

# **Simulacija in animacija delovanja robotske roke Pioneer 3AT**

**Bojan Ahlin**

**Mentor: doc. dr. Gregor Klančar**

**Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko**

**Tržaška cesta 25, Ljubljana**

**bojan@visia.si**

## ***Simulation and animation of Pioneer 3AT robotic arm operation***

The development of simulation environment is presented, which allows numerical analysis and graphical 3D visualization of Pioneer 3AT robot arm motion. Presented arm is laboratory device, experimental and educational tool.

Simulation environment is constructed with Matlab/Simulink and can be used in developing and designing robotic arms in the production processes, scientific research and wherever the work is too dangerous for humans.

Simulation and analysis of the Pioneer 3AT robot arm is illustrated in two practical cases which are very common in production processes: shifting objects and welding.

## ***Kratek pregled prispevka***

Predstavljena je izdelava simulacijskega okolja, ki omogoča numerično analizo in grafični 3D prikaz gibanja robotske roke Pioneer 3AT. Gre za laboratorijsko napravo, eksperimentalno in pedagoško orodje.

Simulacijsko okolje je izdelano s programskim orodjem Matlab/Simulink in se lahko uporabi pri razvoju in načrtovanju robotskih rok v proizvodnih procesih, znanstvenih raziskavah in povsod, kjer bi bilo delo za človeka prenevarno.

Simulacija in analiza delovanja robotske roke Pioneer 3AT je prikazana na dveh praktičnih primerih, ki so tudi sicer v proizvodnih procesih zelo pogosti: prelaganje predmetov in varjenje.

## 1 Uvod

Predstavljena je robotska roka Pioneer 3AT in bistveni koraki pri izdelavi simulatorja.

Simulator omogoča lažji, hitrejši razvoj in preizkušanje algoritmov, preden se jih uporabi na realni robotski roki, s čimer lahko preprečimo mehanske preobremenitve in poškodbe robotske roke.

Prikazani so izračuni inverzne kinematike, ki omogočajo, da se na podlagi podanih zahtev za gibanja konice prijemala izračunajo vrednosti vhodnih parametrov robotske roke.

Izračun inverzne kinematike in opis delovanja simulatorja je prikazan na dveh praktičnih primerih: prelaganje predmetov in varjenje.

Simulacijski model je izdelan z orodjem V-Realm Builder in deluje v okolju Simulink.

## 2 Opis robotske roke

Roka je namenjena razvijalnemu oziroma laboratorijskemu delu. Možno jo je uporabljati samostojno ali kot aktuator na mobilnem robotu Pioneer 3AT (slika 1).

Sestavni deli robotske roke so podnožje, ki je vrtljivo okoli navpične osi, štiri členi roke, rotacijski sklepi in prijemalo z mehanizmom za odpiranje in zapiranje.

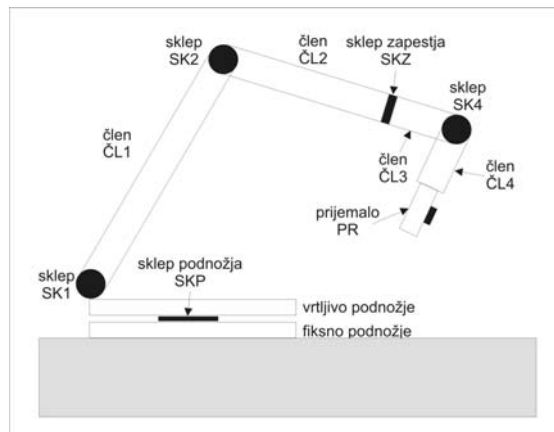


Slika 1: Fotografija robotske roke

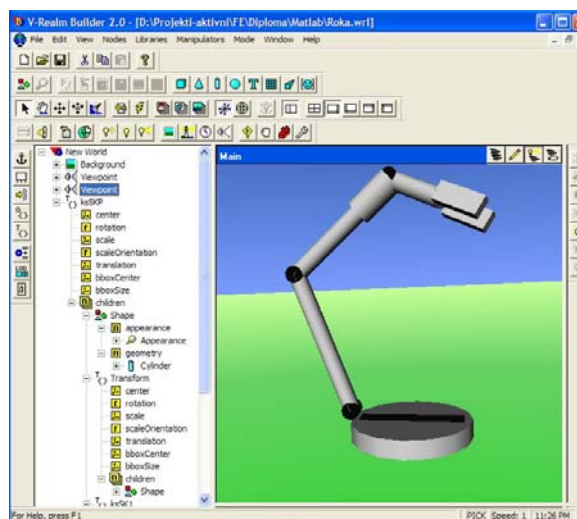
Gibanje robotske roke (rotiranje petih sklepov in odpiranje ter zapiranje prijemala) omogoča šest servomotorjev. Servomotorje z računalnikom krmilimo preko serijskega vmesnika. Vhodne vrednosti servomotorjev so celoštevilčne in se nahajajo v območju med 0 in 255.

## 3 Izdelava animacijskega modela

Za izdelavo animacijskega modela uporabimo programsko orodje V-Realm Builder, ki omogoča kreiranje simulacijskih objektov v 3D-prostoru. Animacijski model sestavimo s preprostimi geometrijskimi telesi, pri čemer je bistvenega pomena drevesna struktura kreiranih objektov, ki predstavlja medsebojno odvisnost gibanja.



Slika 2: Skica robotske roke



Slika 3: Izdelava animacijskega modela

Sprememba lege izbranega objekta hkrati pomeni tudi spremembo lege vseh objektov, ki se v drevesni strukturi nahajajo pod izbranim objektom (slika 2).

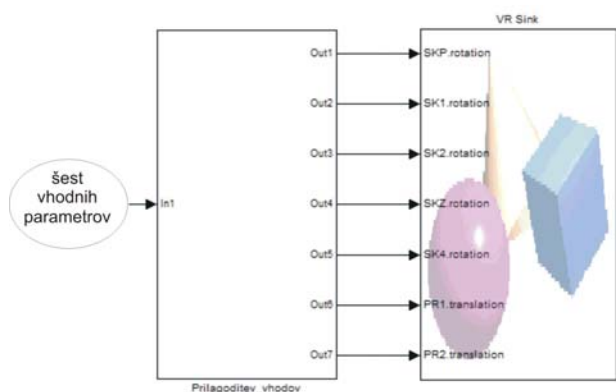
Na sliki 3 je prikazano programsko orodje V-Realm Builder, ki omogoča izdelavo animacijskega modela.

### 3.1 Koordinatni sistem

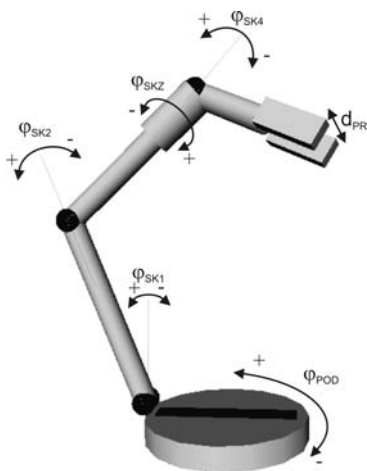
Animacijski model roke izdelamo tako, da se izhodišče koordinatnega sistema nahaja v sredini podnožja. Os  $y$  koordinatnega sistema je navpična, osi  $x$  in  $z$  pa se nahajata v vodoravni ravnini.

## 4 Uporaba animacijskega modela

V Simulinku izdelamo shemo, ki omogoča krmiljenje animacijskega modela (sliki 4 in 5).



Slika 4: Simulink shema



Slika 5: Vhodne vrednosti za krmiljenje

Vrednosti šestih vhodnih parametrov (rotacije petih sklepov in odprtost prijemala) se s časom spreminjajo.

Simulink - objekt, ki omogoča neposredno krmiljenje V - Realm Builder - animacijskega modela, je VR-Sink. V nastavitvah objekta VR-Sink izberemo parametre animacijskega modela, do katerih želimo imeti dostop preko Simulinka.

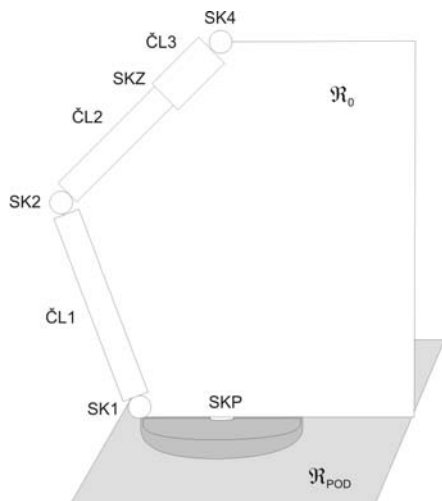
Objekt Prilagoditev\_vhodov vrednosti šestih vhodnih parametrov pretvori v vektorske oblike, ki predstavljajo vhodne vrednosti animacijskega modela. Posamezna rotacija v objektu VR-Sink je vektorske oblike: tri vrednosti, ki predstavljajo os rotacije in četrta vrednost, ki predstavlja kot zasuka. Tudi translacije v objektu VR-Sink so vektorske oblike: tri vrednosti, ki predstavljajo translacije v smeri treh osi koordinatnega sistema.

Primer: Odpiranje oziroma zapiranje prijemala, ki je podan kot šesti vhodni parameter, se v objektu Prilagoditev\_vhodov pretvori v dve translaciji v vektorski obliki in se na objektu VR-Sink kaže kot medsebojno odmikanje oziroma približevanje dveh kvadrov v prostoru, ki predstavljata prijemalo.

## 5 Inverzna kinematika

Inverzna kinematika omogoča, da za želeno lego vrha prijemala izračunamo rotacije posameznih sklepov. Računanje inverzne kinematike ni izvedljivo po enotnem algoritmu za katerokoli robotsko roko, ker je izračun odvisen od strukture sklepov in členov posameznega robota oziroma robotske roke.

Na sliki 6 so prikazani sklepi in členi robotske roke, ki ležijo na navpični ravnini  $\mathcal{R}_0$ . Z rotiranjem sklepa podnožja SKP se ravnina  $\mathcal{R}_0$  vrti okoli navpične osi  $y$ . Sklep zapestja SKZ omogoča, da člen ČL4 in prijemalo PR zavzameta lego zunaj ravnine  $\mathcal{R}_0$ . Če se sklep zapestja SKZ nahaja v izhodiščni legi  $\varphi_{SKZ} = 0^\circ$ , vsi sklepi in členi ležijo na tej ravnini.



Slika 6: Členi roke v ravnini

## 6 Razporejanje predmetov na ravnini

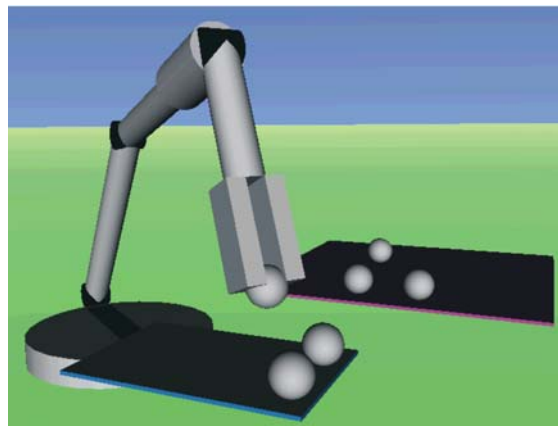
Robote pogosto uporabljamo v industriji za delo v nevarnem okolju oziroma za izvajanje ponavljajočih se opravil: premikanje objektov, sestavljanje, varjenje, strojna obdelava, barvanje.

Razporejanje predmetov na ravnini poteka tako, da robotska roka s prijemalom prime predmet, ga prenese na drugo lokacijo in ga tam odloži. Ker gre za prenašanje predmetov na ravni podlagi, se sklep zapestja SKZ ves čas delovanja nahaja v izhodiščni legi.

### 6.1 Potek prelaganja

Prelaganje posameznega predmeta je sestavljeno iz naslednjih korakov: vrh prijemala se postavi nad predmet in se razpre, nato se spusti na pozicijo predmeta in se stisne, nato se ponovno dvigne in se postavi nad točko odlaganja, nato se spusti na točko odlaganja in se razpre.

Za vsak korak izračunamo vrednosti vhodnih parametrov, ki zagotavljajo ustrezno lego roke. Shema v Simulinku zagotovi časovno spreminjanje vrednosti vhodnih parametrov med koraki in s tem prehajanje med posameznimi legami. Animacijo prikazuje slika 7.



Slika 7: Animacijska slika zlaganja predmetov

### 6.2 Izračun vhodnih parametrov

Za vsak korak prelaganja izračunamo vrednosti vhodnih parametrov (rotacij sklepov), ki zagotovijo ustrezno pozicijo vrha prijemala, ki jo označimo s  $T_0 = (x_0, y_0, z_0)$ .

Sklep zapestja SKZ se ves čas nahaja v izhodiščni legi  $\varphi_{SKZ} = 0^\circ$ .

Izračunamo rotacijo podnožja SKP, pri kateri se točka  $T_0$  nahaja na ravnini  $\mathcal{R}_0$ :

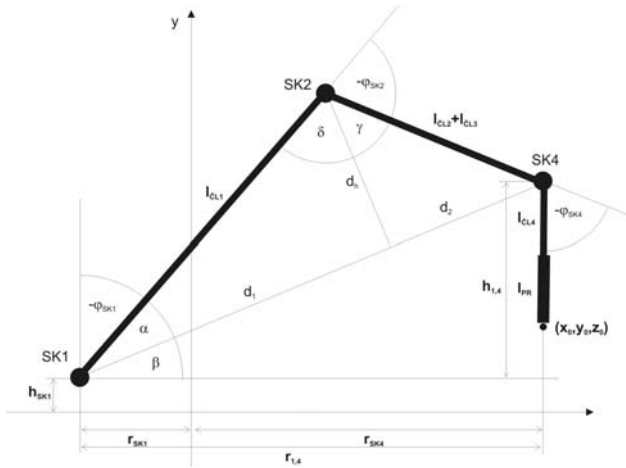
$$\varphi_{SKP} = \arctan \frac{x_0}{z_0}. \quad (1)$$

Na sliki 8 je prikazana skica robotske roke, ki leži na ravnini  $\mathcal{R}_0$ . Sklep SK1 je od osi  $y$  oddaljen  $r_{SK1}$  in se nahaja na višini  $y = h_{SK1}$ .

Ker se sklep zapestja SKZ nahaja v izhodiščni legi, lahko člena ČL2 in ČL3 obravnavamo kot en člen z dolžino  $l_{\check{C}L2} + l_{\check{C}L3}$ .

Ob predpostavki, da je prijemalo PR v navpični legi, izračunamo razdaljo med sklepom SK4 in osjo  $y$ :

$$r_{SK4} = \sqrt{x_0^2 + z_0^2}. \quad (2)$$



Slika 8: Izračun lege roke v ravnini

Glede na sliko 8 lahko zapišemo:

$$\begin{aligned} r_{1,4} &= r_{SK1} + r_{SK4}, \\ d &= d_1 + d_2, \\ d^2 &= r_{1,4}^2 + h_{1,4}^2, \\ d_h^2 + d_1^2 &= l_{CL1}^2, \end{aligned} \quad (3)$$

$$d_h^2 + d_2^2 = (l_{CL2} + l_{CL3})^2,$$

od koder izračunamo dolžine:

$$d_1 = \frac{1}{2d} (d^2 + l_{CL1}^2 - (l_{CL2} + l_{CL3})^2), \quad (4)$$

$$d_2 = d - d_1,$$

nato izračunamo kote ter rotacije sklepov:

$$\alpha = \arccos \frac{d_1}{l_{CL1}},$$

$$\beta = \arctan \frac{h_{1,4}}{r_{1,4}},$$

$$\varphi_{SK1} = \alpha + \beta - 90^\circ, \quad (5)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{d_2}{l_{CL2} + l_{CL3}},$$

$$\delta = 90^\circ - \alpha,$$

$$\varphi_{SK2} = \gamma + \delta - 180^\circ,$$

$$-\varphi_{SK1} - \varphi_{SK2} - \varphi_{SK4} + \varphi_0 = 180^\circ,$$

$$\varphi_{SK4} = \varphi_0 - \varphi_{SK1} - \varphi_{SK2} - 180^\circ.$$

## 7 Varjenje z elektrodami

Če namesto prijemala namestimo orodje, lahko robotsko roko uporabimo za manipulacijo z orodjem v prostoru.

Električno varjenje se uporablja za varjenje po konturah, kar je z vidika uporabe robotov za varjenje bistveno težje, kot točkovno varjenje. Robotska roka mora, glede na lego obdelovanca in dimenzije orodja, zagotoviti ustrezno prostorsko in časovno gibanje varilne žice.

### 7.1 Potek varjenja

Na konturi določimo točke, med katerimi mora potovati konica varilne žice. Za vsako točko izračunamo rotacije sklepov, ki zagotavljajo ustrezno lego varilne žice.



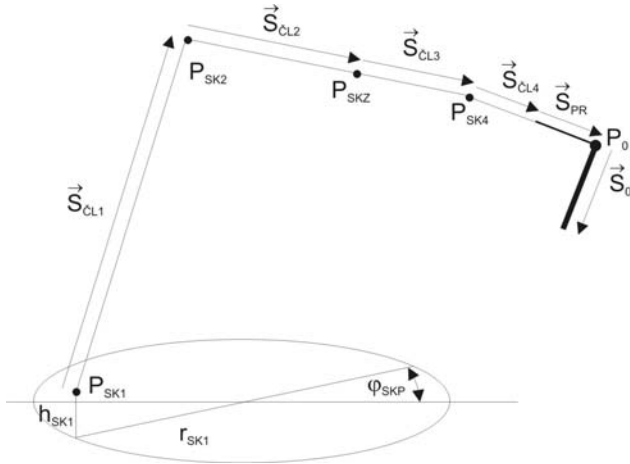
Slika 9: Animacijska slika varjenja

Usklajeno časovno spreminjanje rotacij sklepov med točkami omogoči gibanje konice varilne žice od točke do točke po konturi. Animacijo varjenja prikazuje slika 9.

### 7.2 Izračun vhodnih parametrov

Točko, v kateri prijemalo drži varilno žico, označimo s  $P_0 = [x_0 \ y_0 \ z_0]$ . Želena smer

orodja je podana z vektorjem  $\vec{S}_0 = [x_{S0} \ y_{S0} \ z_{S0}]$  (slika 10).



Slika 10: Roka z vektorskimi oznakami

Smer prijemala PR mora biti pravokotna na smer varilne žice. Izračun vhodnih parametrov izvedemo za različne smeri prijemala.

Kreiramo množico vektorjev  $\vec{S}_{PRn}$ , ki so pravokotni na smer varilne žice in predstavljajo možne smeri prijemala.

Za vsako smer prijemala izračunamo vektor četrtega člena:

$$\vec{S}_{\check{C}L4} = l_{\check{C}L4} \cdot \frac{\vec{S}_{PR}}{|\vec{S}_{PR}|}. \quad (6)$$

Izračunamo pozicijo sklepa SK4:

$$P_{SK4} = P_0 - (\vec{S}_{PR} + \vec{S}_{\check{C}L4}). \quad (7)$$

Iz položaja sklepa  $P_{SK4}$  izračunamo potreben zasak podnožja:

$$\varphi_{SKP} = \arctan \frac{x_{SK4}}{z_{SK4}}. \quad (8)$$

Izračunamo normirani vektor navpične ravnine, v kateri ležijo sklepi SK1, SK2, SKZ ter SK4 in je, glede na izhodiščno lego, zasakana za kot  $\varphi_{SKP}$  okoli osi y:

$$\vec{N}_{SK1-4} = [\cos(\pi - \varphi_{SKP}) \ 0 \ \sin(\pi - \varphi_{SKP})]. \quad (9)$$

Z vektorskim produktom določimo normirani vektor ravnine, v kateri ležita orodje in prijemalo:

$$\vec{S}_{0N} = \frac{\vec{S}_0}{|\vec{S}_0|}, \quad \vec{S}_{PRN} = \frac{\vec{S}_{PR}}{|\vec{S}_{PR}|},$$

$$\vec{N}_{0,PR} = \vec{S}_{0N} \times \vec{S}_{PRN}. \quad (10)$$

Smeri členov ČL2 in ČL3 izračunamo:

$$\vec{S}_{\check{C}L2,3N} = \vec{N}_{0,PR} \times \vec{N}_{SK1-4},$$

$$\vec{S}_{\check{C}L2} = l_{\check{C}L2} \cdot \vec{S}_{\check{C}L2,3N}, \quad (11)$$

$$\vec{S}_{\check{C}L3} = l_{\check{C}L3} \cdot \vec{S}_{\check{C}L2,3N}.$$

Normirani vektor nagnjene ravnine, na kateri ležijo členi ČL2, ČL3, ČL4 in prijemalo PR, izračunamo kot

$$\vec{N}_{\check{C}L2,3,4,PR} = \vec{S}_{\check{C}L2,3N} \times \vec{S}_{PRN}. \quad (12)$$

Rotacijo četrtega sklepa  $\varphi_{SK4}$  predstavlja kot med vektorjema  $\vec{S}_{\check{C}L2,3N}$  in  $\vec{S}_{PRN}$ .

Rotacijo sklepa zapestja  $\varphi_{SKZ}$  predstavlja kot med vektorjema  $\vec{N}_{\check{C}L2,3,4,PR}$  in  $\vec{N}_{SK1-4}$ .

Izračunamo pozicije sklepov:

$$P_{SK3} = P_{SK4} - \vec{S}_{\check{C}L3},$$

$$P_{SK2} = P_{SKZ} - \vec{S}_{\check{C}L2}, \quad (13)$$

$$P_{SK1} = [-r_{SK1} \cdot \sin \varphi_{SKP} \ h_{SK1} \ -r_{SK1} \cdot \cos \varphi_{SKP}].$$

Izračunamo vektorja, ki povezujeta sklepe SK1, SK2 in SKZ:

$$\vec{P}_{SK1,2} = P_{SK2} - P_{SK1}, \quad (14)$$

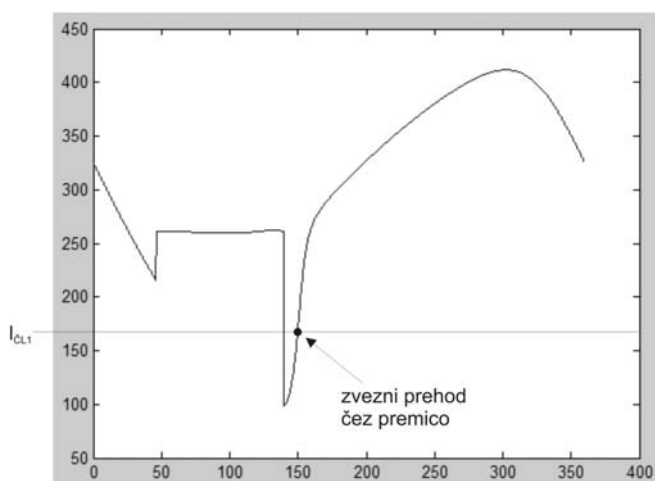
$$\vec{P}_{SK2,Z} = P_{SKZ} - P_{SK2}.$$

Kot  $\varphi_{SK1}$  je kot med osjo y in vektorjem  $\vec{P}_{SK1,2}$ . Kot  $\varphi_{SK2}$  je kot med vektorjema  $\vec{P}_{SK1,2}$  in  $\vec{P}_{SK2,Z}$ .

Izračunana dolžina člena ČL1, ki bi omogočila varjenje v izbrani smeri prijemala, je

$$l_{CL1}^* = |P_{SK1} - P_{SK2}|. \quad (16)$$

Na sliki 11 je primer grafa, ki prikazuje odvisnost izračunane dolžine člena  $l_{CL1}^*$  od različnih smeri prijemala, ki so pravokotne na smer varilne žice.



Slika 11: Odvisnost dolžine člena ČL1 od smeri prijemala

Izberemo tisto smer prijemala, pri kateri je izračunana dolžina člena  $l_{CL1}^*$  najbližja dejanski

dolžini člena  $l_{CL1}$ . Natančnejšo rešitev dobimo s pomočjo interpolacije.

## 8 Zaključek

Prikazani so bistveni koraki pri izvedbi realističnega simulatorja robotske roke Pioneer 3AT v okolju Matlab/Simulink. Za boljšo predstavo je simulatorju dodana 3D-vizualizacija, ki je izdelana s pomočjo orodja V-Realm Builder. Narejeni simulator omogoča lažje in hitrejše načrtovanje algoritmov upravljanja in testiranje.

Zaradi omejitev rotacij v sklepah robotske roke, je v veliki meri omejen nabor možnih orientacij prijemala robotske roke v območju delovnega prostora. Nove možnosti pa prinaša mobilni robot, na katerega lahko robotsko roko namestimo kot aktuator.

## 9 Literatura

- [1] Mobilrobots Inc, Pioneer Arm Manual ver. 7.1, 2007
- [2] Ligos Corporation, V-Realm Builder, User's Guide and Reference, 1997
- [3] Tadej Bajd, Fakulteta za elektrotehniko, Osnove robotike, 2006
- [4] Damir Omrčen, Vodenje redundantnega sistema robotskega manipuliranja in mobilnega robota, 2000
- [5] Henrik I Chistensen, Robot Kinematics, 2006
- [6] Adrian B. Biran, What Every Engineer Should Know About MATLAB and Simulink, 2011