na opisani način dosežemo, da se robot med gibi ne ustavlja, gladko preklaplja med načini vodenja, hkrati pa zadovoljimo zahteve po pozicijski točnosti v območjih gibanja v zunanjih koordinatah. Vpeljava pomožnih točk za pridobivanje hitrosti je sicer kontraintuitivna, vendar je ključ v zveznosti, tako kot slalomist ni najhitrejši po najkrajši poti po daljicah med količki, temveč po kumulativno daljši zvezni poti. Samo omenimo, da zvezno spajanje odsekov gibanja z medsebojno enakimi načini vodenja ni problematično in se v robotskem krmiljenju že dolgo uporablja.



Slika 5. Simulacija gibanja z robotom EPSON C8

Izvedljivost in pravilnost gibanja robota ter taktne čase smo pred izvebo na liniji preverili s simulacijo v robotskem programskem okolju. Primerjava med gibanjem z nezveznimi in zveznimi preklopi med načini vodenja ter varianto z zveznimi preklopi med gibi izključno v zunanjih koordinatah je pokazala, da je gibanje robota najhitrejšje pri opisanem zveznem preklapljanju med načinoma vodenja v zunanjih in notranjih koordinatah.

5 Zaključek

Linija po nadgradnji na zunan obratuje tako kot prej, s tem da robot tudi pri novih zahtevanih taktnih časih ni obremenjen 100-odstotno, po potrebi lahko dela tudi hitreje. Spreminjanje parametrov in vnos novih tipov sta močno olajšana, zagotovljena je polna sledljivost preko podatkovne baze. Novi robot C8 deluje skoraj brez tresljajev in je z bolj varno rezervo dimenzioniran na aplikacijo (predvsem prijema-lo). Doseženi sta visoka zveznost in gladkost gibanja, ki sta, tako kot pri športu, vedno znak visoke hitrosti in učinkovitosti, zahvaljujoč gladkim prehodom med vodenjem v zuna-

njih in notranjih koordinatah. Stari robot in krmilnik nista popolnoma odslužena, rezervni deli ob morebitni okvari na drugi enaki liniji so na voljo takoj, kar je pomembno, če pomislimo na dobavljivost delov po izteku sedemletnega obdobja garantirane dobave delov po prenehanju izdelovanja starega modela robota. Po šestih mesecih obratovanja so izkušnje pozitivne, v investi-

cijskem planu naročnika pa je tudi zamenjava robota na drugi liniji. DC elektromotor z minimalnimi spremembami vztraja že zelo dolgo in videti je, da bo tako ostalo.

Viri

- [1] Epson R1102S-Prosix-User-Manual-Rev2, Seiko Epson Corporation 2015

Optimisation of robotic manipulation and software upgrades on a production line for DC electric motor assembly and measurements

Abstract: The article describes the replacement of robot arm and software on a 10-years old production line for DC electric motor assembly and measurements. The robot had reached performance limits due to manipulation modifications and persistent demands to shorten the cycle times. Under heavy load the robot had worn out considerably and needed to be upgraded. At the same time the main control and user interface software were upgraded to enable greater production flexibility and traceability. Additionally we present in principle the optimisation of robot motion for speed by a continuous transition between joint motion and cartesian motion control.

Key words: robot arm replacement, control software upgrade, user interface upgrade, joint motion, cartesian motion