

Programi za indirektno programiranje industrijskih robotov

Jure Rejc, Marko Munih

Laboratorij za robotiko in biomedicinsko tehniko

Fakulteta za elektrotehniko

Univerza v Ljubljani

Tržaška 25, 1001 Ljubljana, Slovenija

{jure.rejc, marko.munih}@robo.fe.uni-lj.si

Programs for off-line programming of industrial robots

Abstract: Article presents an overview of some industrial robot off-line programming packages, basically for multiple robot manufacturers. We tested graphical interface, importing of external 3D CAD models, automatic trajectory planning, simulation and robot native programs writing.

1 Uvod

V današnji industrijski proizvodnji se pojavlja vedno več procesov, kjer človeka nadomeščajo roboti. Namreč, za razliko od človeka, nudijo visoko stopnjo ponovljivosti nalog, kar pomeni stalnost kvalitete izdelka. Vendar je njihovo programiranje, pri zahtevnejših nalogah, zamuđen proces. Programiranje robotov delimo na tri možne načine: ročno učenje točk (*point-to-point*), učenje med vodenim gibanjem (*teach-by-show, continuous-path*) in indirektno programiranje (*off-line*). Pregledali smo nekaj programov za indirektno programiranje robotov, ki delujejo v operacijskem sistemu Windows. Mnenja smo, da je indirektni pristop, za razliko od ostalih dveh, najhitrejši in najenostavnejši, vendar se je uveljavil šele v zadnjem času. Zanimali so nas predvsem tisti programi, ki uporabniku omogočajo hitro ustvarjanje trajektorij, tako z možnostjo, da robot nosi orodje ali obdelovanec, in to na podlagi 3D CAD modelov izdelkov, orodij in delovnega okolja. V mislih smo imeli način, da uporabnik samo z nekaj kliki miške ustvari željeno

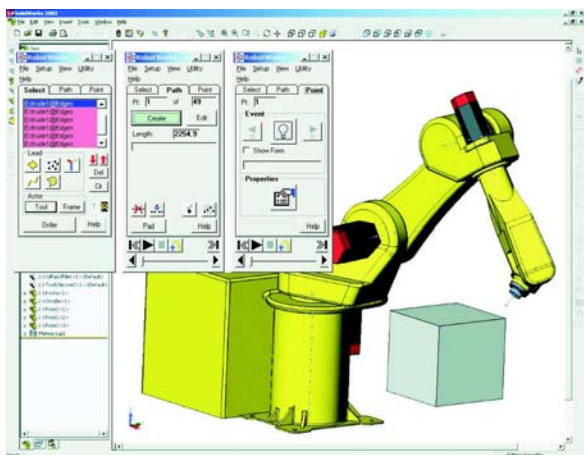
robotsko trajektorijo in ta postopek bomo v nadaljevanju imenovali avtomatsko ustvarjanje trajektorij. Poleg samega načrtovanja trajektorij so nas zanimale tudi kvaliteta in oblika grafičnega vmesnika, simulacije ter podpora uvozu 3D CAD datotek iz drugih 3D CAD modelirnikov. Vsi preizkušeni programi omogočajo tudi izvoz ustvarjenih trajektorij v datoteko, kar smo, v okviru možnosti, tudi preizkusili. Poleg naštetega smo želeli tudi, da bi bili namenjeni programiranju robotov različnih proizvajalcev. Vendar pa temu pogoju zadostujejo le RobotWorks, Famos robotic in Workspace.

2 RobotWorks in SolidWorks

RobotWorks je izdelek podjetja SolidPro in deluje skupaj s programom SolidWorks, proizvajalca Dassault Systemes [1], ki je v osnovi namenjen konstruiranju 3D CAD modelov. RobotWorks uporablja njegov grafični in kinematični vmesnik. Na voljo smo imeli RobotWorks 3.3, ki je kot preizkusna različica dostopna na internetu [2], vendar z nekaj omejitvami in SolidWorks 2003. Model željenega robota uporabnik prejme ob nakupu programa, naša različica pa je vključevala FANUC M6i.

2.1 Grafični vmesnik

Kvaliteta grafičnega vmesnika je odlična (Slika 1), tako glede slike, barv in detajlov kot tudi glede prijaznosti do uporabnika, ki so mu na voljo naslednje funkcije: poljubno povečevanje, pomanjševanje, rotiranje in premikanje slike, prikaz obrisa objekta, skritih robov, obarvanega



Slika 1: Program SolidWorks in trije podlisti programa RobotWorks

objekta in senčenje, izometričen in vsestranski pogledi, skrivanje posameznih objektov modela in popravljanje objektov modela.

2.2 Prenosljivost 3D CAD modelov

SolidWorks uporabniku nudi uvoz in izvoz velikega števila splošnih 3D CAD zapisov. Najpomembnejši so: IGES, STEP AP203/214, ACIS, Catia Graphics in ProE Part / Assembly.

2.3 Avtomatsko ustvarjanje trajektorij in simulacija gibanja

V realnih industrijskih aplikacijah lahko robot nosi orodje ali obdelovanec, zato je potrebno najprej določiti, kaj robot nosi. Izkazalo se je, da je postopek zamuden in težaven, kajti natančno je potrebno upoštevati navodila, vendar se vseeno zgodi, da nam ne uspe določiti, kaj robot nosi. V našem primeru je težavam botroval hrošč v programu SolidWorks.

Ustvarjanje trajektorij je enostavno (Slika 1, podlist levo), kajti program omogoča avtomatsko ustvarjanje trajektorij: po sredini kvadratne ploskve (*Face*), po robu med dvema ploskvama (*Edge*), po krivulji (*Curve*), s klikanjem po ploskvah (*Route*) in med statičnimi točkami (*Pose*). Kot avtomatsko ustvarjanje trajektorij razumemo, da uporabnik označi potrebne ploskve, robove ali statične točke, program pa po željenem odseku sam postavi točke. Število točk na odseku je sprva določeno avtomatsko, vendar jih uporabnik hitro doda ali odstrani. Tako ustvar-

jene trajektorije je možno tudi popraviti, vendar le posamezno točko na trajektoriji, kar je lahko, ob velikem številu točk, zelo zamudno ali celo nemogoče. Slabost programa je tudi, da ne omogoča nastavljanja hitrosti gibanja, kar onemogoča izvedbo časovnih analiz. Preverjanje pravilnosti trajektorij nam omogoča simulacija gibanja (Slika 1, podlist v sredini), in to od točke do točke (naprej in nazaj) ali pa zvezno gibanje, vendar le naprej. Hitrost simulacije med zveznim gibanjem je konstanta in je ni mogoče spreminjati, kar lahko zopet štejemo kot slabost.

2.4 Prenos trajektorij v krmilnik robota

Najpomembnejša zmožnost programa RobotWorks je, poleg avtomatskega ustvarjanja trajektorij, tudi izvoz točk v robotu razumljivo datoteko ali celo pisanje robotu razumljivega programa. Eno ali drugo lahko neposredno prenesemo v robotski krmilnik. Postopek je enostaven, hiter in prijazen do uporabnika.

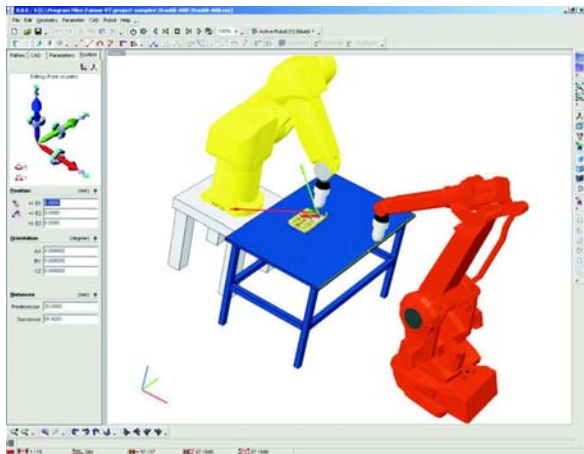
Pravilnost avtomatsko ustvarjenih trajektorij smo testirali na laboratorijskem industrijskem robotu Stäubly RX90, katerega model nam je proizvajalec brezpalčno poslal, vendar RobotWorks za ta tip robota omogoča le izvoz točk v robotu razumljivo datoteko. Tako smo program za gibanje med točkami napisali sami. Ugotovili smo, da ima tudi ta modul hrošč, ki je povezan s pravilnim zapisom točk v datoteko. Na nekem odseku trajektorije, realnega gibanja robota, se je namreč pojavila rotacija, ki jo v simulaciji ni bilo.

3 FAMOS robotic

FAMOS robotic je izdelek podjetja Carat robotic innovation GmbH, za svoje delovanje pa ne potrebuje dodatnega programa. Vključuje modele vseh največjih proizvajalcev 6-osnih industrijskih robotov: ABB, Motoman, Kuka, Stäubly itd. Preizkušali smo različico 7, ki pa je bila še v t.i. beta testiranju in deluje 30 dni ter je dostopna na internetu [3].

3.1 Grafični vmesnik

Kvaliteta grafičnega vmesnika (Slika 2) je zadovoljiva, vendar pogrešamo lepše in izrazitejše robove objektov ter njihovo senčenje. Vmesnik uporabniku nudi najnujnejše pripomočke: poljubno povečevanje, pomanjševanje, rotiranje in



Slika 2: Program FAMOS robotic

premikanje slike, prikaz obrisa objekta, skritih robov, obarvanega objekta, prikaz oz. skrivanje posameznega objekta na sliki (robot, orodje, obdelovavec) in izometričen ter vsestranski pogledi.

3.2 Prenosljivost 3D CAD modelov

Program nima svojega 3D CAD modelirnika, zato pa podpira uvoz najrazličnejših 3D CAD datotek. Med najpomembnejše sodijo: IGRIP, IGES, STEP AP203/214, ACIS, STL, ProEngineer Part / Assembly, VDA-FS.

3.3 Avtomatsko ustvarjanje trajektorij in simulacija gibanja

Sama izgradnja simulacijske celice je s programom Famos robotic zelo preprosta in hitra. Uporabnik najprej v okolje uvozi modele željenih robotov, ki sestavljajo robotsko celico, nato pa po potrebi še modele okolja, orodja, obdelovancev in prijemal, ki jih, ob uvozu, razvrsti v štiri skupine. Pred pričetkom ustvarjanja trajektorij je potrebno določiti odvisnost koordinatnih sistemov objektov glede na referenčni koordinatni sistem robota. Vsi postopki so razumljivi in hitri, menuji pa uporabniku prijazni in nazorni. O tem priča tudi podatek, da na voljo nismo imeli nikakršne pomoči.

Ustvarjanje trajektorij po nekem 3D CAD modelu je zelo enostavno in hitro. Omogočeno je, da se znotraj enega projekta ustvari več trajektorij, vrstni red, katera je aktivna, pa uporabnik določa sam. Za avtomatsko ustvarjanje trajektorij je na voljo mnogo načinov: postavitve poljubnih točk

v prostoru, med že definiranimi točkama interpolirati novo, postavitve diskretnih točk po površini, postavitve točk po zaključenem robu, postavitve točk po krivulji in postavljanje pravokotnih točk. Uporabniku program omogoča uporabo naslednjih tipov interpolacije med točkami, saj se nemalokrat zgodi, da program, na krožnem odseku, definira premalo točk in jih mora uporabnik dodati sam: interpolacija v notranjih koordinatah (*joint*), linearna interpolacija (*linear*), krožna interpolacija (*circle*) in interpolacija s polinomskimi zlepki (*spline*).

Popravljanje trajektorije oziroma točk je, kot tudi ostalih stvari v programu, zelo enostavno in hitro. Omogoča hkratno spreminjanje pozicije in orientacije vseh točk trajektorije, skupine točk ali posamezne točke.

Velika prednost programa Famos robotic je tudi, da lahko uporabnik določa hitrost gibanja robota za celotno trajektorijo ali pa le med določenimi točkami. Nastavljata se lahko translacijska (mm/s) in rotacijska hitrost ($^{\circ}/s$).

Simulacija omogoča simuliranje gibanja enega ali več robotov v celici, in to zvezno gibanje naprej in nazaj ali od točke do točke. Ker lahko uporabnik ustvari več neodvisnih trajektorij za posamezne robote, lahko izbira, katero bo trenutno simuliral. Možno je tudi nastavljati vrstni red trajektorij, po katerih se bo robot med simulacijo gibal. Poleg tega se nastavlja tudi hitrost same simulacije. Na voljo so izbire med 1% in 5000% določene translacijske in rotacijske hitrosti.

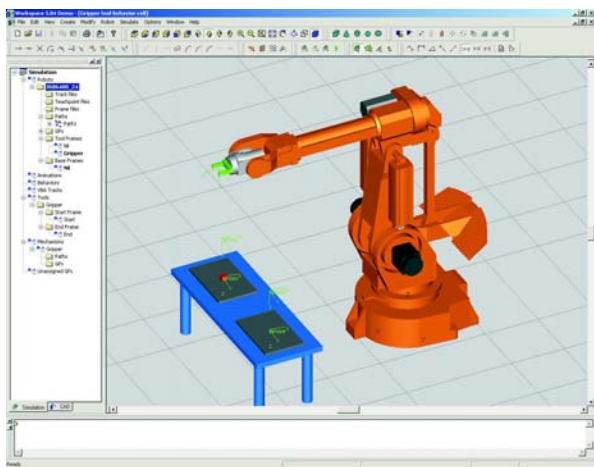
3.4 Prenos trajektorij v krmilnik robota

Famos robotic omogoča tudi pisanje ustreznih robotskih programov, vendar je imela uporabljena različica vključeno podporo le za ABB robote. Da bi se prepričali o pravilnosti napisanega programa, smo zgradili preprosto aplikacijo in zaprosili slovensko predstavništvo podjetja ABB, da ga preizkusijo. Prenos datoteke v krmilnik je potekal nemoteno in tudi gibanje robota je bilo pravilno.

4 Workspace

Workspace je izdelek podjetja Flow Software Technologies Ltd. [4] in deluje samostojno. Na voljo smo imeli preizkusno različico 5.04, ki je delovala samo dva dni, poleg tega pa tudi ni

omogočala shranjevanja, zato programa nismo mogli detajlno preizkusili.



Slika 3: Program Workspace

4.1 Grafični vmesnik

Grafični vmesnik programa Workspace je odličen, kajti zelo dobro so vidni robovi in detajli pa tudi senčenje objektov je zelo dobro. Nudi tudi veliko funkcij: poljubno povečevanje, pomanjševanje, rotiranje in premikanje slike, avtomatsko postavitev skupine objektov na sredino zaslona, prikaz samo robov objektov ter obarvanega objekta, izometrični in vsestranski pogledi ter tudi sestavo preprostega delovnega okolja (pravokotnik, stožec itd.).

4.2 Prenosljivost 3D CAD modelov

Ker pa preprosti modeli običajno ne zadostujejo ali pa so modeli že narisani v zunanjem 3D CAD modelirniku, Workspace nudi tudi uvoz najpogostejših 3D CAD zapisov: ACIS, IGES in Workspace 3/4 Files.

4.3 Avtomatsko ustvarjanje trajektorij in simulacija gibanja

Zaradi omenjenih omejitev bomo navedli samo nekaj lastnosti, ki smo jih pridobili med branjem priložene pomoči in med testiranjem: velik nabor robotov (ABB, Adept, FANUC, Kuka, Panasonic, Nachi, Motoman, Stäubly, Kawasaki itd.), postavljanje koordinatnih sistemov je hitro in razumevajoče, določanje objekta, ki ga nosi robot, je preprosto, simulirati je mogoče tudi zunanje

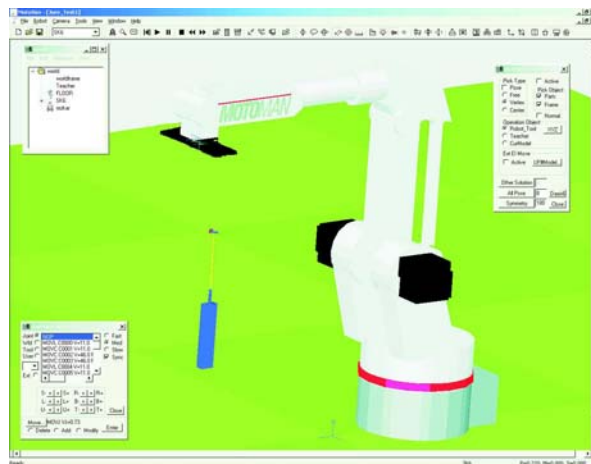
prostostne stopnje, avtomatsko ustvarjanje trajektorije samo po robu dveh ploskev, popravljanje točk oz. trajektorij je zamuden proces, gibanju med točkami je možno nastavljati hitrosti ter tudi pospeške, simulacija omogoča le zvezno gibanje naprej in omogočeno je nadzorovanje trkov, singularnih leg ter dosegljivosti točk v prostoru.

4.4 Prenos trajektorij v krmilnik robota

Workspace omogoča tudi pisanje izvirnega programa za izbran robot. Vendar pa je potrebno modul, ki to omogoča, kupiti posebej, in to za vsak model robota, zato možnosti nismo preizkusili.

5 Motoman MotoSim

Program MotoSim je izdelek podjetja Motoman America in deluje samostojno. Namenjen je samo za programiranje robotov Motoman s krmilniki MRC in XRC. Program ni na voljo na internetu, zato nam ga je podjetje Motoman robotec d.o.o. iz Ribnice [5], za omejen čas, posodilo. Zaščiteno je z mehanskim ključem, ki ga namestimo na paralelna vrata osebnega računalnika. Na voljo smo imeli različico 6.2, avgust 2000.



Slika 4: Program Motoman MotoSim

5.1 Grafični vmesnik

Kvaliteta grafičnega vmesnika (Slika 4) je slaba, kajti uporabniku ne nudi detajlov, ki so nemalokrat potrebni. Tako je npr. zelo težko določiti rob objekta, včasih pa ima uporabnik lahko težave pri prostorski predstavi postavitve objektov. Tudi funkcij, ki so namenjene delu z grafičnim okoljem, je malo.

5.2 Prenosljivost 3D CAD modelov

Program omogoča uvoz nekaj CAD datotek, vendar mu lahko priključimo 3D CAD modelirnik IronCAD [6], katerega preizkusno različico 7.0 smo prenesli neposredno z interneta. Ta omogoča konstruiranje objektov ter uvoz zunanjih datotek: ACIS, STEP AP203, IGES, VRML, Catia in Pro/E itd.

5.3 Avtomatsko ustvarjanje trajektorij in simulacija gibanja

Za najosnovnejše premikanje robota po prostoru je na voljo okno, ki predstavlja učno enoto robota in v osnovi omogoča: premikanje robota v različnih načinih (*joint, world, tool, user*), nastavljanje hitrosti gibanja robota, sestavljanje in spreminjanje robotskega programa.

MotoSim nudi le nekakšno polavtomatsko ustvarjanje trajektorij, kar se postori v oknu OLP (Off-Line-Programming), s katerim lahko postavimo točke: prosto v prostoru (*Free*), po robu dveh ploskev (*Vertex*) ali po sredini ploskve (*Center*).

Simulacija gibanja robota po kreirani trajektoriji teče v smislu izvajanja programa. Tako se upoštevajo vsi nastavljeni načini gibanja ter hitrosti. Simulacija se lahko izvaja zvezno ali pa od točke do točke, vendar samo naprej.

5.4 Prenos trajektorij v krmilnik robota

S prenosom napisanega programa v krmilnik robota (laboratorijski robot Motoman SK6 in krmilnik Yaskawa MRC) ni nikakršnih težav, saj MotoSim, za izbran robot, uporablja posebno nastavitveno datoteko (all.prm), v kateri so spravljene vse nastavitve krmilnika. Priporočeno je, da se pred prenosom programa v krmilnik najprej prenese nastavitveno datoteko iz krmilnika in s to kreira program.

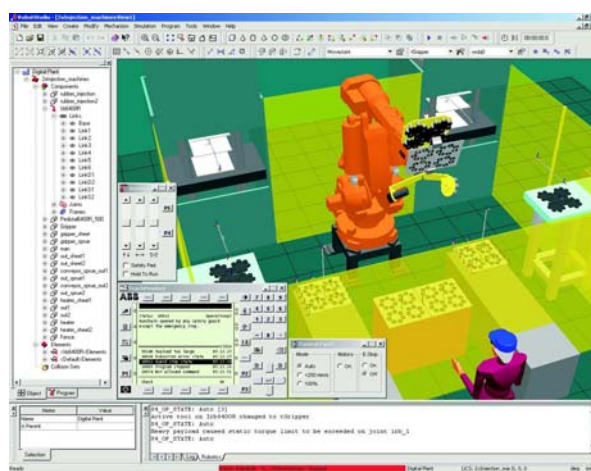
Naša testna aplikacija je bila podobna kot pri testiranju programa Famos robotic in prenosu na robot ABB IRB1400. Gibanje, nastavljene hitrosti in nastavljena točnost interpolacije se je na realnem robotu popolnoma ujemala s simulacijo.

Omeniti velja, da razvoja programa MotoSim ni več, kajti za novo generacijo robotov Motoman je bil razvit tudi nov robotski krmilnik NX100. Zanj pa je namenjen novejši program, imenovan

Rotsy, vendar pa ga nismo imeli možnosti preizkusiti.

6 RobotStudio

Program RobotStudio (Slika 5) je izdelek podjetja ABB [7] in je namenjen indirektnemu programiranju ABB robotov ter deluje samostojno. Ogleдали smo si tudi predstavitveni multimedij-ski DVD, ki uporabiku nudi hiter vpogled v zmožnosti programa RobotStudio. Preizkušali smo različico 3.1.



Slika 5: Program RobotStudio

6.1 Grafični vmesnik

Kvaliteta grafičnega vmesnika je zadovoljiva in nudi dovolj za nemoteno uporabo. Funkcije grafičnega vmesnika so: poljubno povečevanje, pomanjševanje, rotiranje in premikanje slike in izometričen ter vsestranski pogledi. Dobra lastnost vmesnika je tudi opcija, da uporabnik lahko, kar v programu RobotStudio, skonstruira preproste modele okolja, orodij ali obdelovancev. Na voljo so mu naslednji objekti: pravokotnik, stožec, valj, kroglja, piramida in toroid.

6.2 Prenosljivost 3D CAD modelov

Ker pa je običajno obdelovalno orodje, obdelovanec ali okolje, kompleksnejše oblike in ker so morda objekti že narisani v zunanjem 3D CAD modelirniku, RobotStudio omogoča tudi uvoz najpogostejših 3D CAD zapisov: ACIS, IGES, STEP in VDAFS.

6.3 Avtomatsko ustvarjanje trajektorij in simulacija gibanja

Ker je bilo delovanje programa omejeno le na tri dni, navajamo le nekaj ugotovitev zmožnosti programa: na voljo je knjižnica z 49 modeli robotov podjetja ABB, simulirati je mogoče zunanje prostostne stopnje in tudi I/O signale robotskega krmilnika, posebnost programa je virtualni robotski krmilnik, ki zagotavlja pravilnost simulacije, za avtomatsko ustvarjanje trajektorij je na voljo funkcija *AutoPath*, gibanju med točkami je možno nastavljanje hitrost, simulacija omogoča le zvezno gibanje naprej, omogočeno je nadzorovanje trkov, singularnih leg ter dosegljivosti točk v prostoru, na voljo je programski jezik Visual Basic za aplikacije (VBA).

6.4 Prenos trajektorij v krmilnik robota

Ker za celotno gibanje znotraj programa RobotStudio skrbi virtualni robotski krmilnik, se program gibanja izvaja že na njem ter je uporabniku ves čas na voljo. Tako ga je mogoče tudi popravljati in dodajati svoje rutine in module. Ko smo s simulacijo gibanja zadovoljni, program zapišemo v datoteko, ki jo nato prenesemo v krmilnik robota, vendar tega nismo imeli možnosti preizkusiti.

7 Zaključek

Pregledani in testirani programi so pokazali, da uporabniku nudijo že veliko s področja indirektnega programiranja industrijskih robotov na podlagi 3D CAD modela obdelovanca. Vsi preizkušeni programi (RobotWorks, Famos robotic, Workspace, RobotStudio) nudijo dokaj veliko stopnjo avtomatizacije ustvarjanja trajektorij in tudi drugih uporabnih funkcij.

Še najslabšo avtomatizacijo nudi MotoSim, ki pa je namenjen le za robote podjetja Motoman, vendar poudarjamo, da je razvoj programa že ustavljen in ga je nadomestil nov program, imenovan Rotsy. Dobra stran programa MotoSim pa je brezhibno pisanje in delovanje programa na realnem robotu Motoman SK6.

Med preizkušenimi programi najbolj izstopa Famos robotic, saj uporabniku nudi popolno, splošno, preprosto in hitro rešitev za indirektno programiranje industrijskih robotov, o čemer

priča tudi njegova cena, saj je med splošnimi najdražji. Škoda je le, da je program trenutno v t.i. beta testiranju in vsi moduli programa še ne delujejo oziroma njihov razvoj še ni zaključen.

Glavna slabost programa RobotWorks je, da za delovanje potrebuje 3D CAD modelirnik SolidWorks, poleg tega pa smo se nenehno srečavali s hrošči, za katere pa verjamemo, da jih bo proizvajalec odpravil.

Več smo pričakovali tudi od programa Workspace, in to predvsem zaradi njegove že večletne tradicije. Manjka mu predvsem več funkcij za avtomatizacijo ustvarjanja trajektorij, drugače pa je uporabniku prijazen in hitro razumljiv program.

Ob bok programu Famos robotic lahko postavimo program RobotStudio, podjetja ABB, ki pa je namenjen le za robote ABB. Program nudi celo več kot Famos robotic, predvsem zaradi vgrajenega virtualnega robotskega krmilnika, ki zagotavlja identičnost gibanja med simulacijo in prvim robotom.

Preizkusili smo le nekaj programov, vendar pa na tržišču verjetno obstajajo še kateri drugi, ki pa jih zaradi časovne stiske nismo uspeli poiskati in preizkusiti.

Za pomoč pri testiranju programov za indirektno programiranje industrijskih robotov se zahvaljujemo naslednjim podjetjem: SolidPro, carat robotic innovation GmbH, Flow Software Technologies Ltd., Motoman robotec d.o.o., ABB Slovenija in ETA Cerklno.

8 Literatura

- [1] Dessault Systemes, Francija, <http://www.3ds.com/home>
- [2] SolidPro - RobotWorks, Langenau, Nemčija, <http://robotworks-eu.com>
- [3] carat robotic innovation GmbH - Famos robotic, Dortmund FRG, Nemčija, <http://www.famos-robotic.de>
- [4] Flow Software Technologies Ltd., Windsor, Kanada, <http://www.workspace5.com/>
- [5] Motoman robotec d.o.o., Ribnica, Slovenija, <http://www.motomanrobotec.si>
- [6] IronCad, Atlanta, ZDA, <http://www.ironcad.com>
- [7] ABB Ltd, Zürich, Švica, <http://www.abb.com/>