



Magistrsko delo

HITROSTNA ANIZOTROPIJA DELOVNIH PROSTOROV INDUSTRIJSKIH ROBOTOV

oktober, 2008

Avtor: Denis KOVAČ, univ.dipl.inž.str.

Mentor: izr.prof.dr., Karl Gotlih

Somentor: red.prof.dr., Riko Šafarič



FAKULTETA ZA STROJNISTVO

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija
Tel.: 02 22 07 500
Fax: 02 22 07 990
e-mail: fs@uni-mb.si
http://www.fs.uni-mb.si

Maribor, dne 30. 6. 2008

Senat Fakultete za strojništvo je na svoji 11. redni seji dne 24. junija 2008 v skladu s statutom Univerze v Mariboru

s p r e j e l

temo za magistrsko nalogo

"HITROSTNA ANIZOTROPIJA DELOVNIH PROSTOROV INDUSTRIJSKIH ROBOTOV",

ki jo bo izdelal

Denis KOVAČ, univ. dipl. inž. str.

Mentor: **izr. prof. dr. Karl GOTLIH**

Rok za oddajo magistrske naloge v zadostnem številu vezanih izvodov je eno leto.

Dekan:
izr. prof. dr. Niko SAMEC



Način odpreme:

- prof. dr. Gotlih, po interni pošti
- Denis Kovač, priporočeno po pošti
- v arhiv



FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija
Tel.: 02 22 07 500
Fax: 02 22 07 990
e-mail: fs@uni-mb.si
<http://www.fs.uni-mb.si>

Maribor, 2. 10. 2008

Po sklepu 12. redne seje senata Fakultete za strojništvo z dne 30. septembra 2008 in v skladu s statutom Univerze v Mariboru

i m e n u j e m
KOMISIJO ZA OCENO MAGISTRSKE NALOGE

z naslovom:
**"HITROSTNA ANZIOTROPIJA DELOVNIH PROSTOROV
INDUSTRIJSKIH ROBOTOV",**

ki jo je predložil
Denis KOVAČ, univ. dipl. inž. str.

v sestavi:

- red. prof. dr. Karel JEZERNIK, predsednik
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor
- izr. prof. dr. Karl GOTLIH, mentor - član
- red. prof. dr. Riko ŠAFARIČ, član
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor

Komisija za oceno magistrske naloge je dolžna v roku 30 dni po prejemu dela pregledati magistrsko nalogo in podati pisno mnenje s predlogom za potrditev oziroma zavrnitev le - tega.

Dekan:

izr. prof. dr. Niko SAMEC



Način odpreme:

- prof. dr. Jezernik K., po interni pošti
- prof. dr. Gotlih, po interni pošti
- prof. dr. Šafarič, po interni pošti
- Denis Kovač, priporočeno po pošti
- odloga

I Z J A V A

Podpisani Denis Kovač izjavljam, da:

- je bilo predloženo magistrsko delo opravljeno samostojno pod mentorstvom izr. prof. dr. Karla GOTLIHa in somentorstvom red. prof. dr. Rika ŠAFARIČa;
- predloženo delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe na drugi fakulteti ali univerzi;
- soglašam z javno dostopnostjo dela Knjižnici tehniških fakultet Univerze v Mariboru.

Maribor, _____

Podpis: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Karl GOTLIHu in somentorju red. prof. dr. Riko ŠAFARIČu za pomoč in vodenje pri opravljanju podiplomskega dela. Zahvaljujem se tudi podjetju Varstroj iz Lendave.

Posebna zahvala velja staršem, ki so mi omogočili študij.

HITROSTNA ANIZOTROPIJA DELOVNIH PROSTOROV INDUSTRIJSKIH ROBOTOV

Ključne besede: industrijski robot, uporabno delovno področje, delovni prostor, manipulativnost, manipulabilnost, kinematični indeks, indeks gibljivosti.

UDK: 681.51:007.57

POVZETEK

Na praktičnih primerih so se izkazale razne pomanjkljivosti ob projektiranju in koncipiranju robotskih sistemov. Proizvajalci robotov podajajo le tlorisno in narisno sliko delovnega področja industrijskega robota. Iz teh podatkov ni možno razbrati, kaj se dogaja znotraj tega področja. Iz tega razloga sem pristopil k problemu, da bom analitično in grafično raziskal in predstavil to področje. Podane bodo analitične osnove za določanje uporabnega delovnega področja industrijskega robota in hitrostne anizotropije znotraj tega področja. Na osnovi analitičnih podlag bo izdelana grafična podpora za prikazovanje uporabnega delovnega področja industrijskega robota in hitrostne anizotropije. Na koncu bo v grafični obliki predstavljena hitrostna anizotropija nekaterih industrijskih robotov.

Z določanjem hitrostne anizotropije industrijskega robota se bo olajšalo delo projektanta v fazi koncipiranja robotskega sistema, saj bo imel na razpolago mnogo bolj realno sliko glede uporabnega delovnega področja in gibljivosti robota. S tem se bodo minimizirale morebitne napake pri koncipiranju robotskih sistemov, ki so se pojavile ob nepravilni razporeditvi komponent znotraj sistema oz. napačni postavitvi varjenca v odnosu z industrijskim robotom.

WORKING SPACE VELOCITY ANIZOTROPY OF INDUSTRIAL ROBOTS

Key words: industrial robot , applicable work space, working space, manipulativity, manipulability, kinematic index, movability index.

UDK: 681.51:007.57

ABSTRACT

Many faults can be found by practical examples when projecting and making concepts of robotic systems. Producers of robots usually present only ground or sketch plan of industrial robot working space. Only by using these plans and sketches, it is not possible to comprehend activities inside of the working space. This was the motive to approach to this problem and to graphically and analytically present solutions. Analytical basics for determining working space of industrial robots and velocity anizotropy inside this space, is presented. Also, based on analytical basis, graphical support for showing working space of industrial robot and velocity anizotropy is presented. In closure, some samples of industrial robots velocity anizotropy will be presented.

Determination of velocity anizotropy will enable much easier work for projecting personnel in phase of robotic system concepting, as much more realistic illustration of working space and robotic movement will be possible. This solution will enable many mistakes, caused by irregular component or welded piece position, to be abolished when concepting robotic systems.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	UPORABNOST INDUSTRIJSKIH ROBOTOV	1
1.2	OPREDELITEV DEL	2
1.3	STRUKTURA PODIPLOMSKEGA DELA	2
2	OPIS KINEMATIKE TELES.....	3
2.1	POZICIJA IN PREMİK TOČKE.....	3
2.2	LEGA IN PREMİK TELESA.....	5
2.3	OPERACIJE V VEKTORSKEM PROSTORU	7
2.4	ZAPOREDJA TRANSLACIJ IN ROTACIJ.....	11
2.5	POZICIJA IN ORIENTACIJA TELESA	11
2.6	TRANSLACIJSKI IN KOTNI POSPEŠEK TELESA	14
2.7	HOMOGENA TRANSFORMACIJA	14
3	RAZČLENITEV MEHANIZMA	15
3.1	SKLEPI IN STOPNJA PROSTOSTI MEHANIZMA	15
3.2	PARAMETRI IN SPREMENLJIVKE KINEMATIČNEGA PARA.....	18
4	KINEMATIČNE ENAČBE MEHANIZMOV	21
4.1	KINEMATIČNE ENAČBE	21
4.2	DIREKTNA KINEMATIKA	24
4.3	INVERZNA KINEMATIKA.....	26
5	OPREDELITEV DOSEGLJIVOSTI MEHANIZMOV.....	28
5.1	DELOVNI PROSTOR	28
5.1.1	<i>Dosegljivi delovni prostor</i>	<i>28</i>
5.1.2	<i>Določanje dosegljivega delovnega področja z računanjem direktne kinematike.....</i>	<i>29</i>
5.1.3	<i>Določanje dosegljivega delovnega področja z računanjem inverzne kinematike.....</i>	<i>30</i>
5.1.4	<i>Priročni delovni prostor</i>	<i>31</i>

5.1.5	<i>Izbira mehanizma glede na delovni prostor</i>	31
5.2	KINEMATIČNA PRILAGODLJIVOST IN KINEMATIČNA SINGULARNOST.....	32
5.3	MANIPULABILNOST IN KINEMATIČNI INDEKS	35
6	DOLOČITEV ALGORITMA ZA OPIS DELOVNEGA PROSTORA MEHANIZMA.....	37
6.1	DELOVNI PROSTOR INDUSTRIJSKEGA ROBOTA	37
6.2	ZAPIS ALGORITMA ZA DELOVNI PROSTOR INDUSTRIJSKEGA ROBOTA	40
7	DEFINICIJA HITROSTNE ANIZOTROPIJE ZA DELOVNI PROSTOR INDUSTRIJSKEGA ROBOTA	47
7.1	INDEKS GIBLJIVOSTI	47
7.2	DOLOČITEV INDEKSA GIBLJIVOSTI ZA INDUSTRIJSKI ROBOT.....	50
7.3	ANALITIČNO DOLOČANJE HITROSTNE ANIZOTROPIJE	52
8	GRAFIČNA PREDSTAVITEV HITROSTNE ANIZOTROPIJE	55
8.1	POTEK GRAFIČNE PREDSTAVITVE	55
8.2	PRIMER GRAFIČNEGA PRIKAZA HITROSTNE ANIZOTROPIJE.....	62
9	UPORABA GRAFIČNE ANALIZE HITROSTNE ANIZOTROPIJE	66
9.1	PRIKAZ HITROSTNE ANIZOTROPIJE AX GENERACIJE INDUSTRIJSKIH ROBOTOV	66
9.1.1	<i>Industrijski robot AX-H3</i>	67
9.1.2	<i>Industrijski robot AX-S3</i>	70
9.1.3	<i>Industrijski robot AX-V4</i>	73
9.1.4	<i>Industrijski robot AX-V4L</i>	76
9.1.5	<i>Industrijski robot AX-V6</i>	79
9.1.6	<i>Industrijski robot AX-V6L</i>	82
9.1.7	<i>Industrijski robot AX-V16</i>	85
10	DISKUSIJA.....	88
11	SKLEP.....	90
	SEZNAM UPORABLJENIH VIROV	91

UPORABLJENI SIMBOLI

\vec{p}	-	vektor pozicije
\vec{v}	-	vektor hitrosti
\vec{a}	-	vektor pospeška
\vec{e}	-	vektor rotacijske osi
$\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j$	-	bazni vektorji
$\mathbf{A}_{i,j}$	-	rotacijske matrika
ψ, θ, ϕ	-	Eulerjevi orientacijski koti
$\mathbf{H}_{0,i}$	-	homogena transformacijska matrika
F	-	število prostostnih stopenj
d_i	-	koordinata translacije
θ_i	-	koordinata rotacije
b_i	-	dolžina segmenta
α_i	-	kot nagiba med osema
$\vec{b}_{i-1,i}$	-	segmentni vektor
\vec{e}_i	-	sklepni vektor
$\vec{r}_{i,j}$	-	vektor pozicije
$\mathbf{r}_{0,i}^{(0)}$	-	pozicija sklepa
$\boldsymbol{\omega}_{0,i}^{(0)}$	-	kotna hitrost segmenta
$\mathbf{v}_{0,i}^{(0)}$	-	translacijska hitrost segmenta
$\mathbf{u}_{0,i}^{(0)}$	-	kotni pospešek segmenta
$\mathbf{a}_{0,i}^{(0)}$	-	translacijska pospešek segmenta
\mathbf{q}	-	vektor notranjih koordinat
\mathbf{p}	-	vektor zunanjih koordinat
\mathbf{J}	-	Jacobijeva matrika
\mathbf{H}	-	Hessova matrika
f_r	-	relativna kinematična prilagodljivost

- M - manipulabilnost mehanizma
- P - točka v koordinatnem sistemu
- σ_i - singularne vrednosti segmenta
- K - kinematični indeks
- φ_i - zasuk segmenta
- l_i - razdalja med segmenti
- w - stopnja manipulabilnosti
- U - monotona manipulabilnost mehanizma

UPORABLJENE KRATICE

T	-	transformacijski sklep
R	-	rotacijski sklep
RRR	-	mehanizem s tremi rotacijskimi sklepi (3R)
OTC	-	Osaka Transformer Corporation
TCP	-	Tool Center Point
CAD	-	Computer Aided Design
AX	-	generacija industrijskih robotov
MIG	-	Metal Inert Gas
MAG	-	Metal Active Gas
TIG	-	Tungsten Inert Gas