

Lukáš Vacho – Martin Olejár – Juraj Baláži

Roboty a manipulátory

Nitra 2023

Názov publikácie: Roboty a manipulátory

Autori: Ing. Lukáš Vacho, PhD. (8,71 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Technická fakulta
Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky

doc. Ing. Martin Olejár, PhD. (1,78 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Technická fakulta
Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky

Ing. Juraj Baláži, PhD. (0,34 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Technická fakulta
Ústav konštruovania a strojárskych technológií

Recenzenti: Ing. Dušan Marko, PhD.
Muehlbauer Automation s. r. o., Nitra

Ing. Juraj Bielesch
B + R automatizace, spol. s r. o., Nové Mesto nad Váhom

prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD.
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Technická fakulta
Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky

Publikácia bola vydaná s finančným príspevkom projektu **KEGA-006SPU-4/2021** Implementácia technológií Priemyslu 4.0 do výučby inžinierskeho študijného programu "Riadiace systémy vo výrobnjej technike".

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 23. 2. 2023 ako vysokoškolskú učebnicu pre študentov SPU v Nitre.

ISBN 978-80-552-2588-3

OBSAH

Zoznam skratiek a značiek	7
ÚVOD	11
1 Základné informácie o robotoch a manipulátoroch	12
1.1 Robotika a pojmy	13
1.2 Pojem robot	14
1.3 Priemyselné roboty a manipulátory	16
1.4 Všeobecné rozdelenie robotov a manipulátorov	18
1.5 Rozdelenie robotov a manipulátorov podľa technických a prevádzkových charakteristík ...	19
1.5.1 Rozdelenie podľa počtu stupňov voľnosti	19
1.5.2 Rozdelenie podľa kinematickej štruktúry	19
1.5.3 Rozdelenie podľa geometrie pracovného priestoru	20
1.5.4 Rozdelenie podľa nosnosti a presnosti polohovania	20
1.5.5 Rozdelenie podľa typu pohonu	21
1.5.6 Rozdelenie podľa konštrukčného vyhotovenia	21
2 Robotické manipulátory, kinematické dvojice, reťazce a štruktúry	22
2.1 Priemyselný robot a základné časti	22
2.2 Priemyselný robot a stupeň voľnosti	23
2.3 Priemyselný robot a základné kinematické dvojice	24
2.3.1 Rotačná kinematická dvojica	24
2.3.2 Translačná kinematická dvojica	25
2.3.3 Cylindrická – valcová kinematická dvojica	25
2.3.4 Skrutková kinematická dvojica	25
2.3.5 Sférická kinematická dvojica	26
2.3.6 Planárna – rovinná kinematická dvojica	26
2.3.7 Kinematický reťazec	27
2.4 Priemyselný robot a základné kinematické štruktúry	29
2.4.1 Karteziánska kinematická štruktúra	30
2.4.2 Cylindrická kinematická štruktúra	30
2.4.3 Sférická – polárna kinematická štruktúra	31
2.4.4 Kĺbová – angulárna kinematická štruktúra	31
3 Kinematika mechanizmov priemyselných robotov a manipulátorov	32
3.1 Súradnicový systém a poloha bodu	32
3.2 Transformácie v rovine a v priestore	33
3.2.1 Transformácia v rovine	33

3.2.2	Transformácia v priestore.....	34
3.3	Eulerove uhly	37
3.4	Priama kinematická úloha	38
3.5	Inverzná kinematická úloha.....	40
3.6	Denavitove-Hartenbergerove parametre.....	42
3.7	Kinematický opis štruktúry SCARA R R T R.....	44
3.8	Kinematický opis štruktúry 6R.....	47
4	Statika a dynamika v mechanizmoch.....	51
4.1	Statika v mechanizmoch.....	51
4.2	Dynamika v mechanizmoch	52
5	Charakteristické parametre priemyselných robotov a manipulátorov	54
5.1	Manipulačný priestor.....	54
5.2	Presnosť polohovania, opakovateľnosť.....	54
5.3	Rýchlosť pohybu	57
5.4	Statické a dynamické charakteristiky	57
5.5	Nosnosť	59
6	Mobilné roboty, delenie mobilných robotov, typy kolesových podvozkov	60
6.1	Mobilné roboty a mobilná robotika.....	60
6.2	Podvozky využívané v mobilnej robotike	61
6.2.1	Mobilné roboty s kolesovým podvozkom	63
6.2.2	Typy kolesových podvozkov.....	65
6.3	Všeobecný matematický model mobilného robota s kolesovým podvozkom v globálnom súradnicovom systéme	68
6.3.1	Diferenciálny podvozok	69
6.3.2	Bicyklový podvozok.....	71
6.3.3	Trojkoľesový podvozok s predným náhonom	73
6.3.4	Trojkoľesový podvozok so zadným náhonom	73
6.3.5	Ackermanov podvozok.....	74
7	Pohony využívané v robotických systémoch.....	77
7.1	Pneumatické pohony	79
7.2	Hydraulické pohony	82
7.3	Elektrické pohony.....	85
7.3.1	Jednosmerné motory.....	85
7.3.2	Synchrónne motory	88
7.3.3	Asynchrónne motory	89
7.3.4	Krokové motory	92

8	Prevody využívané v robotických systémoch	95
8.1	Ozubené prevody.....	95
8.2	Harmonické prevody	97
8.3	Cykloidné prevody	98
8.4	Guľôčková skrutka	99
9	Vybrané snímače používané v robotike	101
9.1	Snímače koncových polôh – kontaktné	101
9.2	Snímače koncových polôh – bezkontaktné	102
9.3	Snímače natočenia a uhlovej rýchlosti – analógové.....	102
9.3.1	Potenciometrické snímače	102
9.3.2	Tachoalternátor a tachodynamo	103
9.4	Snímače natočenia a uhlovej rýchlosti – číslicové	103
9.5	Snímače zrýchlenia, sklonu a natočenia voči magnetickému poľu Zeme	105
9.6	Snímače sily a momentu.....	106
9.7	Snímače vzdialenosti	107
9.8	Proximitné snímače	110
10	Vybrané pracovné hlavice využívané v robotike.....	112
10.1	Úchopové hlavice mechanické	115
10.2	Úchopové hlavice magnetické.....	117
10.3	Úchopové hlavice podtlakové	119
10.4	Úchopové hlavice pretlakové	120
10.5	Technologické hlavice.....	121
10.6	Kombinované hlavice.....	122
10.7	Periférne pomocné zariadenia	122
11	Programovanie priemyselných robotov a spôsoby programovania	124
11.1	Online programovanie	124
11.2	Offline programovanie	126
11.3	Hlavné typy pohybov a aproximácie pohybov	127
12	Bezpečnosť robotizovaného pracoviska.....	130
12.1	Harmonizované normy	130
12.2	Analýza rizík v strojných konštrukciách	132
12.3	Analýza funkčnej bezpečnosti.....	133
12.4	Bezpečnostné prvky robotizovaného pracoviska	135
12.4.1	Pevné mechanické zábrany.....	136
12.4.2	Bezpečnostný dverný zámok.....	136

12.4.3	Svetelná závora.....	136
12.4.4	Laserový skener.....	137
12.4.5	Nášľapné rohože.....	137
12.4.6	Bezpečnostné zastavenie	137
12.4.7	Iné bezpečnostné prvky	138
12.5	Kolaboratívna robotika a bezpečnosť	138
13	Aplikácie robotiky.....	141
13.1	Manipulačné operácie.....	141
13.2	Technologické operácie.....	143
13.2.1	Bodové zváranie	143
13.2.2	Oblúkové zváranie.....	143
13.2.3	Lakovanie, nanášanie farieb	144
13.2.4	Operácie dávkovania lepidla a tmelu	145
13.2.5	Operácie montáže	146
13.2.6	Kontrolné a meracie operácie	146
13.3	Aplikácie robotiky v medicínskom prostredí	147
13.4	Aplikácie robotiky vo verejnom sektore	147
13.5	Aplikácie robotiky v poľnohospodárstve a lesníctve	149
13.6	Aplikácie robotiky vodná hladina – pod vodnou hladinou – vzdušný priestor	150
13.7	Aplikácie robotiky v iných oblastiach.....	151
	LITERATÚRA	152

ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK

a	- zrýchlenie pre unášavý pohyb	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
A_n	- hodnota meranej veličiny	
A_S	- skutočná hodnota	
a_x, a_y, a_z	- zrýchlenie telesa v jednotlivých zložkách	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
d	- rázvor kolies,	m
D	- priemer piestu priamočiareho pohonu	m
d	- svetlosť, priemer spájacích vedení	m
D_1, D_2	- priemer rozstupovej kružnice ozubeného kolesa 1, 2	-
d_m	- vzdialenosť medzi snímačom a meraným objektom	m
E_{kp}	- kinetická energia skúmaného bodu P	J
f_I	- frekvencia napájacieho napätia	Hz
F_a	- sila zrýchlenia	N
F_c	- celková sila	N
F_c	- celková sila guľôčkovej skrutky	N
F_e	- zaťažujúca sila	N
F_{em}	- sila vyvolaná elektromagnetom	N
F_f	- trecia sila	N
F_{gr}	- prítlačná sila	N
F_{grM}	- potrebná sila pre uchopenie magnetickým uchopovačom	N
F_{grP}	- potrebná sila pre uchopenie podtlakového uchopovača	N
f_i	- počet obmedzení odobratých kĺbom	
F_{KPR}	- sila na konci ramena	N
$\mathbf{F}_n$	- vektor síl a momentov v jednotlivých zložkách	$\text{N}, \text{N}\cdot\text{m}$
F_p	- Silu vyvolanú piestom	N
F_R	- trecia sila	N
F_{SR}	- sila na konci ramena	N
F_V	- výsledná sila	N
F_Z	- zotrvačná sila	N
G	- tiažová sila	N
I	- prúd pretekajúci cievkou	A
i	- je prevodový pomer	-
i_{gp}	- prevodový pomer harmonického prevodu	-
J	- hmotný moment zotrvačnosti	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
j_i	- počet stupňov voľnosti odobratých i-tým kĺbom	
k_{MS}	- celková tuhosť mechanickej sústavy	-
k_P	- koeficient zohľadňujúci možnú zmenu atmosférického tlaku	-
k_p	- tuhosť mechanickej sústavy v posunutí	-
l	- aktívna dĺžka vodiča	m
L	- rozchod kolies	m
L	- stúpanie závitů	m

m	- hmotnosť uchopovaného objektu	kg
M	- krútiaci moment výstupného hriadeľa	N·m
m	- modul ozubení	-
M_{DOF}	- počet stupňov voľnosti mechanizmu	-
M_k	- moment guľôčkovej skrutky	Nm
M_{KPR}	- moment na konci ramena	N·m
N	- počet fáz	-
n	- počet ramien mechanizmu vrátane rámu	-
n	- otáčky	s ⁻¹
n_1, n_2	- otáčky na hnacom, resp. hnanom hriadeľi	min ⁻¹
n_{EM}	- počet použitých elektromagnetov	-
n_{gr}	- počet čelústí	-
N_L	- počet závitov cievky	-
n_s	- otáčky magnetického póla trojfázového statorovým vinutia	min ⁻¹
N_{smT}	- počet pólov rotora	-
P	- mechanický výkon	W
p	- počet pólových dvojíc	-
p	- tlakový spád hydromotora	Pa
p_a	- atmosférický tlak	Pa
p_M	- stredná dĺžka indukčnej čiary	m
P_N	- pracovný tlak pneumatického obvodu	Pa
p_v	- tlak vakuu	Pa
Q	- objemový prietok	m ³ ·s ⁻¹
R	- polomer otáčania zadného kolesa	m
R	- polomer otáčania	m
$\mathbf{r}_a^M$	- polohový vektor bodu M v súradnicovom systéme a	m
$\mathbf{R}_{ba}$	- rotačná matica natočenia systému b voči systému a	°
R_S	- polomer otáčania predného kolesa	m
s	- sklzové otáčky	min ⁻¹
S	- plocha piestu	m ²
S_e	- efektívna plocha pod prísavkou	m ²
t	- čas	s
T	- perióda	s
$\mathbf{T}$	- transformačná matica	m
U_{in}	- vstupné napätie snímača (napájacie napätie)	V
U_{out}	- výstupné napätie potenciometrického snímača	V
v	- rýchlosť vlnenia	m·s ⁻¹
v	- rýchlosť pohybu piesta	m·s ⁻¹
$V_L(t)$	- obvodová rýchlosť ľavého kolesa mobilného robota	m·s ⁻¹
v_{MAX}	- maximálna požadovaná rýchlosť piestu	m·s ⁻¹
V_{o2}	- geometrický objem hydromotora	m ³
$V_P(t)$	- obvodová rýchlosť ľavého kolesa mobilného robota	m·s ⁻¹

$V_{SP}(t)$	- obvodová rýchlosť predného (riadiaceho) kola	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
$V_{SZ}(k)$	- aktuálna vzorka obvodovej rýchlosti zadných kolies	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
$V_{TP}(t)$	- tangenciálna rýchlosť	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
$V_x(t), V_y(t)$	- zložky tangenciálnej rýchlosti	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
v_x, v_y, v_z	- rýchlosť telesa v jednotlivých zložkách	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
w	- počet klbov mechanizmu	m
W	- práca vykonaná pohybom telesa	J
$x(k)$	- aktuálna hodnota dĺžkovej súradnice x pri vzorkovaní	m
$x(k-1)$	- predchádzajúca hodnota dĺžkovej súradnice x pri vzorkovaní	m
x_a, y_a, z_a	- súradnice bodu súradnicového systému a	m
$\mathbf{X}_E$	- vektor súradníc bodu E	m
x_L, y_L	- súradnice bodu v karteziánskom súradnicovom systéme	m
$y(k)$	- aktuálna hodnota dĺžkovej súradnice y pri vzorkovaní	m
$y(k-1)$	- predchádzajúca hodnota dĺžkovej súradnice y pri vzorkovaní	m
Y_{kPR}	- deformácia na konci ramena	N
z_1, z_2	- počet zubov ozubeného kola 1, 2	-
z_{kc}	- počet zubov (valčekov) korunového kola	-
z_p	- počet zubov pružného ozubeného prstenca	-
z_{sc}	- počet zubov satelitov s cykloidným ozubením	-
z_t	- počet zubov tuhého ozubeného kola	-
μ	- permeabilita prostredia ($\mu_0 + \mu_r$)	$\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$
μ_F	- koeficient trenia	-
α_i	- uhol natočenia vnútorného predného kola	rad
α_o	- uhol natočenia vonkajšieho predného kola	rad
$\alpha_S(t)$	- uhol natočenia zadného kola	$^\circ$
ε	- uhlové zrýchlenie relatívneho sférického pohybu	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$
ϑ	- uhol natočenia snímača	$^\circ$
$\Theta(k)$	- aktuálna hodnota uhla natočenia mobilného robota pri vzorkovaní	m
$\Theta(k-1)$	- predchádzajúca hodnota uhla natočenia mobilného robota pri vzorkovaní	m
$\Theta(t)$	- uhol natočenia mobilného robota	$^\circ$
Θ_{SA}	- uhol kroku	$^\circ$
$\boldsymbol{\tau}$	- vektor krútiacich momentov	$\text{N} \cdot \text{m}$
$\varphi_\alpha, \varphi_\beta, \varphi_\gamma$	- natočenie okolo osí v súradnicovom systéme	$^\circ$
ω	- uhlová rýchlosť sférického pohybu	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
$\omega_P(t)$	- uhlová rýchlosť bodu P	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
η	- účinnosť	-
σ	- smerodajná odchýlka	-
φ_{KPR}	- uhol natočenia daný deformáciou	rad
χ	- počet stupňov voľnosti tuhého telesa v okolitom priestore	-
κ	- koeficient bezpečnosti	-

ÚVOD

Oblasť robotiky je možné stále zaradiť medzi komplexné a neustále sa rozvíjajúce vedecké disciplíny, kde sa aplikujú poznatky všeobecne z rôznych odborov ako: strojárstvo, elektrotechnika, informatika a iné. S vývojom a pokrokom jednotlivých spomínaných oblastí sa uplatňujú poznatky aj pri skúmaní a vývoji nových aplikácií v robotike. V súčasnosti je možné vnímať aplikáciu a využívanie robotických zariadení v rôznych sférach, od výrobných procesov až po oblasť komerčného využitia, napr. v domácnosti. Súčasné technológie umožňujú vykonávanie pracovných činností v súčinnosti človeka s robotom, čo sa ukazuje ako vhodná alternatíva riešenia niektorých úloh v technologických procesoch. Cieľom aplikácie robotických zariadení teda nie je náhrada človeka, ale poskytnutie možností, efektívneho a spoľahlivého riešenia rôznych úloh, kedy je človek využívaním týchto zariadení odbremený od náročnej práce.

Cieľom učebnice Roboty a manipulátory je poskytnutie základných informácií študentom z pomerne rozsiahlej problematiky. V jednotlivých kapitolách čitateľ nájde základné informácie z preberanej problematiky, ktoré majú slúžiť ako úvod do ďalšieho štúdia jednotlivých oblastí komplexného odboru robotiky.

Učebnica je rozdelená do niekoľkých hlavných kapitol, v ktorých sú preberané úvodné informácie, mechanika priemyselných robotov a manipulátorov, charakteristické vlastnosti priemyselných robotov a manipulátorov. Ďalej sú preberané mobilné roboty a ich vybrané aplikácie. V ďalších kapitolách sú preberané pohony, prevody, snímače používané v robotike, ďalej sú popísané vybrané pracovné hlavice. V ďalších kapitolách sú preberané spôsoby programovania priemyselných robotov a bezpečnostné aspekty v robotike. Posledná kapitola je venovaná aplikáciám robotiky v rôznych oblastiach.

Roboty a manipulátory
Lukáš Vacho – Martin Olejár – Juraj Baláži

Vydala: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Počet strán: 156

Vydanie : prvé

Náklad: 120 ks

Rok vydania: 2023

Jazyková korektúra: Hana Šmehilová

AH-VH: 10,83-11,08

Neprešlo grafickou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

ISBN 978-80-552-2588-3