2/2012

atp journal plus

Robtep 2012

reviewed slovak professional magazine for scientific and engineering issues

Robtep 2012

recenzované periodikum vedeckých a inžinierskych publikácií

ISSN 1336-5010

Robtep 2012

Garanti konferencie

Dr.h.c. prof. Ing. Anton ČIŽMÁR, CSc.
Dr.h.c. mult. prof. Ing. František TREBUŇA, CSc.
prof. Ing. Mikuláš HAJDUK, PhD.
prof. Ing. Juraj SMRČEK, PhD.
prof. Ing. Vladimír ČOP, DrSc.
Ing. Jaromír JEZNÝ, PhD.
Ing. Ladislav VARGOVČÍK, PhD.
Ing. Peter JENČÍK

Guarantee of conference

Dr.h.c. prof. Ing. Anton ČIŽMÁR, CSc.
Dr.h.c. mult. prof. Ing. František TREBUŇA, CSc.
prof. Ing. Mikuláš HAJDUK, PhD.
prof. Ing. Juraj SMRČEK, PhD.
prof. Ing. Vladimír ČOP, DrSc.
Ing. Jaromír JEZNÝ, PhD.
Ing. Ladislav VARGOVČÍK, PhD.
Ing. Peter JENČÍK

Vydavateľ

HMH s.r.o.
Tavarikova osada 39
841 02 Bratislava 42
IČO: 31356273

Publisher

Spoluzakladateľ

Katedra ASR, EF STU
Katedra automatizácie a regulácie, EF STU
Katedra automatizácie, ChtF STU
PPA CONTROLL, a.s.

Co-founder

IEEE
Czechoslovakia Section
www.ieee.cz

Redakčná rada

Draft committee

prof. Ing. Alexík Mikuláš, PhD., FRI ŽU, Žilina
doc. Ing. Dvoran Ján, CSc., FCHPT STU, Bratislava
prof. Ing. Fikar Miroslav, DrSC., FCHPT STU, Bratislava
doc. Ing. Hantuch Igor, PhD., KAR FEI STU, Bratislava
doc. Ing. Hrádocký Ladislav, PhD., SjF TU, Košice
prof. Ing. Hulkó Gabriel, DrSc., SjF STU, Bratislava
prof. Ing. Jurišica Ladislav, PhD., FEI STU, Bratislava
doc. Ing. Kachaňák Anton, CSc., SjF STU, Bratislava
prof. Ing. Krokavec Dušan, CSc., KKUI FEI TU Košice
prof. Ing. Madarász Ladislav, Phd., FEI TU, Košice
prof. Ing. Malindžák Dušan, CSc., BERG TU, Košice
prof. Ing. Mészáros Alojz, CSc., FCHPT STU, Bratislava
prof. Ing. Mikleš Ján, DrSc., FCHPT STU, Bratislava
prof. Dr. Ing. Moravčík Oliver, MtF STU, Trnava
prof. Ing. Murgaš Ján, PhD., FEI STU, Bratislava
prof.. Ing. Rástočný Karol, PhD., KRIS ŽU, Žilina
prof. Ing. Schreiber Peter, CSc., MtF STU, Trnava
prof. Ing. Skyva Ladislav, DrSc., FRI ŽU, Žilina
prof. Ing. Smieško Viktor, PhD., FEI STU, Bratislava
doc. Ing. Šturcel Ján, PhD., FEI STU, Bratislava
prof. Ing. Taufer Ivan, DrSc., Univerzita Pardubice
prof. Ing. Veselý Vojtech, DrSc., FEI STU, Bratislava
prof. Ing. Žalman Milan, PhD., FEI STU, Bratislava

Ing. Bartošovič Štefan,
generálny riaditeľ ProCS, s.r.o.
Ing. Boďo Vladimír, CSc.,
riaditeľ AXESS, spol. s r.o.
Ing. Csölle Attila,
riaditeľ Emerson Process Management, s.r.o.
Ing. Horváth Tomáš,
riaditeľ HMH, s.r.o.
Ing. Hrica Marián,
riaditeľ divízie A & D, Siemens, s.r.o.
Jiří Kroupa,
riaditeľ kancelárie pre SK, DEHN + SÖHNE
Ing. Murančan Ladislav,
PPA Controll a.s., Bratislava
Ing. Petergáč Štefan,
predseda predstavenstva Datalan, a.s.
Ing. Pilňan Branislav,
sales leader HPS, HONEYWELL s.r.o.
Marcel van der Hoek,
generálny riaditeľ ABB, s.r.o.

Redakcia

Editors office

ATP Journal
Košická 37
821 09 Bratislava 2
tel.: 02/5026 1752 – 5
fax: 02/5026 1757
e-mail: vydavatelstvo@hmh.sk
www.atpjournal.sk

Ing. Anton Gérer
šéfredaktor – editor in chief
gerer@hmh.sk

Ing. Martin Karbovanec
vedúci vydavateľstva – editorial office manager
karbovanec@hmh.sk

Ing. Branislav Bložon
odborný redaktor – editor
blozon@hmh.sk

Peter Kanda
DTP grafik – DTP graphic designer
dtp@hmh.sk

Dagmar Votavová
asistentka redakcie – editorial assistant
atp_podklady@hmh.sk

Mgr. Bronislava Chocholová
jazyková redaktorka – text corrector

Datum vydania: január 2013

Autorské práva HMH, s.r.o., Všetky práva vyhradené
Copyright HMH, Ltd., 2011, All Rights Reserved

ISSN 1336-5010
ATP Journal *PLUS* 2/2012

Obsah

Robtep 2012

Mechanizmy presných polohovacích zariadení – návrhová štúdia 6
Štefan Havlík, Jaroslav Hricko

Hybridný podvozok robota 14
Jaromír Jezný, Ladislav Vargovčík

Využitie prostriedkov počítačovej simulácie pri navrhovaní automatizovaných montážnych pracovísk 17
Darina Kumičáková

The Telescopic Monitoring Shoulder 20
Ladislav Kárník

Automation Analyse and Indication Surface in Machining using Robot 24
Tadeusz Mikolajczyk

Mobile Robot for Knowledge Presentation 28
Tadeusz Mikolajczyk, Janusz Musiał, Lukasz Kamieniecki, Michał Murawski, Lukasz Romanowski

MSEVR – On-line systém pre experimentovanie vo virtuálnej realite 32
Andrej Belovežčík, Tatiana Belovežčíková

Využitie vývojového grafického prostredia LabView pre efektívny návrh algoritmov senzorického subsystému malej bezpilotnej helikoptéry 38
Viliam Fedák, Ján Bačík

Využitie štruktúr informačných systémov pre pružné výrobné bunky 42
Vladimír Baláž, Marek Vagaš, Ján Semjon

The examination of the permanent magnet impact on the gripping element of the end effector 45
Lenka Baločková

Vplyv údržby a diagnostiky na ekonomiku podniku 49
Rastislav Hudák

Modernizácia výrobných strojov a zariadení 52
Juraj Kováč

SafeSME – European safety platform for SMEs 54
Lucia Páchniková, Mikuláš Hajduk

Using Excel to Solve Discrete Models for Machine Renewal in Education Process 57
Alena Pešková

Postup výberu reduktorov TwinSpin pre robotické ramena 60
Ján Semjon, Marek Vagaš, Vladimír Baláž

Analysis of hidden reasons of failures 64
Tomáš Stejskal

Aplikácia robotického futbalu: 1. Použité softvérové a hardvérové moduly 66
Marek Sukop, Mikuláš Hajduk, Jozef Varga

Aplikácia robotického futbalu: 2. Robot ako hráč 69
Marek Sukop, Jozef Varga, Rudolf Jánoš, Jozef Svetlík

Aplikácia robotického futbalu: 3. Spracovanie obrazu a detekcia robotov 72
Marek Sukop, Lucia Páchniková

Aplikácia robotického futbalu: 4. Modul stratégií 76
Marek Sukop

Zostavenie technického scenára montáže prepojovacej svorky pre istiace prvky 83
Marek Vagaš, Vladimír Baláž, Ján Semjon

Renovated of safe tool machine - System analysis machinery 86
Štefan Valenčík

Content

Robtep 2012

Mechanisms of accurate positioning devices – proposal study 6
Štefan Havlík, Jaroslav Hricko

Hybrid robot chassis 14
Jaromír Jezný, Ladislav Vargovčík

Utilization of computer simulation for automated assembly workplaces design 17
Darina Kumičáková

The Telescopic Monitoring Shoulder 20
Ladislav Kárník

Automation Analyse and Indication Surface in Machining using Robot 24
Tadeusz Mikolajczyk

Mobile Robot for Knowledge Presentation 28
Tadeusz Mikolajczyk, Janusz Musiał, Lukasz Kamieniecki, Michał Murawski, Lukasz Romanowski

MSEVR – On-line system for experimentation in virtual reality 32
Andrej Belovežčík, Tatiana Belovežčíková

Využitie vývojového grafického prostredia LabView pre efektívny návrh algoritmov senzorického subsystému malej bezpilotnej helikoptéry 38
Viliam Fedák, Ján Bačík

Utilization of information systems structures for flexible manufacturing cells 42
Vladimír Baláž, Marek Vagaš, Ján Semjon

The examination of the permanent magnet impact on the gripping element of the end effector 45
Lenka Baločková

Impact of the maintenance and diagnostics on the economy of plant 49
Rastislav Hudák

Modernization of production machines and devices 52
Juraj Kováč

SafeSME – European safety platform for SMEs 54
Lucia Páchniková, Mikuláš Hajduk

Using Excel to Solve Discrete Models for Machine Renewal in Education Process 57
Alena Pešková

Process of TwinSpin reducers selection for robotic arm 60
Ján Semjon, Marek Vagaš, Vladimír Baláž

Analysis of hidden reasons of failures 64
Tomáš Stejskal

Application of robotic soccer: 1. Used software and hardware modules 66
Marek Sukop, Mikuláš Hajduk, Jozef Varga

Application of robotic soccer: 2. Robot as a player 69
Marek Sukop, Jozef Varga, Rudolf Jánoš, Jozef Svetlík

Application of robotic soccer: 3. Image processing and detection of robots 72
Marek Sukop, Lucia Páchniková

Application of robotic soccer: 4. Module of strategies 76
Marek Sukop

Technical scenario determination for the assembly of connecting clamp for circuit breaker elements 83
Marek Vagaš, Vladimír Baláž, Ján Semjon

Renovated of safe tool machine - System analysis machinery 86
Štefan Valenčík

Mechanizmy presných polohovacích zariadení – návrhová štúdia

Štefan Havlík, Jaroslav Hricko

Abstrakt
Článok analyzuje problémy a pojednáva o niektorých riešeniach pružných mechanizmov pre použitie v presných polohovacích zariadeniach pracujúcich v rýchlych dynamických režimoch. Opisuje sa možná náhrada bežných kinematických dvojíc pružne poddajnými spojeniami, pričom sa navrhujú vhodné kinematické štruktúry priestorových mechanizmov. Návrh a riešenie vychádzajú z mechatronického prístupu, verifikujúceho správanie sa riešeného zariadenia prostredníctvom modelov. Prístup sa uplatňuje na príklade konkrétneho návrhu a pri riešení presného 3D mikro-polohovacieho mechanizmu s vyhodnotením funkčných charakteristík.

Kľúčové slová: poddajné mechanizmy, presné polohovanie, presnosť, pružné kĺby, mechatronický prístup, modelovanie a simulácia

Úvod

Manipulačné úlohy sú neoddeliteľnou súčasťou väčšiny technologických procesov. Z tohto dôvodu sa tejto problematike venuje dostatočná pozornosť nielen vo vedeckej ale aj praktickej (priemyselnej, aplikačnej) oblasti. Hlavnou úlohou manipulačných úloh je presun objektu z bodu A do bodu B, s predpísanými parametrami ako sú napríklad rýchlosť, presnosť, bezpečnosť, prípadne s predpísanou trajektóriou pohybu. Pre manipulačné úlohy s objektmi o rozmeroch niekoľko desatín milimetrov s transportom v rozsahu niekoľkých milimetrov, kde sú kladené vysoké požiadavky na presnosť (rádovo niekoľko mikro alebo nanometrov) je použitie bežných polohovacích systémov vytvorených z diskrétnych prvkov nevhodné a často nemožné (vôle medzi prvkami, väčšie rozmery a pod.). Inou rozsiahlou skupinou s prísnymi požiadavkami na rýchlosť a presnosť polohovania / trajektórie pohybu sú opto-elektro-mechanické zariadenia (OEMS, MOEMS). Jediným vhodným riešením mechanizmov pre dané zariadenia je použitie pružných kompaktných štruktúr [1,2].

V počiatočnom návrhu pružne poddajného mechanizmu sa zvyčajne využíva intuitívny prístup. Takáto pružná štruktúra je v princípe navrhnutá je na základe podobnosti s tuhými mechanizmami tvorenými z diskrétnych prvkov. Pre dosiahnutie žiadaných pohybov mechanizmu sú dva možné prístupy:

- Prístup s koncentrovanou poddajnosťou, kde v prípade (mikro) mechanizmu sú pôvodné kĺby nahradené pružnými spojeniami [1, 11]. Takéto riešenie kinematiky má podobné charakteristiky ako klasický mechanizmus.
- Prístup založený na distribuovanej poddajnosti, kde žiadaný pohyb mechanizmu sa dosiahne pružnou deformáciou celej štruktúry [1, 11].

1. Analýza problémov

Pri dôslednejšom analyzovaní požiadaviek na polohovacie zariadenia je potrebné posudzovať viaceré kritériá. Napr.:

- Kinematika a počet riadených stupňov voľnosti
- Tuhosť a poddajnosť v jednotlivých smeroch
- Presnosť / opakovateľnosť zaujatia polohy / trajektórie
- Dynamické vlastnosti
- Spôsob riadenia – riešenie spätnej väzby (snímače), vizualizácia pohybu koncového bodu (najmä pri pružne poddajných mechanizmoch)
- Akčné členy – typ a fyzikálny princíp je zvyčajne previazaný s požiadavkami na dynamické správanie

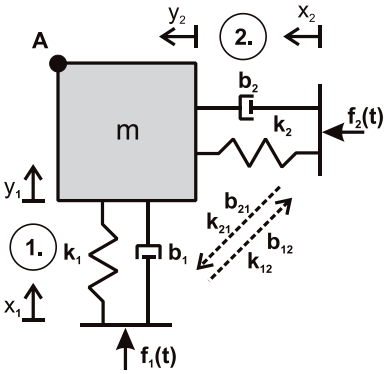
Riešenie kinematiky pri polohovacích mechanizmoch pracujúcich na princípoch pružných kompaktných mechanizmov má obmedzenia. Tie súvisia zo skutočnosťou, že riešenie úlohy inverznej kinematiky je problematické, nakoľko v procese riadenia nemožno priamo ovplyvňovať kĺbové premenné. Akčné členy sú obyčajne umiestnené len na vhodných miestach (zvyčajne jeden akčný člen pôsobí na jednu pohybovú os) a ich pôsobením sa mení natočenie jednotlivých kĺbov v príslušnej pohybovej osi.

V procese návrhu polohovacieho mechanizmu sa vyžaduje, aby poddajnosť kĺbu / koncového člena bola vždy len v smere pohybovej osi, pričom v ostatných smeroch má byť poddajnosť nulová, prípadne minimálna.

Riešenie presnosti a opakovateľnosti pohybu koncového bodu polohovacieho zariadenia je relatívne jednoduché. Pri konštrukcii sa často používajú pružné kĺby s kruhovým vrubom kvôli svojim relatívne vhodným lineárnym charakteristikám. Nedostatkom takejto náhrady rotačnej kinematickej dvojice takýmto pružným spojením je rotačný pohyb s čiastočnou translačnou deformáciou [7]. Vplyvom pôsobenia všeobecného zaťaženia v rovine sa deformuje a okrem natočenia pružného kĺbu v žiadanom smere (napr. okolo osi *z*) sa posúva v osiach *x* a *y*, čoho dôsledkom je posunutie aj stredu rotácie. S týmto problémom je potrebné v procese návrhu uvažovať napríklad aplikovaním vhodnej optimalizácie geometrických parametrov [11, 20].

Popri presnosti polohovania významným parametrom sú dynamické vlastnosti systému. Za predpokladu, že systém má pracovať v rýchlych dynamických režimoch kde sú kladené požiadavky na vysokú opakovateľnosť pohybov s predpísanou frekvenciou pohybu, je potrebné v procese návrhu zariadenia ako aj riadenia uvažovať zo závermi práce [11]. Medzi hlavné vplyvy na presnosť v dynamických režimoch možno zaradiť rozdielnosť koeficientov tlmenia medzi príslušnými pohybovými osami. Pri číselnom porovnaní je vplyv rôznych koeficientov tuhosti pohybových osí

1000x menší ako vplyv rozdielnych koeficientov tlmenia pre dve skúmané pohybové osi.



Obr.1 Schéma mechanického zariadenia s dvoma stupňami voľnosti

Fig.1 Scheme of the two-DoF mechanical system

Vykonajme stručnú analýzu chyby dvojosého polohovacieho zariadenia pracujúceho v rýchlych dynamických režimoch (obr. 1). Amplitúdovú chybu je možné vyjadriť ako rozdiel amplitúd medzi dvomi pohybovými osami

$$Amp_{err} = \sqrt{\mathrm{Re}_C^2 + \mathrm{Im}_C^2} \tag{1}$$

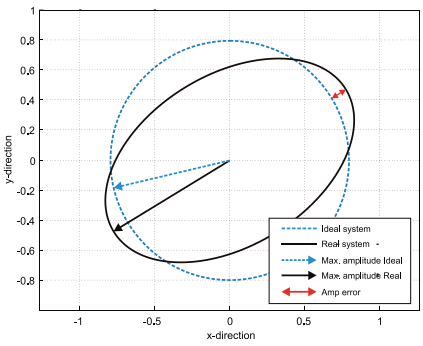
kde Re_C a Im_C sú rozdiely reálnych a imaginárnych zložiek frekvenčných prenosov odpovedajúcich pohybových osí. Pre reálny – previazaný systém podľa obr. 1, kde existujú vzájomné tuhosti a tlmiace koeficienty vyjadrené koeficientmi k_{12} a b_{12} prípadne k_{21} a b_{21} je táto amplitúdová chyba

$$Amp_{errP} = \sqrt{\frac{m^2 b_2^2 \omega^6 (b_p - 1)^2 + m^2 k_2^2 \omega^6 (k_p - 1)^2}{\omega^8 e^2 + \omega^6 (f^2 - 2eg) + \omega^4 (2ei - 2fc + g^2) + \omega^2 (c^2 - 2gi) + i^2}} \tag{2}$$

Veličiny m, b_x a k_x sú parametre polohovacieho mechanizmu a index *1, 2, 12* alebo *21* vyjadruje príslušnú pohybovú os alebo vzájomnú tuhosť / tlmenie. Indexy k_p a b_p sú pomery koeficientov tuhosti a tlmenia, ω je pracovná frekvencia. Pomocné premenné *c, e, f, g* a *i* sú

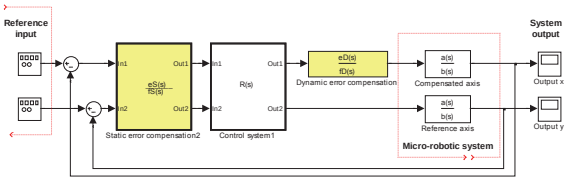
$$\begin{aligned} &c = b_1 k_2 + b_2 k_1 - 2k_{12} b_{12}; \quad e = m^2; \quad f = m(b_1 + b_2) \\ &g = b_1 b_2 + m k_1 + m k_2 - b_{12}^2; \quad i = k_1 k_2 - k_{12}^2 \end{aligned} \tag{3}$$

Grafické znázornenie amplitúdovej chyby je na obrázku 2, pričom sa porovnáva správanie dvoch rovinných systémov: ideálneho, kde pomer koeficientov medzi pohybovými osami je rovnaký a reálneho, kde pomer koeficientov tuhosti a tlmenia medzi pohybovými osami je rôzny. Možným riešením pre čiastočné odstránenie problému vznikajúcej nepresnosti v dynamických režimoch je použitie kompenzačných členov v riadiacom obvode. Príkladom je bloková schéma riadenia mikro-robotického zariadenia s kompenzačným členom podľa obr. 3.



Obr.2 Vyjadrenie amplitúdovej chyby medzi ideálnym a reálnym polohovacím systémom

Fig.2 Amplitude error between ideal and real positioning system



Obr.3 Jedna z možných riadiacich schém polohovacích zariadení

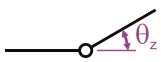
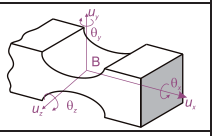
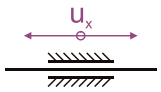
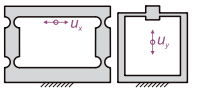
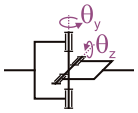
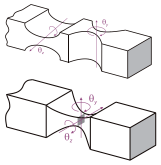
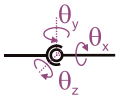
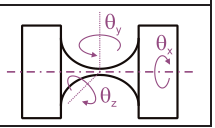
Fig.3 One possible control scheme of the positioning device

Pri riadení pružne poddajného mechanizmu, nezávisle na funkcii (mikrouchopovač, polohovacie zariadenie) je možné riadenie len v mieste umiestnenia akčného člena. Zvyčajne platí, že jeden akčný člen pôsobí na jednu pohybovú os. Táto os je vo všeobecnom pohľade tvorená viacerými kinematickými dvojicami. Podľa topológie mechanizmu v prípade neželaného natočenia jedného kĺbu je potrebné aby riadenie zabezpečilo natočenie ostatných kinematických dvojíc v danej pohybovej osi tak, aby sa kompenzovala vzniknutá chyba. Ako znázorňuje schéma na obrázku 3., riadiaci systém je doplnený o kompenzačné členy na potlačenie neželaného správania sa mechanizmu. Medzi najčastejšie kompenzačné členy zaraďujeme teplotnú kompenzáciu, kompenzáciu materiálových vlastností, ktorá môže byť z časti nahradená kompenzačným členom na odstránenie rozdielností koeficientov tuhosti a tlmenia v príslušných pohybových osiach. V prípade riadenia v uzavretej regulačnej slučke je možné snímať koncovú polohu bodu zvyčajne optickými metódami. Súčasný technologický pokrok už však umožňuje aj snímanie natočenia pružných kĺbov, čím získavame možnosť určenia koncovej polohy aj na základe vzniknutej deformácie v miestach pružnej deformácie. Zaujímavé riešenie snímania vznikajúcich deformácií je založené na elektromagnetickom princípe [19].

Špecifickú pozornosť je potrebné venovať akčným členom. Na akčné členy pružne poddajných mechanizmov sú kladené požiadavky úzko previazané s aplikačným nasadením mechanizmu. Univerzálnou požiadavkou sú pritom presnosť a prípadne minimálne rozmery. Je potrebné poznamenať, že rozmery akčného člena sú v prípade mikromechanizmov zvyčajne niekoľkonásobne väčšie ako rozmery celej kompaktnej štruktúry. Požiadavky prepojené s aplikačným nasadením zariadenia sú najmä dynamického charakteru, kde napr. piezoelektrické akčné členy vykazujú výborné dynamické vlastnosti a zároveň poskytujú postačujúcu výstupnú silu. Ich nevýhodou sú veľké rozmery pri malom výstupnom posunutí (napríklad pre posunutie *45µm* s blokovacou silou *50N*, sú rozmery *9x62mm* (priemer x dĺžka) [3]). V prípade použitia tzv. piezomotorov je požiadavka na väčší rozsah výstupného posunutia relatívne splnená (rozsah je niekedy aj 80mm) ale maximálna blokovacia sila sa radikálne znižuje na desatiny až jednotky newtonov. Pre pomalé dynamické úlohy je vhodné použitie tepelných akčných členov, kde sa zaradzujú aj tie tvorené z SMA (Shape Memory Alloys) materiálov. V prípade, že rozmer navrhovaných mechanizmov je v jednotkách milimetrov (technologické možnosti a pod.) je možné uvažovať o pneumatických [5] alebo magnetických [4] akčných členoch. Dôležitým parametrom akčného člena je výstupná sila. Minimálna požiadavka na veľkosť výstupnej sily akčného člena musí pozostávať zo sily požadovanej na konci mechanizmu (napr. pri uchopovači je to uchopovacia sila) a zároveň sily potrebnej na vykonanie pružnej deformácie vo všetkých kĺboch príslušnej pohybovej osi.

2. Náhrada kinematických dvojíc pružne poddajnými spojeniami

Pri návrhu zložitejších mechanizmov sa zvyčajne prvotne navrhuje kinematická schéma, pomocou ktorej sú určené základné parametre použitých kinematických dvojíc. Podľa metódy návrhu [6] je možná náhrada kinematickej štruktúry na pružne poddajný mechanizmus. V tabuľke 1 je prehľad vybraných náhrad niektorých kinematických dvojíc. Uvedené náhrady kinematických dvojíc sa v značnej miere správajú ako pôvodné kinematické dvojice, ale vplyvom ich charakteristických vlastností pri nich vznikajú aj parazitné deformácie.

Názov kinematickej dvojice / poddajnej štruktúry	Značka kinematickej dvojice	Model poddajnej štruktúry
Rotačný kĺb / pružný kĺb s vrubom		
Posuvný (prizmatický) kĺb / paraleogram		
Univerzálny (kardanov) kĺb / sériovo (paralelne) radené pružné kĺby s vrubom		
Sférický kĺb / revolverový kĺb		

Tab.1 Náhrada kinematických dvojíc pružne poddajným členom

Pri matematickom popise správania sa pružných kĺbov sa v prvotnom štádiu návrhu uvažuje s predpokladom, že vznikajúce deformácie sú v oblasti Hookovho zákona a platí lineárna závislosť medzi vznikajúcou deformáciou / poddajnosťou a pôsobiacim zaťažením, podľa vzťahu [7]

$$\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{xFx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{yFy} & 0 & 0 & 0 & C_{yMz} \\ 0 & 0 & C_{zFz} & 0 & C_{zMy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{\theta xMx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{\theta yFz} & 0 & C_{\theta yMy} & 0 \\ 0 & C_{\theta zMz} & 0 & 0 & 0 & C_{\theta zMz} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} \quad (4)$$

kde na základe princípu reciprocity platí

$$\begin{aligned} C_{yMz} &= C_{\theta zFy} \\ C_{zMy} &= C_{\theta yFz} \end{aligned} \quad (5)$$

kde u_i a θ_i sú vznikajúce deformácie, prvky C_{iLi} predstavujú poddajnosti, kde prvá časť indexu naznačuje smer deformácie (posunutie, natočenie) a druhá časť indexu určuje pôsobiace zaťaženie. Vektor tvorený prvkami F_i a M_i predstavuje jednotlivé zložky všeobecného zaťaženia. Podrobný výpočet poddajností z rovnice (4) a matematický model jedno, dvoj a viac-osových pružných kĺbov vychádzajúci z Castiglianových teorémov a princípu reciprocity je v [7]. Správanie sa len vybranej skupiny pružných kĺbov, zväčša jednoosích, ktoré sú najčastejšie nasadzované v aplikáciách poddajných mechanizmov, je riešené v publikáciách [9, 10]. Pre prípad rovinných aplikácií je možné vo výpočtoch vlastností kĺbov zanedbať všetky mimo rovinné deformácie a k nim prislúchajúce poddajnosti a zaťaženia.

Dôležitým faktorom ovplyvňujúcim deformáciu pružného kĺbu je vznikajúce napätie. Určením maximálneho vznikajúceho napätia v pružnom kĺbe získame maximálne zaťaženie a tým aj maximálnu možnú deformáciu. Podľa [7] je maximálne vznikajúce napätie v pružnom kĺbe

$$\sigma_{\max} = K_{ta}\frac{F_x}{wt} + K_{tb}\frac{6\left(l_F F_y + M_z\right)}{wt^2} \quad (6)$$

kde K_{ta} a K_{tb} sú teoretické koeficienty koncentrácie napätia pri axiálnom zaťažení (index *ta*) a ohybe (index *tb*) (theoretical stress concentration factor). Parametre *w* a *t* sú konštrukčné parametre ako hrúbka kĺbu a najtenšie miesto kĺbu. Vzdialenosť pôsobenia sily F_y od pružného kĺbu je l_F. Určenie koeficientov koncentrácie napätia na základe experimentálnych meraní alebo teoretickým výpočtom pre pružný kĺb s kruhovým vrubom je [8]

$$K_{ta} = 3.065 - 3.472\left(\frac{2r}{2r+t}\right) + 1.009\left(\frac{2r}{2r+t}\right)^2 + 0.405\left(\frac{2r}{2r+t}\right)^3 \quad (7)$$

$$K_{tb} = 3.065 - 6.637\left(\frac{2r}{2r+t}\right) + 8.229\left(\frac{2r}{2r+t}\right)^2 - 3.636\left(\frac{2r}{2r+t}\right)^3 \quad (8)$$

3. Riešené polohovacie zariadenia

Riešenie presného polohovacieho zariadenia pracujúceho na princípoch pružne poddajných mechanizmov vychádza zo známych metód ich návrhu [11], ktoré vychádzajú z mechatronického prístupu.

Ako príklad riešenia majme cieľ navrhnúť pružnú kompaktnú štruktúru pracujúcu ako presné polohovacie zariadenie. Pre jednoduchosť riešenia sa inšpirujme jednoduchou kinematickou štruktúrou zloženou z troch posuvných kĺbov (mechanizmus PPP). Takýto typ zariadenia má výstup v troch osiach (*x*, *y* a *z*). Ďalšou požiadavkou je práca v rýchlych dynamických režimoch, čo súvisí s fyzikálnym princípom použitého akčného člena. Prípadná požiadavka na maximálne rozmery pracovného priestoru ovplyvňuje niekoľko konečných parametrov a vlastností celého riešeného mechanizmu. Ide napríklad o výber vhodného materiálu, pričom mechanicky tuhý materiál znamená menšie možné deformácie pri rovnakých akčných silách; znamená však celkovú robustnosť mechanizmu. Iný príklad predstavuje samotná topológia mechanizmu. Pre dosiahnutie väčšieho pracovného priestoru je možné využiť pákových prevodov alebo síl. Výsledný návrh zariadenia a jeho parametre sú preto kompromisným riešením, pričom sa uplatní statická optimalizácia (Pareto optimálne riešenie), pričom každej požiadavke sa priradí váhový koeficient.

3.1 Metóda návrhu pružne poddajného zariadenia

Pri návrhu bežných kinematických štruktúr sa zvyčajne vychádza zo zaužívaných metód, ktoré spájajú verifikáciu vo forme matematického modelovania s experimentálnym overením výstupných charakteristík. Nasadenie rovnakých metód pri návrhu zariadení pracujúcich na princípoch pružne poddajných mechanizmov je možné, ale nemusí viesť k želaným výsledkom. Tieto zariadenia majú špecifické vlastnosti, ktoré je potrebné uvažovať, prípadne zanedbať. Napr. vplyv pôsobenia gravitačných síl pri klasických kinematických mechanizmoch robotov je zásadný. Pri mechanizme ktorého rozmery sú len niekoľko milimetrov je možné pôsobenie tejto sily zanedbať. Na druhej strane: rozmery kinematických mechanizmov takýchto zariadení sú mnohonásobne väčšie než rozmery pracovného priestoru. Potom

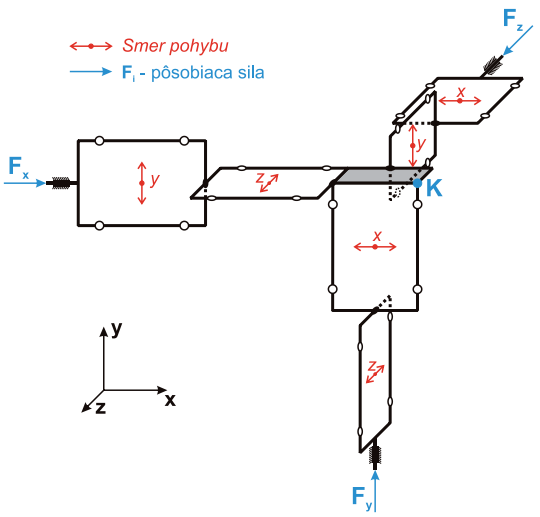
vplyv vlastností samotného mechanizmu na výsledné správanie sa a presnosť systému je veľký. Uplatnením tzv. mechatronického prístupu sa v každom kroku návrhu verifikuje správanie navrhovaného zariadenia prostredníctvom rôznych typov modelov. V nasledujúcich bodoch je popísaný jeden postup návrhu a riešenia vychádzajúci z analýzy často používaných metód návrhu pružných kompaktných štruktúr [11]. Pozostáva z nasledujúcich krokov:

- Definovanie vstupných parametrov – rozmery (samotného pružného mechanizmu, v prípade mikro-uchopovačov objektu manipulácie, v prípade polohovacích zariadení pracovného priestoru, …), typ aplikácie, dynamické vlastnosti atď.
- Návrh kinematickej štruktúry s použitím klasických kinematických dvojíc
- Náhrada kinematických dvojíc pružnými spojeniami a optimalizácia geometrických ich parametrov
- Modelovanie a simulácia funkcie celého zariadenia, silová a deformačná analýza
- Analýza dynamických vlastností pružnej štruktúry
- Multikriteriálna optimalizácia, zmena parametrov navrhnutého systému vzhľadom na kritéria minimálnej energetickej náročnosti, predĺženie životnosti atd.
- Návrh konečného tvaru pružnej štruktúry
- Návrh akčného člena pre vytvorenú pružnú štruktúru
- Analýza interakcií medzi akčným členom a pružným mechanizmom, dynamika celého zariadenia (v prípade neželaných interakcií zmena fyzikálneho princípu (typu) akčného člena)
- Návrh riadiaceho systému celého zariadenia vrátane riešenia spätnej väzby formou senzorického systému
- Analýza interakcií a jej minimalizácia medzi navrhnutým mechanizmom a prostredím
- Konečný návrh zariadenia
- Realizácia prototypu (prípadne zväčšeného modelu zariadenia) – merania a analýza správania sa mechanizmu, overenie si namodelovaných výsledkov so skutočnosťou

Vo všetkých bodoch prezentovanej metódy návrhu sa verifikujú výsledky zo vstupnými požiadavkami.

3.2 Návrh presného polohovacieho zariadenia

Požiadavkou je, že výstupný pohyb polohovacieho zariadenia má byť v osiach *x*, *y*, *z* a jeho riadenie v kartézskych súradniciach. Kinematická schéma navrhovaného mechanizmu je na obr. 4.



Obr.4 Kinematická schéma riešeného presného polohovacieho zariadenia

Fig.4 Kinematic scheme of the solved precise positioning device

Riešenie kinematiky takto navrhnutého mechanizmu vyžaduje zavedenie premenných veličín, ktoré vznikajú v deformovanom mechanizme ako znázorňujú obr. 5 a) a 5 b). Určenie polohy koncového bodu *K* v závislosti od vstupných premenných a vznikajúcich deformačných posunutí je potom

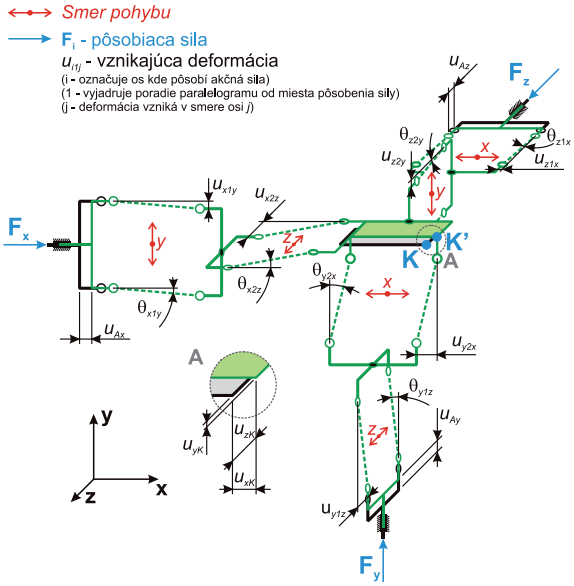
$$\begin{aligned} u_{xK} &= u_{Ax} - u_{x1x} - u_{x2x} + u_{z1x} + u_{y2x} \\ u_{yK} &= u_{Ay} - u_{y1y} - u_{y2y} + u_{x1y} + u_{z2y} \\ u_{zK} &= u_{Az} - u_{z1z} - u_{z2z} + u_{x2z} + u_{y1z} \end{aligned} \tag{9}$$

kde u_{i1i} a u_{i2i} sú deformácie vznikajúce vplyvom posunutia paralelogramu (viď. obr. 5 b) pričom

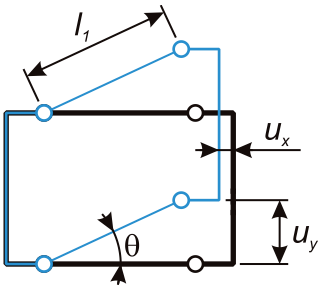
$$\begin{aligned} u_x &= l_1(1-\cos\theta) \\ u_y &= l_1 \sin\theta \end{aligned} \tag{10}$$

po dosadení (10) do (9) a zjednodušení je koncová poloha bodu *K* vyjadrená ako

$$\begin{aligned} u_{xK} &= u_{Ax} - 2l_1 + l_1\left(\cos\theta_{x1y} + \cos\theta_{x2z} + \sin\theta_{y2x} + \sin\theta_{z1x}\right) \\ u_{yK} &= u_{Ay} - 2l_1 + l_1\left(\cos\theta_{y1z} + \cos\theta_{y2x} + \sin\theta_{x1y} + \sin\theta_{z2y}\right) \\ u_{zK} &= u_{Az} - 2l_1 + l_1\left(\cos\theta_{z1x} + \cos\theta_{z2y} + \sin\theta_{x2z} + \sin\theta_{y1z}\right) \end{aligned} \tag{11}$$



a)



b)

Obr.5 a) Vznikajúce natočenia a posunutia b) premenné v deformovanom paralelograme

Fig.5 a) Arising deformation in kinematic structure, b) variables in deformed parallelogram

Riešenie sústavy troch rovníc (11) pre tri hľadané neznáme posunutia (u_{xK}, u_{yK}, u_{zK}) vyžaduje túto sústavu rovníc rozšíriť o ďalších šesť rovníc, ktoré budú vyjadrovať všetky uhly natočenia príslušných paralelogramov. Oproti bežným mechanizmom nie je možné natočenie (posunutie) kinematickej dvojice priamo riadiť.

Nakoľko riešenie sústavy rovníc s deviatimi neznámymi je zložité, je možné požitím modelovania kinematiky celého mechanizmu zjednodušenie problému. Výsledkom modelovania sú nasledujúce závery:

- Pre malé vstupné posunutie (napr. u_{Ax}) pohybovej osi sa toto posunutie priamo transformuje na výstup (napr. u_{xK}) a vznikajúcu parazitnú deformáciu (u_x podľa obr. 5 b)) je možné zanedbať
- na veľkosť uhla θ, podľa obr. 5 b) priamo vplýva dĺžka l_1
- vzťah medzi vstupným posunutím, dĺžkou l_1 a uhlom θ je v rozsahu +/- 20° lineárny

3.3 Určenie pracovného priestoru

Pre určenie pracovného priestoru navrhnutej kinematickej štruktúry je potrebné poznať maximálne možné deformácie, ktoré môžu v riešenej kompaktnej štruktúre vznikať. Túto skutočnosť ovplyvňuje maximálne dovolené mechanické napätie použitého materiálu. Lineárny charakter závislosti maximálneho napätia od pôsobiaceho zaťaženia určujú vzťahy (4) a (6). Analýza vznikajúcich pohybov (deformácií) a pôsobiacich síl v uvedenej kinematickej schéme ukázala, že najväčšie napätie vzniká v kĺboch umiestnených v blízkosti miesta pôsobenia akčného člena. Inými slovami: pôsobením sily F_x vznikne ohybový moment o veľkosti $F_x * l_F$, kde l_F je rameno na ktorom táto sila pôsobí. Nakoľko vplyv axiálneho zaťaženia je minimálny hodnotu maximálneho zaťaženia pružného kĺbu vyjadruje funkcia

$$F_y = \frac{\sigma_{\max} t^2 w}{6K_{tb} l_F} - \frac{F_x K_{ta} t}{6K_{tb} l_F} - \frac{M_z}{l_F} \qquad (12)$$

Po dosadení (12) do (4) a zanedbaní druhého a tretieho člena získame maximálne hodnoty pre natočenie pružného kĺbu. Veľkosť maximálneho napätia bude

$$\sigma_{\max} = k_b \sigma_{dov} \qquad (13)$$

kde k_b je koeficient bezpečnosti menší ako jedna. Pre známe hodnoty maximálneho natočenia pružných kĺbov a pri známej kinematike mechanizmu už nie je problém určiť maximálne hodnoty posunutia koncového bodu. Na základe dostupných informácií o vznikajúcich pohyboch v riešenom mechanizme sa určí jeden z parametrov akčného člena a to maximálny akčný zásah (vytvorenie posunutia). V prípade, že použitý akčný člen nebude poskytovať požadované parametre maximálneho akčného zásahu bude pracovný priestor mechanizmu menší.

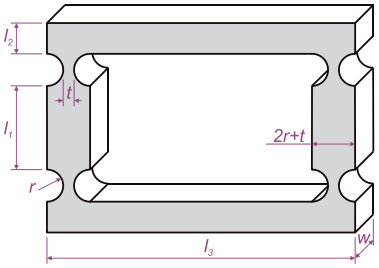
3.4 Modelovanie a simulácia

Pre zrýchlenie počiatočného návrhu pružne poddajného mechanizmu bol vytvorený matematický model pružného kĺbu v prostredí MATLAB SimMechanics [11, 12, 13, 14]. Model vychádza z predpokladu, že správanie sa pružného kĺbu vyjadruje diferenciálna rovnica systému zloženého z telesa, tlmiča a pružiny (mass – damper – spring system)

$$Mu'' + Bu' + Ku = F(t) \qquad (14)$$

kde M, B, K sú matice hmotnosti, tlmenia a tuhosti pružného kĺbu, u je vektor deformácií (posunutí a natočení) a $F(t)$ je časovo závislý vektor zaťaženia.

V prípade riešenia modelu pružne poddajného mechanizmu v prostredí SimMechanics sa vyžaduje zadanie rozmerov príslušných častí. Nakoľko mechanizmus je vytvorený z niekoľkých rovnakých paralelogramov, postačujú rozmery jedného paralelogramu podľa obr. 6.



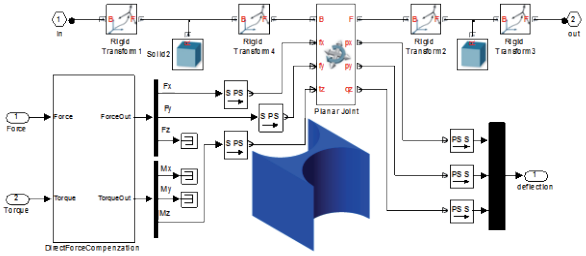
Obr.6 Rozmery paralelogramu

Fig.6 Dimensions of parallelogram

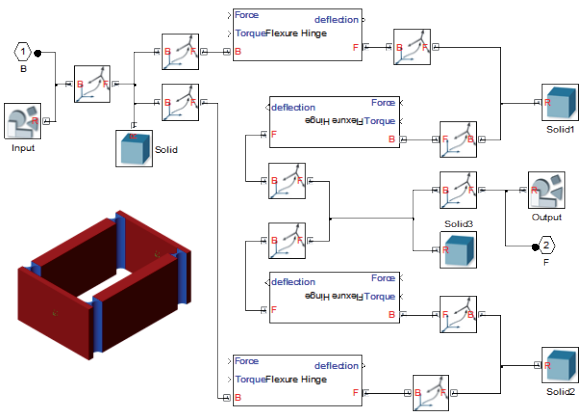
Číselné vyjadrenie vstupných parametrov modelov je l_1=8.5mm, l_2= 0,5mm, l_3= 8mm, w=5mm, r=0,5mm, t=0,1mm. Všetky vzniknuté pohybové členy sú vzájomne spojené kockou, v ktorej jeden z rohov definujeme koncový / referenčný systém. Dĺžka hrany kocky je a=5mm.

Na výber vhodného materiálu pružnej štruktúry vplýva niekoľko kritérií, ale medzi tú najzákladnejšiu možno požadovať pomer medzi modulom pružnosti v ťahu (Youngov modul pružnosti) a medznou sklzu (yield strength). Tento pomer vyjadruje pružnosť materiálu. Čím väčšia je pružnosť materiálu tým väčšiu deformáciu je možné vykonať a získať väčší pracovný priestor. Opakom je tuhosť mechanizmu, ktorá súvisí s presnosťou a lepšími dynamickými vlastnosťami. Pre riešený mechanizmus sa použil materiál teflon (PTFE - polytetrafluoroethylene), modul pružnosti v ťahu E=0.7GPa, hustota ρ=2160kg/m^3, Poissonova konštanta μ=0,46 a medza sklzu (dovolené napätie) σ_{dov}=30MPa.

Obrázky 7 a) a 7 b) znázorňujú blokové schémy modelov paralelogramu a pružného kĺbu v prostredí MATLAB. Blokovú schéma celého polohovacieho zariadenia tu nie je pre zložitosť uvedená.



a)



b)

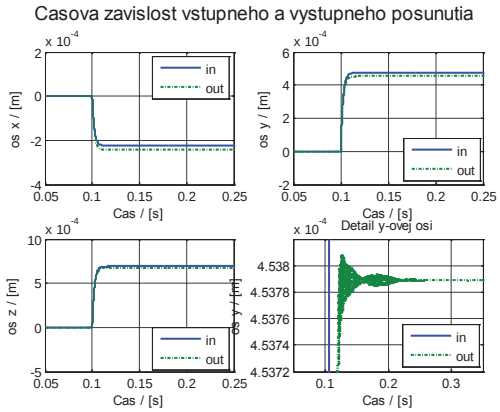
Obr.7 Modely z MATLABu a) zjednodušený model pružného kĺbu, b) model paraleogramu

Fig.7 MATLAB models a) simplified flexible joint, b) parallelogram model

V kinematickej schéme mechanizmu sú vstupné – posuvné členy, ktoré realizujú pohyb akčných členov. V modeli vytvorenom v prostredí MATLAB SimMechanics boli použité

bloky *Prismatic joint*, ktoré reprezentujú posuvné kĺby, a zároveň sú ovládané pôsobením externej sily vyjadrujúcej akčný zásah. Pri modelovaní reálnych pružných mechanizmov je priame spojenie výstupu akčného člena a mechanizmom niekedy problematické. Častou náhradou posuvného kĺbu je mechanizmus tvorení z dvoch trámových pružných kĺbov, ako je znázornené v tabuľke *1*. Takéto riešenie sa použilo pri verifikácii výsledkov modelov z prostredia MATLAB. Ako verifikačný nástroj sa použil softvérový prostriedok pracujúci na princípoch metódy konečných prvkov (COMSOL Multiphysics).

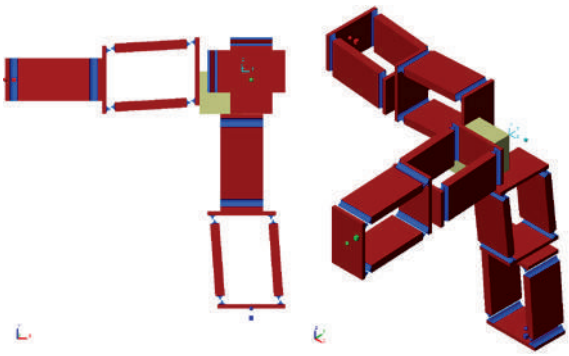
Na obrázku 8 sú znázornené priebehy vstupného a výstupného posunutia v jednotlivých osiach. Detail priebehu výstupného posunutia v smere *y* znázorňuje obrázok vpravo dole.



Obr.8 Časová závislosť vstupného a výstupného posunutia v príslušných osiach

Fig.8 Time dependence of input and output deflections in particular axes

Ako je vidieť na obr. 8, medzi vstupným posunutím, vplyvom akčnej sily na blok posuvného kĺbu, a výstupným posunutím je rozdiel. Výstupné posunutie je menšie ako vstupné posunutie, ale zároveň sú relatívne rovnaké. To kladie požiadavku na akčný člen, ktorý musí vytvoriť vstupné posunutie v takom rozsahu aby pokryl pracovný priestor polohovacieho zariadenia v príslušnej osi. Pre zmenšenie požiadavky na veľkosť posunutia akčného člena sa zvyčajne používajú tzv. mechanické zosilňovače, ktoré malé posunutie akčného člena transformujú na primerane veľké hodnoty [15, 16].



Obr.9 Vizualizácia modelu polohovacieho zariadenia v MATLABe

Fig.9 Visualization of positioning device model in MATLAB

Obrázok 9, znázorňuje deformácie celého polohovacieho mechanizmu v prostredí MATLAB SimMechanics. Presná analýza ukazuje, že výsledná deformácia kĺbu nepredstavuje len natočenie, ale súčasne aj posunutia v smere ďalších osí. Dôsledkom týchto posunutí je aj zmena polohy stredu, resp. osi, rotácie každého kĺbu. Zmeny polohy vplyvom akčného zásahu znázorňujú body (kocky – gule) priradené okrajovým paralelogramom.

Verifikácia výsledkov modelu z prostredia MATLAB bola realizovaná porovnaním výsledkov statickej analýzy z prostredia MKP pre koncový bod. Pri oboch modeloch boli použité totožné vstupné parametre. Pre odstránenie vplyvu pridaného posuvného pružného člena a zosúladenie vlastností (najmä tuhosti) akčného člena, sme v z modelu v MATLABe odčítali vstupné posunutie v príslušných osiach a toto posunutie sme následne definovali v MKP modeloch. Porovnanie výsledkov získaných z oboch modelov je v tabuľke 2.

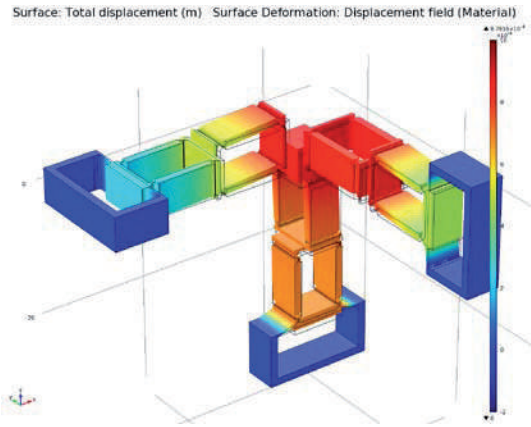
Os overenie	Vstupné posunutie (m)	Výstupné posunutie MATLAB (m)	Výstupné posunutie COMSOL (m)	Chyba (%)
x_1	0,0001214	0,0001135	0,0001212	6,35
y_1	0,0004572	0,0004572	0,0004519	1,17
z_1	0,0001214	0,0001135	0,0001251	9,27
x_2	-0,000223	-0,000241	-0,0002113	14,36
y_2	0,0004748	0,0004538	0,0004651	2,43
z_2	0,0006913	0,0006761	0,0006867	1,54
x_3	-0,001031	-0,00112	-0,0010026	11,7
y_3	-0,001529	-0,001576	-0,001519	3,75
z_3	0,001104	0,0009655	0,00106944	9,71
x_4	0,001493	0,001356	0,001489	8,93
y_4	0,001493	0,001356	0,001489	8,93
z_4	0,001493	0,001356	0,001489	8,93

Tab.2 Porovnanie výsledkov modelov – poloha koncového bodu pre rôzne vstupné posunutia

Pre určenie chyby bol použitý vzťah

$$Err_{\%} = \frac{|u_{SM} - u_{FEM}|}{0.01|u_{FEM}|} \tag{12}$$

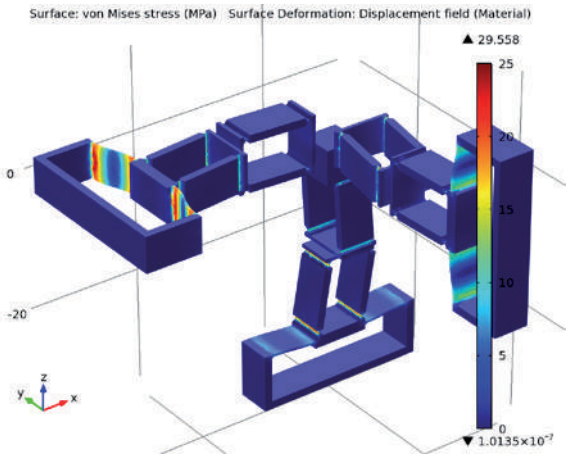
V tabuľke 2 sa veľkosť chyby pohybuje v rozsahu do 15%. Veľkosť tejto chyby medzi referenčným výsledkom (výstupom z COMSOLu) a výsledkom získaním modelovaním v prostredí MATLAB je zdôvodniteľný rozdielnym prístupom k riešeniu zadaného problému. Podľa známych porovnaní medzi analytickým a numerickým výpočtom správania sa jedného pružného kĺbu, vychádza že chyba sa pohybuje v rozsahu 2 až 5% [17, 18]. V navrhovanom riešení je použitých 24 pružných kĺbov, čím sa vznikajúca chyba javí relatívne malá. Na obrázku 10 je znázornený model riešeného mechanizmu s naznačenou vznikajúcou deformáciou.



Obr.10 Model presného polohovacieho zariadenia – deformácia

Fig.10 Precise positioning device model – displacement field

Miesta v ktorých vzniká najväčšie napätie sú zrejmé z obrázku 11, kde bola čiastočne modifikovaná náhrada posuvného kĺbu (v pôvodnej verzii (viď. obr. 10) vplyvom požadovanej veľkej deformácie na vstupe vznikalo v trámových kĺboch veľké napätie).



Obr.11 Model presného polohovacieho zariadenia – vznikajúce napätie (MPa)

Fig.11 Precise positioning device model – von Mises stress (MPa)

Záver

V článku sa opisuje spôsob návrhu pružných kompaktných štruktúr používaných pri presných polohovacích zariadeniach. Naznačené problémy formulujú úlohy ktoré je potrebné riešiť v procese návrhu a zároveň naznačujú rozdielnosti medzi klasickými mechanizmami tvorenými z diskrétnych prvkov a pružnými štruktúrami. Pre najčastejšie používané kinematické dvojice boli uvedené ich pružné náhrady, ktoré sa zvyčajne využívajú v prípade intuitívneho návrhu, kde v prvotnom štádiu sa navrhne kinematická schéma a až následne je transformovaná na pružne poddajnú štruktúru.

Predstavené riešenie presného polohovacieho zariadenia uvádza do problematiky návrhu so záverom, že celé zariadenie je vhodné navrhovať formou matematických modelov. Od úplného začiatku riešenia bol kladený dôraz na úzke prepojenie medzi mechanizmom a akčným členom čím vznikla otvorená regulačná slučka (nebolo tu riešené snímanie koncovej polohy ako forma spätnej väzby). Z porovnania výsledkov modelov je zrejmé, že problematika riešenia pružných kompaktných štruktúr je rozsiahla. Matematický opis vychádzajúci z lineárnych charakteristík poskytne síce základné údaje o správaní sa riešeného zariadenia, ale pre získanie relevantných charakteristík je neustále potrebné realizovať verifikáciu správania sa navrhnutej štruktúry meraniami na fyzickom modeli (prototyp vyrobený vo vhodnej mierke).

Ako príklad riešenia sa uvádza návrh polohovacieho zariadenia bez akčného člena, kde rozmery mechanizmu sú *32x32x32 mm* (bez rozmerov akčného člena a mechanického zosilňovača). Na základe výsledkov simulácie je pracovný priestor v rozsahu *+/- 1,5mm* v každej pohybovej osi. Presnosť navrhnutého mechanizmu priamo závisí od presnosti polohovania použitého akčného člena a zodpovedá presnosti zvoleného fyzikálneho princípu akčného člena. Pri použití piezoelektického princípu je možné dosiahnuť presnosť v rozsahu niekoľkých nanometrov.

Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci riešenia výskumnej úlohy podporovanej Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej Republiky a Slovenskej akadémie vied: VEGA 2/0006/10 Stavba a riadenie mikro-elektro-mechanických prvkov a zariadení

Literatúra

[1] HOWELL, L. L.: Compliant Mechanisms, Wiley-IEEE, 2001, ISBN 047138478X, 459 pages.

[2] HUSÁK, M.: Mikrosenzory a mikroaktuátory, Praha, Academia, 2008, 544 str., ISBN 978-80-200-1478-8

[3] Datasheet, P-820 Preloaded piezo actuators, www.physikinstrumente.com

[4] ZIĘBA, J.: Simulation of a Solenoid Actuator for a Device for Investigating Dynamic Air Permeability Through Flat Textile Products, Technical University of Lódź, 2003

[5] DE VOLDER, M., REYNAERTS, D.: Pneumatic and hydraulic microactuators: a review, J. Micromech. Microeng. 20 (2010) 043001 (18pp)

[6] WE-SHING, H.: A Study on the Design and Analysis of microgripper for Microassembly [online]. [s.l.], 2003. 131 s. Dizertačná práca. National Sun Yat-Sen University . Dostupné z WWW: <http://etd.lib.nsysu.edu.tw/ETD-db/ETD-search/view_etd?URN=etd-0710103-144403>.

[7] LOBONTIU, N.: Compliant Mechanisms: Design of Flexure Hinges, CRC Press, 2003, ISBN 0849313678,

[8] PILKEY, W. D., PILKEY, D. F.: Peterson's stress concentration factors, 3th edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN 978-0-470-04824-5

[9] SCHOTBORGH O. W. et al: Dimensionless design graphs for flexure elements and a comparison between three flexure elements, In: Precision Engineering 29 (2005), pp. 41–47

[10] TSEYTLIN, Y. M.,: Notch flexure hinges: An effective theory, Review of scientific instruments, volume 73, number 9, september 2002, p. 3363 - 3368

[11] HRICKO, J.: Analýza, modelovanie a optimalizácia návrhu pružných mechanizmov, Dizertačná práca, FEI STU Bratislava, 2010

[12] HRICKO, J., HARŤANSKÝ, R., HAVLÍK, Š.: Modeling Compliant Mechanical Joints for Micro-Robotic Devices, In: RAAD 2009: 18th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, 2009, ISSN 2066-4745, Bucuresti: Printech

[13] HRICKO, J.: Modelling Compliant Mechanisms – Comparison of Models in MATLAB / SimMechanics vs. FEM, in: 21th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, Napoli, Italia, 2012, ISBN 978-88-95430-45-4, p. 57-62

[14] CHUDNOVSKY, V.,et al.: Modeling Flexible Bodies in SimMechanics and Simulink, 2006. <http://www.mathworks.com/company/newsletters/digest/2006/may/simmechanics.html>

[15] ARUNKUMAR, G., SRINIVASAN, P. S. S.: Design of displacement amplifying compliant mechanisms with integrated strain actuator using topology optimization, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science August 1, 2006 vol. 220 no. 8 1219-1228

[16] LOBONTIU, N., GARCIA, E.: Analytical model of displacement amplification and stiffness optimization for a class of flexure-based compliant mechanisms, Computers and Structures 81 (2003) 2797–2810

[17] YONG, K. Y., LU, T-F., HANDLEY, D.C.: Review of circular flexure hinge design equations and derivation of empirical formulations, Precision Engineering Vol. 32, 2008, ISSN:0141-6359, 63–70

[18] LOBONTIU, N. et. al.: Parabolic and hyperbolic flexure hinges: flexibility, motion precision and stress characterization based on compliance closed-form equations, In: Precision Engineering, Vol. 26, 2002, pp. 183–19

[19] MARŠALKA, L., HARŤANSKÝ, R.: Electromagnetic method for distance measurement on MEMS structures. Modern Machinery Science Journal , ISSN 1803-1269, pp. 48 – 53

[20] HRICKO, J., HAVLÍK, Š., HARŤANSKÝ, R.: Optimization in Designing Compliant Robotic Micro-Devices, In: Robotics in Alpe-Adria Danube Region: 19th International Workshop, Budapest, 2010, ISBN 978-1-4244-6884-3, 397-402, IEEE Catalog Number: CFP1075J-CDR.

Abstract

This paper deals with problem of design and building fast and precise positioning devices based on compact compliant kinematic structures. The accuracy of multi d.o.f mechanisms and their behavior in dynamic modes of operation are analyzed. It is shown that the design procedure should consist of the mechatronic approach including modeling flexural characteristics of such complex system. This approach is applied on the design of 3D micro-positioning device with evaluation if its performance characteristics, shown as an illustrative example

Štefan Havlík, Ing., DrSc.
Jaroslav Hricko, Ing., PhD.

Slovenská akadémia vied
Ústav informatiky
Oddelenie senzorických systémov
Ďumbierska 1
974 11Banská Bystrica
Tel.: +421 48 4152366
E-mail: havlik@savbb.sk
E-mail: hricko@savbb.sk

Hybridný podvozok robota

Jaromír Jezný, Ladislav Vargovčík

Abstrakt
Nohy a kolesá sú dve široko prijaté metodológie pohybu využité na platformách pohybujúcich sa na zemi. Kolesá, sú ľudské vynálezy, ktoré odvaľujú sa po zemi, vynikajú v energetickej účinnosti a rýchlosti pohybu. Nohy sú dielom prírody a vynikajú v manevrovateľnosti, priechodnosti a brodivosti. Hybridná platforma integrujúca výhody nohy a kolesa s veľkou mobilitou na oboch sa zdá byť "budúcnosťou" mobilných platforiem pre indoor aj outdoor prostredie. Článok popisuje návrh kolesokráčajúceho podvozku pre servisný robot.

Kľúčové slová: servisný robot, hybridná platforma, mobilný podvozok

Úvod

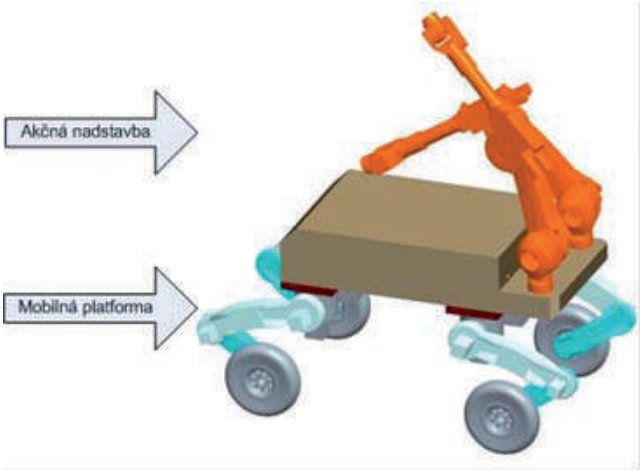
Kráčanie je pohyb ktorý má vysokú prispôsobivosť k terénu a kolesové platformy vynikajú v rýchlosti a účinnosti pohybu. Stroje a zariadenia, ktoré sú postavené na kolesovej platforme vykonávajú pohyb len na relatívne plochom teréne. Väčšina prác v horských lokalitách je závislá na ľudskej alebo zvieracej práci lebo v tomto teréne nie je vhodné nasadenie kolies alebo pásov z dôvodu veľmi členitého terénu a z dôvodu vysokého poškodzovania podkladu. Je nevyhnutné urobiť vývoj pohybového systému, ktorý sa môže pohybovať v horskom prostredí. Neštrukturalizované prostredie vyniká tým že obsahuje rokliny, má veľký sklon terénu, je možné vyvíjať len relatívne nízky merný tlak na podložie. Týmto podmienkam najlepšie vyhovujú kráčajúce systémy. Aj keď nohy robotov majú veľkú prispôsobivosť v komplikovanom prostredí, majú určité problémy. Všeobecne platí, že nohy robotov vyžadujú veľké množstvo akčných členov a zložitý mechanizmus. Navyše, rýchlosť ich chôdze je pomalá aj na relatívne rovnom teréne. Tieto nedostatky je možné riešiť kombináciou kráčajúceho a kolesového mechanizmu.

1. Návrh koleso-**kráčajúcej p**latformy

Ak je terén relatívne plochý, kolesá sú vždy v kontakte so zemou. V tomto prostredí, sa vie podvozok pohybovať energeticky výhodne pomocou kolies. Kĺbové možnosti nohy môžeme využiť na zmenu svetlej výšky podvozku a na riadenie smeru pohybu podvozku. Stopy pohybu v tomto prostredí sú spojité čiary. V prípade pohybu robota po urbanizovanom teréne narážame na existenciu prekážok, ako sú schody, rôzne zúžené priestory (výťah, dvere a pod.), ktorým sa musí podvozok prispôsobiť. Tu je výhodné využívať nohy na prekonávanie prekážok a kolesá pre pohyb. Stopa pohybu je v tomto prípade množina úsečiek. V prírodnom prostredí, kde nepretržitý kontakt medzi pohybovým mechanizmom a zemou nie je povolený, mobilný podvozok musí byť vybavený nohami. Stopy takéhoto pohybu je postupnosť bodov. Takýto mechanizmus vykazuje vysokú prispôsobivosť k životnému prostrediu. Požiadavky na mobilný podvozok môžeme zhrnúť do týchto základných bodov:

- na relatívne plochom teréne, využívať efektívny spôsob pohybu,
- robot sa môže pohybovať diskontinuálnym spôsobom v prostredí kde je to vyžadované,
- v prípade, pohybu do strmého svahu, je generovaná trakcia na všetkých kontaktných miestach medzi robotom a terénom,
- spoľahlivosti a nízke prevádzkové a nadobúdacie náklady na podvozok robota čo evokuje použitie čo najmenšieho počtu akčných členov.

Prototyp mobilného robota, ktorý efektívne kombinuje nohu a koleso obsahuje minimálne štyri nohy a kolesá ktoré sú pripojené konci každej nohy, obr. 1.



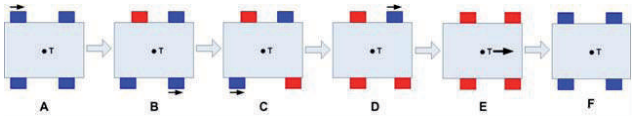
Obr.1 Prototyp robota s hybridným podvozkom
Fig.1 Prototype of robot with hybrid undercarriage

2. Algoritmus **kráčania** robota

Chôdza je cyklický pohyb vyvolaný pohybovou sekvenciou nôh. Jednou zo základných podmienok pre funkciu kráčajúceho robota je udržať stabilný postoj v predurčenom mieste bez ohľadu na jeho topografiu. Z mechanického pohľadu je to dosiahnuteľné aplikáciou minimálne troch nôh, ktoré sú v bezprostrednom kontakte so zemou a aby ťažisko spadalo do podporného polygónu. Schopnosť zachovať staticky stabilnú chôdzu, t. j. aby pohybová platforma bola vždy podopretá v troch bodoch, je nutné aplikovať najmenej štyri nohy. Pre pohyb po plochom teréne je počet 4 kolies úplne dostatočný a zvyšovanie počtu zvyšuje cenu a znižuje spoľahlivosť.

Bolo vyvinutých mnoho modelov generácie chôdze aby bolo možné riadiť a kontrolovať chôdzu. Okrem toho, rýchlosť

chôdze nie je tak vysoká a dynamické účinky nie sú tak dôležité, ako pre človeka. Avšak, na prvé testy na robotoch strednej kategórie, by sa malo pristupovať s metódou fázovania kroku.

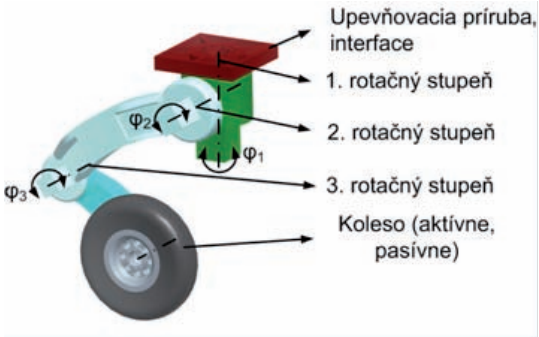


Obr.2 Algoritmus kráčania robota

Fig.2 Prototype of robot with hybrid undercarriage

3. Kinematika nohy

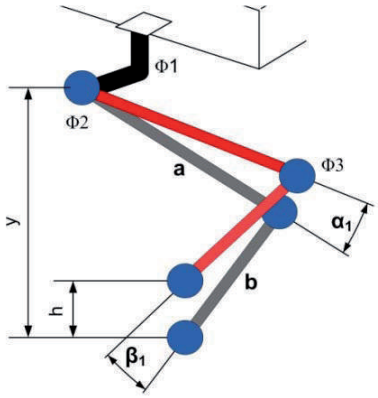
Predné nohy majú tri kĺby a pasívne kolesá, ktoré je možné pomocou fixovacieho zariadenia zablokovať proti otáčaniu. Zadné nohy majú identickú kinematiku, ale na konci nohy majú upevnené aktívne kolesá, obr. 3. Aby bolo možné čo najlepšie využiť mechanizmus, boli vyvinuté tri spôsoby pohybu, kolesový režim, hybridný režim a kráčanie. V režime kolesá sú štyri kolesá používaný na relatívne rovnom teréne, v ťažkom teréne sa môže využiť hybridný režim, ktorý využíva dve nohy s pasívnymi kolesami na kráčanie, dve aktívne kolesá sa používajú pre pohyb. Pre prekonanie prekážky typu schod alebo roklina je možné využiť režim čistého kráčania.



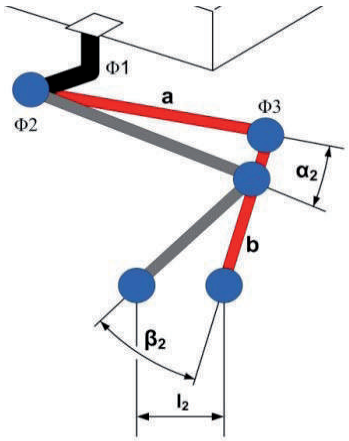
Obr.3 Kinematika nohy robota

Fig.3 Kinematics of the robot's leg

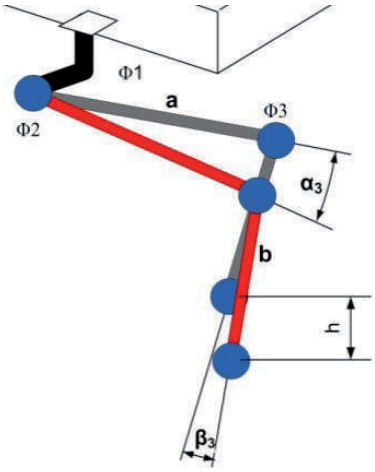
Princíp kráčania spočíva v striedaní vykonávania kroku súčasne pomocou trojice nôh. Krok jednej trojice je možné rozdeliť do troch fáz. Nákres dispozície nohy robota v každej z uvedených fáz je zobrazená na obr.4



Fáza 1



Fáza 2



Fáza 3

Obr.4 Fázy kroku

Fig.4 Phase of step

Aby sme boli schopný riešiť spoločné vzory jednotlivých fáz, sú potrebné iba štyri parametre: požadovaná dĺžka kroku (l), požadovaná výška kroku (h) ,požadovaná rýchlosť kroku (v) a typ pohybu (chôdza na rovnom povrchu, alebo pohyb po schodoch a pod.). Z týchto troch parametrov je možné určiť natočenia jednotlivých kĺbov v každom časovom okamžiku.

Tieto jednotlivé fázy môžeme matematicky popísať takto:

Fáza 1 zdvih nohy:

$$y_0 = y - (v + R)$$

$$c_1 = \sqrt{\Delta X^2 + {y_0}^2}$$

$$\alpha_1 = \arccos\frac{y_0}{c}, \beta_1 = \arccos\frac{x}{c}$$

Fáza 2 - posun nohy vpred:

$$c_2 = \sqrt{c^2 + l_2^2}$$

$$\alpha_2 = \arccos\frac{y_0}{c}, \ \beta_2 = \arcsin\frac{y_0}{c}$$

Fáza 3 – došliapnutie nohy:

$$c_3 = \sqrt{\Delta X^2 + y^2}$$

$$\alpha_3 = \arccos\frac{y}{c}, \beta_3 = \arcsin\frac{y}{C}$$

Záver

Pre pohybový sa mechanizmus tohto robota sme prijali koncepciu koleso-kráčajúceho mechanizmu, ktorý vhodne kombinuje výhody kolesových podvozkov schopné rýchleho stabilného a energeticky efektívneho pohybu a nohy schopné prekonávať prekážky.

Poďakovanie

Tento výskum bol uskutočnený v rámci riešenia Projektu AV Req-00169-0001 „Komplexný modulárny robotický systém strednej kategórie s vyššou inteligenciou“

Literatúra

[1] JÁNOŠ, R., SEMJON, J.: Návrh pohonových jednotek. In: ROBTEP 2010 - Automatizácia / Robotika v teórii a praxi : 10. celoštátna konferencia s medzinárodnou účasťou : 7.-9.6.2010, Bardejov- Bardejovské kúpele, Slovensko. - Košice : TU, SjF, 2010 S. 151-158. - ISBN 978-80-553-0427-4

[2] VAGAŠ, M.,HAJDUK, M.,SEMJON, J.,PÁCHNIKOVÁ, L., JÁNOŠ, R.: The view to the current state of robotics In: Advanced Materials Research. Vol. 463-464 (2012), p. 1711-1714. ISSN 1022-6680

[3] JÁNOŠ, R.: Modulárne robotické systémy In: International Scientific Herald. Vol. 4, no. 23 (2012), p. 83-88. - ISSN 2218-5348

[4] JÁNOŠ, R., TKÁČ, P.: Kinematika kráčania 6 nohého servisného robota In: ROBTEP 2011 : Automatizácia / Robotika v teórii a praxi : 11. celoštátna konferencia s medzinárodnou účasťou : 16.12.2011, Košice. - Košice : SjF TU, 2011 S. 111-114. - ISBN 978-80-553-0846-3

[5] Pardos J. M., C. Balaguer., Rh-0 humanoid robot bipedal locomotion and navigation using lie groups and geometric algorithms. International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005), Edmonton, Canada, Aug. 2005.

[6] Murray R. M., Z. Li, S. S. Sastry.: Mathematical Introduction To Robotic Manipulation. CRC Press, 1994.

Abstract

Wheels and legs are two widely accepted methodology used to move the moving platform to the ground. Wheels are human inventions, the rolls in a straight country excel in energy efficiency and speed of movement. Hybrid platform for integrating the benefits of legs and wheels with high mobility of both seems to be the "future" of mobile platforms for indoor and outdoor environment. This paper describes the design leg-wheel chassis for service robot.

Ing. Jaromír Jezný, PhD.
ZTS VVÚ KOŠICE a.s.
Južná trieda 95,
041 24 Košice
Tel.: 055/6834 216
E-mail: jaromir.jezny@ztsvvu.eu

Ing. Ladislav Vargovčík, PhD.
ZTS VVÚ KOŠICE a.s.
Južná trieda 95,
041 24 Košice
Tel.: 055/6834 216
E-mail: vargovcik@ztsvvu.eu

Využitie prostriedkov počítačovej simulácie pri navrhovaní automatizovaných montážnych pracovísk

Darina Kumičáková

Abstrakt
Pri navrhovaní automatizovaných montážnych systémov vybavených robotmi, resp. montážnymi jednotkami je potrebné verifikovať navrhnuté riešenia manipulácie s montážnymi komponentmi i samotnej montáže ešte pred fyzickou realizáciou automatizovaného pracoviska. Využitie nástrojov počítačovej simulácie umožňuje vo virtuálnom prostredí vhodného systému odhaliť kritické miesta posudzovaných návrhov a optimalizovať ich. Predkladaný článok poukazuje na možnosti využitia nástrojov CAx systémov pri validácii návrhov automatizovaných montážnych pracovísk.

Kľúčové slová: počítačová simulácia, automatizácia montáže, CAD/CAE systémy, off-line systémy

Úvod

Montáž predstavuje zvyčajne záverečnú fázu realizácie výrobku, v rámci ktorej sa minimálne z dvoch montážnych objektov (dve súčiastky, súčiastka a montážny uzol a pod.) vytvára funkčný celok - montovaný výrobok požadovaných funkčných vlastností. Automatizácia montáže kladie vysoké nároky na spoľahlivosť (bezporuchovosť) aplikovaných technických prostriedkov, riadenie kvality a eliminácia nepodarkovosti v každej operácii, automatizáciu montážnych technológií. Vyžaduje špeciálne konštruovanie montovaných výrobkov, projektovanie montážnych systémov na báze systémovej integrácie, analýzu materiálových a informačných tokov a v neposlednom rade i využitie pokrokových metód počítačovej simulácie pri projektovaní automatizovaných montážnych systémov.

Neoddeliteľnou súčasťou flexibilných montážnych systémov sú priemyselné roboty, ktoré v kooperácii s ostatnými technologickými a dopravnými prostriedkami automatizácie významným spôsobom ovplyvňujú priebežný čas montáže, kvalitu montovaných výrobkov a tým aj ich konkurenciesschopnosť [1]. Roboty realizujú manipulačné i samotné montážne operácie, pričom vo väčšine prípadov zabezpečujú vysoký stupeň ich koncentrácie. Pre robotizovanú montáž je dôležitá opakovaná presnosť polohovania, resp. orientácie koncového člena robota a bezpečné držanie montážneho komponentu pri uchopení montážnym efektorom počas celej doby manipulácie s ním. Pre verifikáciu správnosti vykonávania manipulačných úkonov montážnych robotov, resp. konštrukčne jednoduchších účelovo navrhnutých montážnych jednotiek ešte pred zostavením prototypu automatizovaného montážneho pracoviska je vhodné využiť prostriedky počítačovej simulácie.

1. **Počítačová simulácia** navrhnutých systémov

Počítačová simulácia vo všeobecnosti predstavuje metódu skúmania správania sa nejakého systému prostredníctvom počítačového alebo iného modelu a experimentovanie s ním [2]. Reálny systém je teda nahrádzaný počítačovým modelom. Počítačový model reprezentuje určitú 3D modelovú reprezentáciu skúmaného (reálneho) systému. Miera priblíženia sa počítačového modelu realite by mala zohľadňovať definovaný cieľ simulácie. Experimentovanie s počítačovým modelom prináša výsledky, ktoré je potrebné najprv správne vyhodnotiť a potom využiť pre vylepšenie navrhnutého systému. Počítačovú simuláciu teda nie je možné chápať ako nástroj pre získanie optimálneho riešenia problému ale ako podporný nástroj, ktorý pomáha projektantovi testovať efekty vlastných rozhodnutí na simulačnom modeli [3].

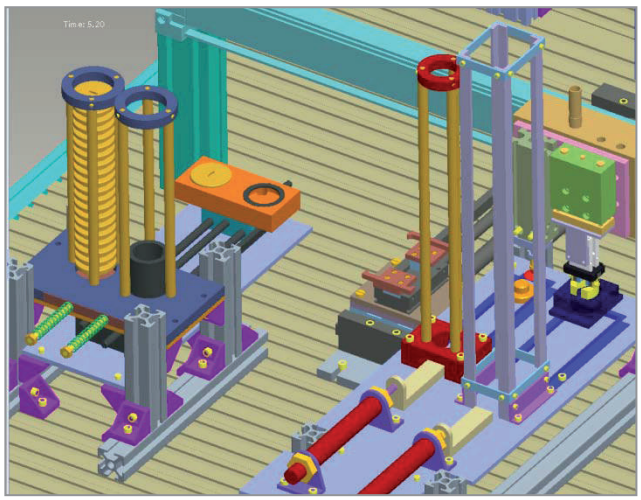
Súčasné simulačné softvéry umožňujú riešiť široké spektrum simulačných úloh. Podľa zložitosti manipulačného cyklu montážneho robota, resp. montážnej jednotky je možné využiť simulačné nástroje bežne dostupných CAx systémov (napr.: Pro/Engineer) alebo špecializované off-line programy, ktoré umožňujú simulovať zložité manipulačné i technologické cykly robotov vo virtuálnom prostredí automatizovaného pracoviska a vytvoriť program pre vykonávanie ich pracovného cyklu.

1.1 Simulácia pracovnej činnosti jednoduchých montážnych jednotiek

Montážne jednotky, vykonávajúce v rámci montážneho pracoviska jednoduchú manipulačnú činnosť, napr. typu „Pick & Place“, je možné relatívne jednoducho modelovať v prostredí CAD/CAE systémov. Konštrukcia takýchto zariadení je zvyčajne postavená na báze modularity, t.j. pozostáva: zo stavebnicových pohonových jednotiek s integrovaným pneumatickým alebo elektrickým pohonom a zo stavebnicových prvkov nosnej konštrukcie. Typy pohonových a stavebných modulov ponúkajú výrobcovia v niekoľkých rozmerových radoch. Stavebnicové prvky je možné variabilne umiestňovať do zostavy a navzájom spájať prostredníctvom normalizovaných pripojovacích rozmerov. Katalógy produktov uvádzajú ich dôležité rozmery, technické parametre i odporúčané postupy výberu, zohľadňujúce ich statické i dynamické namáhanie. Na základe

štrukturálneho a dispozičného riešenia automatizovaného pracoviska a požadovaných manipulačných úkonov s montážnymi súčiastkami je navrhovaná funkčná štruktúra montážnej jednotky, pre ktorú sa hľadá vhodná orgánová štruktúra, t.j. pohonové komponenty, ktoré dokážu zabezpečiť realizáciu požadovaných funkcií.

Na pracovisku Katedry automatizácie a výrobných systémov využívame pre simuláciu činnosti montážnych jednotiek virtuálne prostredie systému Pro/Engineer WF4 (WF5). 3D modelová reprezentácia automatizovaného pracoviska je vytvorená v 3D modelári systému. Pre potreby simulácie sú pri zostavovaní mechanizmov definované typy kinematických väzieb pomocou nástroja „*User Defined*" v režime vytvárania zostavy, ktoré definujú požadovanú pohyblivosť ramena montážnej jednotky, resp. pomocných zariadení pracoviska.



Obr.1 3D modelová reprezentácia laboratórneho pracoviska automatizovanej montáže (Pro/Engineer WF4 – Mechanism)

Fig.1 3D model of the automated assembly laboratory workplace (Pro/Engineer WF4 – Mechanism)

Pre konštrukciu montážnych i pomocných jednotiek sú aplikované unifikované pohonové komponenty SMC, Priemyselná automatizácia, s.r.o. a modulárne prvky nosnej konštrukcie MTS, spol. s.r.o. (obr. 1).

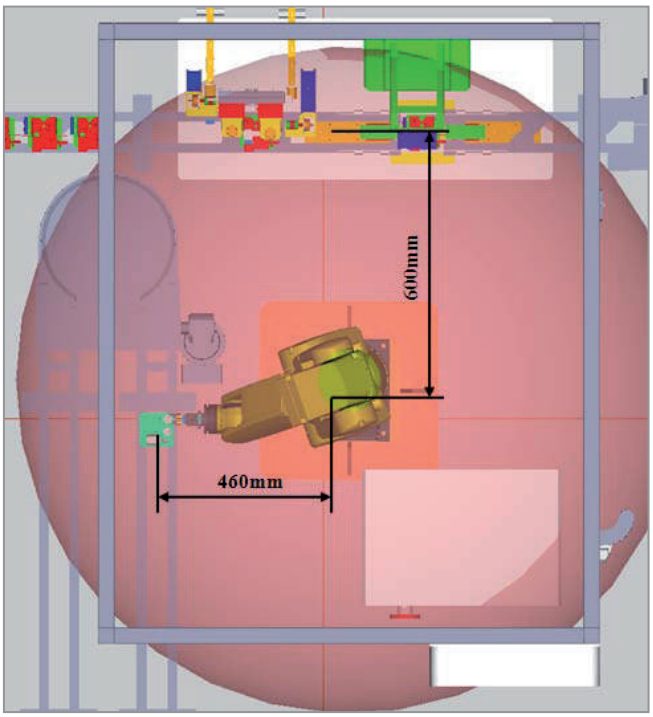
Na základe modelu pracovnej činnosti montážnej jednotky v rámci automatizovaného pracoviska je vytvorený cyklogram pracoviska, ktorý poskytuje časové hodnoty pre obmedzenie aktivácie pohonov („*ServoMotors*"), definovaných v prostredí „*Mechanism*" v rámci jednotlivých pohybových (riadených) osí mechanizmov pracoviska. Po definovaní podmienok kinematickej analýzy a jej prebehnutí je možné spustiť animáciu činnosti na pracovisku („*Playback*") a sledovať správnosť vykonávaných manipulačných a pomocných úkonov. Pomocou nástroja „*Collision Detection Settings*" môžeme detekovať prípadné nežiaduce kolízne stavy - napríklad pri vkladaní montovanej súčiastky do predzmontovaného uzla, resp. pri pohybe montážnej hlavice v blízkosti pomocných a dopravných zariadení automatizovaného pracoviska. Grafické výstupy analýzy („*Masure Results*") napomáhajú odhaliť príčiny nedostatkov navrhnutého systému, resp. získať informácie o pohybe bodu uchopenia montážnej hlavice (poloha/orientácia, rýchlosti v závislosti na čase) alebo naopak pri riadení koncového bodu TCP (*Tool Center Point*) montážnej jednotky zistiť požadované parametre pohybu v rámci jednotlivých pohybových osí v danom časovom okamihu.

Na obr. 1 je zobrazená 3D modelová reprezentácia laboratórneho pracoviska automatizovanej montáže počas simulácie, a to v momente manipulácie so základnou bázovou súčiastkou montovaného výrobku, uchopenou mechanickou hlavicou 2-ramennej montážnej jednotky, postavenej na báze pohonových komponentov SMC, Priemyselná automatizácia, s.r.o.

1.2 Simulácia pracovnej činnosti montážnych robotov

Pre automatizáciu montáže výrobkov, vyžadujúcich zložitú manipulačnú činnosť, sú aplikované priemyselné roboty angulárneho typu, resp. montážne roboty špeciálnej konštrukcie, akými sú napr. roboty typu SCARA. Simulácia a verifikovanie činnosti takéhoto montážneho systému v prostredí systému Pro/Engineer WF4 – Mechanism je časovo náročná vzhľadom na prípravu mechanizmu robota pre simuláciu jeho manipulačnej činnosti. Výhodnejšie je využiť špecializované simulačné programy pre simuláciu robotizovaných liniek, akými sú napr.: Delmia V5 Robotics, Fanuc Roboguide, RobotStudio (ABB), Kuka.sim a pod. Off-line systémy disponujú knižnicami 3D modelových reprezentácií určitých typov robotov, manipulačných i technologických efektorov, pracovných stolov a pod. Pomocou virtuálnej programovacej jednotky „*Teach Pendant*" umožňujú riadiť robota (programovať dráhu jeho TCP) a teda simulovať jeho pracovnú činnosť v rámci virtuálneho pracoviska. Výstupom je zdrojový kód pre konkrétny typ robota, použiteľný pre otestovanie pracovnej činnosti robota v podmienkach reálneho automatizovaného pracoviska.

Na Katedre automatizácie a výrobných systémov disponujeme Robotom Fanuc LR Mate 200iC a akademickými licenciami off-line programu Roboguide V7 - HandlingPro.



Obr.2 Zobrazenie pracovného priestoru robota Fanuc LR Mate 200iC, Roboguide V.7 [4]

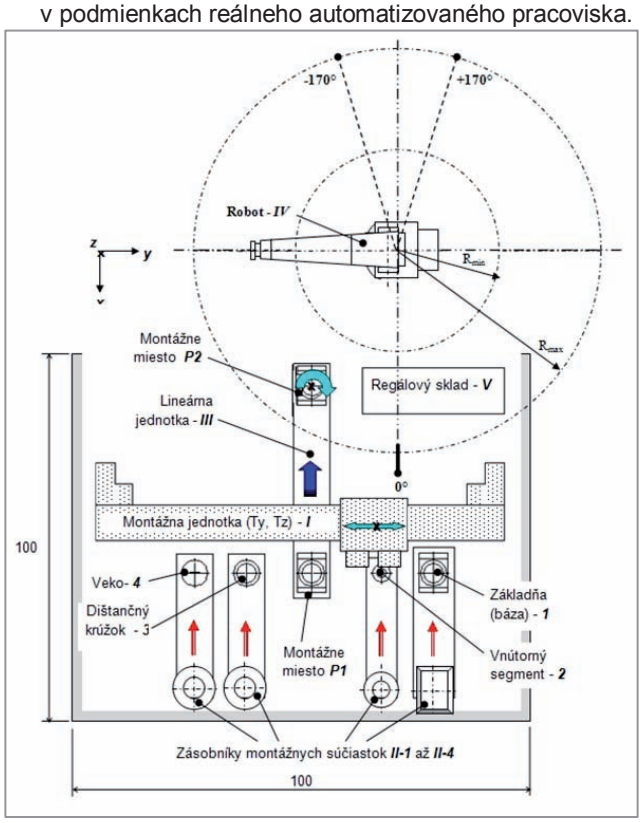
Fig.2 Working area of robot Fanuc LR Mate 200iC, Roboguide V.7 [4]

Program Roboguide je nástroj pre 3D simuláciu, ktorý bol špeciálne vyvinutý pre navrhovanie a údržbu robotických systémov. Skracuje dobu, potrebnú pre modelovanie zariadení robotizovaného pracoviska, pretože disponuje knižnicami 3D modelov robotov („*Robot Model*"), ďalších komponentov pracovnej bunky, akými sú napr.: pracovné stoly, dopravníky a pod. („*Fixtures*"), pracovných hlavíc robota („*Tooling*") a pod. Súčiastky jednoduchého tvaru je možné modelovať s využitím tzv. *mass primitives – Box, Cylinder* a *Sphere* („*Parts*"). Výhodou je možnosť importovať do

pracovnej bunky CAD modely zariadení vytvorené v iných CAD systémoch (formát IGES/STEP). Na obr. 2 je uvedený príklad 3D modelovej reprezentácie návrhu automatizovanej montážnej bunky, importovanej zo systému Pro/Engineer WF4 vo formáte IGES do virtuálneho prostredia programu Roboguide. Zobrazenie pracovného priestoru robota Fanuc LR Mate 200iC ponúka vizuálnu kontrolu, či požadované pracovné pozície ležia v pracovnom dosahu koncového člena robota.

Program Roboguide umožňuje [5]:

- zisťovať kolízne stavy montážneho robota v rámci navrhnutého dispozičného riešenia automatizovaného pracoviska, resp. čeľustí alebo telesa montážnej hlavice pri vkladaní súčiastok do predzmontovanej zostavy a pod. (farebné zvýraznenie komponentov v stave kolízie),
- vykresľovať pracovné pozície robota a dráhy jeho TCP,
- verifikovať vhodnosť veľkosti operačného priestoru montážneho robota vzhľadom na požadované pracovné pozície (Obr. 2), resp. dispozičného riešenia pracoviska,
- preverovať pomocou počítačovej animácie rôzne operácie vykonávané robotom,
- generovať zdrojový kód pre riadenie robota v podmienkach reálneho automatizovaného pracoviska.

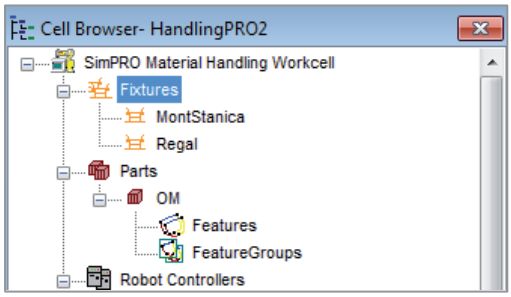


Obr.3 Príklad dispozičného riešenia laboratórneho pracoviska automatizovanej montáže

Fig.3 Example of the automated assembly laboratory workplace layout

V prípade automatizovaného montážneho pracoviska, kde sú aplikované jednoduché montážne jednotky i montážny robot je vhodné realizovať simuláciu v dvoch hlavných krokoch, ktoré sú pre príklad uvedený na obr. 3 nasledovné:

1. overenie pracovnej činnosti 2-ramennej montážnej jednotky v súčinnosti s ostatnými pomocnými zariadeniami pri montáži montážnej skupiny simulačnými nástrojmi vhodného CAD/CAE systému (napr. Pro/Engineer WF4),
2. import CAD dát automatizovaného pracoviska a objektov manipulácie (IGES formát) do robotickej bunky (ako *Fixtures* a *Parts*) – viď. obr.4, a overenie pracovnej činnosti robota Fanuc (skrutkovanie veka a zakladanie zmontovaného výrobku do regálového skladu) simuláciou v prostredí takto vytvoreného virtuálneho pracoviska.



Obr.4 Štruktúra pracovnej bunky 3D modelu laboratórneho pracoviska vytvoreného v prostredí Roboguide V.7

Fig.4 Cell Browser of the laboratory workplace 3D model created in Roboguide V.7

Poďakovanie

Článok vznikol vďaka finančnej podpore MŠ SR, pridelenej v rámci riešenia projektu KEGA 054ŽU-4/2011.

Literatúra

[1] KOVÁČ, J., SVOBODA, M., LÍŠKA, O.: Automatizovaná a pružná montáž. VIENALA Košice 2000, 200 s., ISBN: 80-7099-504-1

[2] PAHOLOK, I.: Simulácia ako vedecká metóda. E-LOGOS, Electronic Journal for Philosophy, 2008, ISSN: 1211 – 044.

[3] FILO, M., LUKÁČ, M.: Modelovanie a simulácia mechanizmov s počítačovou podporou. EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2005, 216 s., ISBN: 80-8070-466-X.

[4] OLŠOVSKÝ, D.: Návrh robotizovaného pracoviska pre montáž automobilového zámku s využitím robota Fanuc LR mate 200iC. DP 28230420122006, SjF ŽU Žilina, 2012, 89 s.

[5] ROBOGUIDE Fanuc - Simulační software pro robota, Rychlý průvodce, 2008

Abstract

The solution of tasks of assembly process automation with robot or assembly unit utilisation requires verification of proposal of assembly components manipulation still before the automated workplace prototype realisation. Utilisation of tools of computer simulation enables to detect errors of the tested proposal in the simulation system environment and to optimise this one. This article refers to possibilities of CAx systems tools utilisation for solution of problem of assembly automation.

Darina Kumičáková, doc. Ing. PhD.

Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra automatizácie a výrobných systémov
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Tel.: 041 513 2812
E-mail: darina.kumicakova@fstroj.uniza.sk

The Telescopic Monitoring Shoulder

Ladislav Kárník

Abstract
The article presents manufactured prototype of telescopic monitoring shoulder that is intended for environment robot, 3D data capturing and processing in real time. Shape, functionality and basic characteristic of the prototype meet the demands on monitoring technology equipment of belt robot ARES. Robot may fulfill batch of service tasks with aim monitoring of extension modulus on platform robot. Exchange one's camera on two cameras is able telescopic monitoring shoulder 3D data capturing and processing in real time. Performance and control subsystems will be tested on the prototype produced.

Key words: monitoring, service robot, monitoring head, analyses, simulation

Introduction

Mobile robots specified for service task manipulation, monitoring etc. performance are equipped with camera system for navigation of robot movement, monitoring events on robot and with a pair of cameras set for 3D metric data capture. Robots are also equipped with environment recognition sensor, thermal camera and light sources, etc. Operation of service robots for 3D data capture depends on service task. In most cases manual control by operator is used. Extension module with cameras can be in pack up position during robot movement in the field, when measurements are not captured. We talk about "transport position" that protects cameras from damage during instable or collision conditions. Furthermore there is an advantage of lowering height total of the mobile robot regarding to better robot transmissivity in tunnels or other low profile places.

Robot has to stop and set the telescopic monitoring shoulder to "working position" during 3D metric data capture. Axis of both cameras has to be in parallel and horizontal position during measurements. Setting to horizontal position is done by standalone additional module fastened to the end of telescopic shoulder. Additional module carrying the cameras has to have enough degrees of freedom (at least two) to be able to achieve required position. Achievement of the required position of the cameras is controlled by elevation sensors [7, 8].

1. The construction telescopic monitoring shoulders

The construction telescopic monitoring shoulders appear from requirements for application on made prototype of mobile service robots. Telescopic monitoring shoulder presents part of camera subsystem applied on made belt mobile robot. Is concerned belt chassis equipped manipulation body and next extension modulus. Manipulation extension has five degrees of freedom including gripper. The next extension modulus presents for example system for taking liquid or fluent sample. To the future we prepare next extension modulus too. Service robot with extension modulus is controlled by human operator. For service robot is important these reasons camera subsystem with more cameras. Designed construction telescopic monitoring shoulders makes it possible monitoring upper platform of service robot from top view. Human operator has possibility view events on robot from cameras placed at the end of telescopic monitoring shoulders.

The telescopic monitoring shoulder presents light construction with rotating kinematic couples. On fig. 1 is shown of 3D model telescopic monitoring shoulders. For driving of rotating kinematic couples there was used standard type of servo - motor with torsion moment into 11 Nm. Main part present two shoulders. The first shoulder is linked with base by the rotating joint and has telescopic drawing - out. Longitude of the first shoulders it is possible set within the range 500 when 900 mm. The second shoulder is linked with first shoulder by rotating joint.

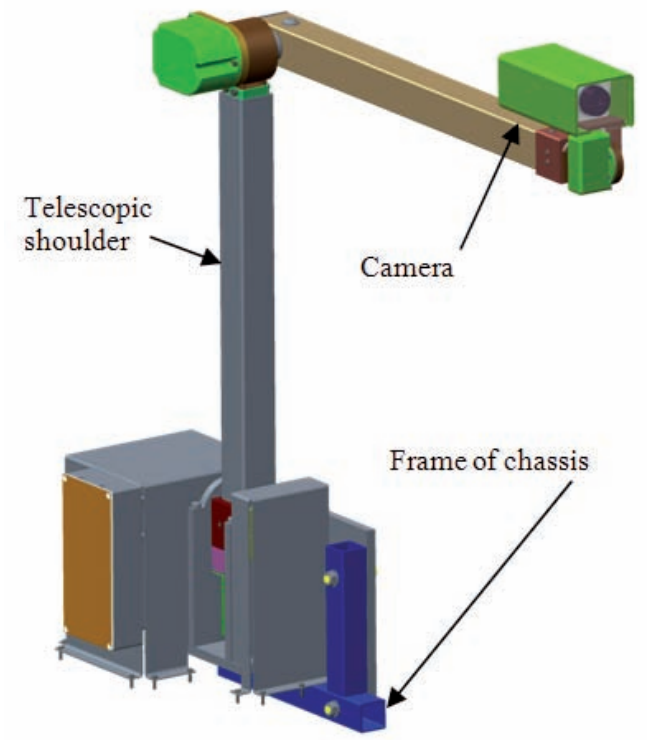


Fig.1 3D model of the telescopic monitoring shoulders

Practically we can use of range turning 0° when 270°. At the end of second shoulders is fixed camera modulus with once camera. Camera modulus is able rotating about two axis. To the future prepares camera modulus with two cameras set for 3D metric data capture too. Basic parameters of the telescopic monitoring shoulders are presented in tab. 1.

Parameter	Description
Type of service	monitoring
Control system	human operator with use of WiFi
Video signal transmission	wireless
Shoulders number	two
Propulsion type	5 servo motors
Proportions shoulders	- length shoulder 1 is 500 when 900 mm, - length shoulder 2 is 600 mm
Number of freedom	5
Payload	0,5 kg max
Overall weight	5,8 kg
Environment	indoor/outdoor
Height total	1500 mm
Type cameras	AXIS M1104
Operational conditions	wet areas

Tab.1 Basic parameters of the telescopic monitoring shoulder

The telescopic monitoring shoulder has modular design. Generalities components are made from aluminous alloy. Reason is decrease total mass. Both shoulders are made from aluminous profiles. Telescopic drawing - out of the first shoulders presents put in two aluminous profiles into themselves. To turning of the first telescopic shoulders was used servo - motor TORXIS with torsion moment 11 Nm. Telescopic drawing - out of the first shoulders is realized screw and nut. To drive of working screw is used DC motor with planetary gearbox. Position extrusion we can arbitrarily change. At construction of all components was consider point of view minimum severity on manufacturing – cost reduction on manufacturing.

In working position will realized maximum protrusion. In case of movement robot past terrain will be telescopic monitoring shoulder in compact position. Compact position is that, when axis of the first shoulders in horizontal position. Axis of second shoulders is parallel with axis of the first shoulders. At those position telescopic monitoring shoulder no increases general high robot. In this case behaves about trucking position, which preserves cameras and shoulder before damage in case losses stability of robot or collision case.

In case when robot pursue service task, it's telescopic monitoring shoulder stated to the operating position. The operating position presents maximum possible set up shoulders. Axis of the first and second shoulders, are in vertical position. Telescopic extrusion of the first shoulders is maximal. At working position makes it possible camera modulus with once camera trace from top view movement of manipulation extension and events on upper platform robot. We can change working position too. The other working position of telescopic monitoring shoulders makes it possible monitoring for example environment robot. In all working positions makes it possible of camera modulus turning cameras around two axis. Working position of telescopic monitoring shoulders they are always mechanically fixed by the stop. Stop is servo - motor controlled. Fixation of the first shoulders in working position supplies stability those position. In case turning of the first shoulders in joint is necessary at first unblock fixation position. Sample of 3D model robot and mounted telescopic monitoring shoulders shown fig. 2. In this case there's not on top platform robot fixed manipulation extension [3].

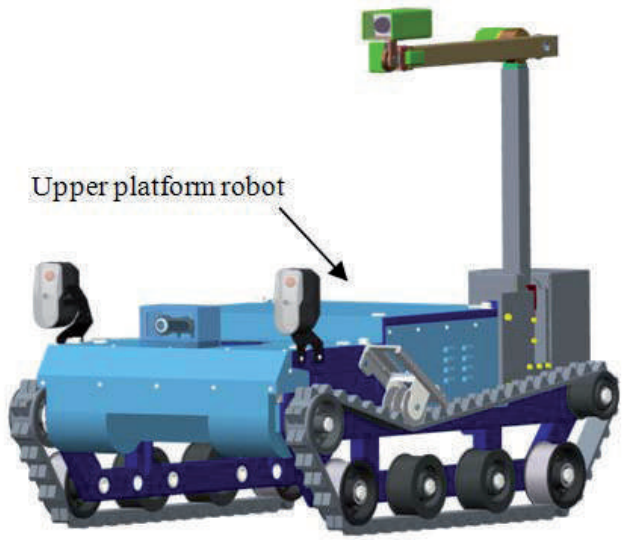


Fig.2 3D model of the robot with telescopic monitoring shoulders

Turning in single joints of telescopic monitoring shoulders we can do by hand or select preconfigured position. The control turning in single joints is wireless. Power supply single servo - motors them from the source placed in belt chassis. Was tendency lead of all cabling inside of the both shoulder. Reduction mass of whole telescopic monitoring shoulders this no allows from space reasons. There was approached to solving partial lead cabling inside shoulders. The cable leadership from camera modulus they are led by inside second shoulders. These cable and cable from servo - motor placed in joint connecting both shoulders they are led after spiral of outer surface of the first shoulders. Lead cabling in this case non-affected functionality whole telescopic monitoring shoulders. Design of this solving isn't bad. These and all of other cable from servo - motors in base pass by upper cover backside of belt chassis. The question solving cabling wasn't simple in relation conservation functionality of telescopic monitoring shoulders in humidity environment.

The cover of camera modulus and covers single servo - motors there're made by 3D printing and screw up to frame. Reduction total weight telescopic monitoring shoulders presented optimize row of design elements. From this point of view was interesting optimizing shape and mass parameters for shaft connecting both shoulders. This shaft is hollow and must make possible transit of cables. The shaft there solidity conform, was like material used steel compared to other components, which are from aluminous ally. The section joint connecting both shoulders is shown on fig. 3.

Optimizing shape and mass parameters was important at component in base of telescopic monitoring shoulders too. Telescopic monitoring shoulder like unit is by the shape plates fixed on frame belt chassis. Fixation is performed by the screws and it is possible simply dismount. Telescopic monitoring shoulder like unit we can by the other shape plate simply fixed on other mobile robot.

On the cover base is fixed box with electronics for motion control telescopic monitoring shoulders and control camer-

as. Box with control electronics communicates with computer placed inside of the belt chassis.

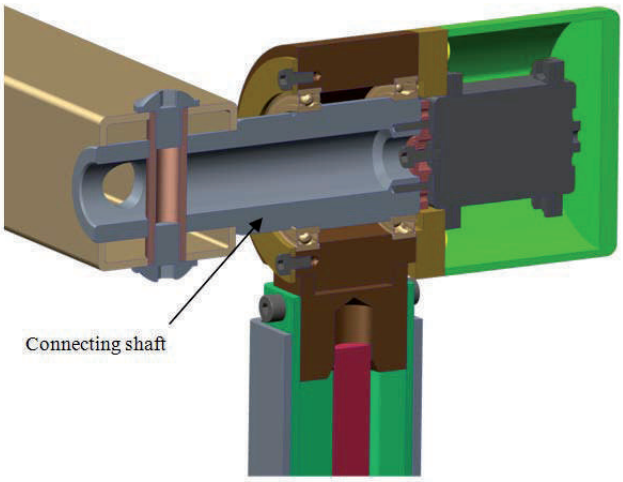


Fig.3 The section joint connecting both shoulders

2. The camera modulus

The camera modulus of telescopic monitoring shoulders is equipped by camera AXIS M1104. Camera in this modulus is full encapsulated and able to work in rainy environment. Scheme of camera modulus is shown on fig. 4. Whole of this modulus has two degrees of freedom and fixed at the end of second shoulders. In this case camera has fixed focus and it is not possible practice zoom. To constructive application service tasks these configuration is fully adequate. To rotation camera modulus about two axis there're used standard servo - motors HITEC. The both of rotation make it possible movement from zero position ±90° on both sides. Direction turning camera modulus at working position of telescopic monitoring shoulders pursue human operator. The camera modulus presents one from five cameras, which will be placed on service robot. Presently is service robot equipped by three cameras. There is project equip manipulation extension camera placed on end shoulder.

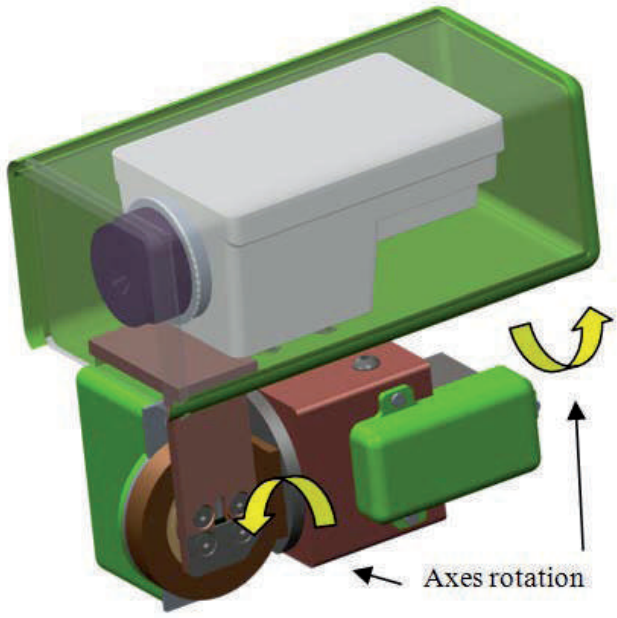


Fig.4 The camera modulus

Designed of this camera modulus with once camera we can exchange for other camera modulus. The other camera modulus can be equipped by two cameras. In this case camera modulus is able pursue other activities than is pure monitoring top platform of service robot too. The camera modulus with two cameras we can use for 3D metric data capture. In this case there extend area application of service robot. As a concrete example of service task we can bring distance measuring in space any select two points on purchase picture from both cameras. The telescopic monitoring shoulder in this case will perform two functions. The construction telescopic monitoring shoulders continue conserved and exchange only camera modulus. Camera modulus with two cameras must answer definite conditions. Once of these conditions is possibility connection on existing second shoulder. The next condition is sufficient distance among by both cameras and alignment of both objectives. On this modulus will be setting except next requirements too. Example possible constructional solving of camera modulus with two cameras is shown on fig. 5 [1, 2].

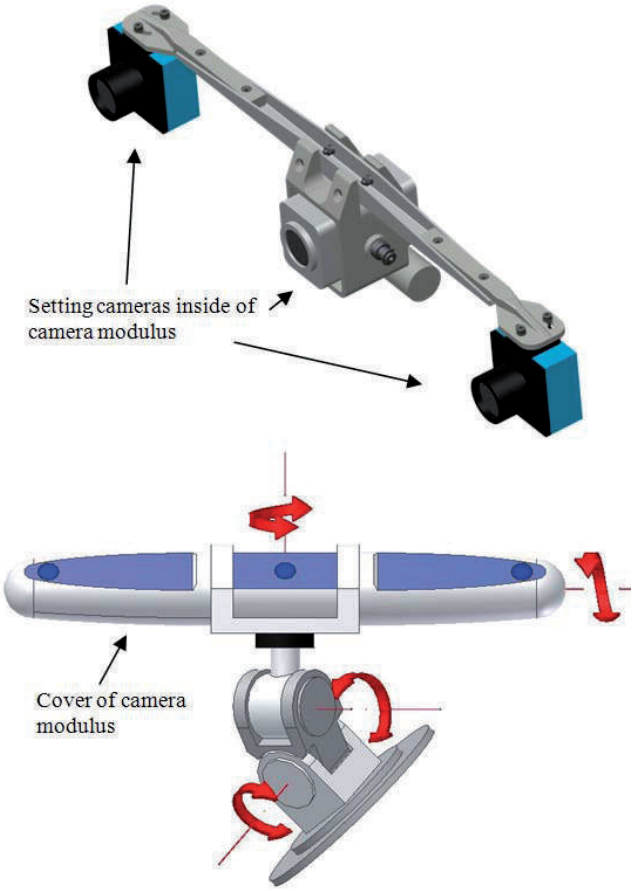


Fig.4 Example possible constructional solving of camera modulus with two cameras

Lens shutters of the cameras making stereo pair images of the measured object are controlled from operator station. Processing of the images is done directly on the computer placed at the robot. This is due to need of parallel processing of both images and computer power demands necessary for capture of both the images at the same time (two separate firewire controllers are needed to handle data streams). Accuracy of the 3D data captured depends on measured object distance. With the photogrammetric base and camera types we use best results are achieved at 10 m distance – in this case it is lower them 15 mm.

For calibrating the photogrammetric stereo base, and for carrying out the photogrammetric measurements in the scenes, our own software has been developed at the Department of Informatics. The calibration of the base includes determining the intrinsic parameters of both the cameras (the focal lengths, positions of the principal points, coefficients of non-linear distortion of the lenses), and the extrin-

sic parameters of the camera pair (the vector of translations, and the vector of rotation angles between the cameras). For calibrating the base, a chessboard calibration pattern is used [4, 5].

The software realizes the calibration in the following four steps:

- creating and managing the set of calibration images (the set contains pairs of images captured from the cameras or read from files),
- automated processing of the images of calibrating patterns (automated finding of the chessboard pattern and the calibrating points in it),
- preliminarily estimating the intrinsic and the extrinsic parameters of the base,
- final iterative solution of all the calibration parameters. For the initial estimation of the parameters, the method proposed by Zhang [2] is used.

Both the radial and the tangential distortions of the camera lenses are taken into account. The final solution is done by the minimization approach. The sum of the squares of the distances between the theoretical and the real observed projections of the calibration points is minimized by the Levenberg-Marquardt method. The computing system is based on Arcon Apollo embedded computing platform, that provides very high computing power, has relatively small dimensions for the power and interfaces possible and at the same time has low energy requirements [4]. Due to 3D software development reasons we use Microsoft Embedded XP as an operating system. We are taking use of its modularity and scalability, so the system image together with all the applications is smaller them 200 MB. The selection of this “similar to desktop” system is also very useful for easy expansion of supported tasks and functions – standard applications can be used directly or with only minimal customization.

Areas of practical application design telescopic monitoring shoulders on service robot with belt locomotive mechanism and next similar variants it is possible show in several groups of practical service task. According to division areas alignment we can present for example application for:

- Monitoring and servicing city areas,
- Informative robots in public buildings,
- Monitoring all sorts of place, objects etc.,
- 3D metric data capture at city areas,
- Transportation subjects of different character,
- Next service tasks.

Conclusions

Operation and control subsystems will be tested on the prototype design telescopic monitoring shoulders. Testing will be performed on prepared polygons during practical applications of selected service tasks. Among others we will monitor influence of different conditions and environments on control subsystem and video transmission. Results of polygon tests will be compared to the characteristics calculated during testing of 3D model with use of MSC/ADAMS software. The examples presented show functional robot with telescopic monitoring shoulders suitable for various service tasks in outdoor and indoor environments. This article presents knowledge gained during solution of grant project subsystems of service robots no. SP2012/30.

References

[1] KÁRNÍK, L.: The model of extension of service robot for monitoring and obtained metrical 3D information. In: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, vol. XLIX, Mechanical Series, No.LI, Ostrava: VŠB - TUO, 2005, pp. 123-126; ISBN 80-248-0881-1, ISSN 1210-0471.

[2] KÁRNÍK, L.: Simulation and analysis of the service robots. In: Journal Acta Mechanica Slovaca, published by Faculty of Mechanical Engineering, the TU in Košice, 2006, Slovak Republic, roč. 10, č. 2-A, pp.199-204, ISSN 1335-2393.

[3] KÁRNÍK, L.: The functional prototype of belt mobile robot. In: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, vol. LVI, Mechanical Series, No.1/2010, Ostrava: VŠB - TUO, 2010, pp. 109-114; ISBN 80-248-0881-1, ISSN 1210-0471.

[4] KÁRNÍK, L., STANKOVIČ, J., VALA, D., BABJAK, J.: Monitoring and 3D metric data capturing robot prototypes. In: Journal Acta Mechanica Slovaca, published by Faculty of Mechanical Engineering, the TU in Košice, 2008, Slovak Republic, roč. 12, č. 2-A, pp.321-328, ISSN 1210 – 0471.

[5] RAPANT, P., STANKOVIC, J., SOJKA, E., GAVLOVSKY E.: Visual system for metric 3D data gathering and processing in real time. Proceedings of the First International Symposium on Geo-information for Disaster Management, March 2005. In: Oosterom, P. van, Zlatanova, S., Fendel, E. M. (eds.): Geo-information for Disaster Management. Springer-Verlag, Berlin, 2005. 1434 str. ISBN 3-540-24988-5. Pages 609-617.

Abstrakt

Článek prezentuje vyrobený prototyp teleskopického monitorovacího ramena, které je určeno pro monitorování robotu, získávání a zpracování metrických 3D informací v reálnem čase. Tvar, funkce a základní charakteristiky vyrobeného prototypu odpovídá požadavkům na vybavení monitorovací technikou pásového robotu ARES. Robot může plnit řadu servisních úloh se zaměřením na monitorování nástavbových modulů na platformě robotu. Záměnou jedné kamery na dvě kamery může teleskopické monitorovací rameno získávat a zpracovávat metrické 3D informace v reálném čase. Na vyrobeném prototypu budou ověřovány výkonové a řídicí subsystémy.

Ing. Ladislav Kárník, PhD.

VŠB – Technical University of Ostrava
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Robotic
17. listopadu 15)
708 33 Ostrava-Poruba
Tel.: +420 597 324 123
E-mail: ladislav.karnik@vsb.cz

Automation Analyse and Indication Surface in Machining using Robot

Tadeusz Mikolajczyk

Abstract
Paper presents the unconventional using industrial to surface machining. Robot equipped with tool and USB camera was used to surface machining with recognize of machining area. Showed possibilities of surface view to self programming of surface finishing. Special PC control system of IRb60 industrial robot was used.

Keywords: image recognition, robot machining, robot grinding, G-code

Introduction

The industrial robots [1-7,9-12] was used in different jobs. Many robots equipped with special tools for surface machining are used in cutting [2-6] and grinding [2,3,7,9] processes. These solutions are cheaper than conventional numeric control machine tool systems. Most surface processing with robots are programmed with CAM systems [3,6,9]. New ideas of robot using are machining unknown surface geometry [3,7,9] and using robots for turning [3,6] or rapid prototyping [3,10-12]. Rapid prototyping using robot is made with metallic [11] and non metallic [10,12] materials.

In technics increased rule of using image recognition for many different purposes [3,7,9,13,14]. Images from digital cameras was used to recognition shape, dimension of objects and defect recognition [13]. They are used both professional and other digital cameras [3,7,9,13].

The robot control systems are more and more equipped digital cameras as sources of information. Motoman robot, features the camera, allows to assembly seats [15]. In automated machining process unknown shape surfaces was used special reverse engineering system [3,7,9] with surface scanner made using USB camera. Digital camera was used to surface roughness analyse [15] using robot and to image of surface analyse [16].

In this article presents application of industrial robots using for machining with image recognition of machining area. This systems was elaborated in Production Engineering Department, University of Technology and Life Sciences (Bydgoszcz - Poland).

1. Videooptical measurement

Videooptical measurement accuracy depends on the camera resolution and optical zoom [13]. Between the real size of the object *lr* and its view on screen *ls* defines the relationship:

$$zoom = \frac{ls}{lr} \qquad (1)$$

Dimension ls increase with camera resolution and optical zoom. The accuracy of screen measurement is *ds* and depends on pixel size. The accuracy of video optical measurements of real object *dr* is:

$$dr = \frac{ds}{zoom} \qquad (2)$$

This relation is illustrated at Figure 2 in the example for *ds*=0,24 mm.

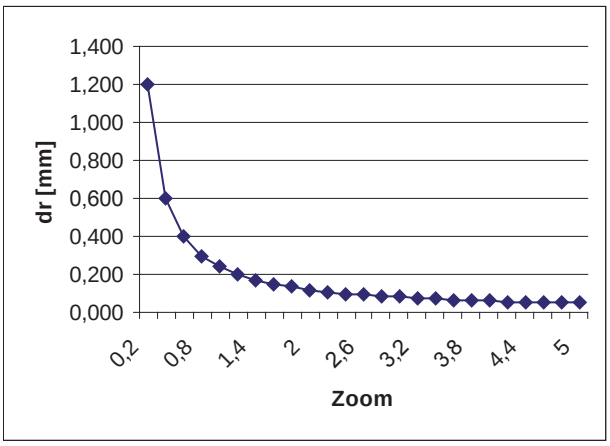


Fig. 1. Zoom influence on videoptical measurement accuracy (*ds*=0,24mm)

Accuracy of measurements increase with using micro scale (zoom>1) and strongly decrease in macro scale. When using more advanced methods of analysis can be increased to sub-pixel accuracy [13]..

2. Idea of surface machining area recognition using camera view

Idea of surface machining area recognition presented at figure 2. View of machined surface will be used to recognition of robots machining area. Object's linear dimensions or coordinates of flat object's specific points may be determined on base of measurement on view computer's screen. Calibration of camera makes possible video optical measurement linear dimensions on flat surface. Value of calibration factor depends on distance between workpiece surface and camera. Captured using camera view of surface (Fig. 2) may be of different quality. For images with low contrast (Fig. 3) the simplest possibility is to use the image from camera as a template to draw the work area contour. A second possibility (Fig. 4) is using the

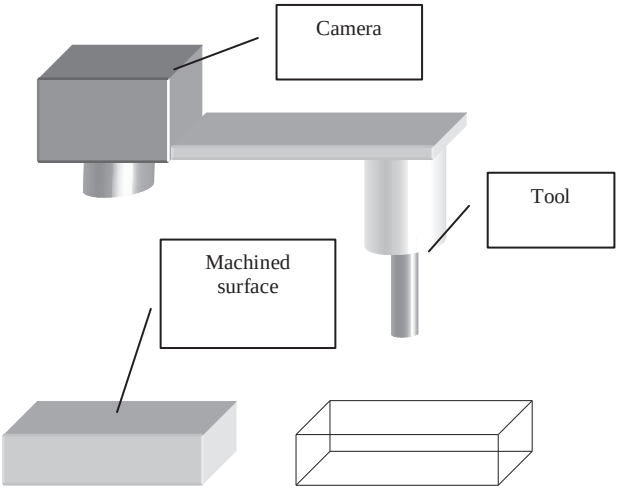


Fig. 2. Idea of using view of machined surface for define of machining area

high contrast image directly as information about machined surface. However, this requires sensitive procedures for the analysis of the image area. This images was used for controlling the robot self-programming process with automatic tool path designation (Fig. 3,4).

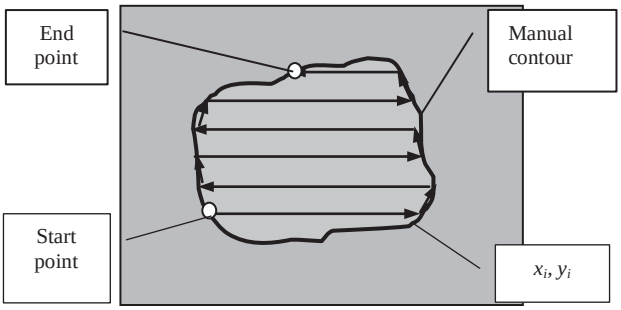


Fig. 3. Automatic tool path designation of the low contrast image, with manual indicate machining area contour

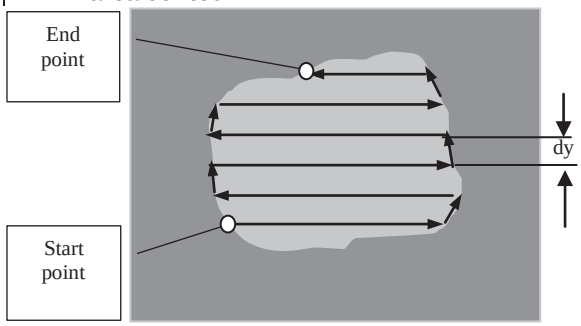


Fig. 4. Automatic tool path designation of the high contrast image

The analysis uses a pixel color measurement. When the pixel sampled color matches the boundary line color, its coordinate is saved as coordinate of verse end line and sent to the procedure for generating the G-Code. The next step is to search the border area to move to the next verse in accordance to the border gradient (Fig. 3,4). This procedure provides a through treatment of the surface with complex shape boundaries. Control system of industrial robot used in presented jobs (IRb60) and others allows controlling movements of the robot head in one plane in the *x-z* Cartesians coordinates and radial system of robots rotate [14]. It is used to in method of image analyse (Fig. 5).

Were developed the special algorithm (Fig. 6) to control of picture analyse and machining process. Was used that same algorithm to analyse of machined area in two presented approach (Fig. 3,4).

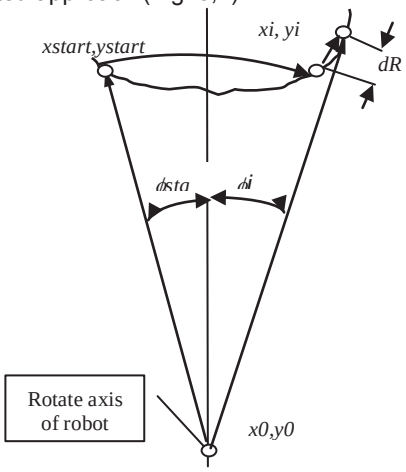


Fig. 5. Cordinations of robots radial system

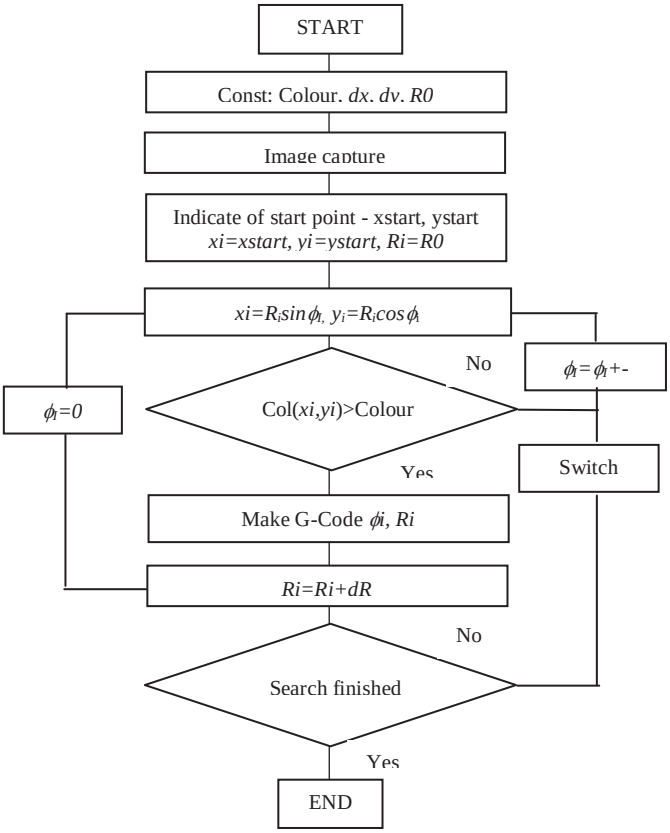


Fig. 6. Algorithm of picture surface analyse

Developing a machining procedure (Fig. 6) procured in many steps. In the first was made image of machined area in certain distance. Now arbitrally was analysed if need manually selection of machined surface. This especially is need in low contrast image and if need special selection of presented surface of machined area. Now manually was pointed the start of picture pixel analyse to indicate the boundary points of machined area in horizontal direction of picture. Image surface is analyzed according to the circle trajectory of the robot wrist motion in the horizontal. Points *x* and *y* of image area are calculated according to the algorithm shown in Figure 6 based on the current value of the radius *R* and a given ϕ angle. The border points of the area determined in accordance with the required procedure of image analysis are written to control file. Each line is

shifted by the value *dR* of the feed links to the tool diameter. It is made in left or right direction according to the diagram of tool trajectory (Fig. 3, 4). The next step is to search the border area to move to the next verse in accordance to the border gradient (Fig. 3,4). This procedure provides a through treatment of the surface with complex shape boundaries. Its results was saved as coordinations in G-Code.

2. Surface indication system for IRb60 obot

Elaborated system was implemmented for IRb60 industrial robot.

2.1. PC controlled industrial robot

In this system the manual control panel of IRb60 robot was combined with the computer via a special interface with 16 relays, controlled by the LPT (Fig. 7) [19]. Limits of this solution is possibility of use only selected speeds from the palette of available values. This is a serious limitation of the developed control system. At the same time, due to the use of mechanical relays, control ability is limited by steps providing the possibility to obtain high-precision displacement and variable speed control. Elaborated robot control system, and software makes new possibility of IRb60 robot using [3-7,9,12].To realization presented idea was used industrial robot equipped with tool and USB camera (Fig. 8). This robot is controlled directly by PC equipped in image capture system [19].

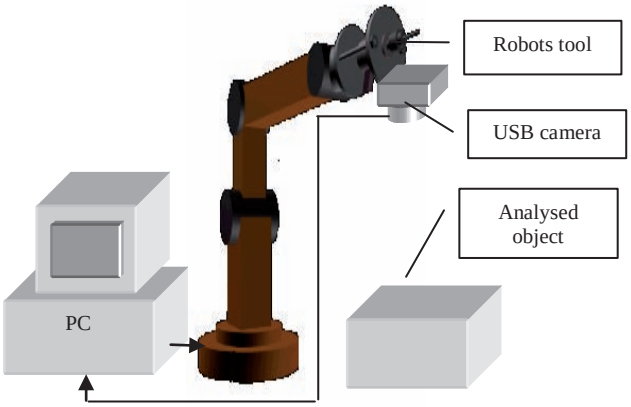


Fig. 7. Robot control system included the USB camera for capturing images of machined objects

2.2. Robot control system with machining area indication

Was made the special software to capture and analyse of camera view and control machining process. The *RoboView* control software (Fig. 9) was developed in VB6 environment using components to LPT control and USB camera image capture.

The developed *RoboView* software, which main form was presented at Figure 9, includes a manual control panel for robot's movements. It can be used to bring the tool in machining zone. The *RoboView* software includes also on its main form:

- ·USB camera panel,
- ·image analysis panel,
- ·source data panel,
- ·visualization of tool trajectory panel,
- trajectory G-code tool panel.

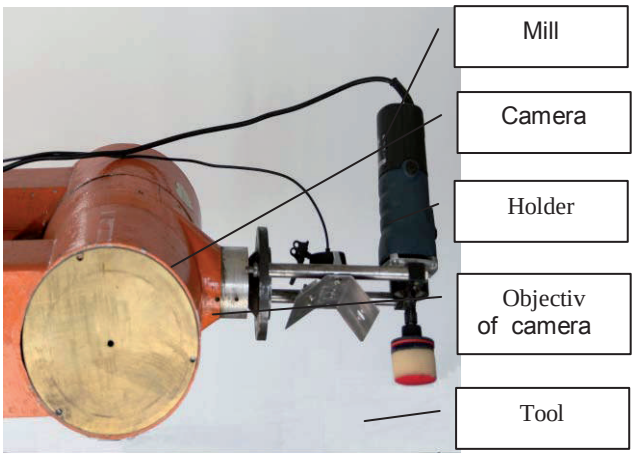


Fig. 8. View of robots tool and USB camera holder

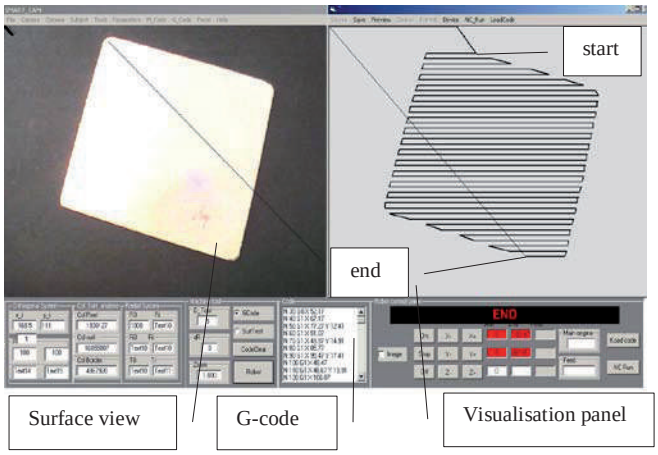


Fig. 9. Main form of *RoboView* software with example of automatic made G-code trajectory

Selection of an area of image analysis (indicating the area of machining) is performed by indicate point inside its view. In this analyse was used the feed value which depends on robots tool diameter. The trajectory G-Code is done with on-line analysis of image pixels accordance with algorithm of software (Fig. 6).

Machining process starting with NC run button. In this process the movement of the robot wrist was followed with tool in accordance with the G-Code trajectory. Machining process is visualized in special panel (Fig. 9).. All parameters may be changed – in *x*, ϕ. Machining process was made in constans value of *z* because now system was used to machining flat horizontal surfaces. The small differences was compensed by elasticity of tool surface (Fig. 8).

In this example to fit on the screen image of both the subject and the actual visualization of the machining process was used VGA camera resolution (640x480 pixels). In this trials was used laptop Lenovo N100 (1280x1024 pixels resolution of screen). Accuracy of this image analysis in used *zoom*=1.000 was *dr*=0,25mm. The adopted methodology for objects image in the left panel is necessary for the analysis of on-line pixel color screen. Visualization panel on the right side allows convenient analysis of the presentation of the treatment progress. It is possible to use the full screen resolution for the image analysis and machining process visualization. The simulation process can be presented on an extended desktop, which requires a second monitor, or can be carried out directly on the image to visualize the object.

Conclusions

In this paper presented idea for using image of surface as source information for process machining with robot equipped in special tool for surface finishing. To capture images was used USB camera, connected to IRb60 robot control system. Presented in the paper application of CAM system make possible automation of process machining using industrial robot.

The developed systems is in a trial phase. It is targeted to use a contactless system of testing surface condition [15] to on-line control results of surface machining.

An additional advantage of the system is able to directly obtain an image from USB camera connected to system. It's important end expected to carry out tests according to the time-consuming processing of automatically generated control files of machining process.

The software development should proceed in the direction of application with sub-pixel analysis procedures to accuracy enhance [13]. Future work may include the opportunity to obtain the 3D image using several images taken at different camera shots [13]. This would enable the processing of unknown shape surface finishing, as obtained in [3,7,9] with the scanner associated with the robot arm.

Acknowledgements

I would like to especially thanks the students of Division of Production Engineering from University of Technology and Life Sciences (POLAND, Bydgoszcz). They participated in the developments of IRb60 robot computerized control system. This create the possibility to perform very progressive jobs [3-7,9,10,13,14,15].

References

[1] CHEN Y. H., HU Y. N., Implementation of a robot system for sculptured surface cutting. Part I Rough machining. Int. J. Adv. Manuf. Techn., vol. 15, (1999), pp. 624-629

[2] HU Y. N., CHEN Y. H., Implementation of a robot system for sculptured surface cutting. Part II Finish machining. Int. J. Adv. Manuf. Techn., vol. 15, (1999), pp. 630-639

[3] MIKOLAJCZYK T., Manufacturing Using Robot. Advanced Materials Research, vol. 463-464, (2012) pp. 1643-1646

[4] LATOS H., MIKOLAJCZYK T., Surface shaping with industrial robot. OPTIROB'2006, Predeal, Romania, University "POLITEHNICA" of Bucharest, (2006), pp. 265-269

[5] LATOS H., MIKOLAJCZYK T.: Virtual aid design of geometric and kinematics flexible tools. XII Work. on Superv. and Diag. of Mach. Sys.. Virt. Manuf., Karpacz, Poland, (2001), pp. 145-152

[6] MIKOLAJCZYK T.: Robot-Turner, Advanced Materials Research, vol. 463-464, (2012) pp. 1682-1685

[7] MIKOLAJCZYK T.: The robot machining system with surface shape active control. OPTIROB'2007, Predeal, Romania, University "POLITEHNICA" of Bucharest, (2007), pp. 205-209

[8] www.irbcam.com

[9] MIKOLAJCZYK T.: Robot application to surface finishing, Journal of Polish CIMAC, Vol. 5, Nr 3, (2010), pp. 107-112

[10] LEWANDOWSKI J., MIKOLAJCZYK T.: Rapid prototyping using robot, 10th Int. Conf. Automation/ Robotics in Theory and Practice, ROBTEP'2010, Slovakia, Bardeov, (2010), pp. 201-206

[11] RIBEIRO F., NORRISH J.: Case Study of Rapid Prototyping using Robot Welding - Second 'Square to Round' Shape http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3083/1/12%20PROBOT~2.pdf

[12] Giant Robot Prints Chairs from Ground-Up Refrigerators [Video] http://www.fastcodesign.com/1662793/giant-robot-prints-chairs-from-ground-up-refrigerators-video?partner=co_newsletter

[11] TOKARCZYK R. KOLECKI J. TOKARCZYK P.: Application of mobile digital camera in 3D visualization of shrine. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 17b, (2007), pp. 769-778 (in polish).

[12] www.robotprodcast.com/forum/viewtopic.php?4&ct=248

[13] MIKOLAJCZYK T.: System to Surface Control in Robot Machining .Advanced Materials Research, vol. 463-464 (2012), pp. 708-711

[14] MIKOLAJCZYK T.:WASIAK P.: Machining with Image Recognition using Industrial Robot. Applied Material and Mechanics. vol. 186 (2012), pp. 55-57

[15] http://www.youtube.com/watch?v=1UBFo8cgLBM&feature=related

[16] MIKOLAJCZYK T.: Modernization of IRb60 industrial robot steering system. OPTIROB'2007, Predeal, Romania, University "POLITEHNICA" of Bucharest, (2007), pp.149-152

Mikolajczyk Tadeusz, PhD, Assistant professor

University of Technology and Life Sciences
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Production Engineering
Prof. Kaliskiego 7 street
85-796 Bydgoszcz
POLAND
Tel.:
Fax:
E-mail tami@utp.edu.pl

Mobile Robot for Knowledge Presentation

Tadeusz Mikolajczyk, Janusz Musiał, Lukasz Kamieniecki, Michał Murawski, Lukasz Romanowski

Abstract
The paper presents the construction of a multi-purpose mobile robot. The main assumption was to create a robot which would be able to move in all directions, grab items and communicate with the environment. This developed robot controls the system based on Thinkpad X41 tablet with a special interface and its own software.

Keywords: intelligent robot, mobile robot, Power Point presentation

Introduction

Present-day mobile robots [4,8,9,12] are very sophisticated constructions and their features seem to be continuously more human alike. Robots have magnificent skills to interact with the environment [1] and locomotive skills like walking, climbing stairs or even running [4,5].

Intelligent robots are constructed to serve for fun or to replace humans in difficult or dangerous tasks. Those robots are more and more advanced [2,8,9].

One of the most advanced walking robots is ASIMO [9], constructed by Japanese company – Honda. ASIMO is able to walk: forward, backward, strafe on sides, run, avoid obstacles, turn around and interact with environment. It recognizes moving people and their faces. It is able to follow their directions, come when asked or use voice recognition function. This robot can play on violine [13]. The Motoman company industrial robot is equipped with two arms and a camera for assembling process [14].

The paper deals with a design of a mobile robot equipped with a hand and its control system performed by Mechanical Students Science Division from University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz, Poland. The presented solution is a new version of Pipe robot [6].

1. Mobile robot construction

The mobile robot construction is based on easy to find and cheap parts (Fig. 1). Its skeleton is made of metal pipes, connected together with connector pins. The base of robot is mobile platform with 3 wheels. Platform drive consists on two screwing/drilling 6V devices with mounted wheel. Third wheel enables robot to turn and change movement direction similarly to [1]. Robot was named Pipe jr because it is the new version of our first robot this type [6].

Robot head (fig. 2) is an internet camera with built in two speakers, which imitate eyes.

Heads position is controlled with two engines placed in aluminum corps. In face of robots head is placed the animation panel using 5 red LED. An arm is built with a screwing/drilling device and special housing, on which are placed three moved with ties fingers (Fig. 3) made of hinges [8]. Robot Pipe jr is equipped with IBM tablet X41 computer which controlled by digital output card, using special software. Tablet X41 have rotational touch panel (1064x768). It is very useful as the robot steering control device. The control computer is assembled below the head of the robot. It enables a perfect panel display of the robot together with its software useful in practical application of the robot.

The control system is assembled in a box situated on a mobile platform of the computer. A steering card, a transmitter panel and the robot batteries are installed in the box.

Main basics mobile robots construction was made considering to its functions:

- ·mobility,
- ·autonomy,
- ·ability to communicate with human,
- ·interactions with environment,
- ·ability to online control by internet.

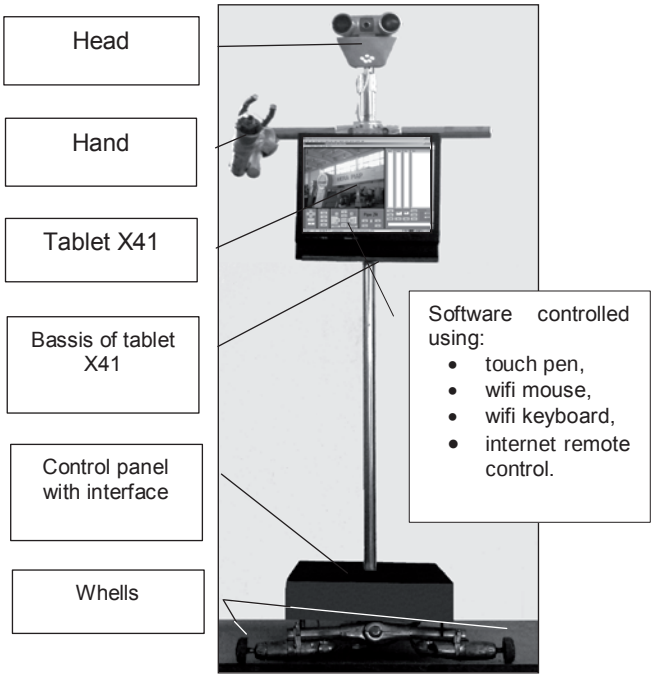


Fig. 1. View of mobile robot Pipe jr

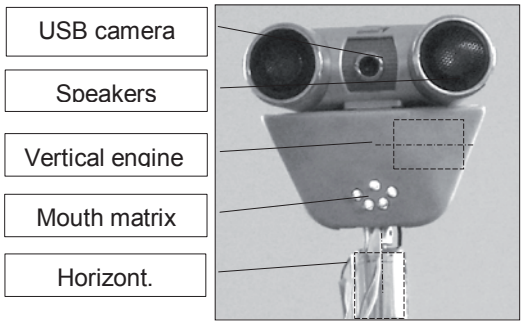


Fig. 2. Pipe jr robot head

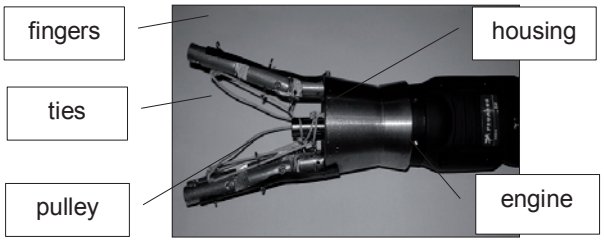


Fig. 3. Robots hand

2. Robots control system

The robot is equipped with several executive devices, which are 5 DC engines controlling all the robots movements including heads and arms movement. The kinetics is analogical with the kinetics of robot presented in [5]. Robot control system based on scheme shown on figure 4. It consists on PC computer connected by USB cable with

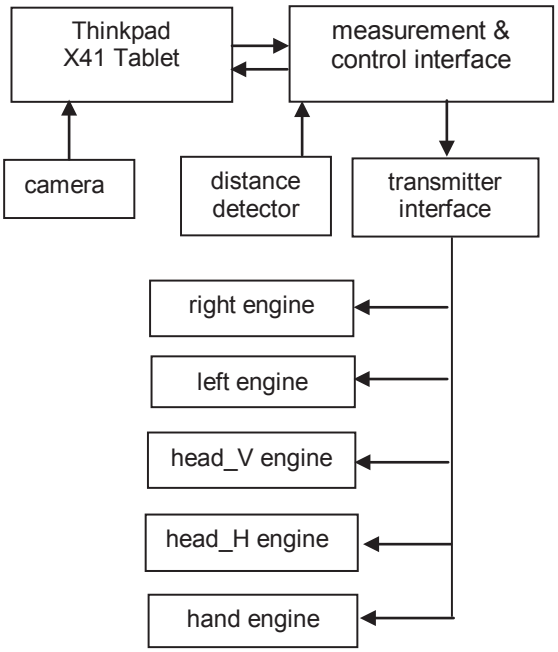


Fig. 4. Control system scheme

measurement and control extension card (Fig. 5). Digital output data is sending to transmitter card to control robots engines. Analogy distance detector was connected to analogy input of control and measurement extension USB interface. Measurement card and microphone were connected to USB internet camera (Logitech) which have the hub function too.

This structure have open architecture and it is possible to include other USB interfaces (stepper control card, servo control, GPS, next USB camera, etc).

Used control and measurement USB interface (Fig. 5) is equipped in many possibilities:

- ·8 digital outputs channels,
- ·2 analog output channel,
- ·5 digital input channel,
- ·2 analog input channel.

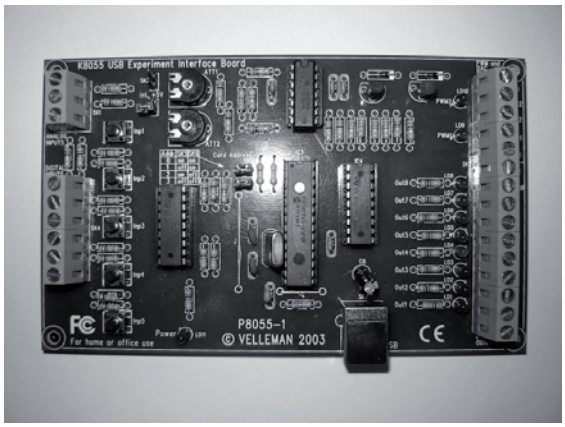


Fig. 5. Control & measurement USB interface

8 digital outputs channels following control scheme has been chosen to left and right wheel engine control and horizontal and vertical move of robots head. Robots hand control was made using analog output channel. Distance sensor was controlled using analog input channel. The LED matrix was controlled using special voice analyzer of speaker input analog outputs. Was used 3sounds channels modul. Main drive engines are supplied with power by 6V DC power source and the transmission card is supplied from 12V DC power source.

To control the Pipe jr robot previously made and described in [5] software has been adapted. Was made new main software *PipeControl* (fig. 6) with large format of robots camera view. This software can control Pipe jr robots manually or using its in automation mode.

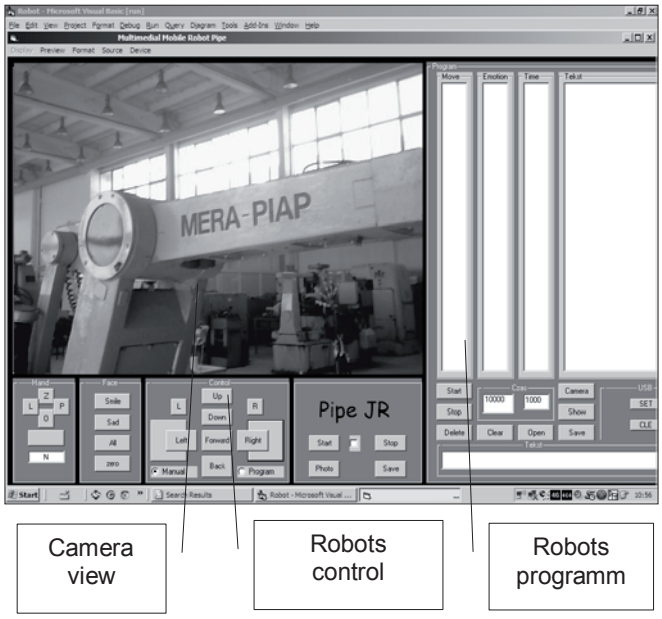


Fig. 6. *PipeControl* software interface (camera view 640x480 pix.)

Button of software control may be using by tablet pen, wifi keyboard or wifi mouse (Fig. 1). It is possible to control the robot using a remote desktop [3]. For this solution is useful to use a second camera for observing the robot from the outside. Successful attempts to remote control conducted except that the reduced aspect ratio of the camera.

3. Robots using to knowledge presentation

The designed model robot, despite the simplicity and the simplified control system provides a wide range of applications.

The ability to attach additional interfaces allows the robot to adapt to different needs if the existing configuration is insufficient.

As an example of a practical application it is shown the use of the robot to automatic display of a Power Point presentation. This was achieved with the use of a special form of VB6 in the robot control program *PipeShow* (Fig. 7).

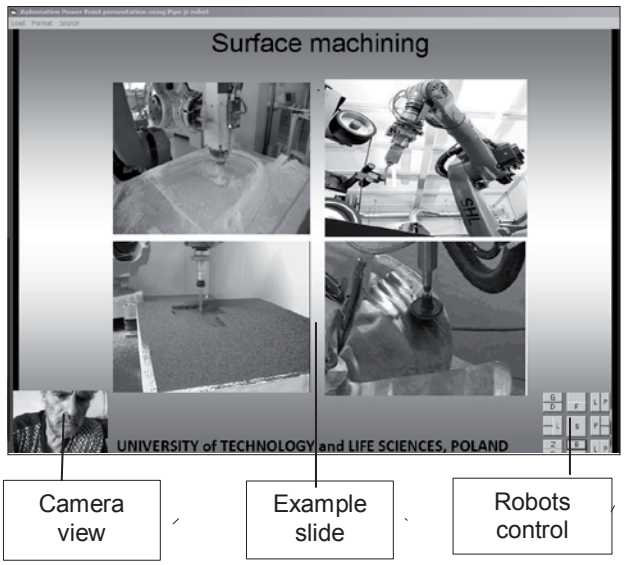


Fig. 7. Example Power Point slide in presentation using *PipeShow* software

On the main form the robot manual control buttons and camera window are placed. A Power Point presentation is introduced into applications. In the presentation there should be prepared speaker's comment to each slide in a notebook. (Fig. 8). Ivona speech synthesizer, should be set in with the appropriate voice (language, sex). The use of Ivona provides excellent sound quality [11], the use of male or female voices. Synthesizer Ivona from Poland [10,11] is the best solution in the world. Among others languages including: Dutch, English, French, German, Italian, Polish, Spain, Romanian can be used more and more languages [10,11]. During playback, the text is online transformed in automatic animation of robots head and mouth with a robot panel synchronically speaking and a slide presentation. Because when displaying a presentation followed by a special process using automatic speech synthesis with Ivona synthesizer text in a notebook can be modified.

At the University of Technology and Life Sciences the Pipe jr robot with *PipeShow* software is used practically in the laboratory of cutting and technology teaching as a laboratory assistant. In this course robot presents students with some knowledge of laboratory exercises and a program of activities. For example this system is useful for Erasmus students requiring courses in English.

PipeShow software is very useful for displaying automatic presentation of participants who cannot attend in person or have some problems with knowledge of the conference. This program is particularly useful for the tasks of promotion and advertising. Using special prepared Power Point presentation *PipeShow* software can presents each kind of knowledge. This presentation using Pipe robot is very natural. and more interesting than only voiced Power Point slide show.

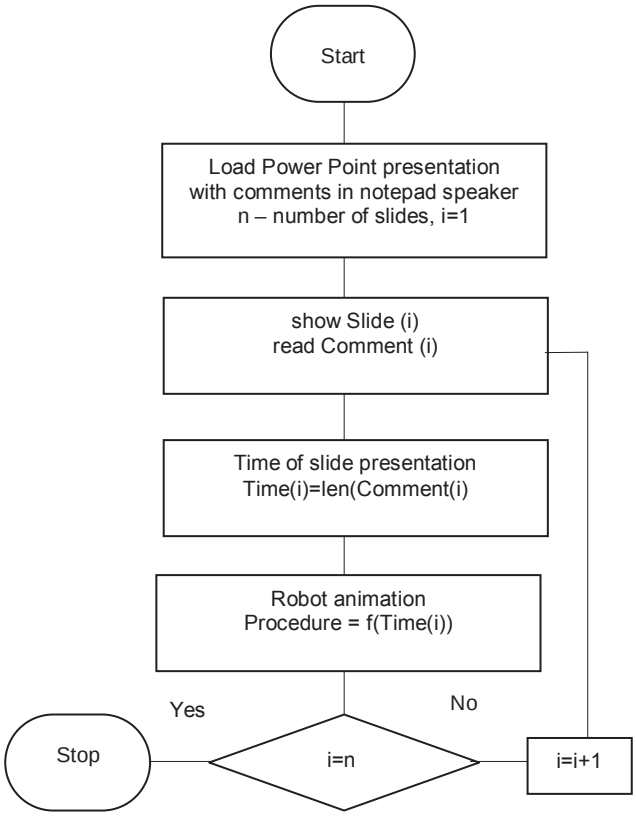


Fig. 8. Procedure of slide show and read its comments with robots animation

Conclusions

Presented robot is a very cheap solution. Project of mobile autonomic robot consisting on easy to get parts fulfills several complex functions. Constructed robot is an excellent base for extensions. The use of the Thinkpad tablet X41 ensures the appropriate computing power of the processor, new possibilities of configuration of the robot as well as the use of the touch screen to communicate with the robot.

To better control need change engines on stepper controlled and other as servo. Future software updates requires voice [2,8] and face [1] recognize systems. It was presented in previous applications of Mechanical Students Science Division [1-3,5,6]. But now this robot is very need in didactics processes especially to teaching foreign students. With using *PipeShow* software Pipe jr robot can speak in many languages of the world [10,11] with the best quality.

Presented example of using Pipe robbot shows large possibility of its using as intelligent source of knowledge. It is not comlicated to prepare data for slide show for robot using *PipeShow* software.. Need only Power Point software with comments in speaker notepad.

Reference

[1] CHOCISZEWSKI T., MIKOLAJCZYK T., ROGUSZCZAK L.: Interactive Software of Multimedial Computer Interface. Komputerowe Wspomaganie Badań, Projektowania i Wytwarzania, Duszniki Zdroj, ATR Bydgoszcz, 2004, pp. 19-22

[2] CHOCISZEWSKI T., MIKOLAJCZYK T., ROGUSZCZAK L.: Voice using to IRb60 Control. Komputerowe Wspomaganie Nauki i Techniki, II Warsztaty Naukowe, CAX'2005, Duszniki Zdroj, ATR Bydgoszcz, 2005, pp. 25-28

[3] DALAK M., KAMIENIECKI L.,. MIKOLAJCZYK T., OLARU A.,. SZCZEPANIAK T.: Industrial Robot Control with WWW. Procedings of OPTIROB'2008, Predeal, Romania, 2008, pp. 259-260

[4] HAJDUK M., SUKOP M., VAGAS M., CIRIP M.: Humanoid Robot for Robosoccer, Service and Humanoids Robotics, Acta Mechanica Slovaca 2-A/2009, Kosice 2009, pp. 59-64,

[5] KAMIENIECKI L., MIKOŁAJCZYK T., . KAMIŃSKA J., RZYTELEWSKI M.: Multimedial Robot Remote Control. Procedings of OPTIROB'2008, Predeal, Romania, 2008, pp. 255-258,

[6] LEWANDOWSKI J, MIKOŁAJCZYK T., MURAWSKI M., WICHER P.: Mobile Autonomic Droid. Procedings of OPTIROB'2009, Constanta – Mamaia, Romania, University „POLITECHNICA" of Bucharest, 2009, pp. 207-210

[7] SZCZEPAŃSKI Z.: Projecting and Constructing Robot Arm Controlled by Computer Module. Komputerowe Wspomaganie Nauki i Techniki, IV Warsztaty Naukowe, CAX'2007, Duszniki Zdroj, UTP Bydgoszcz, 2007, pp. 37-42

[8] www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotcs-group/kismet/kismet.html

[9] www.asimo.pl

[10] www.ivona.com

[11] KASZCZUK M., OSOWSKI L., The IVO Software Blizzard Challenge 2009 Entry: Improving IVONA Text-To-Speech, http://festvox.org/blizzard/blizzard2009.html

[12] www.spykeeworld.com

[13] http://www.ebaumsworld.com/video/watch/751994/

[14]http://www.youtube.com/watch?v=1UBFo8cgLBM&feature=related

Mikolajczyk Tadeusz, PhD, Assistant professor

University of Technology and Life Sciences
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Production Engineering
Prof. Kaliskiego 7 street
85-796 Bydgoszcz
POLAND
Tel.:
Fax:
E-mail tami@utp.edu.pl

MSEVR – On-line systém pre experimentovanie vo virtuálnej realite

Andrej Belovežčík, Tatiana Belovežčíková

Abstrakt
Virtuálna realita je nástrojom, ktorý, aj keď sa už niekoľko rokov používa v procese prípravy výroby, ešte zďaleka nie je využívaný tak, aby sa skutočne efektívne využíval celý jeho potenciál. Článok predstavuje vlastnými silami vytvorený MSEVR – modulárny on-line systém pre experimentovanie vo virtuálnej realite, ktorého prvotným cieľom je poskytnúť virtuálny priestor vyznačujúci sa vysokou univerzálnosťou a rekonfigurovateľnosťou. Možnosti systému sú predstavené prostredníctvom príkladov z experimentov, ktoré v ňom boli zrealizované.

Kľúčové slová: virtuálna realita, robot, optimalizácia, model, dispozičné riešenie, MSEVR

Úvod

Žijeme v reálnom, teda nedokonalom, svete, ale prirodzene požadujeme, aby hlavne výrobné procesy, prebiehali optimálne. Požadujeme, aby výroba prebehla za minimálnych nákladov a bez zbytočných časových strát. Aby to tak aj skutočne bolo, je potrebné mobilizovať všetky technické prostriedky dostupné v aktuálnom čase, využívať najproduktívnejšie technológie a najprepracovanejšie metódy stavby systémov.

Štruktúry pružných výrobných systémov sú pre človeka dostatočne zložité na to, aby mohol bez obáv tvrdiť, že ním samostatne navrhnutá skladba je optimálna. Pochopenie reakcií všetkých jeho prvkov na predpokladané aj náhodné vstupy je bez technických pomôcok nemožné. Vývoj ponúka stále iné, novšie a výkonnejšie nástroje. Jedným z takých produktov je aj virtuálna realita.

Virtuálna realita je teoreticky známa už dlhšiu dobu. Celkom bežne sa využíva v zábavnom priemysle. V oblasti strojárskej výroby sú z virtuálnej reality implementované niektoré jej prvky, hlavne trojrozmerný priestor, do fázy prípravy výroby, a to hlavne v procese modelovania výrobkov, ale aj projektovania výroby.

MSEVR je modulárny systém pre experimentovanie je virtuálnej realite. Je koncipovaný ako on-line systém a bol vytvorený na Katedre výrobnej techniky a robotiky Strojníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach ako praktický výstup z dizertačnej práce. Prvoradým účelom jeho stavby bolo uspokojiť požiadavku overovania skutočných možností optimalizácie pružných výrobných systémov s priemyselným robotom v prostredí virtuálnej reality.

1. MSEVR

MSEVR bol od začiatku vytváraný za účelom experimentovania, a preto jednou zo základných na neho kladených požiadaviek bola požiadavka maximálnej konfigurovateľnosti a univerzálnosti. Aj to bol dôvod prečo sa vytváral vlastný modulárny systém a nepoužil sa niektorý z komerčných nástrojov.

Obr.1 Prostredie MSEVR

Fig.1 MSEVR Environment

Vzhľadom na modulárny charakter umožňuje voľbou vybraných modulov do značnej miery konfigurovať svoje vlastnosti. Komplexný zoznam funkcií systému je závislý na skutočne použitých moduloch. V prípade potreby je možné systém „odľahčiť", čo znamená, že v konkrétnom prípade nepoužívané moduly nebudú zbytočne zaťažovať počítačový systém užívateľa, ale aj doplniť o ďalšie moduly, ktoré rozšíria jeho schopnosti. Základné prevedenie systému, iba so štandardnými modulmi, umožňuje:

- využitie virtuálnej reality v podobe trojrozmerného obrazu a zvuku;
- pohybovať sa voľne v trojrozmernom priestore „ručne", či v naplánovanom režime;
- meniť spôsob pohybu v trojrozmernom priestore;
- nastaviť pohľady (kamery);
- meniť štruktúru povrchu podlahovej plochy – vodiace čiary pre lepšiu orientáciu;
- vkladať samostatné objekty (stroje, prípravky a ostatné doplnky);
- viacnásobné vkladanie modelov;
- vkladať cudzie objekty s minimálnymi požiadavkami na ich prispôsobenie;
- preberať všetky funkcie vlastné dosadeným F1strojom;
- presúvať a otáčať (okolo osi z) vložené objekty;

- zmenou mierky meniť rozmery vložených objektov, meniť ich orientáciu pootáčaním okolo všetkých troch osí;
- odmeriavať pohyb, posuv aj otáčanie objektov pre presné určenie ich polohy;

1.1 Princíp MSEVR

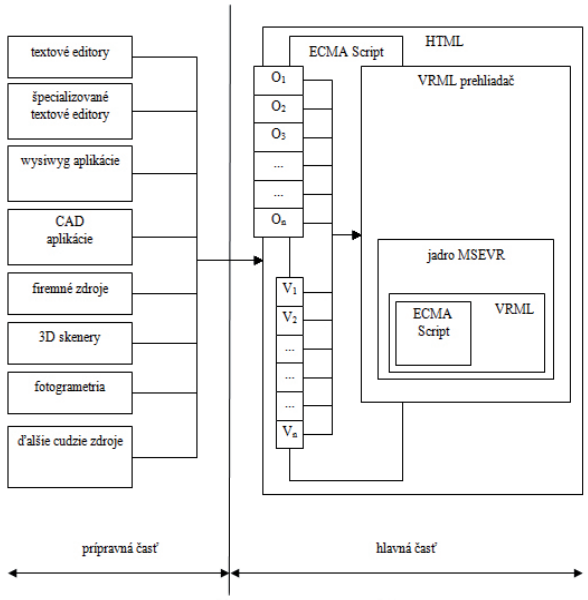
MSEVR je vytváraný ako on-line aplikácia s otvorenou štruktúrou. Vyznačuje sa teda:

- On-line konštrukciou
- Modulárnosťou
- Otvorenosťou

On-line konštrukcia: MSEVR je webovou aplikáciou a ako taká dovoľuje jednoduché použitie, bez špeciálnej inštalácie. Táto forma bola uprednostnená aj preto, že sa so systémom v druhom rade ráta aj ako s učebnou pomôckou bežne prístupnou pre študentov a on-line verzia je pre takýto účel podstatne pohodlnejšou.

Modulárnosť: Systém je stavaný z viacerých modulov. V priebehu experimentovania s ním, je možné ďalšie moduly doplňovať, či odoberať, čím sa budú pridávať či odoberať nadobudnuté vlastnosti. Príkladom vloženia modulu je aj vkladanie samotných modelov do prostredia systému. Modul môže obsahovať objekt virtuálnej reality predstavujúci trojrozmerné teleso, nové vlastnosti systému alebo oboje súčasne.

Otvorenosť: Otvorenosť je aplikovaná na viacerých úrovniach. Na prvej úrovní je otvorenosť aplikovaná ako schopnosťou prijímať cudzie modely. MSEVR dokonca nemá modul pre vytváranie vlastných modelov, ale je navrhnutý tak, aby bol schopný prijímať akýkoľvek iný cudzí model. Systém má vypracovanú metodiku, ktorá popisuje postup úpravy cudzích modelov do podoby použiteľnej pre MSEVR. Obrázok 1 zobrazuje prostredie systému s modelmi získanými z rôznorodých zdrojov. Na obrázku 2 je táto skutočnosť znázornená ako prípravná časť. Druhá úroveň siaha do jadra systému. Na jeho stavbu boli použité voľne dostupné štandardizované prostriedky. Za základný stavebný jazyk bol použitý VRML a doplnkové stavebné prostriedky ECMA Script (Java Script), PHP a HTML. Obrázok 2 znázorňuje použitie týchto prostriedkov v jednotlivých častiach systému a ich vzájomnú previazanosť. (Symbol „O“ použitý v obrázku znamená objekt a symbol „V“ – vlastnosť).



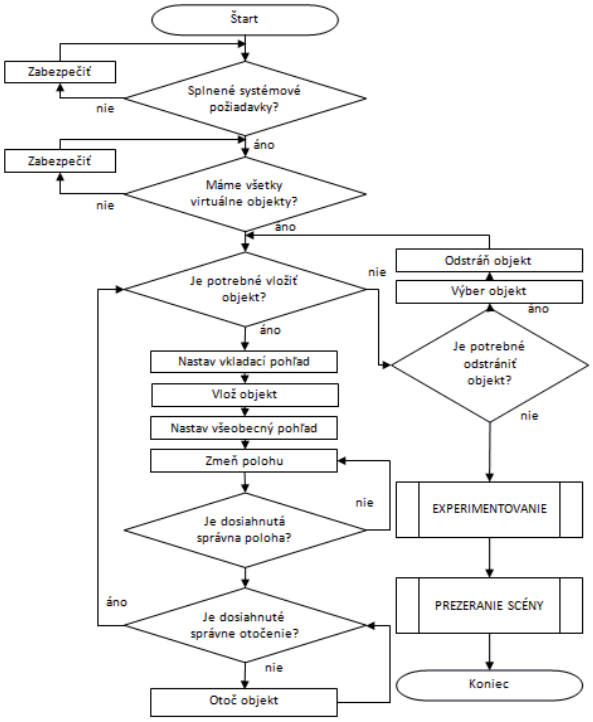
Obr.2 Funkčná schéma MSEVR

Fig.2 Functional scheme of the MSEVR

1.2 Možnosti použitia

MSEVR je zameraný na experimenty vo virtuálnej realite s cieľom poskytnúť nástroj na hľadanie možností optimalizácie pružných výrobných systémov s priemyselným robotom. Jeho jadro je však koncipované tak, že má takmer neobmedzenú mieru univerzálnosti. Je možné ho prispôsobiť na akékoľvek použitie, ale v stave v akom sa nachádza, pokročilejšie formy konfigurácie je možné vykonávať len zásahom do jeho zdrojových kódov. Na experimenty spadajúce do okruhu jeho určenia sa konfigurácia vykonáva ovládacími prvkami.

Na obrázku 3 je zobrazený všeobecný algoritmus postupu experimentovania s dispozičným riešením projektovaného pracoviska.



Obr. 3 Algoritmus experimentovania v MSEVR

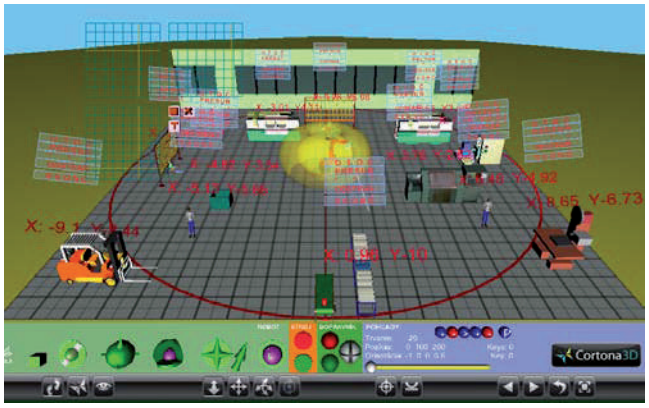
Fig. 3 Algorithm of experimentation in the MSEVR

1.2.1 Možnosti využitia MSEVR pri optimalizácii dispozičného riešenia výrobných systémov

Okrem bežne používaných metód a nástrojov sa nám v procese bádania osvedčili ako optimálne metódy a nástroje najmä nasledujúce skutočnosti:

- možnosť realizácie pohľadu z reálne nedostupných miest;
- zviditeľnenie reálne neviditeľných objektov;
- spriehľadnenie reálne neprehľadných objektov;
- voľne nastaviteľné rozmery neštandardizovaných prvkov systému;
- možnosť realizácie optimalizačného procesu počas virtuálneho chodu strojov;
- obhliadka pracoviska počas virtuálneho letu nad pracoviskom.

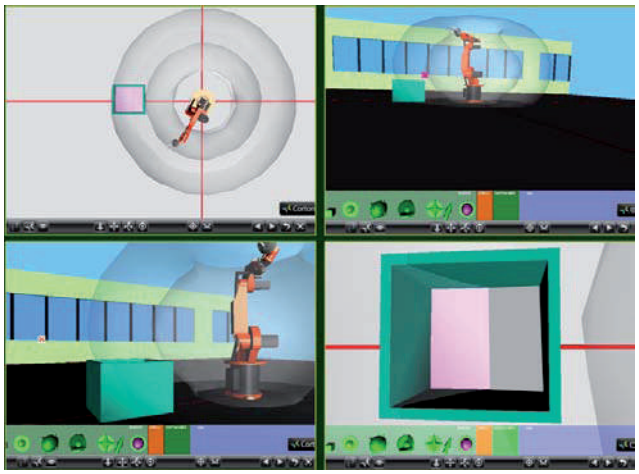
Vzhľadom na to, že hovoríme o virtuálnej realite, priblížime metódy na optimalizáciu dispozičného usporiadania prostredníctvom obrázkov (screen shot) MSEVR. Nasledujúce ukážky predstavujú len niektoré tipy na prácu v MSEVR. Celý rozsah metód závisí vo veľkej miere na tvorivosti užívateľa.



Obr. 4 Začiatok experimentovania

Fig. 4 Beginning of Experimentation

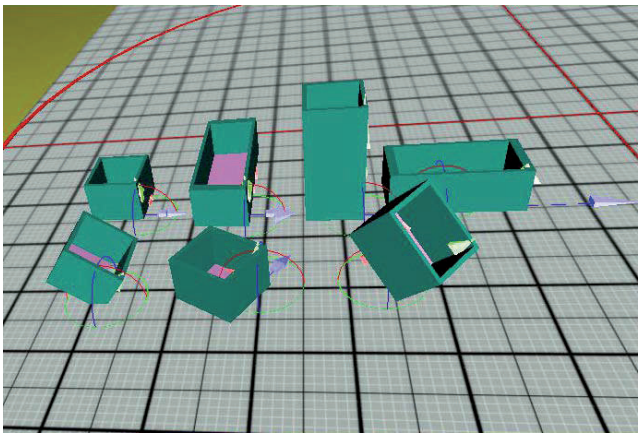
Obrázok 4 je vyobrazením stavu systému pred začiatkom experimentovania. Do systému sú nasadené modely strojného vybavenia pružného výrobného systému. Stroje sú „odložené“ v priestore dielne vo vyčkávacej pozícii. Každý má aktivovanú kontextovú ponuku. Ponuka obsahuje možnosť presunu objektu, otáčania, odstránenia objektu a ukončenie práce s ponukou. V prípade, že je vybraný posun, je zároveň automaticky aktivované odmeriavanie polohy vzhľadom na bod vloženia objektu do systému. Odporúča sa, ale nie je to podmienka, dodržať totožný bod vloženia pre všetky objekty. Takto bude odmeriavanie zobrazovať polohu objektov k tomu istému vzťažnému bodu. Na tento účel má systém zadefinovaný špeciálny vkladací pohľad, ktorý navyše aj zvyšuje presnosť odmeriavania polohy. Ak je z kontextovej ponuky vybrané otáčanie, je aktivované odmeriavanie otáčania objektu okolo jeho zvislej osi. Hodnoty sa zobrazujú v stupňoch.



Obr. 5 Využitie zviditeľnenia neviditeľných objektov (pracovného priestoru)

Fig. 5 Using the visibility of invisible objects (the working area)

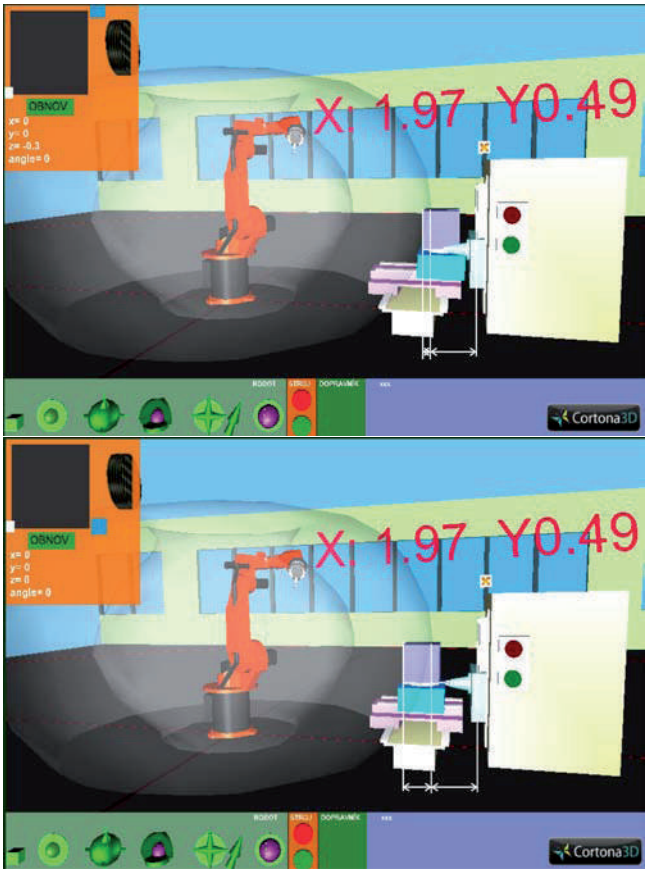
Obrázok 5 znázorňuje detaily skúmania vzájomnej polohy robota a kontajnera s využitím zobrazenia pracovného priestoru robota v polopriehľadnom režime. Kým z prvej časti obrázka (vľavo hore) sa zdá, že kontajner je v pracovnom priestore robota, druhý pohľad (pravá horná časť obrázku) viditeľne naznačuje, že do spodnej časti kontajnera robot nemôže uložiť žiaden predmet, iba ak spustiť voľným pádom. Dolný rad obrázkov v obrázku 5 znázorňuje detailnejšie pohľady na prelínanie kontajnera s polopriehľadným zobrazením pracovného priestoru robota. Je na nich presne vidieť, v ktorých miestach končí schopnosť robota uchopovať objekty. V prípade, že by táto možnosť neexistovala bolo by ju možné nahradiť podstatne zložitejšími, a hlavne abstraktnejšími výpočtami. Človek prirodzenejšie prijíma informácie prostredníctvom zraku, či iných zmyslov než prostredníctvom abstraktných čísiel alebo funkcionálnych závislostí.



Obr. 6 Demonštrácia použitia nástroja pre otáčanie a deformáciu neštandardizovaného modelu

Fig. 6 Demonstrating the use of a tool for rotation and deformation of a non-standard model

Na obrázku 6 je znázornený kontajner ako jeden ponúkaný objekt v siedmych rôznorodých modifikáciách. Modifikácie vznikli z vloženého originálu (ľavý horný objekt) za pomoci deformácie v rôznych osiach (horný rad s výnimkou prvého modelu) a pootáčania objektu okolo ľubovoľnej osi (dolný rad). Deformácia a pootáčanie sú vykonávané voľným ručným pohybom metódou „drag and drop“ za príslušný ovládací prvok. Ako pridaná hodnota k neštandardným modelom je možnosť samostatného pohybu v priestore systému. Na rozdiel od posunu modelov prostredníctvom kontextovej ponuky je tento pohyb v priestore obohatený aj o možnosť dvíhania modelu.



Obr. 7 Optimalizácia s využitím virtuálneho chodu stroja

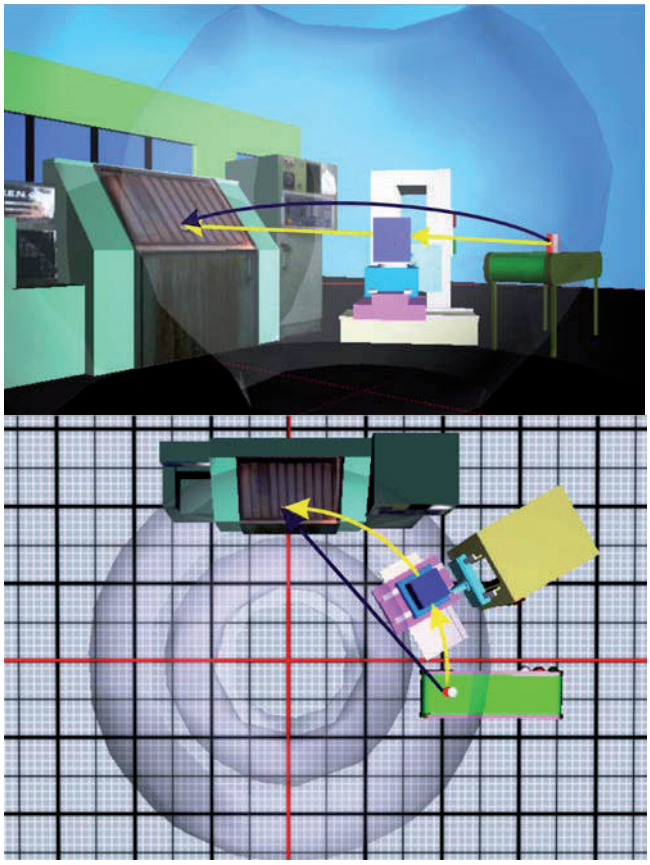
Fig. 7 Optimization using the machine virtual running

Obe časti obrázku 7 znázorňujú rovnakú scénu. Technologické zariadenia sú v tých istých pozíciách. Podstatne väč-

šie prekrytie pracovného priestoru robota so vstupno-výstupným miestom výrobného stroja na druhej časti obrázku je realizované zmenou jeho polohy pracovnými posuvmi priečneho stola. Takýto pracovný pohyb stroja by v reálnom prostredí nebol možný (stroj nie je namontovaný na svoje stanovisko, nie je napojený na energie, iba sa hľadá jeho pozícia), ale vo virtuálnej realite je jeho realizácia bezproblémová. Možnosť manipulovať s modelom pri zapnutých pracovných pohyboch je vlastnosť virtuálnej reality, ktorá sa dá využiť aj v iných prípadoch. Uvedený príklad ponúkame iba ako inšpiráciu.

1.2.2 Ďalšie možnosti využitia MSEVR v oblasti strojárstva

Nájsť optimálnu dráhu robota pri zabezpečovaní obsluhy zariadení je cieľom pri návrhu každého robotizovaného systému. MSEVR ponúka aj pre riešenie tohto problému svoje nástroje. Ide o prirodzené výstupy vnímané ľudskými zmyslami.

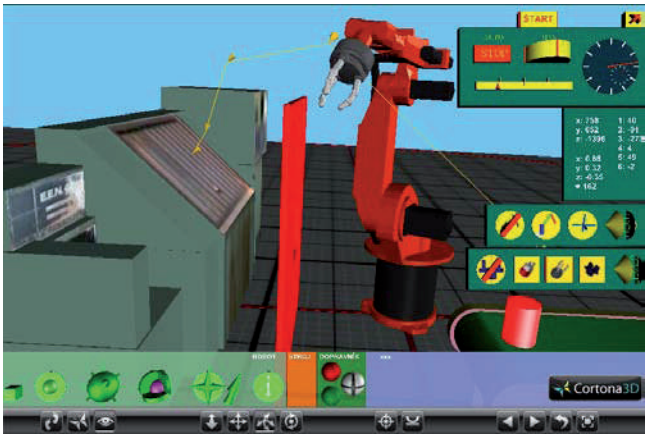


Obr. 8 Hľadanie optimálnej dráhy robota

Fig. 8 Finding the optimal path for the robot

Aj pri hľadaní optimálnej dráhy robota s výhodou môžeme použiť priehľadné zviditeľnenie pracovného priestoru robota. Na obrázku 8 je model robota zámerne vynechaný. Pre rozhodnutie o optimálnej dráhe nám postačí pracovný priestor.

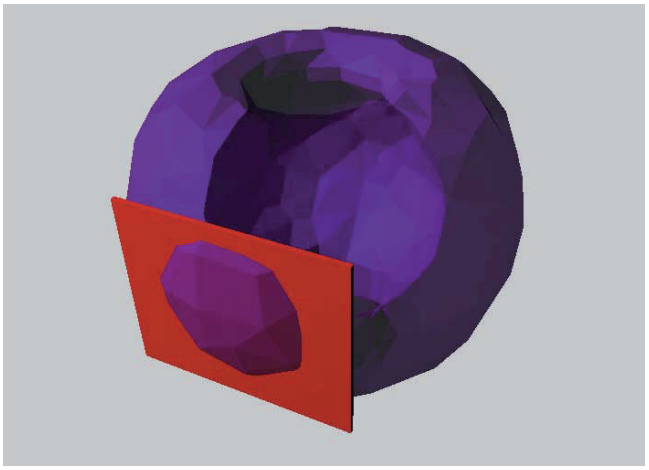
Optimalizácia prebieha skúmaním polohy vstupno-výstupných miest materiálového toku v pracovnom priestore obslužného zariadenia. Užívateľ priamo vidí kadiaľ môže viesť dráha koncovej častí robota. Túto skutočnosť mu umožňuje využiť polopriehľadné zobrazenie pracovného priestoru. Pri vhodne zvolenom mieste a uhle pohľadu je možné priamo vidieť kritické miesta. Ak by nestačil jeden pohľad môžeme využiť viaceré a dokonca MSEVR umožňuje aj „let“ cez sústavu naprogramovaných bodov pohľadu.



Obr. 9 Hľadanie optimálnej dráhy robota pomocou cudzieho modelu získaného zo zdroja [7]

Fig. 9 Finding the optimal path for the robot using a model obtained from a foreign source [7]

Vloženie cudzieho modelu do systému automaticky so sebou prináša aj jeho vlastnosti. Obrázok 9 znázorňuje použitie modelu robota získaného z http://yocode.de/work/robot/ za účelom hľadania optimálnej dráhy robota. V tomto prípade sa s výhodou využívajú vlastnosti, ktoré si model robota so sebou do systému doniesol. Model je programovateľný. Je možné u neho učiacim sa spôsobom zadefinovať body, ktorými má prechádzať efektor robota. Na obrázku sú tieto body znázornené zlatožltými kužeľmi spojenými lomenou čiarou. Po spustení programu môže robot cyklicky opakovať naprogramovanú dráhu zvolenou rýchlosťou a zvoleným spôsobom (tam a späť alebo do kruhu). Uvedený stav systému môže projektant využiť na získanie podrobných informácií o navrhovanej dráhe, a tak sa zodpovednejšie rozhodnúť pre jej korekciu s cieľom jej optimalizácie.



Obr. 10 Experimentovanie v oblasti hľadania závislostí medzi pracovným priestorom robota a polohou prekážky

Fig. 10 Experimenting on finding dependencies between workspace of the robot and the position of an obstacle

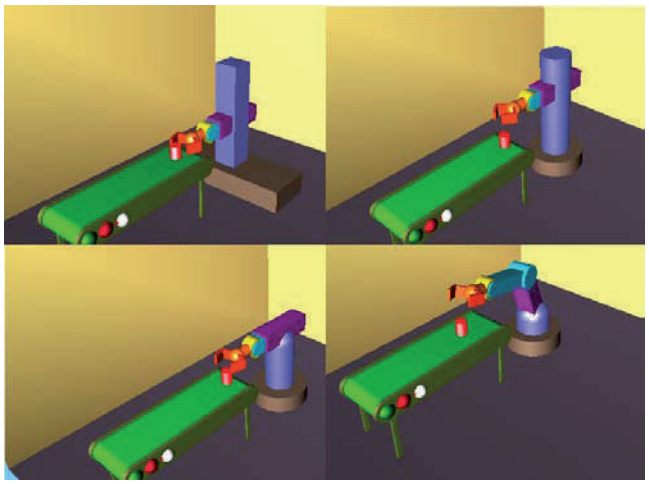
Vytvorený systém je možné použiť aj ako pomôcku pre vizualizáciu za účelom zníženia abstraktnosti, a tým uľahčenia hľadania existujúcich zákonitostí. Obrázok 10 predstavuje ukážku z experimentu, ktorým sme sa snažili nájsť zákonitosti vyplývajúce z polohy, rozmerov a tvaru pracovného priestoru robota a prekážky na tvar a umeiestnenie optimálnej dráhy. Obrázok znázorňuje prípad, kedy na základe jednoduchého pohľadu môžeme jednoznačne konštatovať, že ak sa vstupný a výstupný bod nachádza na inej strane prekážky, neexistuje žiadna dráha robota, ktorá by zabezpečila operačnú dopravu medzi týmito bodmi, a preto je aj zbytočné ju hľadať. V procese experimentovania boli stano-

vené a pomocou virtuálnej reality aj dokázané ďalšie zákonitosti.

1.2.3 Možnosti využitia MSEVR v iných oblastiach

Ako už bolo napísané MSEVR bol vytváraný s požiadavkou vysokej univerzálnosti a konfigurovateľnosti. Naplnenie tejto požiadavky dovolilo jeho plnohodnotné využitie na experimenty súvisiace s optimalizáciou pružných výrobných systémov, ale zároveň zákonite prinieslo pridanú hodnotu, ktorou je možnosť použitia MSEVR v ďalších značne rôznorodých situáciách. Je iba na tvorivosti užívateľa a na množine dostupných modelov, pre ktorú situáciu bude MSEVR prakticky upotrebiteľný. Samotný systém je pripravený na akúkoľvek situáciu.

Keďže systém bol vyvíjaný na vysokej škole, vznikla prirodzená inšpirácia jeho využitia ako učebnej pomôcky vo vzdelávaní. Už v prípravnej fáze tvorby systému boli vytvorené trojrozmerné modely jednoduchých robotizovaných pracovísk s priemyselnými robotmi rôznorodých kinematických štruktúr (obrázok 11). Boli použité na Katedre výrobnej techniky a robotiky SjF TU v Košiciach ako súčasť pomôcky vytvorenej v rámci prebiehaného projektu [6]. Priemyselné roboty majú ručné ovládanie jednotlivých pohybov a otvárania a zatvárania chápadla. Dopravník umožňuje pohyb telies na páse. Pás je možné spúšťať, zastavovať a riadiť jeho rýchlosť.



Obr. 11 Pracoviská s priemyselnými robotmi rôznych kinematických štruktúr

Fig. 11 Workplaces with industrial robots of different kinematic structures

Jednoduchosť použitia a vysoká názornosť predurčuje MSEVR aj na použitie ako nástroja na propagačnú a reklamnú činnosť. Existuje zámer použiť MSEVR ako zložku rozšírenej virtuálnej reality (argument reality). Potenciálny investor by tak mohol svoje budúce modernizované priestory vidieť virtuálne ešte pred ich vyhotovením v takmer realistickej podobe. Objekty, ktoré by aj po modernizácii ostali nezmenené, by boli preberané zo skutočnej reality a nové zariadenia by sa v tom istom obraze zobrazovali virtuálne. Pôjde teda o kombináciu skutočného obrazu získaného kamerou a obrazu vložených virtuálnych modelov. Na podnet investora by bolo možné, priamo počas prezentácie, vstupovať do navrhovaného riešenia dopĺňaním, či odstraňovaním modelov, ich premiestňovaním a podobne.

2 Perspektíva ďalšieho vývoja

MSEVR je v súčasnosti na konci experimentálneho overovania jeho funkčnosti. Počas neho sa plne potvrdili očakávania a zároveň sa našli možnosti jeho vylepšenia a následného využitia. Ako výstup z experimentovania, okrem zhodnotenia funkčnosti, boli navrhnuté aj smery ďalšieho vývoja.

Smery ďalšieho vývoja MSEVR:

- Rozširovanie funkčných vlastností.
- Zlepšenie užívateľského rozhrania.
- Rozšírenie dostupných modelov.

Rozširovanie funkčných vlastností: V tejto oblasti ide o rozšírenie so zameraním najmä na:

- zabezpečenie vzájomnej spolupráce samostatne vložených modelov;
- doplnenie o skupiny číselne spracovaných a vyhodnotiteľných vlastností;
- realizáciu servisných funkcií;
- doplniť o možnosť zakomponovania do argument reality.

Zlepšenie užívateľského rozhrania je nevyhnutné, ak plánujeme masovejšie použitie. ...

- zvýšiť stabilitu systému;
- zakomponovaním štandardizovaných ovládacích prvkov zjednodušiť, ale zároveň aj rozšíriť možnosti ovládania systému;
- vytvoriť príručku pre užívateľa.

MSEVR by mal zahŕňať modely, u ktorých sa predpokladá, že by mohli byť zakomponované do vytváraného virtuálneho systému. Súčasná verzia MSEVR obsahuje modely získané z rôznorodých zdrojov, ktoré slúžili na overenie jeho schopností prijímať cudzie modely. Pre jeho plnohodnotné využitie však potrebujeme väčšiu množinu modelov. Efektívne sa javí využitie modelov ponúkaných výrobcami technologických zariadení. V ideálnom stave to môže byť ich jediný zdroj. V procese tvorby systému však už vytvorili pomerne rozsiahlu zbierku originálnych modelov od firmy KUKA, Motoman, ABB, ale aj ďalších voľne dostupných webových zdrojov.

Ak v pružnom výrobnom systéme potrebujeme neštandardné zariadenie, jeho model získame z trojrozmerného CAD výstupu. Predpokladáme, že MSEVR bude postupne doplňovaný o dostupné modely, ide však o časovo náročnú úlohu, a preto sme pripravili aj metodiku, aby v prípade potreby si aj samotný užívateľ mohol model pripraviť.

Záver

Príspevok na ukážkových príkladoch predstavuje možnosti MSEVR hlavne v oblasti optimalizácie pružných výrobných systémov s priemyselným robotom. On-line koncepcia ho síce obmedzuje v jeho mohutnosti, ale zároveň umožňuje jednoduchý prienik medzi široké masy užívateľov. Vzhľadom na to, že sa len nedávno ukončila prvá fáza jeho vývoja, nezverejňujeme priamy webový odkaz. Naďalej sa každodenne menia jeho vlastnosti, a preto nie je, a ani nemôže byť, vypracovaný podrobný manuál pre užívateľa, takže stretnutie s takou často sa meniacou aplikáciou by mohlo potenciálneho užívateľa odradiť. Zverejnenie doposiaľ dosiahnutých výsledkov vykonávame hlavne z vyplývajúcej potreby touto cestou nájsť dobrovoľných spolupracovníkov. Sú nám známe ešte mnohé časovo náročné podnety, ktoré by systém zdokonalili, ale tie v malom kolektíve, pracujúcom aj na iných úlohách, sú v reálne dostupnom čase nezvládnuteľné.

MSEVR nemal nikdy ambíciu nahradiť podobné komerčné produkty. Motiváciou k jeho stavbe bola požiadavka pracovať v plne konfigurovateľnom virtuálnom prostredí, bez akýchkoľvek obmedzení, čo komerčné produkty bežne neumožňujú. Cieľ jeho stavby bol splnený, ba otvorili sa ďalšie možnosti, ktoré potenciálne môžu významnou mierou ovplyvniť jeho ďalší vývoj.

Je celkom reálne, že jedna vývojová vetva MSEVR, sa v budúcnosti bude vyvíjať ako webové centrum virtuálnych učebných pomôcok zameraných na výučbu robotických systémov a neskôr sa rozšíri aj o ďalšie odvetvia.

Poďakovanie

Keďže MSEVR vznikol ako praktický výstup dizertačnej práce, významný podiel na jeho stavbe má aj školiteľ, a zároveň konzultant prof. Ing. Mikuláš Hajduk, PhD. . Dovoľujem si preto mu na tomto mieste verejne úprimne poďakovať. Bez jeho podnetných návrhov a inšpiratívnych pripomienok by MSEVR ani len nevznikol. A aj keď je v súčasnosti dizertačná práca úspešne obhájená, dostávam od pána profesora stále inšpiratívne návrhy a motivačné ponuky, čo prakticky znamená, že MSEVR neskončil, ale prešiel do novej, kvalitatívne vyššej etapy. Dôkazom, že je to naozaj tak, je aj samotný tento príspevok, ktorý by bez jeho podnetu nevznikol.

Literatúra

[1] BELOVEŽČÍK, A.,: Optimalizácia štruktúr pružných výrobných systémov v prostredí virtuálnej reality, dizertačná práca, KVTaR, SjF TU v Košiciach, Košice, 2012

[2] PÁCHNIKOVÁ, L., HAJDUK, M., BELOVEŽČÍK, A.: Possibilities of Use of Virtual Reality in the Field of Manufacturing Systems. In: Applied Mechanics and Materials. Vol. 186 (2012), p. 188- 193. ISSN 1662-7482

[3] BELOVEŽČÍK, A.,: Use of simulation in virtual reality for optimalization of robot workplace design. Acta Mechanica Slovaca, RobTep 2008, Košice: KVaTR, SjF TU, 2008, ISBN 1335-2393

[4] BELOVEŽČÍK, A.,DULENČIN, P.,: Transformation of real environment to virtual reality in the field of robotics, Acta Mechanica Slovaca, Acta Mechanica Slovaca, RobTep 2010, ISBN 978-80-553-O427-4

[5] HAJDUK, M., et al.: Robotické bunky. 1. vyd. Košice,: TU, SjF, 2008. 84 s., ISBN 978-553-0034-4

[6] PÁCHNIKOVÁ, L., BALÁŽ, V., BELOVEŽČÍK, A.: Virtuálne laboratórium – Vitralab. In: International Scientific Herald. Vol. 4, no. 23 (2012), p. 43-47. ISSN 2218-5348

[7] Information on http://yocode.de/work/robot/

[8] Information on http://www.parallelgraphics.com/

Abstract

Virtual reality is a tool that, although several years used in the process of production, far from being used in order to really effectively exploit its full potential. The article represents created own MSEVR – a modular online system for experimentation in virtual reality, whose primary aim is to provide a virtual space characterized by high versatility and reconfigurability. System options are presented through examples of experiments which have been carried out in it..

Ing. Andrej Belovežčík, PhD.

Technická univerzita Košice
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
040 01 Košice
andrej@abell.sk

PhDr. Tatiana Belovežčíková

T.anj.@ s.r.o.
Sládkovičova 6
091 01 Stropkov
abell@email.cz

Využitie vývojového grafického prostredia LabView pre efektívny návrh algoritmov senzorického subsystému malej bezpilotnej helikoptéry

Viliam, Fedák
Ján, Bačík

Abstrakt
V článku je popísaný návrh senzorického subsystému malej modelárskej helikoptéry, ktorý by bol schopný dlhodobej stability a generoval by v reálnom čase údaje o stavových veličinách helikoptéry počas letu. Senzoricky subsystém využíva výkonné 32-bitové procesory s jadrom Cortex-M3. Keďže helikoptéra predstavuje systém so 6 stupňami voľnosti a počas letu neexistuje pevný bod, pomocou ktorého by sa dali kalibrovať senzory umiestnené na palube helikoptéry, pri spracovaní údajov zo senzorov je potrebné využívať zložité stochastické princípy. Hlavným prostriedkom, ktorý systém používa, je diskrétny Kalmanov filter. Pre vývoj algoritmov bolo zvolené vývojové grafické prostredie LabView.

Kľúčové slová: inerciálna navigácia, MEMS, LabView, diskrétny Kalmanov filter

Úvod

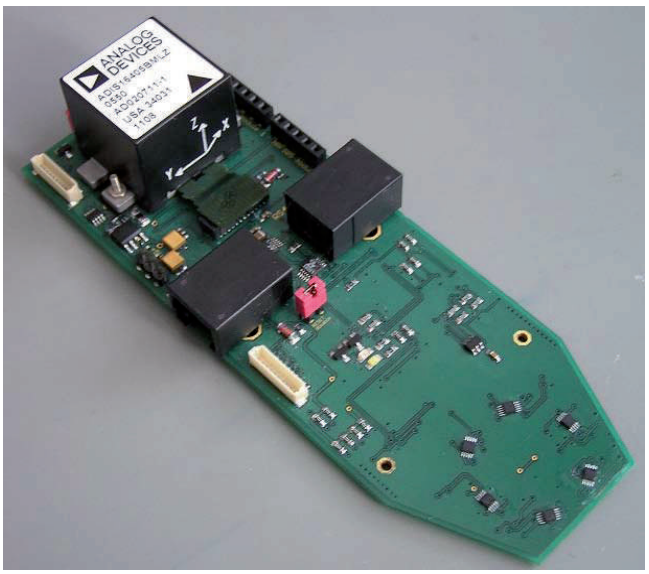
Zo súčasných trendov vývoja inteligentných autonómnych systémov stále viac a viac dominuje vývoj malých bezpilotných lietajúcich prostriedkov [1]. Potenciál využitia týchto zariadení je široký a preto ich vývojom sa zaoberá celosvetovo veľa univerzít a komerčných firiem. Základom úspešného vývoja a nasadenia týchto zariadení je vytvorenie spoľahlivého senzorického systému, ktorý by zabezpečil správnosť letových údajov počas celej misie zariadenia.

Súčasný rozvoj pomerne lacných MEMS senzorov [2] a výkonných procesorov dovoľuje implementovať techniky inerciálnej navigácie [3,4] do ľahkých a výkonných zariadení. Dôležitú súčasť vývoja navigačného systému tvorí testovanie a ladenie algoritmov spracovania údajov zo senzorov. V dnešnej dobe má vývojár možnosť využiť množstvo štruktúrovaných alebo grafických programovacích jazykov a prostredí. Jedným zo sľubných nástrojov sa v dnešnej dobe ukazuje použitie grafického programovacieho jazyka LabView [5], ktorý dovoľuje vyskladať zložité algoritmy na pomerne jednoduchom princípe grafického programovania. To umožňuje rôznym typom vývojárov vytvárať programy aj bez znalostí syntaxu iných štruktúrovaných jazykov.

V tejto práci je popísaný vývoj senzorického systému pre potreby inerciálnej navigácie malej bezpilotnej helikoptéry. Pri vývoji algoritmov bolo využité pracovné prostredie LabView a jeho rozširujúce toolboxy. Následne boli odladené algoritmy aplikované na 32-itové procesory s jadrom Cortex-M3 [6] nachádzajúce sa na doske plošných spojov senzorického subsystému (obr.1).

1. Popis senzorickej dosky

Hlavným použitým senzorom je trojosí inerciálny senzor s magnetometrom ADIS16405, ktorý sa skladá z trojosého magnetometra, trojosého akcelometra a trojosého gyroskopu. Aktuálne údaje sú dostupné pomocou SPI zbernice, pričom vzorkovacia perióda senzoru je 1,22 ms. Počas tejto doby musí obslužný nadriadený systém prečítať údaje, spracovať ich a vyhodnotiť.



Obr.1 Doska plošných spojov senzorického subsystému

V prednej časti je na doske osadená šestica trojosích magnetometrov MAG3110, ktoré sú voči sebe posunuté o 60°. Tieto pomocné magnetometre slúžia na výpočet kalibračných hodnôt elipsy v reálnom čase pre hlavný magnetometer v ADIS16405. Kalibračné údaje sú vypočítané pomocou fitovania elipsy trajektórie vektora magnetického poľa, ktorá vzniká deformáciou ideálneho magnetického poľa v okolí snímačov. Túto deformáciu spôsobuje „hard a soft iron“ efekt feromagnetických materiálov nachádzajúcich sa v blízkom okolí snímačov. Ku doske sa pomocou konektorov umiestnených po pravej strane ADIS16405 pripája menšia doska plošných spojov obsahujúca GPS prijímač.

Komunikácia dosky s okolím je zabezpečená pomocou dvoch samostatných rozhraní RS422. Jednotlivé signály zbernice sú vyvedené na konektory typu RJ-11. Ladenie a nahrávanie programu do procesorov typu LPC1769, ktoré sú umiestnené na spodnej strane dosky, je zabezpečené pomocou malých JTAG konektorov. Prepäťovú a nadprúdovú ochranu zabezpečuje čip LT1964.

2. Matematický princíp spracovania údajov

Pre získanie informácie o uhlových rýchlostiach helikoptéry a jej orientácie voči zemi na základe Eulerových uhlov slúžia prevažne údaje získané z gyroskopu:

$$\omega_{merané} = \omega_{skutočku} + B_{(t)} + v \tag{1}$$

Tie sú však zaťažené šumom a časovo premenlivým biasom, ktorý značne vnáša chybu do správneho výpočtu požadovaných veličín. Preto je samotné spracovanie údajov zabezpečené nízkofrekvenčným filtrom pre filtráciu vyšších frekvencií šumov a výpočtom estimovaných Eulerových uhlov pomocou rovníc diskrétneho Kalmanovho filtra (2), ktorých vstup tvorí uhlová rýchlosť jednotlivých osí prepočítaná do súradnicového systému zeme:

$$\begin{bmatrix} \hat{uhol}_{k+1} \\ \hat{bias}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} uhol_k \\ bias_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dt \\ 0 \end{bmatrix} \omega_E \tag{2}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{uhol}_k \\ \hat{bias}_k \end{bmatrix} + v \tag{3}$$

Meraný výstup *y* pre osi x a y predstavujú uhly vypočítané na základe filtrácie vektora gravitácie z údajov trojosého akcelometra:

$$\phi = a\tan 2(g_{Yb}, g_{Zb}) \tag{4}$$

$$\theta = a\tan 2(-g_{Xb}, g_{Zb}) \tag{5}$$

Pre os z je meraným výstupom *y* uhol vypočítaný z údajov magnetometra:

$$\psi = a\tan\left(\frac{mag_{Ye}}{mag_{Xe}}\right) \tag{6}$$

Pre určenie lineárnych rýchlostí je využitý trojosí akcelometer:

$$a_{merané} = g_{ťaže} + a_{skuto} + B + SFg\cos\phi + K(g\cos\phi)^2 + v \tag{7}$$

Z rovnice akcelometra (7) vyplýva, že samotný výstup akcelometra je okrem biasu, scale factoru a samotného šumu zaťažený aj zložkou gravitačného zrýchlenia. Z tohto dôvodu je potrebné túto zložku akcelerácie odfiltrovať. Samotná filtrácia prebieha v dvoch krokoch:

V prvom kroku sú údaje z akcelometra prepočítané zo súradnicového systému helikoptéry do súradnicového systému zeme na základe matice rotácií obsahujúcej Eulerove uhly estimované pomocou diskrétneho Kalmanovho filtra. Z týchto údajov je následné odpočítaný vektor gravitačného zrýchlenia, ktorého veľkosť v súradnicovom systéme zeme (označeným v nasledovnej rovnici dolným indexom *E*) je dobre známa a jeho zložky sú [0, 0, *g*]:

$$accl_data_E = T_{BE}^{-1} accl_data_b \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_E = \begin{bmatrix} accl_data_x \\ accl_data_y \\ accl_data_z \end{bmatrix}_E - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}_E \tag{9}$$

V druhom kroku je vektor lineárneho zrýchlenia opätovne prepočítaný do súradnicového systému helikoptéry z dôvodu vyjadrenia vektora gravitačného zrýchlenia (8) v súradnicovom systéme helikoptéry (označeného dolným indexom *b*), ktoré chceme filtrovať:

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_b = T_{BE} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_E \tag{10}$$

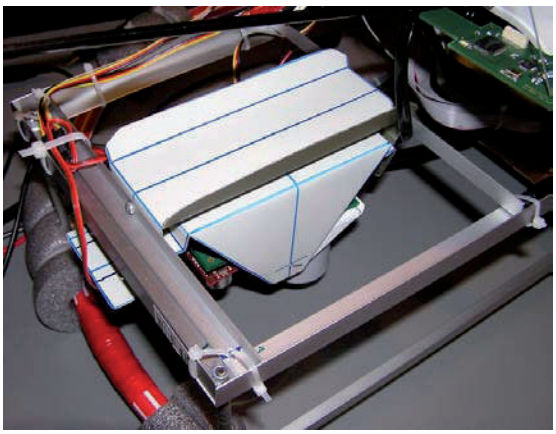
$$\begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix}_b = \begin{bmatrix} accl_data_x \\ accl_data_y \\ accl_data_z \end{bmatrix}_b - \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_b \tag{11}$$

Získanie vektora lineárnych rýchlostí prebieha na základe určenia týchto hodnôt pomocou podobného diskrétneho Kalmanovho filtra ako bol zostavený pre estimáciu Eulerových uhlov (9).

$$\begin{bmatrix} \hat{rýchlosť}_{k+1} \\ \hat{bias}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} rýchlosť_k \\ bias_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dt \\ 0 \end{bmatrix} a_E \tag{12}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{rýchlosť}_k \\ \hat{bias}_k \end{bmatrix} + v \tag{13}$$

V tomto prípade ako meraný výstup *y* slúži v osiach x a y rýchlosť určená pomocou GPS prijímača a v osi z vypočítaná rýchlosť za pomoci ultrazvuku v kombinácii s tlakovým senzorom, ktoré sú súčasťou dosky výškomera umiestnenej na dvojosom gimbale na podvozku helikoptéry (obr.2), ktorý zabezpečuje smerovanie ultrazvukových vĺn kolmo na zem.

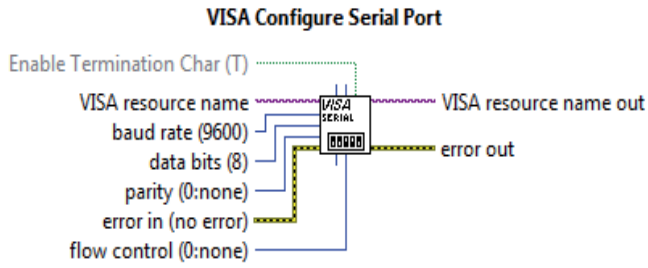


Obr.2 Doska plošných spojov výškomera upevnená na dvojosom gimbale

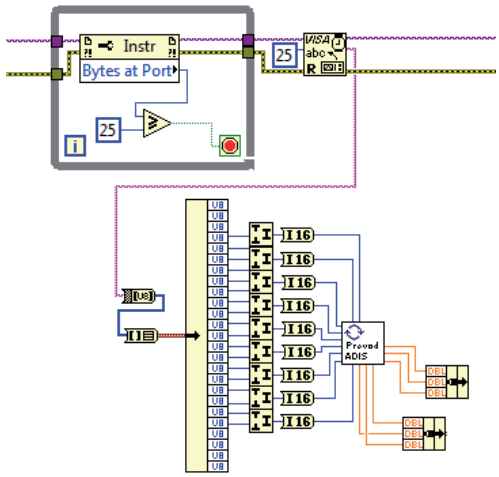
3. Implementácia algoritmov v LabView

Komunikácia medzi vývojovým prostredím LabView a reálnym hardvérom je zabezpečená pomocou USB portu, ku ktorému je pripojený prevodník RS422 na USB, takže USB port počítača sa správa ako klasický sériový port s nastavenou rýchlosťou 230400 Baud s ôsmimi údajovými bitmi. LabView pre prácu so sériovým portom ponúka hotovú funkciu „VISA Configure Serial Port“ (obr.3).

K dispozícii sú taktiež hotové funkcie pre zapisovanie a čítanie znakov z portu. Samotné čítanie údajov zo senzorickej dosky prebieha na základe opakovaného čítania znaku pomocou logického operátora. Po načítaní všetkých znakov odoslaných senzorickou doskou je vzniknuté pole znakov rozdelené na jednotlivé bajty, ktoré sú následné konvertované na jednotlivé údaje zo senzorov (obr. 4).

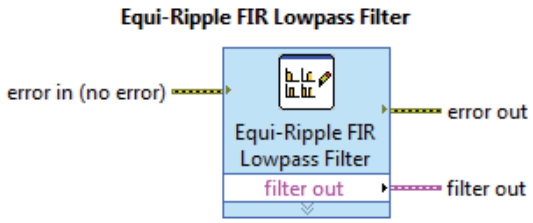


Obr.3 Popis bloku VISA Configure Serial Port



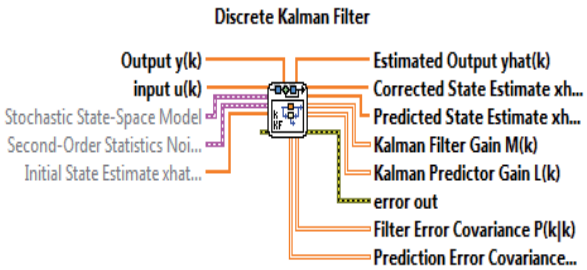
Obr.4 Konverzia údajov zo senzorickej dosky

Údaje z gyroskopu, akcelometra a magnetometra sú následne filtrované pomocou dolnopriepustného filtra (obr.5). LabView ponúka niekoľko typov dolnopriepustných filtrov, ktoré si môže užívateľ nakonfigurovať podľa vlastnej potreby.



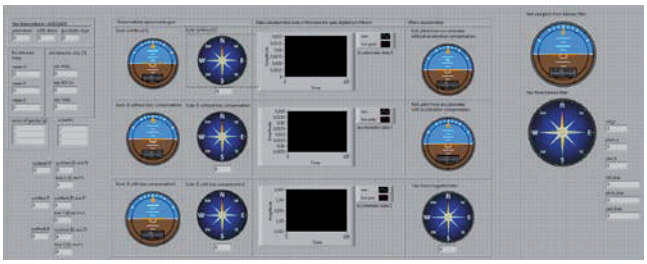
Obr.5 Funkcia pre dolnopriepustný filter

Pre spracovanie rovníc diskrétneho Kalmanovho filtra ponúka LabView hotovú funkciu (obr.6), ktorá sa postará o vypočítanie jednotlivých Riccatiho rovníc, ktoré sú potrebné pre vypočítane Kalmanovho zosilnenia. Je ale potrebné zostaviť diskrétny stochastický model systému a štatistický model chýb.



Obr.6 Funkcia diskrétneho Kalmanovho filtra

Jednou z najväčších výhod prostredia LabView je jednoduchý vývoj grafického užívateľského rozhrania, ktoré je prepojené s vytvoreným VI (Virtual Instrument). LabView ponúka širokú paletu zobrazovacích prístrojov. Od jednoduchých binárnych zobrazovačov vytvorených pomocou LED svetiel až po zložité trojrozmerné grafy. Pre zobrazenie Eulerových uhlov vypočítaných z údajov senzorickej dosky robotický toolbox prostredia LabView ponúka grafiky umelého horizontu a kompasu. Za pomoci týchto grafík, dvojrozmerných grafov a výpisov bol vytvorený prehľadný grafický panel (obr.7), na ktorom sa zobrazujú najdôležitejšie informácie, ako sú vypočítané inicializačné biasy gyroskopu, chybový status údajového paketu senzorickej dosky, grafy údajov z akcelometrov a estimované hodnoty z diskrétnych Kalmanových filtrov.



Obr.7 Grafický panel vytvorený pomocou LabView

Záver

Článok sa zaoberá vytvorením algoritmov pre spracovanie údajov, v reálnom čase, senzorickej dosky, ktorá je súčasťou riadiaceho systému malej bezpilotnej helikoptéry. K tomu bolo využité grafické vývojové prostredie LabView a jeho pomocné toolboxy.

Veľkou výhodou grafického programovania pod LabView je jednoduchosť vytvárania algoritmov pre vývojárov z rôznych odvetví, ktorí potrebujú rýchlo a kvalitne overiť svoje teoretické poznatky a pritom neovládajú žiaden zo štruktúrovaných jazykov, ako je napríklad jazyk C. Prostredie LabView ponúka široké hotové funkcie, ktoré stačí iba správne nakonfigurovať.

Vytvorené algoritmy pracujú správne a navrhnutý hardvér, na ktorom sú tieto algoritmy implementované, stíha, napriek vysokej vzorkovacej frekvencii, spracovať a vyhodnotiť všetky údaje v reálnom čase.

Poďakovanie

Táto práca bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky podprojektom č.: 042TUKE-4/2012 "Inovácia výučby riadenia mechatronických systémov".

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0185-10.

Literatúra

[1] Austine, R.: The Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment: UAV Design, Development and Deployment, John Wiley & Sons Ltd, Chippenham, 2010.

[2] Hsu, T.: MEMS & Microsystems: Design, Manufacture, and Nanoscale Engineering, John Wiley & Sons Ltd, New Jersey, 2008.

[3] Grewal, M.S. – Weill L.R. - Adrews, A.P.: Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration, John Wiley & Sons Ltd, New Jersey, 2007.

[4] Titterton D.H. – Weston J.L.: Strapdown Inertial Navigation Technology, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, 2009.

[5] Johnson, G.W. - Jennings, R.: LabVIEW Graphical Programming, McGraw-Hill Professional, New York, 2006.

[6] Sloss, A.N. - Symes, D. – Wright Ch.: ARM System Developer's Guide. Designing and Optimizing System Software: Designing and Optimizing System Software, Morgan Kaufmann Publisher, New York, 2007.

Abstract

The paper deals with design of a sensorial subsystem for a real small model of a helicopter that is characterized by a long-term stability and it generates real-time data about helicopter state variables during helicopter flight. The sensorial subsystem is built on powerful 32-bit processors with the cores ARM7 and Cortex-M3. As the helicopter model presents a system with six degrees of freedom and during its flight there is not any fixed point that would enable to caliber the sensors placed on the helicopter board, for processing of sensor data complex stochastic calculations are necessary. They are based mainly on a discrete Kalman filter. The computing algorithms were developed in the LabView environment.

doc. Ing. Viliam Fedák, PhD.
Ing. Ján Bačík

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta Elektrotechniky a Informatiky
Katedra elektrotechniky a mechatroniky
Letná 9
042 00 Košice
viliam.fedak@tuke.sk
jan.bacik.2@tuke.sk

Využitie štruktúr informačných systémov pre **pružné** výrobné bunky

Vladimír Baláž, Marek Vagaš, Ján Semjon

Abstrakt

Článok popisuje jeden zo súčasných pohľadov na klasifikáciu výrobných systémov. Je tu popísaný najjednoduchší výrobný systém – pružný výrobný stroj až po zložitejšie výrobné zoskupenia, ktoré reprezentuje multibunkový výrobný systém. Prenos informácií v takýchto systémoch je možné riešiť na rôznej úrovni. Štruktúra informačných systémov pre takéto výrobné zoskupenia je riešená z pohľadu prenosu informácií vo výrobnom systéme.

Kľúčové slová: štruktúry, výroba, informácie,

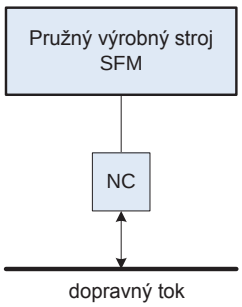
Úvod

Bunková výroba sa stala v posledných rokoch jednou z najdôležitejších štúdii usporiadania výroby. Tieto štúdie zahrňujú viaceré metódy založené na hľadaní relačného vzťahu súčiastka – bunka, ktorý by zaručil výrobu rozmanitých súčiastok s malým počtom kusov v dávke. Bunkové štruktúry dosahujú previazanosť medzi strojmi, šetria čas i priestor. Činnosť strojov je synchronizovaná, materiálový tok rýchly - presúvanie súčiastok od stroja k stroju je na krátku vzdialenosť. Výrobné bunky spájajú a preberajú mnohé výhody z ostatných typov výroby. Jednou z dôležitých úloh ich profilácie je popri návrhu fyzickej štruktúry návrh ich riadenia. Existuje nespočetné množstvo variant ich riadenia, ale náš článok si dal za úlohu definovať typové štruktúry pre jednotlivé typy buniek, ktoré je potom možné rozširovať podľa špecifických požiadaviek.

1. Klasifikácia pružných výrobných zoskupení

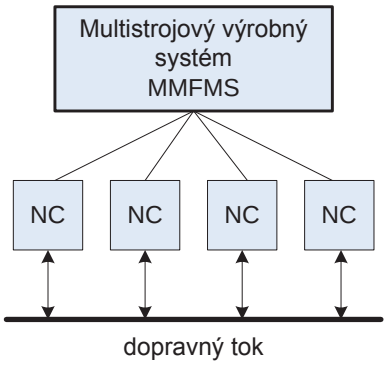
Nový pohľad na klasifikáciu pružných systémov a výrobných buniek vnáša ich profilácia na báze skupinovej technológie, na základe ktorej sa hľadajú podobné skupiny súčiastok vyžadujúce tie isté stroje. Na základe tohto prístupu sa v publikáciách objavujú štyri typy pružných výrobných zoskupení, ktoré definovali B. Maccaurthy a J. Liu. [6]

- **pružný výrobný stroj** – SFM (Single Flexible Machine). Ide o pružný výrobný systém s jedným výrobným strojom, ktorý je definovaný ako produkčná jednotka vytvorená NC strojom doplneným o manipulačné zariadenie na výmenu objektov výroby.



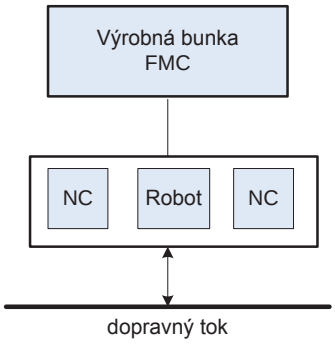
Obr. 1 Pružný výrobný stroj

- **multistrojový pružný výrobný systém** - MMFMS (Multi-Machine –Flexible Manufacturing System). Je chápaný ako zoskupenie viacerých výrobných strojov bez vzájomnej závislosti ich činnosti. Stroje sú autonómne a ich činnosť nie je závislá od činnosti ostatných strojov, avšak prepojenosť materiálovým tokom je možná. Sú to predovšetkým obrábacie centrá, stroje na špeciálne operácie, ako napr. na výrobu ozubenia, na operácie brúsenia a pod. Charakteristickým znakom ich činnosti sú dlhšie operačné časy.



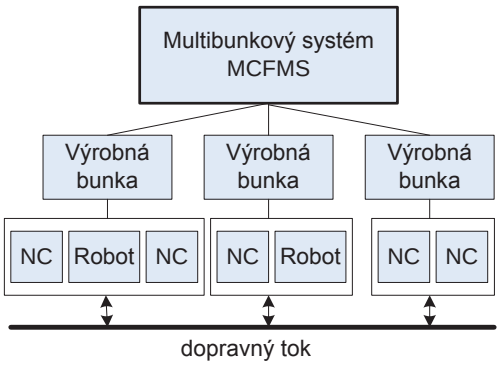
Obr. 2 Multistrojový výrobný systém

- **pružná výrobná bunka** – FMC (Flexible Manufacturing Cell). Je výrobný systém vytvorený zoskupením viacerých NC výrobných strojov, určených pre určitú skupinu súčiastok s podobnou postupnosťou operácií alebo pre určitý druh operácií. Charakteristickým znakom bunky je vzájomná materiálová a informačná prepojenosť medzi strojmi. Zvyčajne využívajú pre medzioperačnú manipuláciu spoločné manipulačné zariadenia.



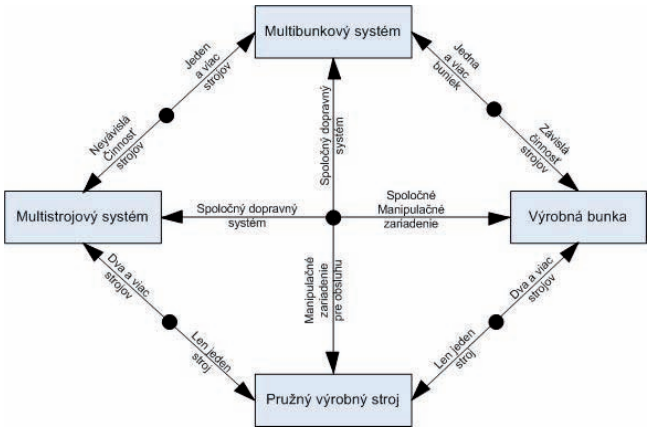
Obr. 3 Výrobná bunka

- **multibunkový výrobný systém** – MCFMS (Multi-Cell Flexible Manufacturing System). Je systém tvorený zoskupením viacerých výrobných buniek alebo buniek a pružných výrobných strojov. Charakteristickým znakom je existencia medzibunkového dopravného systému ako integrujúceho prvku.



Obr. 4 Multibunkový systém

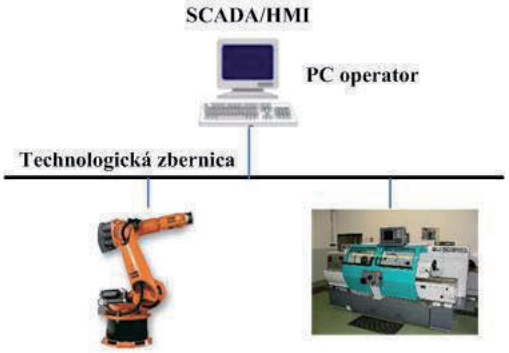
Rozdielnosť medzi takto definovanými výrobnými zoskupeniami a hranice medzi nimi možno graficky predstaviť podľa obr.5. Podľa tejto schémy možno každý produkčný systém, rozsiahly, alebo malý pokiaľ spĺňa požiadavku pružnosti začleniť k niektorému typu. Z danej klasifikácie je jasné, že dve kategórie výrobných systémov, pružný výrobný stroj ako najjednoduchší typ a pružná výrobná bunka sú základnými produkčnými jednotkami a skupina strojov a multibunkové zoskupenie sú ich kombináciou. Ďalším charakteristickým znakom pružného stroja a bunky je aj to, že majú „vlastné" autonómne riadenie. Pre vyššie zoskupenie, multistrojový a multibunkový systém je charakteristické, že majú centrálne riadenie. Prezentovaná klasifikačná schéma výrobných zoskupení je založená na konzistentnej množine definícií a určuje vzťahy a hranice medzi jednotlivými systémami i vo vnútri systémov. Uvedené definované vzťahy vedú k užitočným hierarchickým modelom, pre rôzne typy pružných výrob a stávajú sa užitočnými pri riešení najmä problémov riadenia, rozvrhovania výrobných úloh, dispozičnej lokalizácie a materiálových a informačných prepojení. [5] [2]



Obr. 5 Grafická interpretácia definícií pružných výrobných systémov

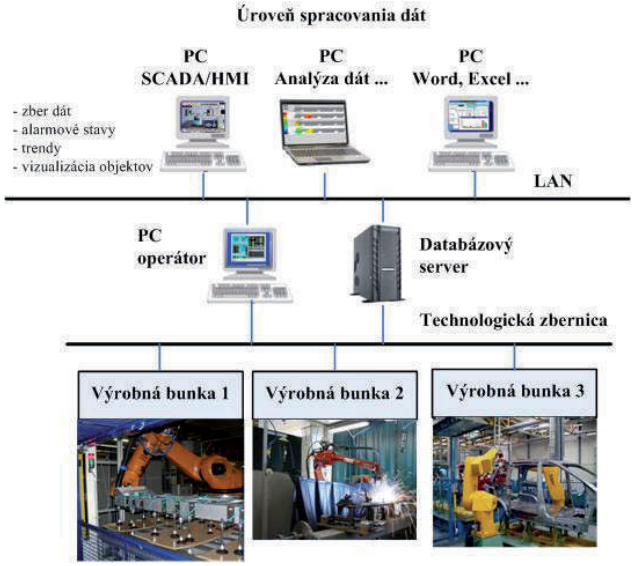
2. Štruktúry riadenia výrobných zoskupení

Najjednoduchšia štruktúra riadenia predstavuje jednooperátorske pracovisko. Operátor má k dispozícii na pracovisku PC, ktorý slúži na zber údajov z riadiacich jednotiek výrobného systému vo výrobnej bunke. Súčasne PC slúži aj na vizualizáciu technologických informácií z výrobnej bunky. Informácie je možné zobrazovať buď v textovej forme prostredníctvom správ, alebo v grafickej forme cez trendy. Pre predchádzanie havarijných stavov a zabezpečenie chodu výrobného zoskupenia sa využíva sledovanie alarmových stavov, obr.6. [1] [3] [4]



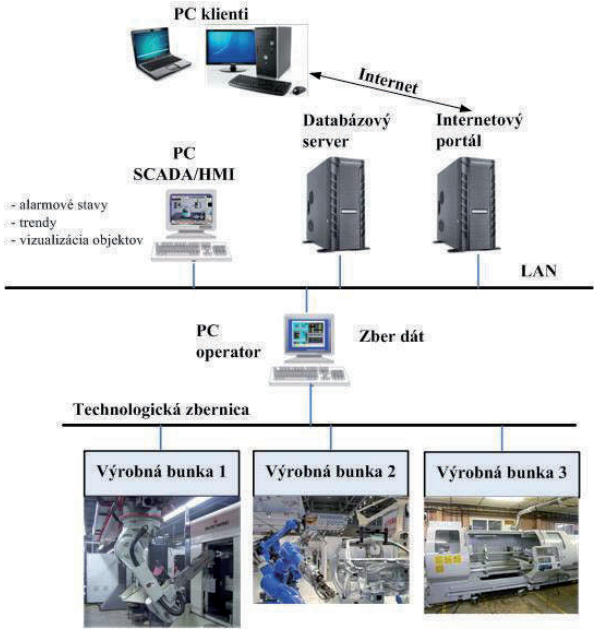
Obr. 6 Jednooperátorské pracovisko

Ak potrebujeme informácie získané z výrobnej bunky spracovávať vo forme napr. tabuliek a grafov pre ekonomické hodnotenie výroby je výhodné tieto vyhodnotenia robiť na samostatných počítačoch. Pre samotný zber informácií môžeme tiež vyhradiť samostatný počítač. V prípade potreby riešenia krízových stavov je výhodné mať uložený priebeh činnosti vo výrobnej bunke. Preto býva do informačného systému zaradený aj databázový server (procesná relačná databáza), ktorý zberá dáta z technologického procesu. V prípade potreby nie je problém vybrať požadované údaje z databázy a analyzovať dáta. Takto sa dostávame k druhej štruktúre, ktorú tvorí viacoperátorské pracovisko, ktoré môže, ale nemusí byť vybavené aj databázovým serverom, podľa potreby spracovávania dát. Štruktúra viacoperátorského pracoviska je na obr.7. [1] [3] [4]



Obr. 7 Viacoperátorské pracovisko

V prípade viacerých výrobných buniek, ktoré môžu byť aj fyzicky umiestnené na rôznych miestach je lepšie použiť štruktúru informačného toku s prenosom dát cez Internet. Informačná štruktúra pre prenos informácií je doplnená Internetovým portálom, ktorý umožní publikovanie dát na Internete. Užívatelia majú takto prístup k informáciám o výrobe kdekoľvek a kedykoľvek bez ohľadu na čas a vzdialenosť. Informácie na Internetovom portály je možné spracovať formou textu tabuliek a grafov. Užívatelia sa môžu k Internetovému portálu pripojiť pomocou tenkého klienta, obr.8. [1] [3] [4]



Obr. 8 Štruktúra s aplikáciou Internetového portálu

Záver

Použitie informačných štruktúr k jednotlivým typom výrobných zoskupení nie je presne ohraničené. To znamená, že ich je možné použiť podľa požiadaviek kladených na výrobu a spracovanie informácií. Použitie Internetového portálu pre publikovanie výrobných dát na Internete sprístupňuje informácie z výroby kdekoľvek a kedykoľvek po zadaní prístupových údajov.

Poďakovanie

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu „Centrum výskumu riadenia technických, environmentálnych a humánnych rizík pre trvalý rozvoj produkcie a výrobkov v strojárstve“ (ITMS:26220120060), na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] BALÁŽ, V., HAJDUK, M., PÁCHNIKOVÁ, L.: Information system structures for flexible production cells. In: Machinary, technology, materials: 7 international congress: May 26-27, 2010, Sofia, Bulgaria. - Sofia: Scientific-technical union of mechanical engineering, 2010 P. 146-147.

[2] HAJDUK, M., PÁCHNIKOVÁ, L.: Simulation utilization on production cells profiling. In: OPTIROB 2009. - Bucuresti: CNCSIS, 2009 P. 229-231. - ISSN 2066-3854.

[3] HAJDUK M., BALÁŽ V.: Intergation structures of production systems, 3. medzinárodná konferencia OPTIROB 2008, Predeal Rumunsko, 30.5-1.6.2008, ISBN 978-973-648-784-2, str.205-206.

[4] HAJDUK M., BALÁŽ V.: Implementácia ICT v tréningovom pracovisku s robotom kuka, 10. medzinárodná konferencia: Inteligentní systémy pro praxi, Lázne Bohdaneč Česko,23.1 – 24.1.2007, ISBN 978-80-239-8245-9,

[5] HAJDUK M.,: Pružné výrobné bunky, Vienala, Košice 1998, str.153, ISBN 80-7099-38-7-1

[6] MACCARTHY B., LIU J.,: A New classification Scheme for Flexible Manufacturing Systems. Production Research, 1993.

Abstract

The paper describes one of the current approaches to classification of production systems. It is described the simplest production system – Single Flexible Machine to the complex production configurations, which represents Multi-Cell Flexible Manufacturing System. Transmission of the information in such systems can be addressed at different levels. The structure of information systems for such a production configurations is solved from the point of view of information transfer in the production system.

Ing. Vladimír Baláž, PhD

Ing. Marek Vagaš, PhD

Ing. Ján Semjon, PhD

Technická univerzita
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Boženy Nemcovej 32
040 01 Košice
vladimir.balaz@tuke.sk

The examination of the permanent magnet impact on the gripping element of the end effector

Lenka, Baločková

Abstract
The article deals with magnetic field analysis of permanent neodym magnet on gripping element of robot effector and also deals with object of gripping. The begin of article is describing construction of end robot's effector with concrete effectors parts and has imagined work principle of gripping element. In the next part has describing solution of magnetic field and the first and second phase simulation. The simulation is based on the neodym magnet movement by gripping element with support of software FEMM (Finite Element Method Magnetics).

Keywords: permanent magnets, finite element method magnetics, magnetic field simulation, gripping element

Introduction

Magnetic effectors make use of magnetic field that is generated in the gripping elements system in order to grip the object. Gripping elements can be either magnets that generate their own magnetic field or electromagnets in which the magnetic field is induced via the coil. They have different shapes, sizes and different intensity of the magnetic power of action. The proper operation of the end effector can be modified according to the gripping element and overall structural plan. Grip strength is determined by the magnetic field of permanent magnet grasping on the object surface. Grasping surface of the object must be composed of feromagnetic materials.

Structural parts of the gripping element

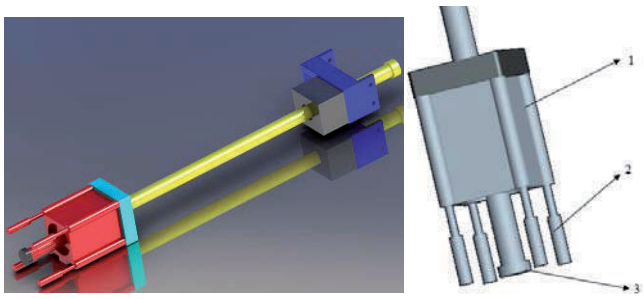


Fig. 1 Structure of the gripping element

Caption: 1. linear pneumatic actuator, 2. pillar, 3. magnetic lens

A linear pneumatic actuator with a short stroke has been used. It was selected from the catalogue, on which is screw magnetic lens located. Pillars serve for tearing off the object. Required location of a guide rod is ensured through the second linear pneumatic actuator [1].

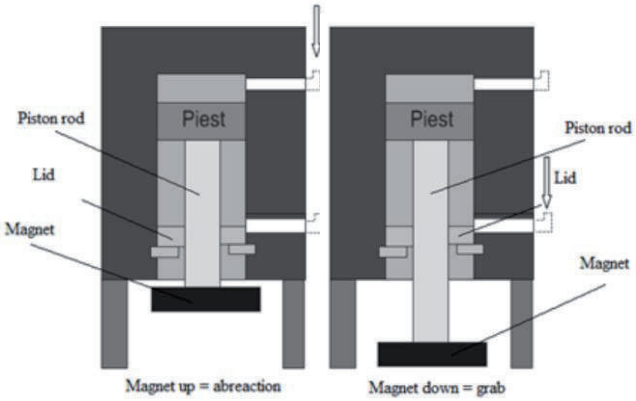


Fig. 1 Scheme of gripping element

Description – A cylinder has a magnet screwed on its piston-rod. In the basic position the piston-rod is inserted. At the bottom part of the cylinder four pillars are screwed on to support the separation between magnet and the manipulated object. When leading in pressed air the piston-rod of cylinder slides out into its end position and gripping of the manipulated object follows. When leading in pressed air from the piston-rod side to the piston, the piston-rod slides in and the manipulated object is released [1].

Permanent magnet – Ferrite, neodymium and other various kinds of impurities belong to permanent magnets. According to the market research, neodymium magnet was chosen because of its properties, wide application and dimensional gamut. For the following solution, the magnetic lens was chosen due to its the most appropriate parameter and shape.
The following element was selected from the bid: Magnetic lens: r.20x6-M6-6gx10 – 27003

Description – Magnetic lens pr.20 x 6 mm height with M6 external thread, the thread height 10 mm, clamping force: 140 N

type: NdFeB, temperature resistance: 80 ° C, Weight: 15 g [5].

The analysis of the magnetic field

It is necessary to analyse the magnetic field of a permanent magnet to verify the correct functioning of the mechanism. Interaction of permanent magnets and other structural parts depends on several factors. The main factors are:

- Factor of material composition
- Factor of structural complexity

In terms of material composition, permeability of the material is important. This affects the overall quality of magnetic field. Vector B of magnetic induction decides on force interacting elements and loops of the current. Character-acting form of the vector field magnetic induction also depends on the complexity of the structural factors. Induction lines are made by creating Vector B lines and magnetic induction. In our case, the functioning of the permanent magnet is the magnetostatic field that is constant in time [2].

The principle of a gripping head as the lifting mechanism using NdFeB 55 permanent magnet consists in the use of fundamental laws of feromagnetic material. If the gripping head with a given permanent magnet approximates to the required distance for lifting the object, whose material composition corresponds to the magnetic, the subject will come out in a magnetic field of permanent magnet, there is a gain of the magnetic induction B. This gain is done by the interaction of internal bound currents of lifted object. This quality has been verified in simulation (Fig. 3).

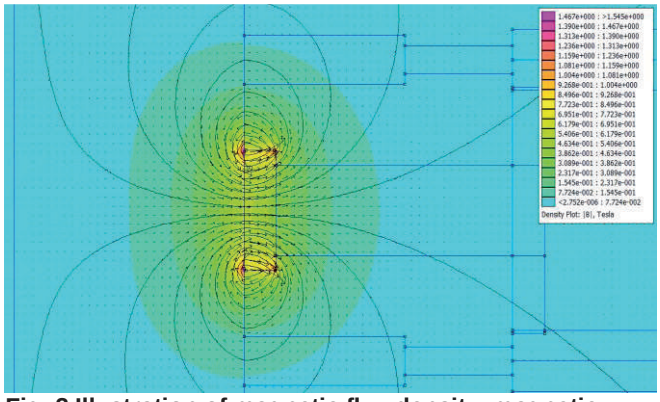


Fig. 2 Illustration of magnetic flux density, magnetic field lines and vectore field of magnetic induction

In order to analyse the magnetic field we used the software environment FEMM (Finite Element Method Magnetics), whose major advantage is its free distribution under the Aladdin Free Public License [2]. The environment includes a mesh generator of final elements and its density can be influenced by changing the mesh size parameter. Defined network size parameters were different for each bounded regions which were obtained by modification of the CAD model gripper head (Fig. 4) [4].

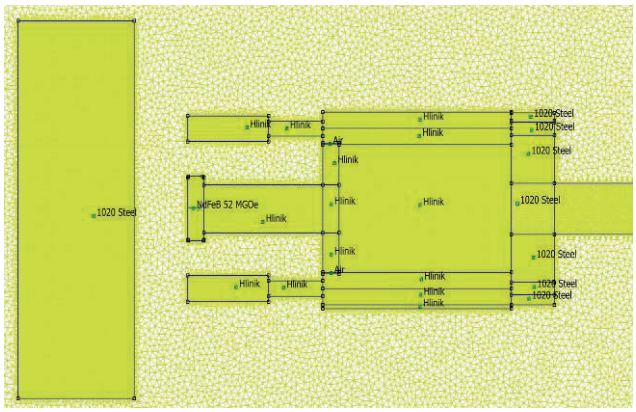


Fig. 3 Illustration of generated final elements chain

Model in a dxf format was partially modified and stripped of details necessary to calculate the magnetic field. NdFeB magnet 55 at its edges was partially modified shape to eliminate stress concentrators. As neodymium magnet has a special coating, it might come up to the damage of a magnet by pulling the piston cylinder. It was therefore important to pay attention to it so as not to tear-off magnet operating torque. Next, we defined for each region representing a specific area of the mechanism of material properties, magnetization direction of permanent magnet. The overall design of the gripper was placed in an enclosed area of the region, therefore, because the magnetic field as a continuum sprawl into areas outside magnetikum lifted the object and the material of the gripper [3].

The process of investigation of magnetism was conducted in several static changes :

- The changing position of the object lifted in the range of the values unequal at distances from 100 mm to the absolute effect of the magnet on the object surface
- The change in a permanent magnet position from the largest possible range pull-out piston with a magnet to the largest withdrawal of the piston with magnet

Simulation: 1st phase

The first phase of the simulation of magnetic activity in static conditions started in accordance with the procedural act of lifting an object, when it was lifted at a distance of 100 mm from the acting head grasping. Consequently, the object was being approached to the values of 50 mm, 20 mm, 10 mm, 8 mm, 5 mm, 4 mm, 3 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm and 0 mm. For each of these values except the value of 0 mm was calculated magnetic field strength applied by Maxwell stress tensor and the magnetic field energy. Subsequent outputs were generated by the vector field of magnetic induction **B** and magnetic intensity **H,** magnetic field density and magnetic field lines operating out (Fig. 5).

Simulation: 2nd phase

The second phase of the simulation of magnetic activity in static conditions started at the moment when we began to disengage the permanent magnet from the surface of the object lifted due to the interaction of the piston cylinder. Simulation of this process was performed by changing the position of the permanent magnet away from the position of greatest extension, to the position of the piston with the largest drawer magnet. Discrete values were as follows: 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm socket to end position. As in the previous phase, we calculated the strength of the magnetic field acting on the abandonment of property, energy and magnetic field. These were also outputs the vector field generated by magnetic induction B and magnetic intensity H, the density of magnetic field lines of power and working out. Moreover, at this stage were identified and the possible effects of magnetism on the overall mechanism (Fig. 6).

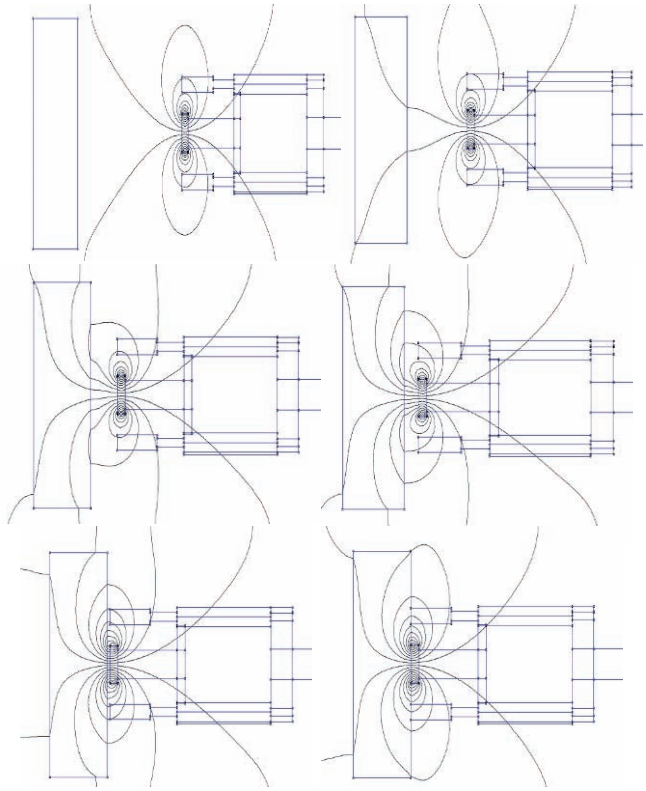


Fig. 4 Illustration of magnetic field lines, while the grip ping element is approaching the object

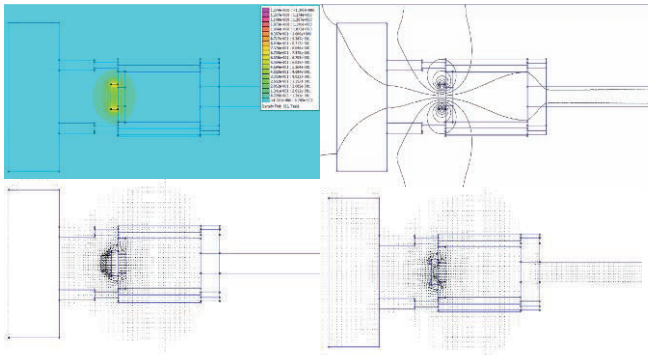


Fig. 5 Illustration of magnetic induction density, magne tic lines and vector fields of magnetic induction and magnetic intensity during the greatest retrac tion of permanent magnet

The simultation results

The series of images (Fig. 5) shows the magnetic field induction lines of force in black contours and shows shape of gripping element parts and of object which was gripped. At a distance of 100 mm is object influence with no magnetic field. At a distance of 50 mm is starting to show the magnetic field influence on grasping an object, which is reflected in flow of magnetic field lines through the object. From the value 20 mm to maximum proximity value is influence of magnetic field represented as evidence by the conclusion of field lines, magnetic field flux density and the high increase in the calculated magnetic field strength (Fig. 7).

The Use of permanent magnets´ magnetic lens in the gripping element has significant benefits in construction of the end-effectors. Using a great number of gripping elements enables a great gripping power of a given object without a difficult construction. To be able to describe behaviour of magnetic field and its impact on the gripping object as well as other parts of gripping element it is necessary to analyse the magnetic field. In this case we have confirmed the impact of magnetic field on other parts without any significant effect on the device functionality.

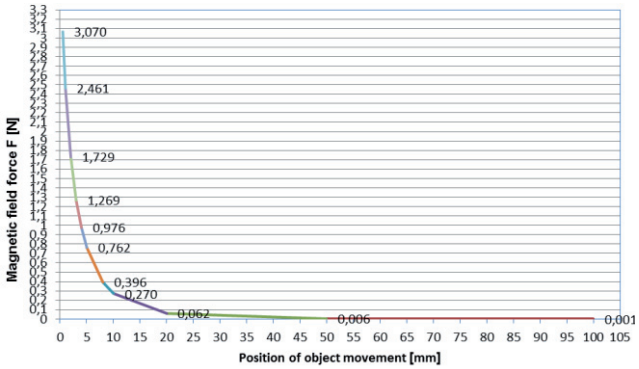


Fig. 6 The dependence of size of applied magnetic force on the distance of permanent magnet from the change of grabbed objects´ position

According to results of the second phase, where the permanent magnet was pulled away from the object, it is possible to claim that the impact of magnetic field rapidly decreases with the increasing distance (Fig. 8). The impact of magnetic field on other parts of the gripping element begun to show itself already 20 mm from its gripping position. The greatest impact on these parts is in place of the maximum insertion of the piston (Fig. 6).

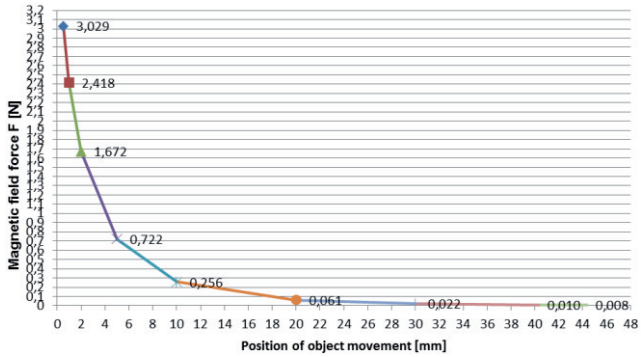


Fig. 7 The dependence of size of applied magnetic force on a changing distance of permanent magnet from grabbed object

Conclusion

The Use of permanent magnets´ magnetic lens in the gripping element has significant benefits in construction of the end-effectors. Using a great number of gripping elements enables a great gripping power of a given object without a difficult construction. To be able to describe behaviour of magnetic field and its impact on the gripping object as well as other parts of gripping element it is necessary to analyse the magnetic field. In this case we have confirmed the impact of magnetic field on other parts without any significant effect on the device functionality. Progam FEMM is suitable for use in the educational process at the departments of Mechanical Engineering Faculty. Students can learn to simulate the magnetic field and can understand the basic principles for design of magnetic or electromagnetic devices.

Acknowledgements

Article partial emergence as part of the project: VEGA 1/0810/11 "Principles and cooperation of multirobotic profiling systems" and thanks to the adviser.

References

[1] BALOČKOVÁ, L.: Diplomová práca. Katedra výrobnej techniky a robotiky, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach.

[2] PRADA, E., GMITERKO, A., BOCKO, J., KELEMEN, M., SUROVEC, R., VIRGALA, I., VACKOVÁ, M.: Algorithm for determining static characteristic on electromagnetic actuator for rectilinear locomotion structure of a snake-like robot. In: SAMI 2012 : 10th IEEE Jubilee International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics : proceedings : Herľany, Slovakia, January 26-28, 2012. - Budapest : IEEE, 2011 S. 435-439. - ISBN 978-1-4577-0195-5

[3] Mayer D. and Ulrych B.: Elektromagnetické aktuátory. BEN Praha, 2008. ISBN 978-80-7300-216-9

[4] Mayer D. and Ulrych B.: Základy numerického řešení elektrických a magnetických polí. Praha SNTL/ALFA, 1988. 04-528-88

[5] Magnetická šošovka [online] [citované 3. 5. 2011] dostupné z <http://www.magsy.cz/sk/product/27446.magneticka-cocka-pr-20x6-m6-6gx10/>

[6] PALKO, A., SMRČEK, J.: Robotika: koncové efektory pre priemyselné a servisné roboty: navrhovanie, konštrukcia, riešenia. Košice TU – SjF, 2004. s. 274, ISBN 80–8073–218-3

[7] SMRČEK, J., PALKO, A., TULEJA, P.: Robotika: uchopovacie efektory. Košice TU – SjF, 2007. s. 246, ISBN 978-80-8073-961-4

Ing. Lenka Baločková

Technical University of Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Production Systems and Robotics
Boženy Němcovej 32
042 00 Košice
0421 55 602 2192
lenka.balockova@tuke.sk

Vplyv údržby a diagnostiky na ekonomiku podniku

Rastislav Hudák

Abstrakt
Článok prináša základné informácie o význame, postavení a prínose technickej diagnostiky v údržbe a praxi. Pri zvyšovaní ekonomickej efektívnosti a zisku podniku je nutné sledovať prevádzkyschopnosť stojov a zariadi používaných vo výrobe kde stroje tvoria hlavný zisk podniku. Pri zanedbanej údržbe môže nastať stav kedy podnik nie je schopný produkcie. S tým sú spojené nemalé straty predovšetkým spojené zo zastavenou prevádzkou ako aj náklady na odstránenie poruchy. Pre plynulosť prevádzky a včasné odhalenie poruchy je potrebné diagnostikovať stroje hlavne ich kľúčové uzly a správne stanoviť rozsah a plán údržby.

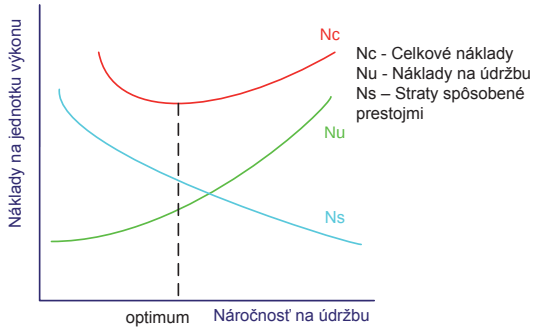
Kľúčové slov: diagnostika, údržba, stroj

Úvod

Každý podnik, ktorého hlavnú zložku tvoria výrobné stoje je snaha o maximálne využitie stojov s čo najdlhšou spoľahlivosťou a presnosťou s čím sú spojené aj dosahované zisky výroby. Na jednej strane sa kladie dôraz na spoľahlivosť, výrobnosť, presnosť a ekonomickú efektívnosť stroja pri výrobe a na druhej jeho minimálna údržba a poruchovosť. Niekedy sa uvažovalo, že poruchovosť stroja je priamo úmerná jeho veku a poruchovosť sa dá znížiť väčším počtom generálnych oprav. Na poruchu stroja vplývajú rôzne ďalšie faktory a nie len vek. Preto je potrebné sledovať technický stav stroja a správne naplánovať jeho údržbu. Zle naplánovaná údržba alebo porucha stroja má za následok jeho vyradenie s prevádzky čo je spojené so stratou zisku. Vznik závažnej poruchy na citlivom alebo vysoko presnom stroji môže mať za následok tak vysoké náklady na opravu a stratu zisku, že podnik to môže priviesť do krachu. Zabrániť strate nemalého zisku sa dá predísť správnou údržbou a vhodne stanovenou diagnostikou

Optimalizácia údržby

Na dosiahnutie ekonomickej efektívnosti a produktivity je potrebné minimalizovať straty v dôsledku prestojov a dosiahnuť minimálne náklady a údržbu (obr.1). Najúčinnejším kritériom údržby je minimalizácia finančných nákladov a prostriedkov vzťahujúcich sa k jednotke výkonu tzn. prepojenie strát z prestojov vo výrobe a nákladov na údržbu.



Obr.1 Graf optimalizácie údržby

Pod pojmom náklady na údržbu v spojení s preventívnym zásahom alebo následnými činnosťami, rozumieme:

- náklady vlastne réžie (mzdy, náklady na dopravu),
- náklady na cudzie výkony (externé),
- náklady na materiál (náhradné diely).

Pod pojmom straty z prestojov zaradzujeme:

- *výkonové straty:* predĺženie výrobného cyklu, nesprávne nastavenie strojov,
- *operačné straty:* nedostatok materiálu a ľudí, výpadky zariadenia, nastavovanie strojov, zmena produkcie, zlá obsluha, úzke miesta, chyby,
- *plánované straty:* testy, skúšky, preventívna údržba, víkendy, dovolenka, upratovanie, vývoj,
- *nekvalita výroby:* nepresnosť výroby, chyba materiálu, opravy

Celkové náklady dostaneme zlúčením nákladov na údržbu s ekonomickým vyhodnotením strát výroby. Optimum celkových nákladov je, ak:

$$Nc = \min(Nu + Ns) \qquad (1)$$

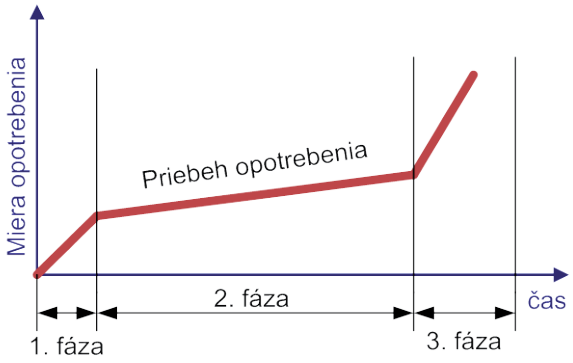
Opotrebenie stroja a technická diagnostika

Pre efektívne naplánovanie údržby daného stroja, či zariadenia je nutné poznať stav opotrebenia, k čomu slúžia rôzne diagnostické postupy. Pri opotrebovaní sa podieľajú rôzne dynamicky sa meniace faktory. Tieto faktory môžu byť akýmsi ukazovateľom pre tvorbu údržby. K týmto faktorom môžeme zaradiť:

- faktory prostredia (vlhkosť, prašnosť a pod.),
- technologické faktory (materiálová štruktúra,
- technologický postup, pracovné podmienky a pod.),

- samozrejme nesmieme zabudnúť na ľudský faktor (kvalifikácia obsluhy, organizácia práce a pod.).

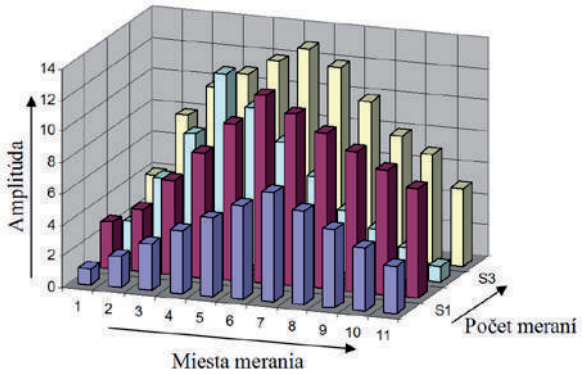
Priebeh opotrebovania je možné vyjadriť grafom, kde v závislosti je čas prevádzky a miera opotrebenia. Skladá sa z troch etáp, v prvej je opotrebenie malé a výskyt porúch je ojedinelý, druhú fázu môžeme nazvať fáza prevádzky, kde daný stroj je maximálne produktívny s minimálnym výskytom porúch a tretia fáza tzv. fáza dožitia stroja, kedy stroj je tesne pred koncom životnosti a v tejto fáze hrozí veľké riziko poruchy alebo havarijného stavu (obr.2).



Obr.2 Graf opotrebenia stroja

Pri odhaľovaní vznikajúcich porúch, resp. znižovanie životnosti rôznych uzlov stroja sa používajú rôzne diagnostické prístroje. Každá negatívna zmena na stroji sa prejaví tvorbou energie, či už vo forme tepla, vibrácii, akustických signálov, elektrických a chemických javov a podobne. Každá z týchto energií sa dá merať a vyhodnocovať. Podľa nosiča energie poznáme termodiagnostiku, akustickú a ultrazvukovú diagnostiku, vibrodiagnostiku, defektoskopickú diagnostiku, tribotechnickú diagnostiku a elektrodiagnostiku o pod.

Napr. pri vibrodiagnostike sa dajú včas odhaliť poruchy ložísk, ozubených prevodov, chyby spojok, či hriadeľov. Každá z týchto chýb môže viesť k totálnemu odstaveniu stroja a tým stratám na zisku. Diagnostikovať sa môže hneď (on-line) a odporučiť údržbu prevažne u časti strojov na prechode medzi druhou a treťou fázou alebo pomocou trendovej analýzy (obr.3), kedy sa meranie robí v pravidelných časových intervaloch za nezmenených meracích podmienok. Výsledkom je záznam meraní, kde je vidieť ako sa vlastnosť daného prvku mení.

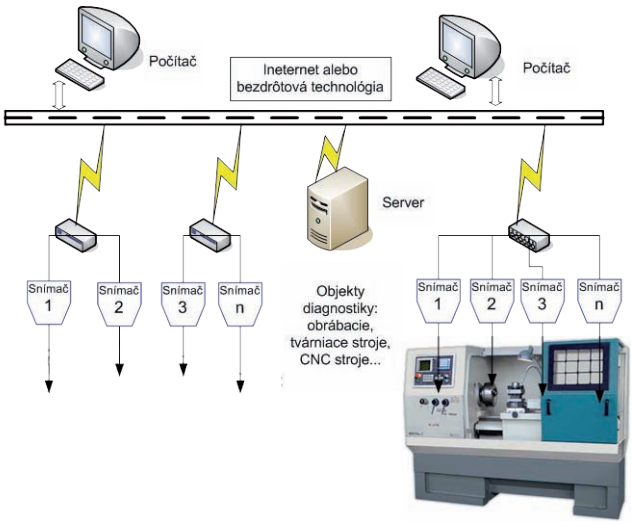


Obr.3 Trendová analýza

Pri trendovej analýze je dôležité dodržať rovnaké meracie postupy a podmienky merania. Každá zmena totiž zavedie nejaký výchylku stroja vlastne upravuje koncový výsledok. Preto je potrebné zaznamenať každú zmenu, kedy a čo sa menilo na stroji a aj to čo sa menilo na meracom prístroji.

Viacparametrická technická diagnostika

Na presnejšie a reálnejšie posúdenie technického stavu nepostačuje informácia len o jednej meranej veličine. Je to podobne ako popísať geometrický objekt. Popis v jednej rovine podá len minimálnu informáciu ale ak sa pridať pohľad v ďalšej rovine získame presnejšiu predstavu o objekte. Podobne je to aj v diagnostike, presnejšie a reálnejšie informácie o skutočnom technickom stave meraného zariadenia dostaneme ak sledujeme viacero parametrov naraz. Viacparametrická diagnostika (obr. 4) vlastne zvyšuje istotu o stave zariadenia, zvyšuje jeho spoľahlivosť a taktiež zvyšuje optimálne plánovania údržbárskych zásahov. Príkladom viacparametrickej diagnostiky je diagnostikovanie rotačných zariadení (hriadele, ložiska,...). Každá rotačná súčiastka vyvoláva vybrácie ktoré sú nositeľom informácie o stave zariadenia. Už samotnú vibrodiagnostiku môžeme podkladať za viacparametrický princíp lebo signál je možné analyzovať s viacerých pohľadov (spektrálne, orbitálne,...) Samozrejme, že každá rotačná súčiastka si vyžaduje mazanie (vo väčšine prípadov), tak ku vibrodiagnostike je možné pridať tribodiagnostiku – analýzu stavu opotrebenia strojových časti či kvality mazadla. Pri styku pohyblivej (rotujúcej) časti s pevnou neodmysliteľné vzniká trenie ktoré má za následok vznik tepla. Potom vieme k vibrodiagnostike a tribodiagnostike pridať termodiagnostiku. Takto je možné kombinovať rôzne metódy diagnostiky závisí to od charakteru meracieho zariadenia. Vo väčšine prípadov sa namerané hodnoty vyhodnocuje na počítači. Tu je potrebné aby človek prišiel s meracím zariadením k stroju realizoval meranie a hodnoty uložil do počítača. Sú zariadenia ktoré priamo ukážu hodnotu merania a pri porovnaní s tabuľkovými hodnotami je možné prijať opatrenia ale pre presnejšie stanovenie to nepostačuje.



Obr.4 Viacparametrická diagnostika

Záver

V konečnom dôsledku sú straty a prestoje neoddeliteľnou súčasťou každej výrobnej prevádzky. Aby sa minimalizovali straty spôsobené nečakanými prestojmi je nutné permanentne sledovať dané zariadenie. Pre presné definovanie spoľahlivosti stroja je nutné zaznamenávať každý zásah do stroja čo v praxi sa nie vždy dodržiava. Nato aby manažment vedel presne stanoviť naplánované prestoje musí mať detailné správy o stave stroja. Samozrejme je dobré ak manažment komunikuje s pracovníkmi ktorý daný stroj denne obsluhujú a vedia povedať či nastala zmena. Správne naplánovanie údržby a vhodne zvolená diagnostika má

nemalý účinok a efektívnosť výroby a tým aj na ekonomiku podniku, lebo sa minimalizujú nežiaduce prestoje a s nimi ide ruka v ruke strata nemalého zisku.

Poďakovanie

Ďakujem doc. Ing. Štefanovi Valenčikovi, CSc.

Článok vznikol ako parciálna časť riešenia projektu VEGA: 1/0478/10 „Výskum zvyšovania presnosti obrábacích strojov s využitím numerických simulácií dynamiky procesu obrábania“.

Literatúra

[1] M. KREIDL, R. ŠMÍD, Technická diagnostika, BEN – technická literatúra, Praha 2006, ISBN 80-7300-158-3

[2] V. PEŤKOVÁ, Teória a aplikácia vybraných metód technickej diagnostiky, TU Košice 2010, ISBN 978-80-553-0482-0.

[3] SMRČEK, J.: Prevádzka údržba automatizovaných zariadení. Košice : Elfa Košice, 1996. ISBN 80-88786-25-8

[4] VALENČÍK, Š.: Údržba a obnova strojov. Košice: Vienala s.r.o. Košice, 2010. ISBN 978-80-553-0514-1

Abstract

The article presents the basic information on the importance, position and benefit of technical diagnosis in the maintenance practice. In enhancing economic efficiency and profits of the company must follow uptime ofmachinery and equipment used in manufacturing, where machines are the main corporate profits. With a backlog of maintenance condition can occur when a company is unable to production. This is connected with considerable losses primarily related to the shutdown and the cost of repairing the fault. For smooth operation and early detection of failures is necessary to diagnose the machine, especially their key nodes and determine the extent of administrative and maintenance plan.

Ing. Rastislav Hudák

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej technika a robotiky
B. Nemcovej 32
042 00 Košice
Tel.: 055 602 2192
rastislav.hudak@tuke.sk

Modernizácia výrobných strojov a zariadení

Juraj Kováč

Abstrakt
Článok sa zaoberá modernizáciou výrobných strojov a zariadení . Smery modernizácie výrobných strojov sa určujú požiadavkami technologických procesov a úrovňou špecializácie výrobných strojov. Z hľadiska perspektív modernizácie výrobných strojov a zariadení je dôležitá analýza viacerých oblasti, ktoré zo systémového ponímania rozvoja ovplyvňujú danú problematiku. výrobných strojov a zariadení.

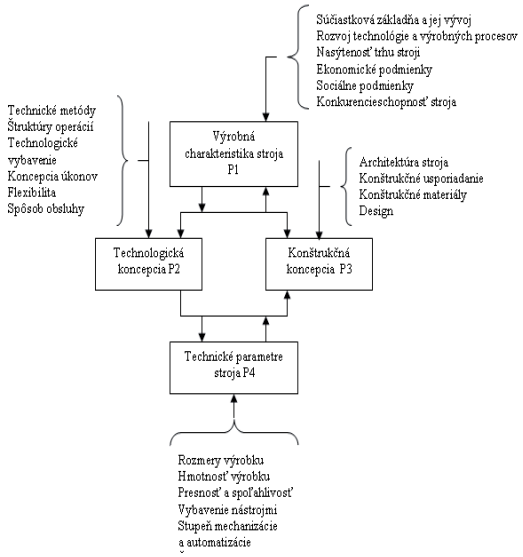
Kľúčové slová: Modernizácia, stroje a zariadenia

Úvod

Výrobné stroje a zariadenia majú ústredné postavenie v štruktúre každého výrobného procesu a systému. Rozhodujúcu úlohu vo výrobnom procese majú preto, že bezprostredne realizujú technologické funkcie, zabezpečujú produktivitu, nevyhnutnú kvalitu a viažu na seba aj rozhodujúcu časť investičného kapitálu. Aktuálne požiadavky na zdokonaľovanie výroby vyplývajú z trendu zvyšovania jej konkurencieschopnosti, z čoho vyplývajú požiadavky nielen na inovácie výrobkov, ale aj výrobných technológii a realizačných strojov a zariadení.

Metrika výrobných strojov a zariadení pre modernizáciu

Z hľadiska perspektív modernizácie výrobných strojov a zariadení je dôležitá analýza tzv., metriky, ktorá okrem klasických parametrov operuje aj s doposiaľ zriedka využívanými parametrami. V popredí záujmu je hodnotenie parametrov výrobných strojov a zariadení, ktoré určujú charakter výrobných operácií a stimulujú zavadzanie progresívnych technologických princípov a výrobných štruktúr najmä s vyšším stupňom automatizácie. Pri riešení je výhodné vychádzať z tzv. technologicko-systémovej koncepcie stroja alebo zariadenia Obr. 1



Obr. 1 Technicko-systémová koncepcia výrobných zariadení

Pri takomto prístupe výrobný stroj je charakterizovaný množinami parametrov , ktoré ich hodnotia nielen z konštrukčnej stránky, ale aj z funkčného hľadiska, štrukturálneho resp. iného hľadiska. V praxi sa analýza často robí na základe parametra, ktorý najviac vplýva na jeho funkčnú činnosť, pričom ostatné parametre sa analyzujú na úrovni obmedzujúcich podmienok. Potrebne je porovnať najmä technologické požiadavky viazané na predmet technologického spracovania a technologickej operácie s technickou charakteristikou výrobných strojov. Formuluje sa množina technických a technologických možností výrobného stroja G. pričom jej prvkami sú množiny obmedzujúcich podmienok podľa zvolených parametrov (G_i)

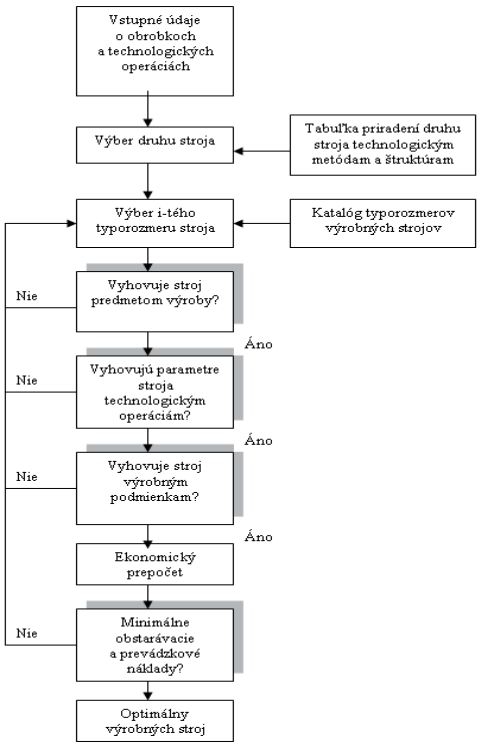
$$G = \{ G_i \} \; i = 1,2,...n$$

kde: n je počet uvažovaných parametre výberu.

Typické obmedzujúce podmienky výberu sú:

- G_1- je množina technologických metód, ktoré možno na danom stroji realizovať,
- G_2 – množina technologických štruktúr,
- G_3 – maximálne rozmery súčiastky na danom stroji,
- G_4 – dovolené dynamické účinky obrobku (napr. strojov s pohybujúcim sa obrobkom),
- G_5- dovolené statické účinky súčiastky (hmotnosť polovýrobku a pod.),
- G_6 – konštrukčno-technické parametre stroja (otáčky, posuvy, výkon a pod.),
- G_7 – Príslušenstvo a špeciálne zariadenia stroja (nástroje, prípravky a pod.)
- G_8 – dosahovaná presnosť a kvalita technologického spracovania na danom stroji,
- G_9 - ekonomický prípustný počet súčiastok v dávke

Podľa uvedených množín a obmedzení možno zostaviť algoritmus hodnotenia typorozmerov výrobných strojov Obr.2



Obr.2 Hodnotenie typorozmerov výrobných strojov

Podľa uvedených množín a obmedzení možno zostaviť algoritmus hodnotenia typorozmerov výrobných strojov (Obr.2)

Pri výbere vhodných typorozmerov výrobných strojov sa vychádza z údajov o súčiastke (napr. geometrický tvar, polohy funkčných plôch, rozmery, tolerancie, prídavky, materiál, stav, povrchové vrstvy, požadovaná akosť povrch a pod.) a z navrhnutej metódy a štruktúry technologického spracovania.

Záver

Modernizácia existujúcich strojov je investične menej náročná ako kúpa nových strojov, ale vzniká problém stanovenia času, kedy výrobný stroj modernizovať a kedy vymeniť za nový. Výrobné stroje sú posudzované mnohými parametrami. Sú hodnotené z pohľadu konštrukčnej stránky, z funkčného hľadiska, štrukturálneho hľadiska a iných. V praxi sa výrobný stroj analyzuje najviac na základe parametrov, ktoré vplývajú na jeho funkčnú činnosť. Pri výrobných strojoch okrem fyzického opotrebenia je potrebné zohľadniť aj morálne opotrebenie, pri ktorom sa prejavuje zmena ekonomickej hodnoty daného stroja tým, že na trhu sú nové, lacnejšie, produktívnejšie a presnejšie stroje.

Literatúra

[1] KOVÁČ, Jozef - LEŠKOVÁ, Andrea: Modernizácia výrobnej základne na báze využívania stavebnicových systémov [online]. Košice: Strojnícka fakulta, 2000. In: Transfer inovácií. 2000, č. 2. s. 81 - 84. [cit. 2012–04-02]. Dostupné na internete: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/>. ISSN 1337-7094..

[2] M. Kováč: Modernizácia výrobných stojov, TU Košice 1997

[3] V. Rudy: Laboratórna báza pre modernizáciu výrobnej základne SjF TU Košice, 1998

[4] VALENČÍK, Štefan: Metodika obnovy strojov. Košice: Technická univerzita, Strojnícka fakulta, 2011. 330 s. ISBN 978-80-553-0679-7.

[5] VALENČÍK, Štefan: Údržba a obnova strojov. 1.vydanie. Košice: Technická univerzita, Strojnícka fakulta, 2010. 416 s. ISBN 978-80-553-0514-1

[6] M. Kováč, J. Kováč: Inovačné projektovanie výrobných procesov a systémov. Košice: Technická univerzita, Strojnícka fakulta, 2011. 320s. ISBN 978-80-553-0805-0

Abstract

The article deals with the modernization of production machinery and equipment. Directions upgrading of production machinery to determine the requirements of the technological processes and levels her specialty production machinery. In terms of prospects for modernization of production machinery and equipment is an important analysis of the multiple areas of system development influence perception of the issue. manufacturing machinery and equipment.

Ing. Juraj Kováč, PhD.

Technická univerzita
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Němcovej 32,
PSČ 042 00 Košice
Tel.: 055 602 2197
E-mail: juraj.kovac@tuke.sk

SafeSME – EUROPEAN SAFETY PLATFORM FOR SMEs

Lucia PÁCHNIKOVÁ, Mikuláš HAJDUK

Abstract
The article is focused on the description of the SafeSME project, which is solved in the framework of EU's Lifelong Learning Programme – Leonardo da Vinci. In the introduction part of article there is described current situation in the EU in the field of occupational safety in small and medium-sized enterprises (SME). This part offers statistics as well as results of surveys on occupational safety and describes an alarming situation. The second part of the article provides the description of the SafeSME project, which is focused on the proper implementation of the national and EU regulations, and to support SMEs in the implementation of the legislation in force. The article describes the main objectives of the project and its current state of development of the project.

Key words: occupational health and safety, risk, training, e-learning

Introduction

Occupational illness and accidents at work are a heavy burden on both workers and employers in EU. The scale of the problem is illustrated by the number of 4 million accidents at work per year, and the resulting total cost to the EU economy which is estimated at around 55 billion Euros.

The organisation and the resources available to maintain and develop safe working practices can be dependent upon the size of the enterprise. In general the larger the company, the more resources are available. This issue is also reflected by the first survey of continuing vocational training in enterprises, showing that the percentage of enterprises providing continuing training increases substantially with company size.

Why is safety in SMEs very important?

There are 19 millions SMEs in the EU operating in different sectors and employing over 65% of working population but account for 82% of occupational injuries and about 90% of fatal accidents. The present situation of increasing European and global competition and the cost pressure resulting out of it, forces SMEs to put more efforts in use of modern automated systems. Simultaneously, there is a growing number of SMEs in which health and safety knowledge, regarding planning, implementation and operation of these technologies, is insufficient and often missing. In general the incidence rate of accidents at work is higher in SME as compared to enterprises employing more than 250 employees.

Fig. 1 Risk

This trend is particularly clear in the sector of manufacturing, as shown by the European Statistics on accidents at work. As a result, EU has a growing number of SMEs in which occupational health and safety (OSH) knowledge is insufficient and often missing. This fact will be also reflected by the Commission report on the practical implementation of framework Directive 89/391/EEC and its individual directives. The report identifies serious shortcomings in the application of Community vocational safety legislation, particularly in the SME sector as well as for young and low-skilled workers. As a result risks are unequally distributed between larger and small enterprises.

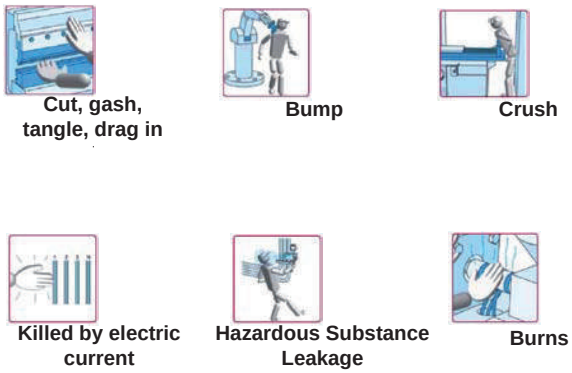


Fig. 2 Example of risk

This matter of fact is also reflected by the latest results of fourth European survey of working conditions which shows that many workers in Europe continue to perceive that their jobs pose a threat to their health or safety. The relative risks for SMEs are greater than on comparable large enterprises, since key workers cannot be easily or quickly replaced and short-term interruptions of business can lead to loss of clients and important contracts. This situation is asking for effective measures enabling a successful dissemination of existing legislation/safety practices and its implementation, due to the use of innovative information and vocational safety training approaches, especially focusing on young as well as low-skilled workers. Statistics shows, that workers with 0-5 years of employment in the company have an about 25% higher risk of accidents at work than those who have

worked more than 5 years in the company. It could be shown that experience in the job increases familiarity with the tasks and safety regulations.

Latest results of fourth European survey of working conditions shows that 35% of workers on average feel that their job puts their health at risk. Key aspect and a prerequisite for efficient prevention of work-related hazards is to inform workers about the risks occurring at work which is a fundamental right of the workers. The EU Survey has also shown that the percentage of workers feel that they are very well informed about risks at work, ranges from 48% in units with more than 500 workers to about 38% in those with 2-9 workers.

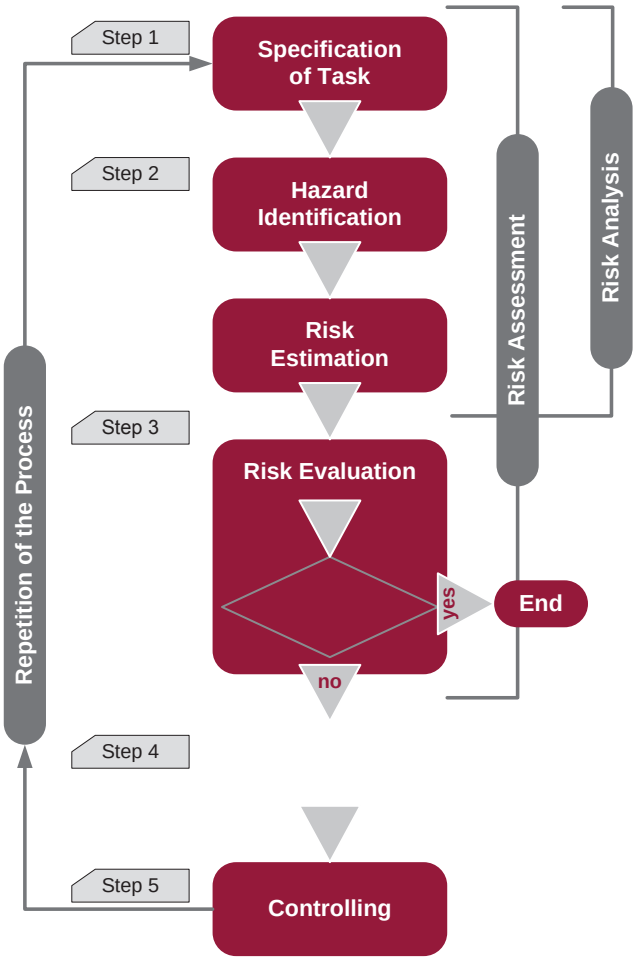


Fig. 3 Risk assessment

Project SafeSME

Project SafeSME is solved within international level in cooperation with partners from Germany, Turkey, Poland and Slovakia; it is funded by the EU program Leonardo da Vinci in two years period. The project is targeting to provide the growing SME community using modern automated systems with the required legislation/safety practices know how regarding planning, implementation and operation of these technologies.

A goal of SafeSME project is to facilitate the proper implementation of the national and EU regulations, and to support SMEs in the implementation of the legislation in force.

To achieve this goal and to overcome the information lack at SMEs, SafeSME is aiming at application of a combination of innovative e-learning based training with co-operative groups among SMEs and transnational virtual study circles based on web based experience share platform. By this means SafeSME will reach the SME community needs, by combing e-learning technologies with the possibility of time and location independent learning. To realize this ambitious goal due to transfer and adaptation of existing innovative results from previous projects, SafeSME has set up a partnership providing required expertise and knowledge on e-learning technologies, legislation/safety practices regarding automated systems and organization/execution of vocational trainings.

Key aim of SafeSME project is to improve the quality and attractiveness of the European vocational education and training system by adapting and integrating innovative content or results from previous LdV projects into public and /or private vocational training systems and companies at the national, local, regional, or sectoral level. Therefore, to cope with the challenges described above, SafeSME is aiming at a support of SMEs to introduce measures to encourage improvement in OSH of workers at work, focusing on whole life-cycle of planning, implementation and operation of automated systems w.r.t. the needs of SME sector.

To achieve this goal, enabling a successful dissemination of existing legislation/safety practices to SMEs, as e.g. the practical implementation of framework Directive 89/391/EEC, SafeSME is targeting at application of an advanced blended learning approach. Technically seen SafeSME is aiming to implement a WEB Platform about Safety standards in automation based on the results of LdV Project ASMAS. By combination of innovative e-learning Technologies SafeSME will meet key SME needs, taking into account their limited resources available as well as time constraints caused by high daily work load and resulting limited flexibility to participate in vocational trainings.

The project is mainly focused on safety in SMEs in the field of automated and robotized systems for welding, palletizing, packing, laser and conveyor applications. Lessons are dealing with safety of robots, fig. 4 and automated manufacturing systems.

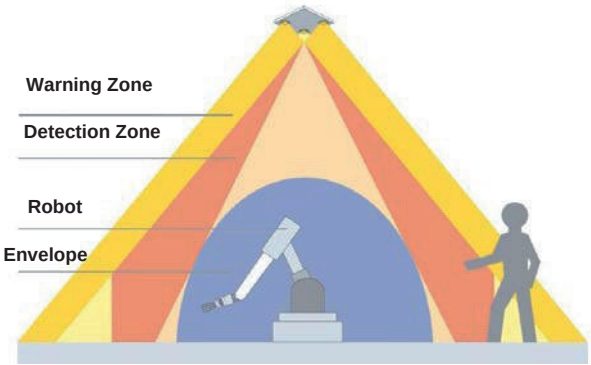


Fig. 4 Robot safety zones

SafeSME Web Platform

Web platform of SafeSME project consist of three sections:

- **Safety Training Platform**

Safety Training Platform is an innovative e-learning environment for industrial safety standards and e-learning platform for virtual study circle, in the scope of blended learning approach.

- **Wiki Safe**

It is a free, web-based, collaborative, multilingual encyclopaedia for industrial safety aspects which is designed in context of SafeSME.

- **Safety Share Platform**

Safety share platform is a free WEB platform where all kind of experience where anyone can share their experience about safety aspects with each other with help of forums, questions and mailing systems.

Fig. 2 The sample of SafeSME web platform

Conclusion

The SafeSME project, which is focused on the implementation of e-learning in the education of employees in small and medium-sized enterprises in the field of safety at work, is in the second half of its solution. In addition to e-learning courses within the project there are created innovative web platforms for sharing knowledge and experience of employees in small and medium-sized enterprises in the field of occupational health and safety at work. By successful implementation of the SafeSME project and by involvement of SME will be achieved increase level of education in the field of implementation and operation of advanced automation and robotics systems which will reduce the number of accidents at work.

Acknowledgement

This paper is the result of the project implementation: SafeSME, LdV, LLP no. 2010-1-TR1-LEO05-16980.

This project is funded with support from the European Commission. This publication represents only author's opinion and the European Commission or the National Agency is not responsible for any of the information contained in this publication.

prof. Ing. Mikuláš Hajduk, PhD.

Technical University of Kosice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Production Systems and Robotics
B. Nemcovej 32
040 01 Kosice, Slovakia
Tel.: +421 (0)55 602 2193
mikulas.hajduk@tuke.sk

Ing. Lucia Páchniková, PhD.
Technical University of Kosice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Production Systems and Robotics
B. Nemcovej 32
040 01 Kosice, Slovakia
Tel.: +421 (0)55 602 2192
lucia.pachnikova@tuke.sk

Using Excel to Solve Discrete Models for Machine Renewal in Education Process

Alena, Pešková

Abstract

We are using Excel as an appropriate tool to calculate age of the structure of discrete models for machine renewal in this contribution. The access is being demonstrated by solving two concrete cases of discrete models, that were discussed during practicals of the subject Procedure of Machines Renewal. As it has been proved using spreadsheets not only replaces prosily and lengthy calculations on the blackboard, but it also motivates students to experiment.

Keywords: *renewal, discrete models, homogeneous model, inhomogeneous model*

Introduction

We would like to share our experience with using Excel for teaching the subject Procedure of Machines Renewal in this contribution. We will deal with only two basic discrete models of machines renewal and equipments that make up the content of the subject in textbook [1]. These models solve substitution of objects that have failed and must be replaced. The calculations in these examples are lengthy, and therefore Excel is an effective tool for calculation itself.

Discrete renewal models

Discrete models are a base for modelling processes of renewal with failure. They enable to determine the expected number of renewal elements in the reporting periods and their respective age structure in the mechanical engineering industry. Moreover, we discuss in detail a discrete homogeneous model of renewal and an inhomogeneous discrete model of renewal.

Homogeneous renewal model

All periods of the operation of the objects are of equal length. The maximum lifetime of the objects is *T* periods. At the end of this period they are considered to be failed and are replaced by new elements. Characteristics of the objects is probability of failure in the *0* to *T-1* age of the object. The object which has reached the age *T* is considered failured. Age structure is being looked for *n* periods, assuming that in zero period is the number of known objects *EO(0)*. Furthermore, we will use this marking according to the designation [1]:

- p(t) - probability of failure at time t
- EO(0) - initial set of objects
- p(T>t) - probability of survival

The basic equation of renewal theory:

$$E_{O(t)} = E_{O(t-1)} \cdot p_{(0)} + E_{O(t-2)} \cdot p_{(1)} + E_{O(t-3)} \cdot p_{(2)} + \ldots + E_{O(0)} \cdot p_{(t-1)}$$

for 1 ≤t<T (1)

$$E_{O(t)} = E_{O(t-1)} \cdot p_{(0)} + E_{O(t-2)} \cdot p_{(1)} + \ldots + E_{O(t-T+2)} \cdot p_{(T-3)} + \ldots + E_{O(t-T)} \cdot p_{(T-1)}$$

for t≥T (2)

We will explain a procedure of calculation in spreadsheet Excel [2] in the following example [3]:

We have equipment with 1000 elements in mechanical company. Probability of failure in individual years are: p(0)= 0,1; p(1)= 0,2; p(2)= 0,2; p(3)= 0,3; p(4)= 0,2. The maximum lifetime of objects is 5 years. It is necessary to calculate the age structure of objects in a period of 10 years.

At first, we will begin with the values listing from *Tab. 1*, from which the values will be converted to probability of survival *Tab. 2* according to the data shown.

	A	B	C	D	E
6					
7	**Dané:**				
8	$E_{O(0)}$	1000	p(0)	0,1	
9	T	5	p(1)	0,2	
10	n	10	p(2)	0,2	
11			p(3)	0,3	
12			p(4)	0,2	
13					

Tab.1 The input data

17		
18	p(T>0)= p(0) + p(1) + p(2) + p(3) + p(4)	1
19	p(T>1)= p(T>0) - p(0)	0,9
20	p(T>2)= p(T>1) - p(1)	0,7
21	p(T>3)= p(T>2) - p(2)	0,5
22	p(T>4)= p(T>3) - p(3)	0,2
23	p(T>5)= p(T>4) - p(4)	0
24		

Tab.2 Probability of survival

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
25													
26	p(T>t)	T/n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27	1	0	1000	100	210	241	386	359	244	288	313	323	298
28	0,9	1	-	900	90	189	217	347	323	220	259	282	290
29	0,7	2	-		700	70	147	169	270	251	171	201	219
30	0,5	3	-			500	50	105	121	193	179	122	144
31	0,2	4	-				200	20	42	48	77	72	49
32	0	Σ	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
33													

Tab.3 Age structure of objects in a homogeneous model

We will create a table of age structure of in individual periods. The Lines will denote age of the objects, the columns will denote periods of elements. We will take consideration only into the objects that are at beginning of the initiation operation new and they are of 0 age. The procedure of solution is as follows: we will enter the value in cell *C27* of the initial set of objects, because we have only of the beginning a new machine with 0 age. Therefore, the cells *C28:C31* will not contain any values. The final result will be a sum of the fields *C27:C31*. In cell *C32* we fill in enter *=SUM(C27:C31)* and copy the formula to area *D32:M32*. In the first period in cell *D27 we* will continue according to the derived formula *EO(1)=EO(0).p(0) (1)* Further, we will write in to the command line of this cell *=B8*D8*. The content of cell *E27* will be calculated according to *EO(2) = EO(1).p(0) + EO(0).p(1)*, which means that in the command line there is *=D27*D8+C27*D9*. We will proceed further according to the formulas in cells *F27:M27*. This way we will get the first line calculated – i.e. the number of elements in the respective periods.

For easier work and clarity we have written probability of survival p(T>t) next to a table in cells *A26:A31*. In the first period in cell *D28* we will calculate how many objects will survive from the initial set in this period. We will calculate this by multiplying of the initial set by the given of survival probability p(T>1)=0,9. In cell *D28* there will be the formula *=C27*$A28*, which copy to in cells *E28:M28*. Now we get filled second line, which inform us about how many objects we will have that will survive and will become one-year old. We will always proceed diagonally, in the case of cell *E29*. Further we will continue using analogy. At the command line we will enter the relation *=C27*$A29*. Here we should be careful and take the value from cell *C27*,i.e. from of basic set. Students are used to taking cell *C27* value instead of cell *D28*, which leads to error results. We will proceed in the similar way in further lines.

Inhomogeneous discrete models

This type of discrete model can be found in practice [1] more frequently than a homogeneous discrete model. Age of machines placed in operation is different, for example there are new machines, one year old, two years old etc. (they have different age-structure). Conditions for the solution remain the same as in a homogeneous discrete model. On the other hand, the process of finding differences requires to identify new elements and elements that already are of age t.

The equation of renewal for inhomogeneous model in the first period:

$$E_{O(1)} = E_{(0)}.p_{(0)} + E_{(1)}.\frac{p_{(1)}}{p_{(T>1)}} + E_{(2)}.\frac{p_{(2)}}{p_{(T>2)}} + \ldots + E_{(T-2)}.\frac{p_{(T-2)}}{p_{(T>T-2)}} + E_{(T-1)} \qquad (3)$$

We will denote as follows:

- conditional probability (the probability that an object may fail under the condition it survives time t)
  p (ct) = p (t) / p (T> t)
- heterogeneous age structure at the beginning - E(0), E(1), E (2), ..., E(T-1)

We will try to explain the procedure of calculation [2] using the following example[3]:

There are 1000 objects in mechanical engineering company in operation. [3] Their initial age structure is as follows E(0)=500, E(1)=320, E(2)=74, E (3)=100, E(4)=6. Probability of failure in individual years are: p(0)=0,2; p(1)= 0,43; p(2) = 0,17; p(3)= 0,17 p(4)=0,03. The maximum lifetime of the objects is 5 years. It is necessary to calculate age structure of the objects within 7 years.

We will begin by listing of the values from *Tab.4*. from which the values will be converted to probability of survival *Tab. 5* according to the data shown.

	A	B	C	D	E	F	G
5							
6	**Dané :**						
7	$E_{O(0)}$	1000	p(0)	0,2	$E_{(0)}$	500	
8	T	5	p(1)	0,43	$E_{(1)}$	320	
9	n	7	p(2)	0,17	$E_{(2)}$	74	
10			p(3)	0,17	$E_{(3)}$	100	
11			p(4)	0,03	$E_{(4)}$	6	
12							
13							

Tab.4 The input data

14		
15	p(T>0)= p(0) + p(1) + p(2) + p(3) + p(4)	1
16	p(T>1)= p(T>0) - p(0)	0,8
17	p(T>2)= p(T>1) - p(1)	0,37
18	p(T>3)= p(T>2) - p(2)	0,2
19	p(T>4)= p(T>3) - p(3)	0,03
20	p(T>5)= p(T>4) - p(4)	0,00
21		

Tab.5 Probability of survival

The procedure to generate a table of age structure *Tab. 6* is similar to that as in case of a homogeneous discrete model. The only difference is that we have in cells *C24: C28* objects with a diverse age structure. In the area marked by gray we are working with conditioned probabilities.

Furthermore, we will show that it is not necessary to follow the formula (3), but it is possible to choose an easier option.

We will calculate the values of conditioned probabilities as follows:

$$\boxed{\frac{p(T>2)}{p(T>1)}.E_1}$$

$$\boxed{\frac{p(T>3)}{p(T>2)}.E_2} \quad \boxed{\frac{p(T>3)}{p(T>1)}.E_1}$$

$$\boxed{\frac{p(T>4)}{p(T>3)}.E_3} \quad \boxed{\frac{p(T>4)}{p(T>2)}.E_2} \quad \boxed{\frac{p(T>4)}{p(T>1)}.E_1}$$

We will calculate cells *D25, E26, F27, G28* according to the probability of survival as well as in the previous example. We will calculate the first line *D24* by entering = D29-(SUM D25:D28). We will proceed in other periods in a similar way.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
22										
23	p(T>t)	T/n	0	1	2	3	4	5	6	7
24	1	0	500	397	411	412	424	414	417	416
25	0,8	1	320	400	318	329	330	339	331	334
26	0,37	2	74	148	185	147	152	152	157	153
27	0,2	3	100	40	80	100	79	82	82	85
28	0,03	4	6	15	6	12	15	12	12	12
29	0,00	Σ	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
30										

Tab.6 Age structure of objects in a inhomogeneous model

Conclusion

Modern educational instruction should be common nowadays. We suggest Excel as an alternative to counting with a calculator. Spreadsheets have also been used for teaching other models such as the models based on Markov chains and optimal strategies for renewal. Easy availability of Excel in Microsoft Office enables students to work comfortably not only during practicals, but also for home preparation when they working on assignments.

Acknowledgement

I would like to thank doc. Ing. Štefan Valenčík CSc. for professional advice and suggestions during writing this article.

References

[1] Valenčík, Š. : Metodika obnovy strojov. EVaOL TU Košice, 2011, 330 s. ISBN 978-80-553-0679-7.

[2] Matějů P. : Microsoft Office Excel 2007. Computer Press, 2007 , 209 s. ISBN 8025115725

[3] http://fsi.uniza.sk/ktvi/leitner/2_predmety/OA/Cvicenia/14_TO.pdf

Ing. Alena Pešková

Technical University of Košice
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Production Systems and Robotics
Němcovej 32
042 00 Košice, Slovakia
alena.peskova@tuke.sk

Postup výberu reduktorov TwinSpin pre robotické ramena

Ján Semjon, Marek Vagaš, Vladimír Baláž

Abstrakt
Tento článok popisuje metodiku výberu ložiskových reduktorov pre nasadenie v robotických ramenách priemyselných robotov. Metodika je založená na všeobecné platných postupov výrobcu ložiskových reduktorov Spinea s prihliadnutím k špecifickým požiadavkám na konštrukciu. Vysoko presné prevodovky sa používajú pre také aplikácie, ktoré sa vyznačujú nízkym odporom a vysokou torznou tuhosťou (harmonické alebo cykloidné prevodovky). Ložiskové reduktory (cykloidné prevodovky) spĺňajú požiadavky na malú zastavanú plochu v priestore pri vykonávaní vysoko presnej zmeny prevodov. Ložiskové reduktory TwinSpin od firmy Spinea presne spĺňajú tieto protichodne požiadavky.

Kľúčové slová: ložiskový reduktor, robotické rameno, postup výberu

Úvod

Ramena priemyselných robotov sa vždy navrhujú tak, aby bola dosiahnutá čo najvyššia tuhosť pri maximálnej dynamike a dostatočnej presnosti. Rýchlosti ramien priemyselných robotov pri vykonávaní manipulačných, alebo technologických aplikácií majú relatívne nízke hodnoty, pričom elektrické pohony ktoré ich poháňajú majú výstupné rýchlosti – otáčky vysoké. Z tohto dôvodu je potrebné do pohonu jednotlivých ramien robota zaradiť vhodný reduktor, umožňujúci znížiť výslednú rýchlosť na požadovanú hodnotu. V priemyselných robotoch sa využívajú rôzne druhy reduktorov, pričom sa kladie dôraz na tieto základné vlastnosti: presnosť, tuhosť, životnosť, veľkosť prevodového pomeru a konštrukčné riešenie reduktora (použitie vstupného hriadeľa, výstupného hriadeľa prípadné dutého hriadeľa a pod.). Medzi najvýznamnejších dodávateľov reduktorov do ramien robotov patria tieto firmy: Nabtesco, Sumitomo, Harmonic Drive a Spinea.

Postup pre návrh vhodného pohonu – reduktora do ramena robota je možne zhrnúť do troch krokov:

- Predbežná kalkulácia pohonnej jednotky.
- Stanovenie optimálneho prevodového pomeru.
- Výber vhodného reduktora.

1. Predbežná kalkulácia pohonnej jednotky

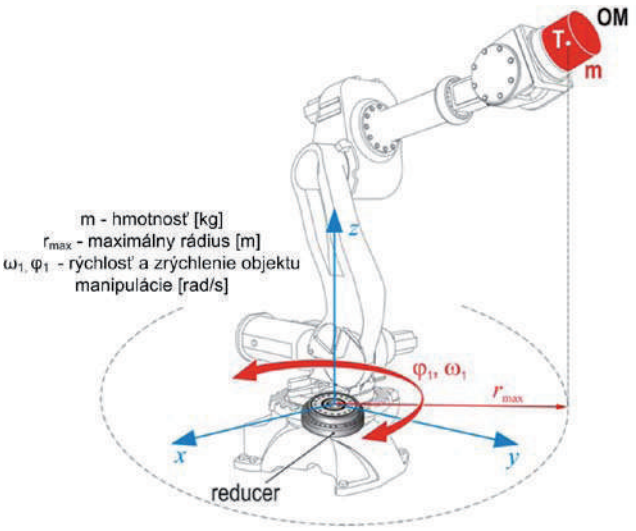
Pri stanovovaní základných rozmerov kinematickej schémy robota a rozsahov pohybov jednotlivých ramien robota, je potrebné stanoviť predbežné výkony motorov a vybrať konkrétnych výrobcov pohonov s predbežné definovanými typmi. Pohony resp. motory s reduktormi predstavujú výraznú záťaž, ktorá bude umiestnená na jednotlivých ramenách robotov s čím musíme pri návrhu robota počítať. Problematickým bodom je fakt, že v tejto etape návrhu ramien robota, ešte nemáme presne vyšpecifikované motory a reduktory (ich hmotnosti, ťažisko, spôsob upevnenia, presné rozmery a pod.), čo môže viesť k modifikovaniu riešenia jednotlivých ramien robota. [1,3]

1.1 Vstupné parametre pre kalkuláciu

Na obr. 1, sú zobrazené základne vstupné parametre jednej osi robota, pomocou ktorých je možné vyšpecifikovať parametre požadovaného pohonu (motora a reduktora).Pre určenie výkonu rotačnej pohonnej jednotky ramena robota je možné vychádzať zo vzťahu: [2]

$$P_r = \frac{(M_n + M_d)}{\eta} \cdot \omega \qquad (1)$$

kde η – účinnosť prenosu výkonu, M_n – moment nevyvážených hmôt, vrátané objektu manipulácie (OM) [Nm], M_d – dynamický moment pri štarte robota, odráža hodnotu momentu pri istom zjednodušení [Nm].



Obr. 1 Vstupné parametre OM pre kalkuláciu

Pre odhad momentu zotrvačnosti jednotlivých pohybujúcich sa hmôt vychádzame z nasledujúceho vzťahu:

$$I = I_r + I_M = k_2 I_r \,;\; I_r = m_{(M)} r^2 \,, \qquad (2)$$

kde, I_M – moment zotrvačnosti rotujúcich časti robota [kg.m^2], k_2 – koeficient úrovne prevedenia konštrukcie,

získaná na základe analýzy jednotlivých modulov (k_2 = 1,8 – 2,3).

Pre odhad sily potrebnej k rotácií ramena okolo horizontálnej osi vychádzame zo vzťahu:

$$P_r = \frac{(M_n + M_d)}{\eta} \cdot \omega = \frac{\omega r m_{(M)}}{\eta}\left(k_3 g \cos\alpha + \frac{k_2 r \omega^2}{2k_1 \varphi}\right), \quad (3)$$

kde $k_3 = \frac{M_n}{m_{(M)} g r}$ (4)

a pre odhad sily potrebnej k rotácií ramena okolo vertikálnej osi (z) vychádzame zo vzťahu:

$$P_{r(z)} = \frac{m_{(M)} r^2 \omega^3}{\eta\varphi}\left(\frac{k_2}{2k_1}\right) = \frac{m_{(M)} r^2 \omega^3}{\eta\varphi}\left(\frac{2}{2.0.1}\right) = 10\frac{m_{(M)} r^2 \omega^3}{\eta\varphi}, \quad (5)$$

kde $k_1 = \frac{S_r}{S}$. (6)

1.2 Určenie optimálneho prevodového pomeru

Pri použitý vysokorýchlostných motorov je potrebné do robotického ramena vložiť správny reduktor. V prípade, že v robotickom ramene dominuje dynamické zaťaženie, je potrebné pristupovať k určeniu optimálneho prevodového pomeru komplexne. Z tohto dôvodu je vhodnejšie pre návrh optimálneho prevodového pomeru použiť nasledujúci vzťah:

$$i_{opt} = \sqrt[3]{\frac{2\omega_M^2 \sum_{k=1}^{n} I_{Zk}}{\sum_{k=1}^{n} \varphi_k M_{dM} \eta}}, \quad (7)$$

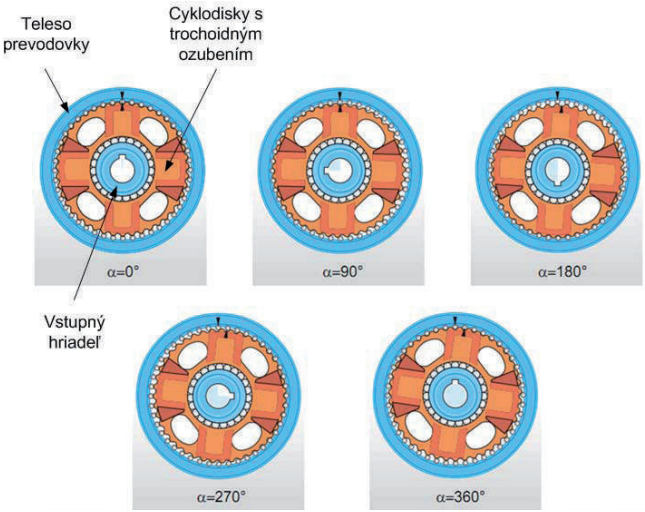
kde I_{Zk} – moment zotrvačnosti I_Z pre k - ty pohyb, φ_k – uhol k – tej rotácie, η – počet otáčok.

1.3 Výber vhodného typu a veľkostnej rady reduktora

V tomto bode je potrebne korigovať veľkostnú radu reduktora na základe doterajších výpočtov, prípadne je nutné znížiť zaťaženia pôsobiace na reduktor. Pri výbere vhodného reduktora vychádzame z údajov uvedených v katalógových listoch výrobcov, prípadne na základe kalkulátorov, ktoré výrobcovia reduktorov uvádzajú na svojich internetových stránkach. [4]

2. Charakteristika reduktora Twinspin

Dva cyklodisky s trochoidným ozubením sú uložené na excentroch a ozubením zaberajú s valčekmi po obvode telesa prevodovky. Tieto valčeky pritom tvoria ekvivalent vnútorného ozubenia u planétových resp. harmonických prevodoviek. Otáčaním vstupného hriadeľa s excentrami dochádza k precesnému pohybu diskov, ktoré sa pri tom otáčajú pomaly opačným smerom. Tento rotačný pohyb je vyvedený na výstupný hriadeľ. Vzhľadom na to, že naraz zaberá niekoľko „zubov“ na každom z diskov je možné dosiahnuť prenos veľkých výkonov pri vysokých prevodových číslach v jednom stupni. Ďalšou výhodou je možnosť integrácie ložísk a prevodovky do jedného kompaktného celku, obr.1.



Obr. 2 Princíp činnosti ložiskového reduktora TwinSpin

Medzi základne časti reduktorov Twinspin môžeme zaradiť prvky, ktoré umožňujú prenos vysokých krútiacich momentov pri malých vonkajších rozmeroch, ako sú:

Teleso - obsahuje vysoko kapacitné, presné radiálno-axiálne výstupné ložiská integrované v reduktore.

Výstupné tesnenie - na strane výstupnej príruby zabraňuje vnútornému znečisteniu reduktora a presakovaniu maziva z reduktora.

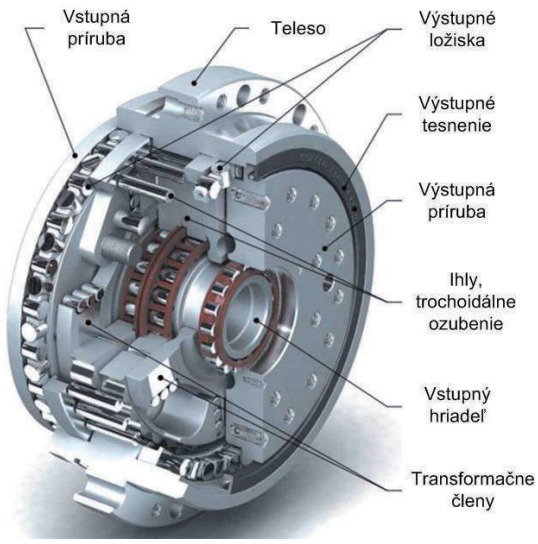
Príruby - vstupné a výstupné príruby vzájomne pevne spojené sa otáčajú zníženou rýchlosťou v radiálno-axiálnom výstupnom ložisku vo vzťahu k telesu.

Vstupný hriadeľ – vysoko otáčkový člen prevodového mechanizmu, uložený vo valčekových ložiskách v prírubách. Ložiskové dráhy sú nabrúsené priamo na hriadeli a prírubách. Hriadeľové excentre otočne podopierajú trochoidálne ozubené kolesá pomocou valčekových ložísk.

Trochoidálne ozubené kolesá - ich trochoidálny profil s takmer 50% súbežným záberom umožňuje prenos veľmi vysokého momentu, čím je zabezpečený vysoký výkon reduktora bez nežiaducej vôle.

Transformačný člen - transformuje planétový pohyb trochoidálnych ozubených kolies na otočný pohyb dvojice prírub. [6]

Na obr. 3 sú zobrazené základné časti reduktorov (cykloidných prevodoviek) Twinspin.

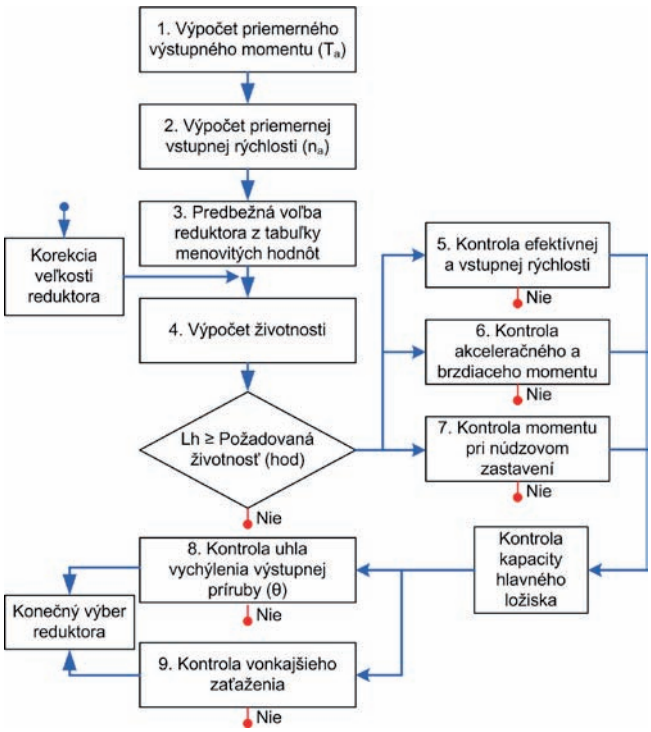


Obr. 3 Jednotlivé časti cykloidnej prevodovky Twinspin

3. Príklad výberu ložiskového reduktora

TwinSpin pre robotické rameno

Pri výbere vhodného reduktora potrebného pre pohon robotického ramena vychádzame z nasledujúceho vývojového diagramu, obr. 4. [6]



Obr. 4 Vývojový diagram pre výber reduktora

1. Výpočet priemerného výstupného momentu (T_a) - hodnota priemerného výstupného momentu a priemernej vstupnej rýchlosti je dôležitá pre určenie typu reduktora. Na základe vypočítanej hodnoty T_a a n_a je možné zvoliť vhodnú sériu reduktora a na základe katalógových údajov previesť kontrolný výpočet.

$$T_a = \left(\frac{t_1.n_1.T_1^{\frac{10}{3}} + t_2.n_2.T_2^{\frac{10}{3}} + ... + t_n.n_n.T_n^{\frac{10}{3}}}{t_1.n_1 + t_2.n_2 + ... + t_n.n_n} \right)^{0.3} \quad \text{[Nm]} \qquad (8)$$

2. Výpočet priemernej vstupnej rýchlosti (n_a)

$$n_a = \frac{t_1.n_1 + t_2.n_2 + ... + t_n.n_n}{t_1 + t_2 + ... + t_n} \quad \text{[rpm]} \qquad (9)$$

kde, t_1 - čas zrýchlenia [s], t_2 - čas konštantnej rýchlosti [s], t_3 - čas brzdenia [s], n_1 - priemerné otáčky pri zrýchľovaní [rpm], n_2 - konštantné otáčky [rpm], n_3 - priemerné otáčky pri brzdení [rpm], T_1 - moment zrýchlenia [Nm], T_2 - konštantný moment [Nm], T_3 - brzdiaci moment [Nm].

3. Predbežná voľba reduktora z tabuľky menovitých hodnôt - v tomto bode je potrebne korigovať veľkostnú radu reduktora na základe doterajších výpočtov, prípadne je nutné znížiť zaťaženia pôsobiace na reduktor.

4. Výpočet menovitej životnosti (L_h) - životnosť ložiskových reduktorov je podmienená životnosťou použitých valčekových ložísk. Menovitá životnosť je štatistická hodnota čo znamená, že 10% z celkového množstva reduktorov zaťažených menovitými hodnotami do 6000 hod bude poškodených únavou materiálu.

$$L_h = k.\frac{n_R}{n_a}.\left(\frac{T_R}{T_a}\right)^{\frac{10}{3}} \quad \text{[hod]} \qquad (10)$$

kde, k - menovitá životnosť [hod] k = 6000, L_h – požadovaná životnosť [hod], T_a – priemerný výstupný moment [Nm], n_a – priemerné vstupné otáčky [ot/min], T_R – menovitý moment [Nm], n_R – menovite vstupné otáčky [ot/min].

5. Efektívne vstupné otáčky – kontrola efektívnej rýchlosti (n_a, n_{ef}) – efektívne vstupne otáčky predstavujú hraničnú hodnotu priemerných otáčok pracovného cyklu.

$$n_a \le n_{ef} \quad \text{[rpm]} \qquad (11)$$

kde, n_a – priemerné vstupné otáčky [rpm], n_{ef} – efektívne vstupné otáčky vyberáme z parametrov prepočítavaného reduktora [rpm].

6. Maximálny akceleračný a brzdný moment (T_1, T_2, T_{max}) – vzhľadom na inerciálne zaťaženie je moment, ktorý pôsobí počas zrýchľovania a brzdenia vyšší než menovitá hodnota. Maximálne prípustné momenty počas štartu a zastavovania sú uvedené v tabuľkách jednotlivých výrobcov reduktorov.

$$T_1 \le 2(2{,}5).T_{\max} \text{ a } T_3 \le 2(2{,}5).T_{\max} \quad \text{[Nm]} \qquad (12)$$

7. Maximálny moment pri núdzovom zastavení (T_{em}) - núdzové zastavenia a razové zaťaženie môžu byť sprevádzané hodnotou momentu, ktorá je vyššia než menovitá hodnota. Vyvolanie tohto momentu je náhodné a zriedkavé, to znamená že netvorí súčasť riadeného pracovného cyklu.

$$T_{em} \le 5.T_{\max} \quad \text{[Nm]} \qquad (13)$$

kde, T_{max} – maximálny moment počas zrýchľovania a brzdenia [Nm], pričom T_{max} = 2 – 2,5 . T_R, kde T_R – menovitý moment [Nm].

8. Uhol vychýlenia výstupnej príruby (Θ) – ložiskové reduktory dokážu prenášať vonkajšie sily a momentové zaťaženia, vďaka integrovaným výstupným radiálno-axiálnym ložiskám. Pri zaťažení príruby je uhol vychýlenia príruby úmerný príslušnému klopnému momentu. Momentová pevnosť Mt je klopný moment, pri ktorom sa výstupná príruba vychýli o uhol θ = ´.1 Hodnoty Mt sú uvedené v tabuľke menovitých hodnôt jednotlivých typov reduktorov.

$$\Theta = \frac{F_r.a + F_a.b}{M_t} \le (\Theta_{\max} = 3') \qquad (14)$$

kde, θ – klopný uhol výstupnej príruby [arcmin], b – rameno operácie F_a [m], M_t – momentová tuhosť [Nm/arcmin], F_r – radiálne zaťaženie [N], F_a – axiálne zaťaženie [N].

9. Kontrola externého zaťaženia (F_r, F_a, M_c) - kontrola vonkajšieho zaťaženie je dôležitá pre zabezpečenie dostatočnej životnosti navrhovaného reduktora.

$$F_r \le F_{\max} \qquad (15)$$

Na základe uvedeného postupu je možne postupovať pri výbere ďalších ramien (osi) robota. Priradenie pohonov (servomotorov) k jednotlivých ložiskovým reduktorom vychádza z výkonových charakteristík ložiskových reduktorov, pričom dôraz je kladený na výstupné otáčky, výkon servomotora, typ snímača otáčok, parametre brzdy servomotora a rozmery pripájacej príruby. [5]

Záver

Postup výberu vhodného ložiskového reduktora pre jednotlivé osi priemyselných robotov vychádza z podobnej metodiky, aká platí pri výbere ložísk. Je to dané tým, že dôležitú časť ložiskového reduktora tvorí sústava radiálno-axiálneho ložiska, ktorého vlastnosti vo výraznej miere ovplyvňujú celkovú funkčnosť a hlavne presnosť ložiskového reduktora. Pri výbere vhodného ložiskového reduktora určeného pre priemyselné roboty je dôležite myslieť na celkovú dynamiku robota pri jeho maximálnej rýchlosti a maximálnom zaťažení. Iba tak je možne zabezpečiť dlhodobú a bezporuchovú prevádzku.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: „Výskum modulov pre inteligentné robotické systémy", kód ITMS: 26220220141, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] HAJDUK, M., ČOP, V.: Manufacturing strategies of reconfigurable production, In: ROBTEP 2010, TU SjF Košice, p.111-114, ISBN 978-80-553-0427-4

[2] HAJDUK, M., JÁNOŠ, R., SUKOP, M., TULEJA, P., VARGA, J.: Trendy vývoja v priemyselnej robotike, In: ATP Journal. Č. 5 (2012), s. 17-19. - ISSN 1335-2237

[3] JÁNOŠ, R., SEMJON, J.: Možnosti uplatnenia MLR vo vybraných výrobných odboroch, In: ROBTEP 2011, Košice : SjF TU, 2011 S. 107-110., ISBN 978-80-553-0846-3

[4] SEMJON, J., JÁNOŠ, R., TULEJA, P., BALÁŽ, V.: Benchmarking analysis of the application of small bearing reducers and actuators in service robotics, In: Annals of the University of Oradea : Fascicle of Management and Technological Engineering : 2011, Editura Universităţii din Oradea, 2011 Vol. 10 (20) (2011), P. 5.303-5.306., ISSN 1583-0691

[5] VAGAŠ, M., HAJDUK, M., SEMJON, J., PÁCHNIKOVÁ L., JÁNOŠ R.: The view to the current state of robotics, In: Advanced Materials Research. Vol. 463-464 (2012), p. 1711-1714., ISSN 1022-6680.

[6] Katalógové listy firmy Spinea

Abstract

This article describes a methodology for the selection of bearing reducers for use in robotic arms of industrial robots. The methodology is based on the generally applicable procedures of the manufacturer bearing reducers SPINEA taking into account the specific design requirements. High precision gearboxes is used for such applications with low backlash and high torsional stiffness (harmonic and cycloidal gearbox). Bearing reducers (cycloidal gear) meet the requirements of small built-in space in the implementation a high-precision change of transfers. Bearing reducers Twin-Spin from company Spinea accurately fulfil all of these conflicting requirements.

Ing. Ján Semjon, PhD.

Ing. Marek Vagaš, PhD.

Ing. Vladimír Baláž, PhD.

Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Němcovej 32
042 00 Košice
Tel.: +421556022625
E-mail: jan.semjon@tuke.sk

Analysis of hidden reasons of failures

Tomáš, Stejskal

Abstract
Article deals with hidden causes of failures in manufacturing plants. The problem of determining the underlying of failures causes is the current and serious, because plant management is satisfied with the level of their findings. But they are not yet revealed the actual relevant circumstances of which knowledge would lead to a reduction of overall failure rate.

Key words: failure reasons, management, reliability

Introduction

Normally any faults occur unintentionally [1]. But it is naive to think that it is possible to create a manufactory plant system in which no faults occur. The proportion of the human faults is significantly high. Faults arise in the context of an object design, operation or maintenance. To illustrate will be analyzed the case study of fault creation.

Grinding machines accident - case study

This case falls into the category of sudden development of severe faults after the initial cause of mistakes. The task was under maintenance replace old damaged main drive motor with a new one. The new motor was from a different manufacturer than the original. This made the maintenance by exchange did not notice that phases is necessary to engage in a different order than on the old motor to maintain the correct direction of motor rotation. After a test run of the machine grinding wheel spun in the opposite direction. This led to the release of the disc from the spindle which to turn at high speed and burst through the protective cover of the machine. Fortunately, nobody stood in the danger zone, so there was no harm to human health. Grinding discs are clamped with self-locking thread, so that the correct direction of rotation, this disc adds to mounting. Otherwise, it may result in the release.

Options for failure preventing

The question is how to prevent the above-mentioned fault. Offers a number of options of different nature:

1. The proper training performs of maintenance personnel for the safe procedure of motor replacing.
2. Create impossible assembly phase's confusion with low-cost designing of Poka Yoke type.
3. Create the design barrier to the opposite direction of grinding wheel rotation. This can be making into mechanical or sensorial level.
4. Use a new form of organizational arrangements. For example, each work has to be checked before starting with independent serviceman.
5. The correct choice of the maintenance staff.

The options have limitations of use. Maintenance cost ratio thus may increase disproportionately. The warning measures of type imposing the fine, or dismissal from work may not have the desired effect. These measures lead to tensions and mistrust between workers, which greatly reduces the people information linking.

Analysis of failures

Evident reason for faults is unprofessional approach of the maintenance staff. The obvious reason is the failure to correct workflow of production worker. To be satisfied but this finding is a fundamental error of Management. Ensuring of high reliability is hidden in a complex and complicated relationship. Operation undertaking compared separate machine shows the qualitative difference. In addition to known components and functions that make up the system, it also has unknown functions and relations. Designer knows every part of the machine. But if the machine is put into the operation, so inevitably create new and unknown dependency and relationships within the manufacturing plant. Because new relationships are unknown mainly in terms of reliability, it can be a significant source of unexpected failures. Recognition and detection of new relationships is an important activity that can increase the reliability of operation. The question is who they should discover.

American approach to the problem led to the creation of the RCM (Reliability Centered Maintenance). Experience has confirmed that it is an effective system, but compared to the Japanese TPM (Total Productive Maintenance) system has some disadvantages. TPM unlike RCM is built on people who are in some way involved in the production process directly or indirectly [4]. It means that anyone who can see the process in any way shall lodge the information which in the end leads to prevent faults. This system can operate effectively only with a good employees information linking.

Company Policy

fIn order to increase or maintain system reliability, the company management selects a correct distribution of costs (Fig. 1). Individual components may not be equally suppor-

ted. The aim is to increase or maintain overall reliability and cost effectively using.

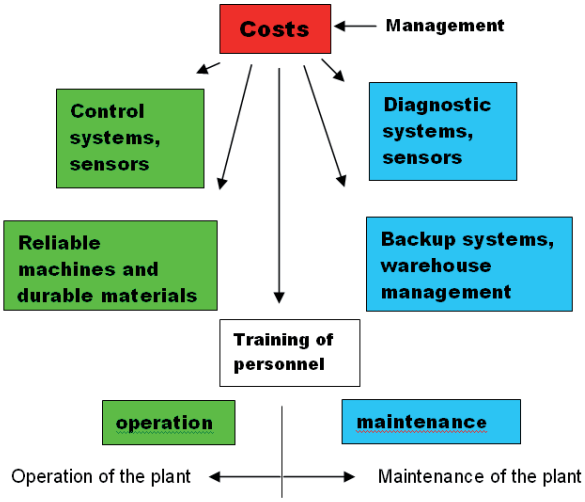


Fig.1 Distribution of costs on maintaining the reliability

The scheme (Fig. 1) also says that the human factor deficiencies can be addressed by improving of technology (modernization, automation, on-line diagnostics) [2], [5].

Hidden causes of faults

Based on the wrong company's policy is hidden cause of failures are lack of modern technical solutions, technical diagnostics, and low renewal level of tool machines.

Another hidden cause is the level of employees' information linking [3]. Information linkage is dependent not only on the level of training undertaken by machines operation and maintenance. Inadvertent people errors are determined by two factors:

- Ignorance of the process. (It is the skilled of workers).
- Lack of information about the real state. (That is, the information links of workers).

For information linking employees the question is not as they are familiar with the production process. It is primarily a question of motivation. For example, if someone constantly threatens dismissal, or in the company high turnover of staff, or employees do not have confidence in their superiors, then the information linking is low.

Information linking also related to the right people selection. For example, will be selected employees for maintenance, can be considered such qualities as sociability, communication, sense for precision work, feel for the material and the like. It performs also in practice, but in fact acts some invisible component of relationships. This invisible component is shaping the motivation.

Good information linking requires in the first place an inner convince of people that the company is their own property. Paradoxical way, this fact does not depend on the choice of people at regular staff, but the management level. Personality of people in leadership and plant management in the first predetermined the level of equipment failure, although at first sight there is no apparent association. Only the manager's personality can ensure proper information linking of employees. And that linking provides reduction of failure.

Conclusion

Mentality of European workers and particularly in post-communist countries is very different from the Japanese. Invisible relationships with us have much greater importance than in other countries, because this is where business is most vulnerable. It can be said that the hidden causes of failures are more serious than obvious. The manufacturing plant is like a living organism has a fractal nature. The high incidence of failure is to outwardly appear as an objective matter. On the other hand, just internal relations predetermine the prevention of failures and it is a subjective matter. Higher status of the employee can affect, the more information linking at the all underneath components.

References

[1] JONES, P. M.: Human error and its amelioration. In Handbook of Systems Engineering and Management (1999) (A. P. Sage and W. B. Rouse, eds.), 687-702. Wiley.

[2] KRENICKÝ T.: Monitoring prevádzky technických systémov s využitím virtuálnej inštrumentácie. In: Strojárstvo extra. Č. 5 (2010), s. 25/1-25/2. - ISSN 1335-2938

[3] OLEJNIK K.: Ocena wybranych błędów systemowych i przypadkowych oznakowania dróg w Polsce; Zeszyt Naukowy Instytutu Transportu Samochodowego nr 100. Warszawa 2008, s. 71 – 76, ISSN 0239 – 4855.

[4] PAČAIOVÁ H.: Human factors in Maintenance In: Neftegazovie : technologii. No. 12 (2011), p. 14-18.

[5] SZILÁGYI, A. – PATKÓ, Gy. – JAKAB, E.: The Robert Bosch Chair for Mechatronics in Miskolc,Advanced Concepts for Lectures and Research. ICM 2006 Budapest, pp.:338 – 341, ISBN:1-4244-9713-4

Acknowledgment

I appreciate the support of Grant Agency projects KEGA 047TUKE 4/2011 and VEGA 1/0810/11 which allow publishing of this article.

Abstrakt

Článok pojednáva o skrytých príčinách porúch v podnikoch. Problém určovania skrytých príčin je aktuálny a závažný z toho dôvodu, že podnikový manažment je spokojný s úrovňou svojich zistení. Nie sú však pritom odhalené skutočné závažné okolnosti ktorých znalosť by viedla k zníženiu celkovej poruchovosti.

Ing. Tomáš Stejskal, PhD.

Technická Univerzita Košice
Strojnícka Fakulta
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail : tomas.stejskal @tuke.sk

Aplikácia robotického futbalu: 1. **Použité s**oftvérové a hardvérové moduly

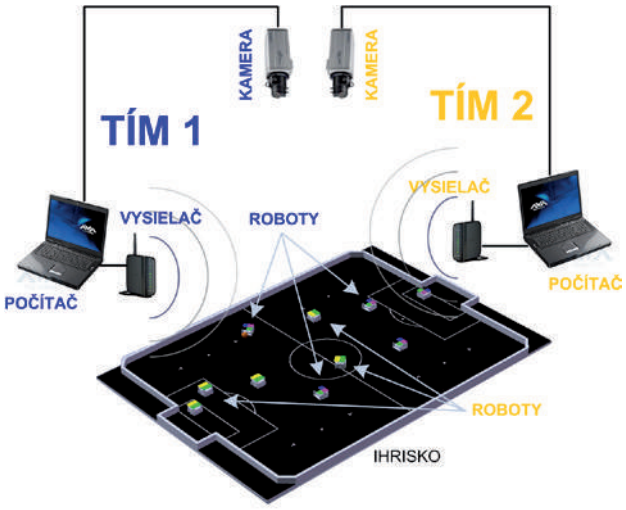
Marek Sukop, Mikuláš Hajduk, Jozef Varga

Abstrakt
Článok je úvodom série, ktorá sa zaoberá aplikáciou robotického futbalového tímu vyvinutého pre kategóriu MiroSot. Opísaná je modulová schéma použitých častí, tak ako bola navrhnutá tímom SjF TUKE Robotics, ktorý sa pravidelne zúčastňoval majstrovstiev Európy a majstrovstiev sveta. Schéma vychádza z posledného stavu, tak ako bol realizovaný multi - robotický systém pre hru v tejto kategórii.

Kľúčové slová: robotický futbal, multi-robotický systém, riadiaca slučka, hardvérové moduly, softvérové moduly, agent

Úvod

Robotický futbal je výbornou aplikáciou pre testovanie navrhnutých riešení v oblasti použitia algoritmov umelej inteligencie. Exituje tu množstvo kategórií počnúc simulačnými ligami, ktoré sa odohrávajú v simulačnom prostredí počítača, a končiac kategóriou hranou humanoidnými robotmi. Jednou z kategórií je aj Mirosot, ktorá je najrýchlejšou kategóriou hranou piatimi reálnymi mobilnými robotmi (Obr.1). Pravidlá sú dané organizáciou FIRA [6].



Obr.1 Robotický futbal – kategória MiroSot

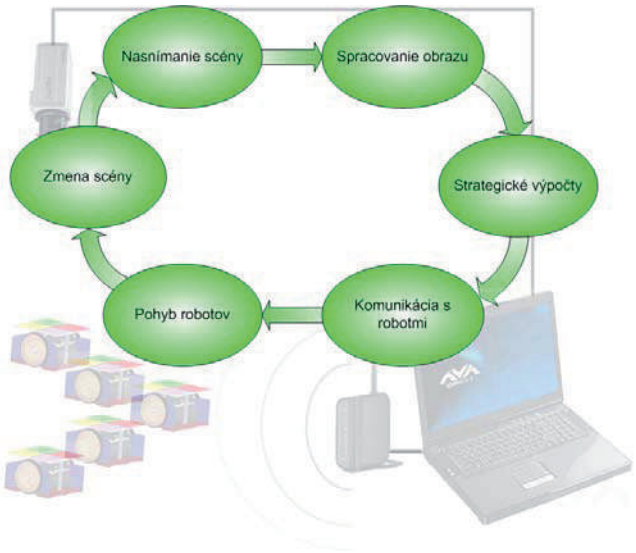
V roku 2002 sa na Katedre výrobnej techniky a robotiky (Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach) tím SjF TUKE Robotics pod vedením prof.Ing. Mikuláša Hajduka, PhD. rozhodol pre vývoj robotického futbalového tímu práve v kategórii MiroSot. V roku 2004 sa tím zúčastnil na svojích prvých majstrovstvách Európy. V rokoch 2006 až 2009 už získal titul majstra Európy a v roku 2010 svoju snahu korunoval ziskom titulu majstra sveta v tejto kategórii.

1. Ciele multi-robotického systému

Primárnym cieľom systému, od ktorého sa odvíjal vývoj usporiadania modulov, je dosiahnutie gólu. Pri navrhovaní bolo potrebné počítať aj s vplyvom súperovho tímu robotov, ktoré majú rovnaký cieľ, ale ten je mierený proti nášmu tímu. Po tejto úvahe bolo potrebné k primárnemu cieľu doplniť aj sekundárny cieľ a tým je zabránenie súperovi v dosiahnutí gólu. Celý systém bol vyvíjaný, tak aby plnil obidva ciele.

2. Priebeh dejov v **riadiacej slučke**

Pre vytvorenie schémy usporiadania hardvérových a softvérových modulov v systéme sa vychádzalo z riadiaceho cyklu, ktorý možno zovšeobecniť a popísať v cyklicky sa opakujúcom poradí (Obr.2).

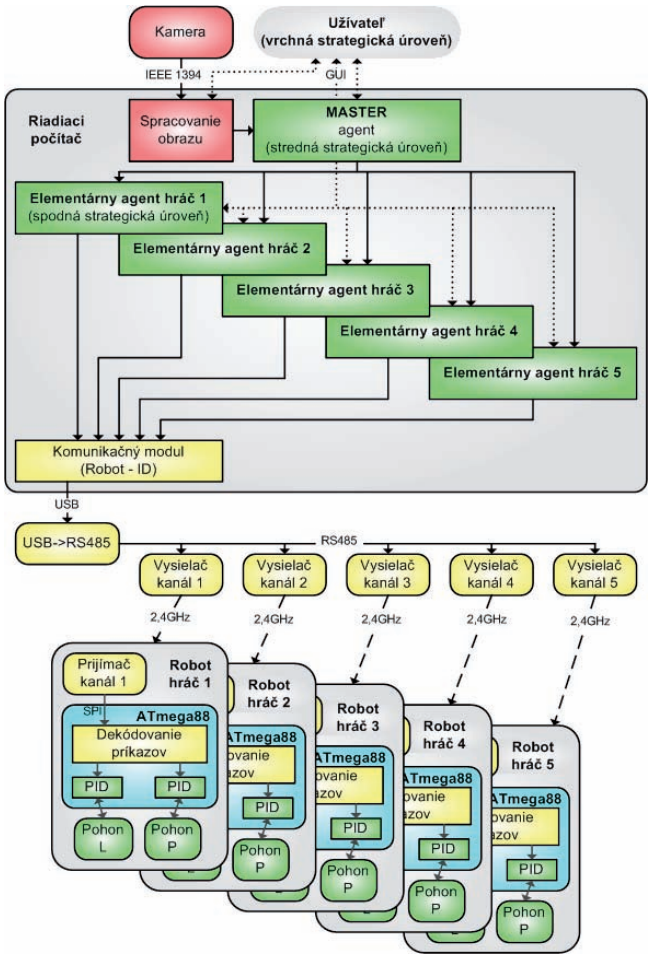


Obr.2 Postupnosť dejov v riadiacej slučke

Frekvencia opakovania riadiacej slučky je závislá od rýchlosti snímkovania kamery (frame rate), resp. od rýchlosti algoritmov nasledujúcich po obdržaní snímky z kamery až po vyslanie dát robotom.

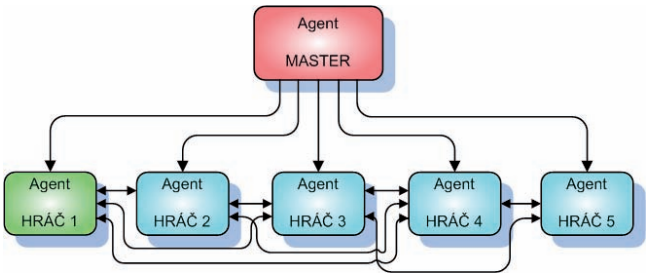
3. Návrh usporiadania hardvérových a softvérových modulov v systéme

V priebehu vývoja bolo usporiadanie jednotlivých modulov a celkov mierne modifikované do konečnej podoby, ktorou je usporiadanie používané v súčasnej dobe na Obr.3, kde moduly hardvérové sú v oblých blokoch a softvérové moduly sú v blokoch s ostrými hranami.



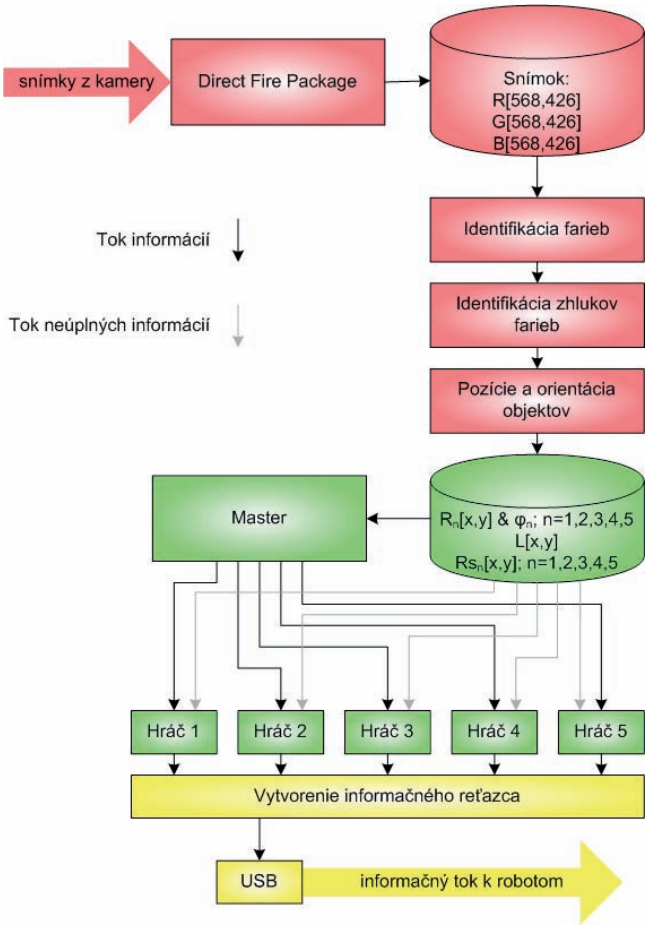
Obr.3 Schéma použitých hardvérových a softvérových modulov v systéme

Moduly označené sivou farbou sú základné hardvérové platformy na ktorých stojí celý systém (riadiaci počítač a roboty). Zelenou farbou označené moduly súvisia so strategickou časťou systému, kde dve vrchné úrovne vychádzajúce zo základného usporiadania agentov v systéme (Obr.4), sú v riadiacom počítači. Žltou farbou sú označené moduly patriace časti pre prenos dát medzi počítačom a robotmi.



Obr.4 Navrhnuté hierarchické usporiadanie agentov v systéme

Na začiatku modulového reťazca (Obr.3) je kamera. Obraz je cez rozhranie IEEE 1394a (firewire) prenášaný do riadiaceho počítača. Výsledkom spracovania obrazu sú pozičné parametre robotov a lopty. Všetky tieto parametre sú ukladané do pamäte (posledných 67 snímkov = 1s pre frame rate 66.6). Táto pamäť je následne prístupná agentovi mastrovi (jedná sa o programového agenta) a elementárnym agentom hráčom (tieto agenty po priradení k robotom tvoria agentov hráčov). Agent master využíva túto pamäť pre odhad pohybov lopty a súpera, na základe ktorých priebežne vyberá z nadefinovaných strategických akcií. Podľa zvolenej strategickej akcie vyberie 5 elementárnych agentov hráčov, ktorí boli vo fáze vývoja celkovej stratégie priradení jednotlivým strategickým akciám. Nakoniec priraďuje elementárnym agentom jedného z robotov (ID) a tým vzniká komplexný agent hráč schopný ovplyvňovať dianie na hracom poli. Agent master sa rozhoduje pre výber strategickej akcie a pre výber elementárnych agentov hráčov podľa užívateľom zvolenej celkovej stratégie. Elementárne agenty hráči majú všetky potrebné informácie o polohe všetkých entít na hracom poli. Z týchto informácií plánujú svoj pohyb, tak aby dostali loptu do súperovej brány, resp. aby zabránili súperovi skórovať. Po naplánovaní svojho pohybu zasielajú túto informáciu do softvérového modulu zabezpečujúceho komunikáciu. Po úprave dát a ich spárovaní s robotmi dôjde k ich preneseniu cez USB port do modulu pre transformáciu rozhrania na RS485. Spomenuté softvérové časti vyskytujúce sa v riadiacom počítač sú znázornené na Obr.5.



Obr.5 Navrhnuté hierarchické usporiadanie agentov v systéme

Pre každého robota bol použitý vysielač s vlastným špecifickým kanálom pre prenos informácií bezdrôtovo. Dáta sú potom paralelne pre každý robot cyklicky posielané, až pokiaľ nedôjde k zaznamenaniu nových dát. Spomínané zreťazenie 5 vysielačov na zbernici sme ako prvý na svete použili v rámci kategórie MiroSot. Vzhľadom k tomu, že každý vysielač mal možnosť preladenia na jeden z 96 kaná-

lov, nedošlo k porušeniu pravidiel o vysielačoch. Robot po zachytení prenášaného balíku dát zmení svoje rýchlostné parametre na požadované, tak rýchlo, ako je to možné. Tým dôjde ku zmene scény pre nasledujúci zaznamenaný snímok.

Záver

Takto navrhnutý systém sa v priebehu vývoja niekoľkokrát modifikoval a práve za pomoci opísanej poslednej verzii bolo zaznamenané víťazstvo na majstrovstvách sveta FIRA 2012 v Indickom Bangalore. Pohľad na riadiacu slučku je u všetkých tímov zúčastňujúcich sa súťaží približne rovnaký. Je tu ale veľa detailov ohľadom použitých softvérových ako aj hardvérových riešení, ktoré sú špecifické a osobité v každom tíme.

Literatúra

[1] HAJDUK, M.,SUKOP, M.: Multiagents system with dynamic box change for MiroSot. In: Progress in Robotics: Communications in Computer and Information Science 44. – Berlin: Springer-Verlag, 2009, p.287-292, ISBN 978-3-642-03985-0, ISSN 1865-0929, 2009

[2] SUKOP, M.: Stratégie riadenia a kooperácie skupiny mobilných robotov na báze MAS – robotsoccer. Habilitačná práca, Košice, 2012

[3] SUKOP, M.: Prenos informácií medzi riadiacim počítačom a hráčmi v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.209-212, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011

[4] SUKOP, M.: Spracovanie obrazu a detekcia objektov v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.213-216, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011

[5] SVETLÍK, J., SUKOP, M.: Using of multiagent systems in robosoccer. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč.11,č.2-A/2007 (2007), s.157-160, ISSN 1335-2393, 2007

[6] http://www.fira.net

[7] http://www.robosoccer.sk

Abstract

The paper is an introduction into the series of papers which deals with the application of robotic soccer team developed for the MiroSot category. There is described a modular scheme of used parts as it has been proposed by SjF TUKE Robotics team, which has regularly attended the European Championship and the World Cup. The scheme is based on the latest state, as the multi-robotic system for the game in this category was implemented.

doc. Ing. Marek Sukop, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (marek.sukop@tuke.sk)

prof. Ing. Mikuláš Hajduk, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (mikulas.hajduk@tuke.sk)

Ing. Jozef Varga

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (jozef.varga.2@tuke.sk)

Aplikácia robotického futbalu: 2. **Robot ako hráč**

Marek Sukop, Jozef Varga, Rudolf Jánoš, Jozef Svetlík

Abstrakt
Pokračovanie série článkov venovaných aplikácii robotického futbalového tímu vyvinutého pre kategóriu MiroSot. Opísaný je vývoj hardvérovej (elektronickej) časti robota, vložený algoritmus spodnej úrovne riadenia robota a spracovania prijatých dát z riadiaceho počítača.

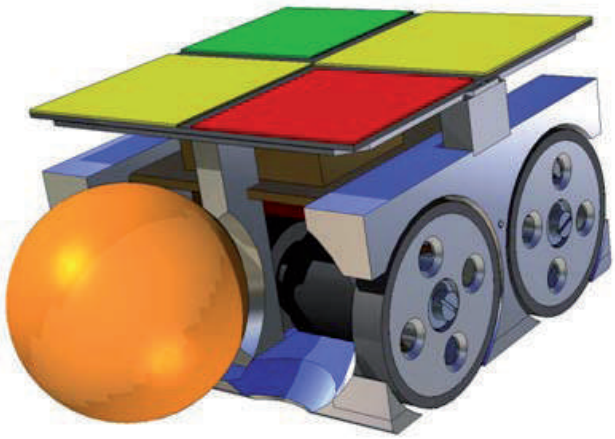
Kľúčové slová: robotický futbal, hardvérové moduly, softvérové moduly, agent, mikrokontrolér.

Úvod

V chápaní robota ako hráča a zároveň samostatného agenta je nutné uvedomiť si, že tento agent ako celok vzniká spojením elementárneho agenta hráča (model správania sa hráča) uloženého v počítači a spodnej úrovne riadenia uloženej v riadiacom mikrokontroléri robota. Vychádzajúc z komplexného usporiadania hardvérových a softvérových modulov je robot hráč vytvorený z týchto troch základných celkov: mechanická konštrukcia, elektronický hardvér, softvér spodnej úrovne riadenia so spracovaním prijatých dát.

1. Mechanická konštrukcia robota

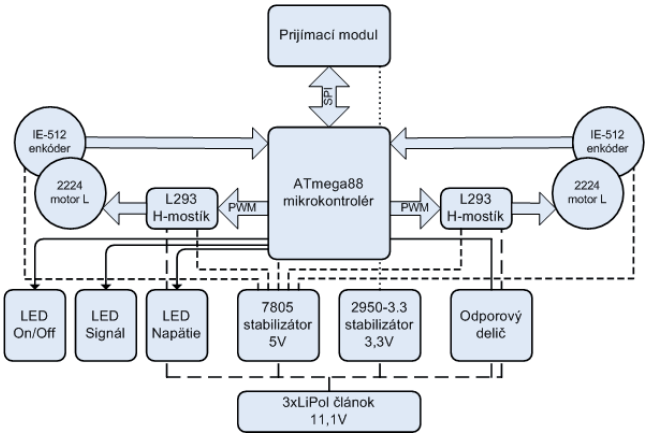
Základné mechanické časti, z ktorých mechanická konštrukcia pozostáva sú: podvozok, bočnice, kolesá, ložiská a ozubené prevody. V priebehu vývoja je posedne používaná už štvrtá generácia podvozkov, ktorá je štvorkolesová (Obr.1). Parametre dynamiky pohybu sú: max. zrýchlenie 12m/s, max. rýchlosť 3,5m/s (pri optimálnych podmienkach). Robot je konštruovaný tak, aby dokázal držať loptu aj pri zatáčaní, na čo slúži vybratie podvozku, bočnice a stredovej konzoly [6 - 8].



Obr.1 Konštrukčné prevedenie poslednej generácie robotov hráčov

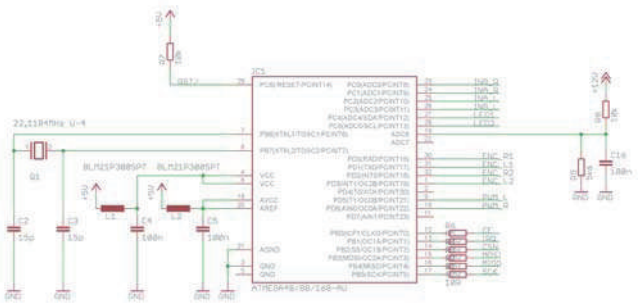
2. Elektronický hardvér robota

Návrh elektronickej časti sa odvíjal od požiadavky na jednoduchosť pri zachovaní jednej úrovne DPS. Bloková schéma elektronického hardvéru s napájaním a signálmi je na Obr.2.



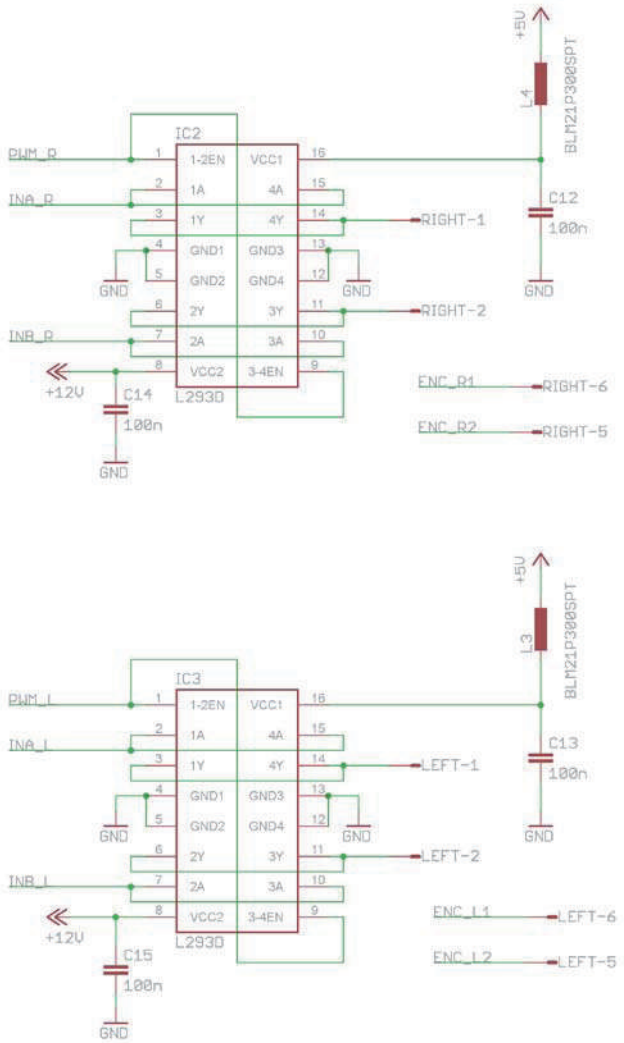
Obr.2 Bloková schéma elektronickej časti robota

V návrhu bolo použitých minimum externých súčiastok mimo mikrokontroléra. Mozgom robota je ATmega88-16AU pretaktovaný na 22,11MHz, tak aby dokázal plniť základné úlohy, ktoré sú: komunikácia s prijímacím modulom cez SPI 5MHz, počítanie impulzov a určovanie postupnosti impulzov z enkóderov, softvérový PSD regulátor so vzorkovaním 1ms, PWM regulácia pohonov, transformovanie rýchlosti a uhlovej rýchlosti na požadované otáčky kolies, kontrola napájania. Použitý mikrokontrolér po experimentálnych testoch a pri použitej taktovacej frekvencii nevykazoval poruchy pri komunikácii cez SPI s prijímacím modulom, ktorý má napájacie napätie 3,3V. Použité zapojenie mikrokontroléra je na Obr.3



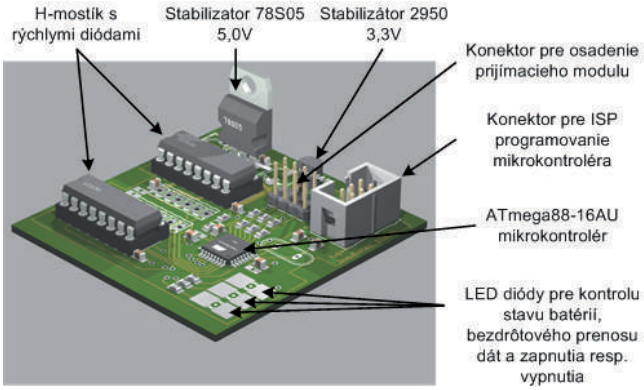
Obr.3 Schéma zapojenia ATmega88-16AU

Ako silový člen pre ovládanie pohonov boli použité H-mostíky L293 na Obr.4.



Obr.4 Schéma zapojenia jedného z obvodov L293 pre ovládanie motorov

Výsledný návrh dvojvrstvovej dosky plošných spojov (DPS) je na Obr.5.

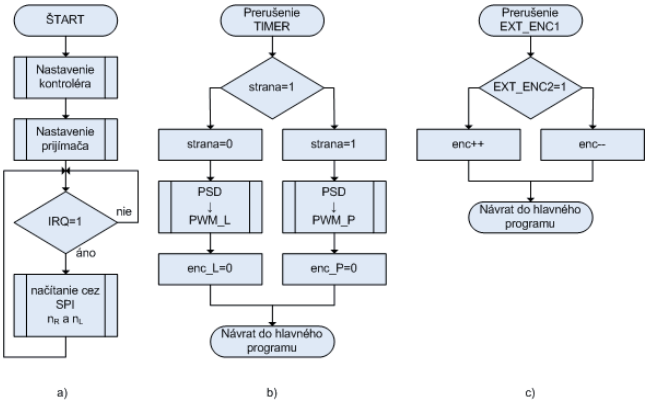


Obr.5 Doska plošných spojov robota

DPS je osadená troma integrovanými obvodmi (IO), dvoma stabilizátormi, dvoma konektormi pre ISP (in system programing) a komunikačným modulom 2,4GHz.

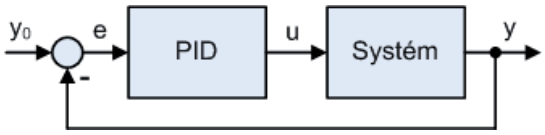
3. Softvér spodnej úrovne riadenia robota

Zjednodušený vývojový diagram softvéru realizujúceho riadenie pohonov a komunikáciu s prijímacím modulom je na Obr.6.



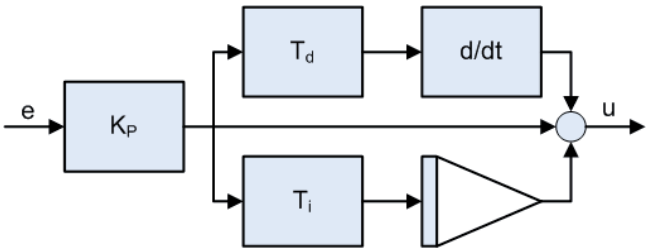
Obr.6 Vývojový diagram softvéru robota

Telo hlavného programu (Obr.6-a) začína inicializáciou mikrokontroléra. Nastavia sa vstupy, výstupy, prerušenia, PWM, SPI. Nasleduje cyklické sledovanie príznaku IRQ, ktoré je nastavené v momente prijatia dát. Po načítní prijatých dát je opäť cyklicky opakované čakanie na príjem dát. Prerušenie od nábehovej hrany výstupu z enkódera (Obr.6-c) má rovnaký priebeh pre obidva enkódery (pravý a ľavý). Po výskyte prerušenia je kontrolovaný druhý výstup enkódera (EXT_ENC2). Podľa jeho stavu je počet impulzov, udávajúci rýchlosť a smer rotácie motora, inkrementovaný resp. dekrementovaný. Prerušenie od časovača (Obr.6-b) sa vyskytuje každých 500us. Na začiatku je pomocou premennej *strana* oddelený výpočet PSD pre pravý a ľavý motor. Vzorkovacia frekvencia pre obvidva PSD regulátory je 1ms, pričom ich obsluha je fázovo posunutá o 180°. Použitý je výpočet podľa application note [9]. Uzatvorená slučka s PSD regulátorom je na Obr.7.



Obr.7 Uzatvorená slučka PSD regulácie (PID=PSD)

PID regulátor nameranú hodnotu veličiny y porovnáva s požadovanou hodnotou y_0. Rozdiel je chyba *e* vstupujúca do regulátora. Na jej základe regulátor koriguje riadiacu veličinu *u,* ktorá vstupuje do regulovaného systému. PID regulátor je zložený z troch zložiek: proporcionálnej, integračnej a derivačnej. Bloková schéma je na Obr.8.



$$u(t) = Kp\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(\sigma)d\sigma + \frac{de(t)}{dt}\right)$$

$$u(n) = K_p e(n) + K_i \sum_{k=0}^{n} e(k) + K_d\left(y(n) - y(n-1)\right)$$

Obr.8 Bloková schéma PID regulátora s výpočtom a transformovaným výpočtom pre PSD

PSD regulátor je diskrétnou obdobou analógového PID regulátora. V uvedenej rovnici je *n* počet vzoriek. Sumačný člen bolo nutné obmedziť a nájsť jeho opodstatnené maximum pre rýchlostnú reguláciu aby nedochádzalo k pretečeniu sčítaných vzoriek v prislúchajúcej premennej.

Záver

Všetky uvedené schémy boli navrhnuté v CAD softvéry pre návrh elektronických schém Eagle. Taktiež ich transformácia na DPS bola prevedená v tomto softvéri. Pre vývoj programovej časti spodnej úrovne riadenia robota bol použitý CodeVision AVR, čo je editor jazyka C pre mikrokontroléry AVR. Pri realizácii bol kladený dôraz na jednoduchosť ako aj rýchlosť obsluhy prerušení a hlavnej časti programu.

Literatúra

[1] HAJDUK, M.,SUKOP, M.: Multiagents system with dynamic box change for MiroSot. In: Progress in Robotics: Communications in Computer and Information Science 44. – Berlin: Springer-Verlag, 2009, p.287-292, ISBN 978-3-642-03985-0, ISSN 1865-0929, 2009.

[2] SUKOP, M.: Stratégie riadenia a kooperácie skupiny mobilných robotov na báze MAS – robotsoccer. Habilitačná práca, Košice, 2012.

[3] SUKOP, M.: Prenos informácií medzi riadiacim počítačom a hráčmi v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.209-212, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011.

[4] SUKOP, M.: Spracovanie obrazu a detekcia objektov v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.213-216, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011

[5] SVETLÍK, J., SUKOP, M.: Using of multiagent systems in robosoccer. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč.11,č.2-A/2007 (2007), s.157-160, ISSN 1335-2393, 2007.

[6] SVETLÍK, J.: Konštrukčné detaily robotického futbalistu 1. 2011, Transfer inovácií. č. 19, s. 87-90. ISSN 1337-7094.

[7] SVETLÍK, J.: Analýza riešenia mechaniky robotického futbalistu v tíme SjF TUKE Robotics. 2009. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč. 13, č. 2-A, s. 225-229. ISSN 1335-2393.

[8] SVETLÍK, J.: Vplyv charakteristík hardvérovej časti na dynamické vlastnosti robotického futbalistu, 2008. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč. 12, č. 2-A, s. 613-616. ISSN 1335-2393.

[9] http://www.atmel.com

[10] http://www.robosoccer.sk

doc. Ing. Marek Sukop, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (marek.sukop@tuke.sk)

Ing. Jozef Varga

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (Jozef.varga.2@tuke.sk)

Ing. Rudolf Jánoš, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (Rudolf.janos@tuke.sk)

doc. Ing. Jozef Svetlík, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (jozef.svetlik@tuke.sk)

Aplikácia robotického futbalu: 3. Spracovanie obrazu a detekcia robotov

Marek Sukop, Lucia Páchniková

Abstrakt
Článok popisuje navrhnutý a použitý algoritmus pre detekciu robotov a lopty v aplikácii robotického futbalového tímu vyvinutého pre kategóriu MiroSot. Ide o prvú časť vyvinutého softvéru pre túto aplikáciu, kde nie je až tak dôležitá stabilita získaných údajov, ale rýchlosť výpočtov až po získanie výsledných polohových údajov. Výsledkom tohto algoritmu je zisk polohových údajov všetkých robotov na hracom poli a zároveň poloha lopty.

Kľúčové slová: spracovanie obrazu, robot, RGB model

Úvod

Pri návrhu algoritmu pre spracovanie obrazu bolo vychádzané z potreby rýchleho spracovania, pretože ide o jeden z ovplyvniteľných faktorov skrátenia oneskorenia v riadiacej slučke, od nasnímanej scény až po zmenu pohybu robotov. Keďže bola použitá kamera AVT Marlin F-033C (Obr.1), so snímkovacou frekvenciou 66,6fps pri použitom rozlíšení 528x426.

Obr.1 Použitá kamera AVT Marlin F-033C

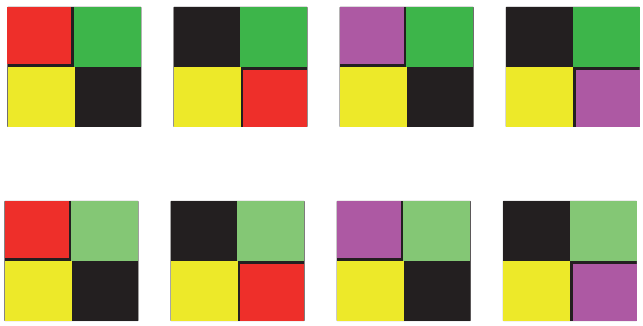
V priebehu 15ms musí teda dôjsť minimálne k spracovaniu obrazu aby bola následne prepočítavaná stratégia a následne aby došlo ku komunikácii s robotmi.

1. Priebeh výpočtu pre získavanie polohových údajov

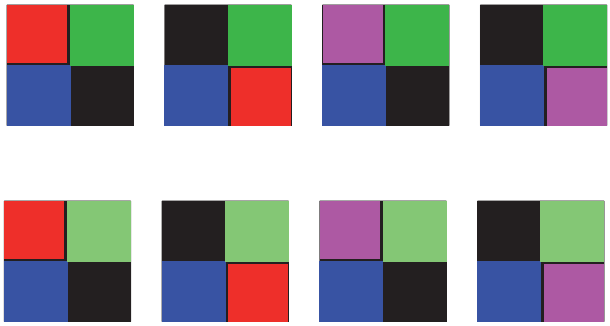
Kvôli zníženiu tzv. oneskorenia od načítania snímku po realizáciu akcií robotmi, bol použitý jednoduchý algoritmus spracovania obrazu. Daňou za rýchlosť je nízka robustnosť algoritmu pre spracovanie obrazu. Spracovaniu obrazu predchádza zápis zachytených a prenesených snímok do pamäte riadiaceho počítača. Prvok ActiveX (DirectFire package), dodaný výrobcom kamery, zabezpečuje uloženie snímok do pamäte v troch dvojrozmerných poliach reprezentujúcich základné farby (R[568][426]...red/červená, G[568][426]...green/zelená, B[568][426]...blue/modrá). DirectFire package poskytuje ukazovatele na začiatky týchto polí. Pri nastavení kamery tak, aby okraje ihriska boli na krajoch zorného poľa kamery, vychádza 4,5mm/bod. Pri veľkosti hrany robota 75mm je zodpovedajúci priemerný počet bodov približne rovný 16. Pri natočení robota o 45° je jeho rozmer v uhlopriečke 106mm, čomu zodpovedá 24 bodov. Aby boli dodržané pravidlá vybraný obrazec rozoznávania robotov je na Obr.2.

Obr.2 Rozoznávací obrazec hráčov robotov

Doplnková farba môže byť na jednej z dvoch možných pozícií. Kombinovaním pre jednu tímovú farbu je možné vytvoriť až osem obrazcov (Obr.2a a Obr.2b).



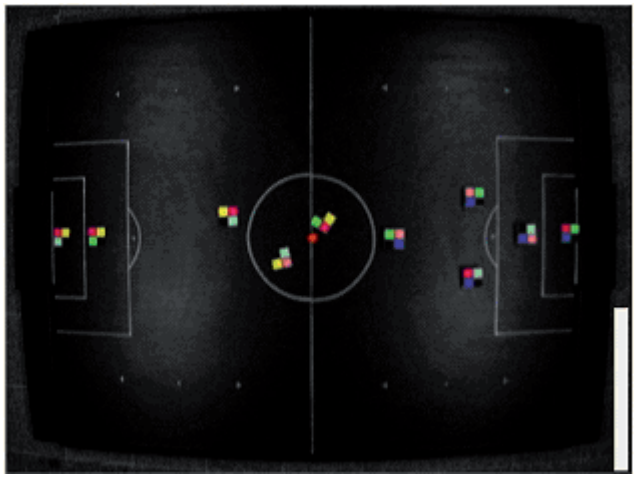
Obr.2a Možné kombinácie dresov hráčov so žltou tímovou farbou



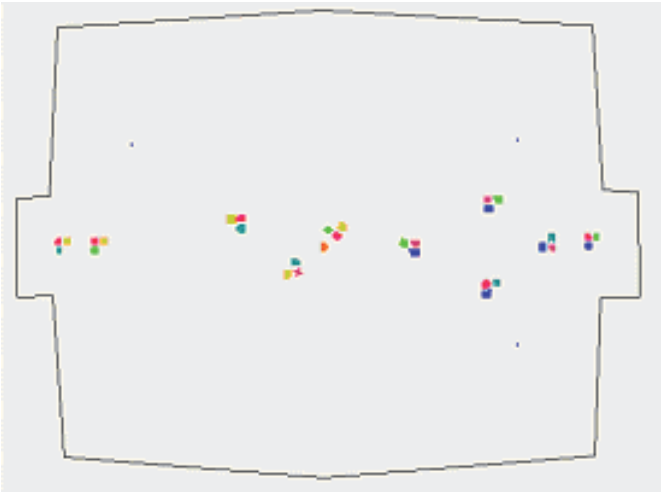
Obr.2b Možné kombinácie dresov hráčov s modrou tímovou farbou

Navrhnutý a použitý algoritmus spracovania nie je vhodný pre nasadenie v priemysle kde je dôležitá vysoká spoľahlivosť vyhodnocovania. Algoritmus z pôvodného snímku ihriska (Obr.3) detekuje polohy objektov. Skladá sa z troch základných častí:

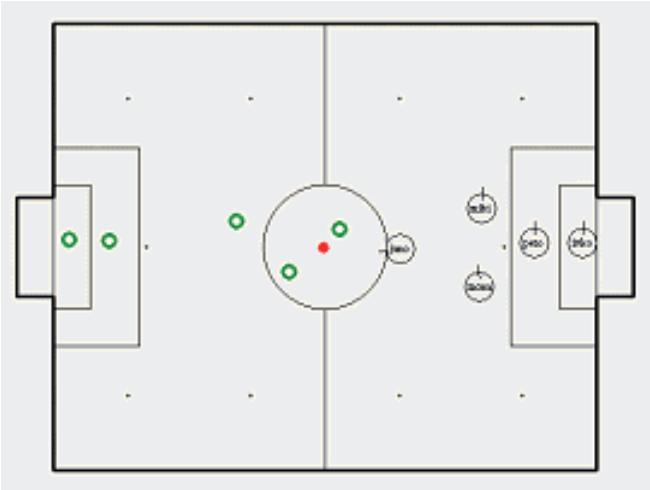
- detekcia použitých farieb (Obr.4)
- detekcia zhlukov farieb
- detekcia objektov (Obr.5)



Obr.3 Základný obraz získaný prvkom ActiveX

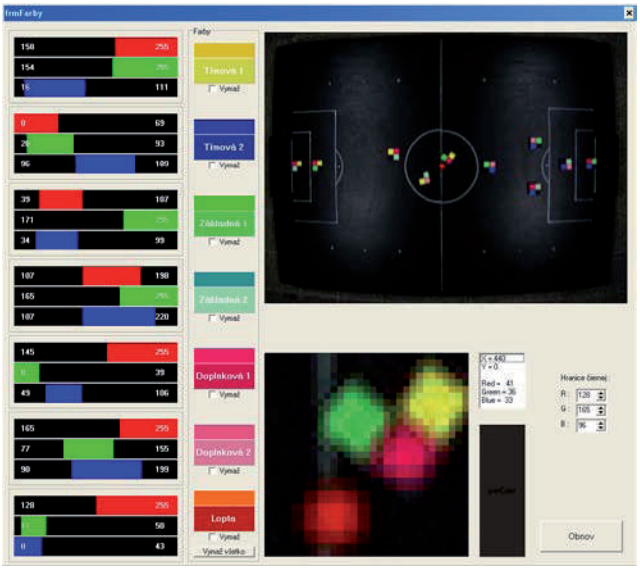


Obr.4 Detekcia použitých farieb



Obr.5 Detekcia objektov

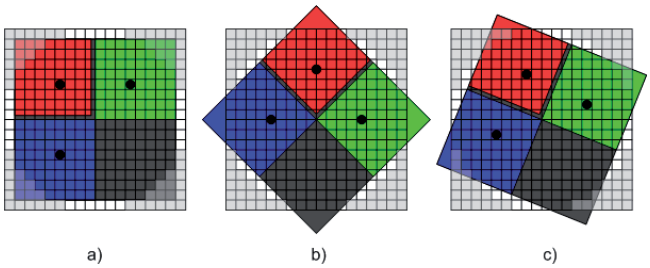
Pod detekciou farieb sa rozumie selektívny výber farieb, ktoré sú použité pre rozoznanie robotov a lopty. Selekcia prebieha vo vnorených cykloch, kde farba každého bodu je porovnávaná s rozsahmi R,G,B použitých farieb, ktoré nastavil používateľ v okne nastavení farieb (Obr.6)



Obr.6 Okno nastavení používaných farieb

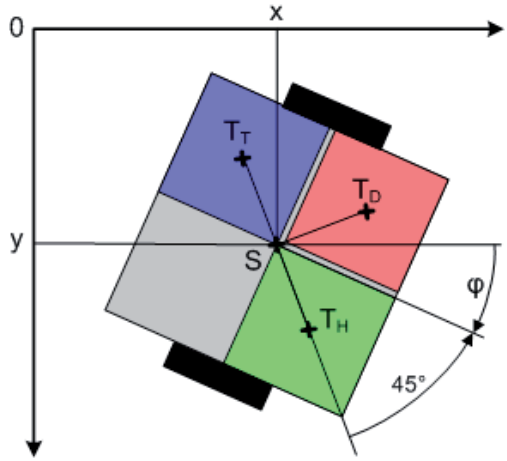
Po selekcii farieb nasleduje modul pre hľadanie zhlukov farieb. Ten bol vytvorený experimentálnym nastavením prehľadávacieho okna daného maticou zhluku. Tá je pri vyhľadávaní prekladaná vždy so skokom dvoch bodov kvôli zrýchleniu algoritmu. Veľkosť matice zhluku (18x18) bola vybraná ako aritmetický priemer počtu bodov zobrazujúcich robota v strede ihriska (20x20) a v rohu ihriska(16x16). Vzhľadom k rybiemu oku, spôsobeného objektívom, objekty v strede ihriska zaberajú väčšiu plochu ako v krajoch ihriska. Hľadanie zhlukov farieb je vždy podmienená bodom matice zhluku (ak bod v matici zhluku =0 => preskoč, ak bod v matici zhluku =1 => aktuálna_farba++).

Pre rôzne prípady natočenia robota je výsledný pohľad cez maticu zhluku a následný výpočet ťažísk farieb zobrazený na Obr.7.



Obr.7 Pohľad na robota hráča (rôzne uhly natočenia a,b,c) cez maticu zhluku

Čierne body v obrázku zobrazujú vypočítané ťažiská farieb. Aritmetický priemer súradníc *x* a *y* všetkých bodov rovnakej farby je ťažiskom farby v matici zhluku. Ak sa všetky tri farby nachádzajúce v matici nachádzajú v množstve nad nastaveným prahom, potom došlo k nájdeniu robota. Pre viacero nájdených robotov s rovnakou kombináciou farieb je uprednostňovaný obrazec s vyšším súčtom bodov tímovej a hlavnej farby. Výpočet polohy a natočenia je daný stredom robota a uhlom natočenia φ (Obr.8)



Obr.8 Fyzický stred a uhol natočenia robota

Fyzický stred robota je daný stredom spojnice ťažísk tímovej a hlavnej farby. Pomocou kartézskeho súčinu dvoch vektorov vedených od stredu k ťažisku hlavnej resp. doplnkovej farby je určená poloha doplnkovej farby. Týmto je určený konkrétny obrazec reprezentujúci robota. Otočením spojnice medzi tímovou a hlavnou farbou okolo stredu o 45° a tým je daný uhol otočenia robota hráča φ oproti referenčnému súradnicovému systému. Nakoniec sú všetky súradnice robotov transformované podľa parametrov nastavených užívateľom v priebehu nastavenia kamery:

- Pinch: odstránenie rybieho oka (K)

$$x' = \frac{x}{1 + K \cdot r} \qquad y' = \frac{y}{1 + K \cdot r} \tag{1}$$

- Zoom: zväčšenie/zmenšenie obrazu (Zoom)

$$x' = Zoom \cdot x \qquad y' = Zoom \cdot y \tag{2}$$

- Uhol: natočenie obrazu okolo stredu snímky (Uhol)

$$x' = x \cdot \cos(Uhol) - y \cdot \sin(Uhol) \qquad y' = x \cdot \sin(Uhol) + y \cdot \cos(Uhol) \tag{3}$$

- Skosenie (PX, PY)

$$x' = x + (PX \cdot x \cdot y) \qquad y' = y + (PY \cdot x \cdot y) \tag{4}$$

- Posunutie (PosunX, PosunY)

$$x' = x + PosunX \qquad y' = y + PosunY \tag{5}$$

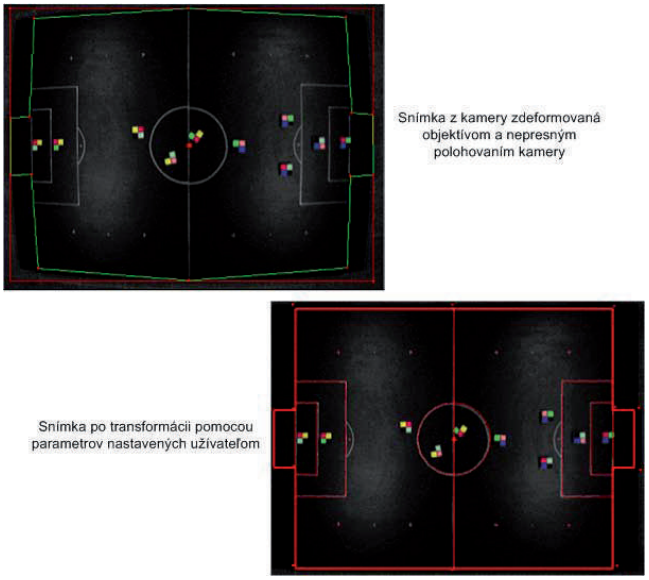
Pred použitím transformácie bodov (rovnice 2. až 6.) je nutné tieto previesť tak, aby stred obrazu mal nulové súradnice:

$$x' = x - \frac{568}{2} \qquad y' = y - \frac{426}{2} \tag{6}$$

Po transformácii (rovnice 2. až 6.) je nutné spätne previesť súradnice:

$$x' = x + \frac{568}{2} \qquad y' = y + \frac{426}{2} \tag{7}$$

Pomocou použitých transformácií sú odstránené poruchy zanesené objektívom, nepresným polohovaním kamery nad stredom ihriska a uhlovou odchýlkou kamery od zvislej osi. Na Obr.9 je snímka ihriska pred a po transformácii obrazu.



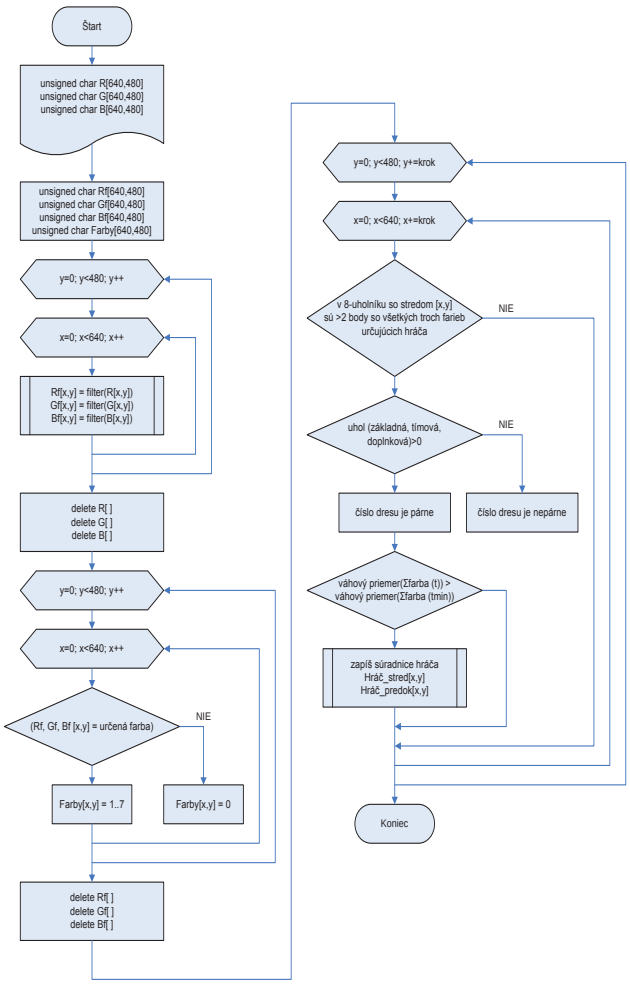
Obr.9 Snímka pred a po transformácii obrazu

2. Algoritmus spracovania obrazu

Z ôsmych možných kombinácií, sa pred zápasom vyberie 5 najvhodnejších podľa svetelných podmienok. Pri prehľadávaní priestoru sa vlastne hľadá zhluk farieb určujúci vybrané dresy. Zhluk farieb je hľadaný v osemuholníku, ktorý bol vytvorení empiricky (oblasť kde sa zmestí robot v rôznych natočeniach). Ak je zhluk farieb nájdený, dochádza k výpočtu ťažiska každej farby. Podľa znamienka uhlu medzi vektormi |tímová, doplnková|, |tímová, základná| sa určí, o ktorú z dvoch rôznych kombinácií s rovnakými farbami ide.

Nakoniec sa porovná váhový priemer farieb nájdeného zhluku s váhovým priemerom farieb, ak už sa daná kombinácia farieb v obraze nachádzala. Výsledkom je určenie stredu hráčov a ich prednej časti pomocou jednotkového vektora.

Paralelne sa vyhľadáva súper pomocou vyhľadávania ťažiska druhej tímovej farby. Lopta je vyhľadaná tiež počas tohto cyklu. Týmto paralelným vyhľadávaním dôjde k nájdeniu všetkých objektov počas prebehnutia dvoch navzájom vnorených cyklov, čo spôsobí ušetrenie času. Algoritmus vyhľadávania je na Obr.10.



Obr.10 Zjednodušený algoritmus spracovania obrazu s hľadaním hráčov

Záver

Experimentálne overovanie výsledkov ukázlo maximálnu odchýlku od skutočnej pozície pozície ±10mm a uhlovú odchýlku ±3°. Tieto odchýlky sú zanedbateľné vzhľadom k rozmerom ihriska (220x180cm, 250cm dĺžka s bránkami). Výsledná chyba pre dĺžku je 0,8% a pre šírku 1,11%. Výsledné spracovanie obrazu je náchylné na niekoľko druhov chýb. Občasný výskyt týchto chýb v priebehu zápasov však ovplyvňuje výsledné správanie sa tímu len v minimálnej miere.

Literatúra

[1] HAJDUK, M.,SUKOP, M.: Multiagents system with dynamic box change for MiroSot. In: Progress in Robotics: Communications in Computer and Information Science 44. – Berlin: Springer-Verlag, 2009, p.287-292, ISBN 978-3-642-03985-0, ISSN 1865-0929, 2009

[2] SUKOP, M.: Stratégie riadenia a kooperácie skupiny mobilných robotov na báze MAS – robotsoccer. Habilitačná práca, Košice, 2012

[3] SUKOP, M.: Prenos informácií medzi riadiacim počítačom a hráčmi v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.209-212, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011

[4] SUKOP, M.: Spracovanie obrazu a detekcia objektov v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.213-216, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011

[5] SVETLÍK, J., SUKOP, M.: Using of multiagent systems in robosoccer. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč.11,č.2-A/2007 (2007), s.157-160, ISSN 1335-2393, 2007

[6] http://www.fira.net

[7] http://www.robosoccer.sk

Abstract

The paper describes proposed and utilized algorithm for detection of robots and the ball within the robot soccer team application developed for the MiroSot category. It is a first part of developed software for this application, where the stability of gained data is not so important, but important is the speed of the calculation and obtaining the final position data. The result of this algorithm is obtaining the position data of all robots on the playing field as well as the position of the ball.

doc. Ing. Marek Sukop, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail: marek.sukop@tuke.sk

Ing. Lucia Páchniková, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail: lucia.pachnikova@tuke.sk

Aplikácia robotického futbalu: 4. Modul stratégií

Marek Sukop

Abstrakt
Článok popisuje spôsob akým je implementovaná možnosť vývoja celkovej stratégie do systému vyvinutého tímom SjF TUKE Robotics. Celková stratégia je stratégia, ktorej voľbou môže užívateľ nastaviť základné správanie sa systému. Podľa tejto stratégie hlavný agent master ovplyvňuje správanie sa agentov hráčov pri jednotlivých strategických situáciách.

Kľúčové slová: agent hráč, elementárny agent hráč, agent master, multiagentový systém, správanie

Úvod

Návrh agentov, ich hierarchického usporiadania a rozloženie vplyvu na celkovú stratégiu medzi agentov vychádzalo z primárneho cieľa aplikácie:

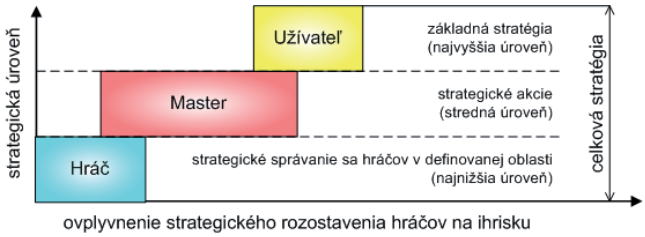
- Dopraviť loptu do brány súpera

Sekundárny cieľ, odvodený od snahy súpera:

- Zabrániť súperovi v dopravení lopty do brány

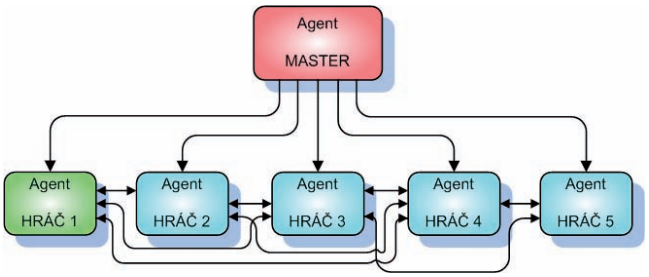
1. Agenty a ich úlohy v systéme

Pred návrhom hierarchického usporiadania MAS bolo uvažované s tým, že základnú stratégiu správania sa robotov vyberá užívateľ riadiaceho programu. Ten môže vyberať z preddefinovaných obranných alebo útočných stratégií. Jeho možnosti ovplyvnenia pozičného rozostavenia hráčov sú veľké ale možnosti výberu stratégií sú obmedzené množstvom preddefinovaných stratégií. Voľba základných stratégií je voľbou na najvyššej úrovni a môže byť uskutočňovaná iba počas prerušení alebo v prestávke. Na strednej úrovni je strategické správanie sa systému v priebehu hry ako dynamická reakcia na vzniknuté situácie. Správanie sa systému v priebehu hry je ovplyvnené zvolenou stratégiou na najvyššej úrovni. Nakoniec na najnižšej úrovni je strategické správanie sa každého člena tímu (robota - hráča). Jednotlivé strategické úrovne so znázornením veľkosti a významu ovplyvnenia strategického správania sa hráčov znázornené na Obr.1.



Obr.1 Znázornenie možnosti ovplyvňovania strategických rozostavení na hracej ploche

Pre opísaný strategický koncept bolo navrhnuté a implementované hierarchické usporiadanie agentov znázornené na Obr.2., kde master preberá riadenie stratégie na strednej úrovni a agenti hráči na najnižšej úrovni.



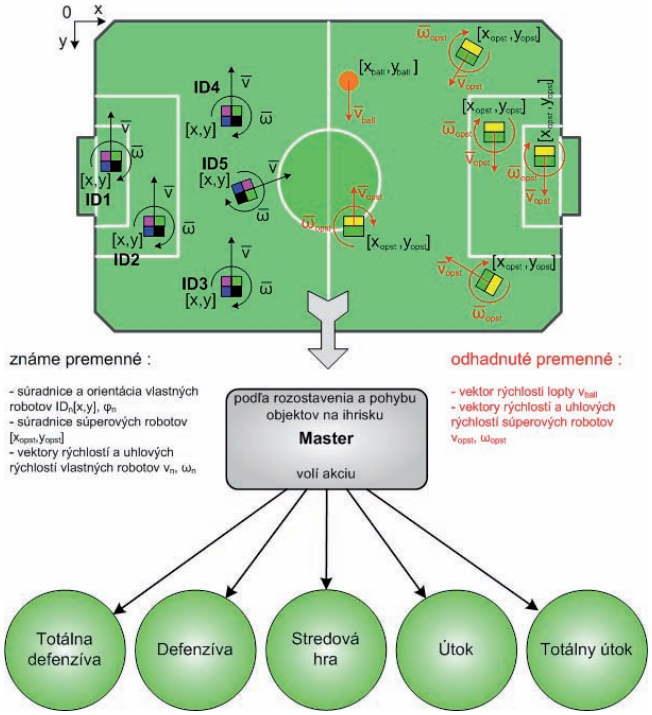
Obr.2 Hierarchické usporiadanie MAS

MAS je zložený zo 6 agentov, kde jeden agent je nadradený. Po výbere stratégie užívateľom master rozhoduje o výbere vhodnej strategickej akcie pre plnenie cieľa. Master má možnosť vybrať si kedykoľvek v priebehu hry 5 agentov z elementárnych agentov, ktorých má k dispozícii pre zvolenú stratégiu. Následne ich priradzuje k jednotlivým robotom podľa situácie a rozostavenia robotov na ihrisku. Každý elementárny agent je vlastne agent, ktorý plní čiastkovú funkciu tak, aby boli nakoniec dosiahnuté oba ciele. Každý agent si ich rozkladá na elementárne ciele s určitou postupnosťou a následnosťou. Elementárne ciele vedú vždy k snahe agentov o splnenie najvyššieho cieľa.

2. Agent MASTER

Tým že master má možnosť výmeny pozícií hráčov v priebehu hry, bola možnosť výberu najvhodnejšej akcie na nižšej úrovni a problém zložitosti agentov vyriešená spôsobom vytvorenia viacerých agentov „hráčov“, ktorých existenciu určuje nadradený agent master. Ten je zodpovedný za výber z akcií: totálna defenzíva, defenzíva, hra o stred, útok, totálny útok podľa Obr.3. Jednotlivé akcie vyberá na základe rozostavenia hráčov a ich aktuálnych rýchlostí a zrýchlení, pozície lopty, odhadu jej pohybu a odhadu pohybu súpera. Zvolená stratégia (rôzne úrovne obrannej a útočnej stratégie) ovplyvňujú množinu agentov ktorý sú k dispozícii pre každú elementárnu akciu. Nakoniec podľa aktuálnej polohy a smeru pohybu svojich robotov sa rozhodne pre pridelenie ID každému agentovi „hráčovi“. Pri

rozhodovaní o existencii a prideľovaní ID, master prihliada na predchádzajúci stav agentov.

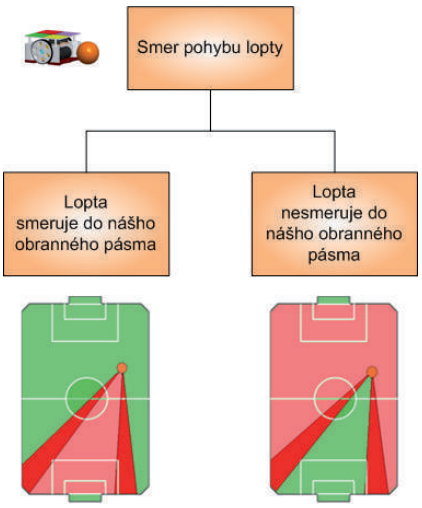


Obr.3 Premenné v systéme vplývajúce na rozhodovanie mastra o strategickej akcii

Hlavné parametre podľa ktorých sa master rozhoduje pre strategickú akciu sú:

- smer pohybu lopty (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**)
- v koho držaní je lopta (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**)
- rýchlosť pohybu lopty (Obr.6)
- poloha lopty (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**)

Ďalšie parametre, ktoré v menšej miere ovplyvňujú rozhodnutia agenta mastra závisia od odhadu situácie vo veľmi blízkej budúcnosti. V realizovanom agentovi je implementovaný odhad maximálne o 1 sekundu. Napr.: predpoklad polohy lopty ak je voľná sa vykonáva pomocou lineárnej regresie priamky, kde sa v takom krátkom časovom úseku nepočíta so spomaľovaním pohybu. Agent využíva pravidlo rovnakého uhla odrazu ako je uhol nárazu do bočníc hracej plochy.

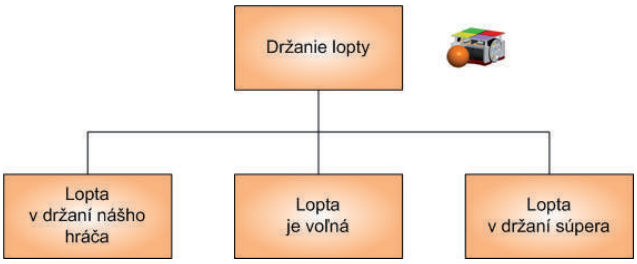


Obr.4 Rozhodnutia agenta mastra ovplyvňené smerom pohybu lopty

Smer pohybu lopty je určený dvoma stavmi:

- lopta smeruje do nášho obranného pásma
- lopta nesmeruje do nášho obranného pásma (toto tvrdenie je pravdivé aj pre loptu bez pohybu)

Na Obr.4 je svetločervenou farbou vyznačená plocha pravdivosti výroku uvedeného v bloku nad zobrazením ihriska. Kvôli tomu aby rozhodnutia boli stabilné a neoscilovali medzi snímkami, bola do prahov preklápania zanesená hysteréza. V obrázku je znázornená tmavočervenou farbou. Jej šírkou bolo zabezpečené stabilné preklápanie stavov neovplyvnené kmitaním polohy medzi snímkami.

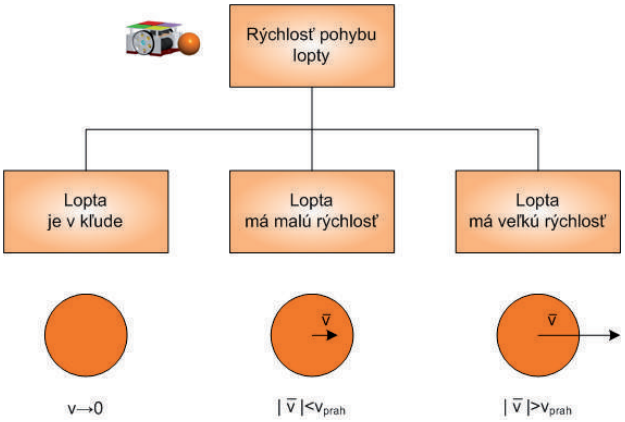


Obr.5 Rozhodnutia agenta mastra ovplyvňované informáciou o držaní lopty

Výrok o držaní lopty (kto má loptu pod kontrolou) má tri riešenia:

- lopta je v držaní nášho hráča
- lopta je v držaní súpera
- lopta je voľná

Držanie lopty ktorýmkoľvek robotom je definované hraničnou vzdialenosťou lopty od prednej časti robota a šírkou robota. Týmito dvoma parametrami je definovaná oblasť pred robotom, v ktorej keď sa lopta nachádza, tak ju robot má pod kontrolou. Hysteréza tu musí byť vnesená aj kvôli nestabilite súradníc všetkých objektov po spracovaní obrazu.

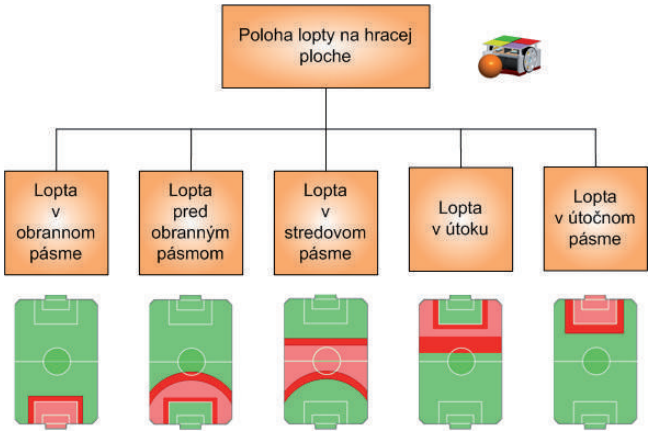


Obr.6 Rozhodnutia agenta mastra ovplyvňované rýchlosťou lopty

Rýchlosť pohybu lopty poskytuje tri možné stavy:

- lopta je v kľude (rýchlosť sa blíži nule)
- lopta má malú rýchlosť
- lopta má vysokú rýchlosť

Spomenuté parametre a odhad budúcej situácie vplývajú na rozhodovanie sa agenta mastra. Ten posúva prahové hodnoty preklápania medzi jednotlivými akciami podľa Obr.7, kde červenou farbou je uvažovaná oblasť polohy lopty.



Obr.7 Rozhodnutia agenta mastra ovplyvňované polohou lopty

Kvôli stabilnému preklápaniu stavov agent pracuje so zvolenými šírkami hysteréz, ktoré boli definované do rozhodovacích pravidiel v čase vývoja riadiaceho softvéru.

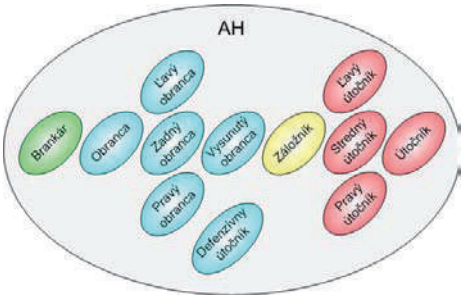
Master podľa informácií:

- o polohe lopty ($L[x_{ball}, y_{ball}]$)
- o polohe a orientácii hráčov ($ID_n[x,y]$, φ_n) a o ich rýchlostných parametroch (v_n, ω_n), kde n=1,2,3,4,5
- o polohe hráčov súpera Rs_n $[x_{opst}, y_{opst}]$, kde n=1,2,3,4,5

rozhoduje o okamžitej strategickej akcii pre užívateľom zvolenú základnú stratégiu a vykonáva selekciu spomedzi piatich strategických akcií znázornených na **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**. Jednotlivé strategické akcie sa tak v priebehu hry prelínajú medzi sebou v následnom poradí a nikdy by nemalo dochádzať k preskakovaniu akcií, okrem prípadov chybného videnia a následným spracovaním obrazu so zanesenou výraznou chybou.

3. Agenty hráči

Agent hráč vzniká až po priradení robota ku modelu správania sa agenta (elementárny agent hráč). Množina všetkých vytvorených elementárnych agentov AH je na Obr.8.



Obr.8 Množina všetkých elementárnych agentov

Množinový zápis:

$$AH = \{b, o, ol, op, oz, ov, z, ud, ul, up, us, u\} \qquad (1)$$

b-brankár, *o*-obranca, *ol*-obranca ľavý, *op*-obranca pravý, *oz*-obranca zadný, *ov*-obranca vysunutý, *z*-záložník, *ud*-útočník defenzívny, *ul*-útočník ľavý, *up*-útočník pravý, *us*-útočník stredný, *u*-útočník

Pomocou priraďovacích pravidiel master ku každému ID na hracej ploche priradí niektorého z elementárnych agentov hráčov a ten potom vykonáva rozhodnutia v rámci svojej strategickej pozície autonómne v kooperácii s ostatnými. Každý takýto agent má dovolené pôsobiť v rámci oblasti hracej plochy, ktorá mu bola priradená v priebehu vývoja softvéru. V rámci svojej oblasti pôsobenia riadi svoj pohyb tak, aby nedochádzalo ku kolíziám medzi robotmi a aby spĺňal svoj elementárny cieľ.

3.1 Brankár

Základné ciele agenta:

- svojim fyzickým stredom prednej strany stáť na priamke danej vektorom rýchlosti lopty smerujúcej do bránky a tým zabraňovať gólom
- loptu v kľude alebo v nízkej rýchlosti sa snažiť dostať preč z obrannej zóny

Oblasť pôsobenia agenta v rámci hracej plochy je na

Obr.9 Oblasť pôsobenia brankára

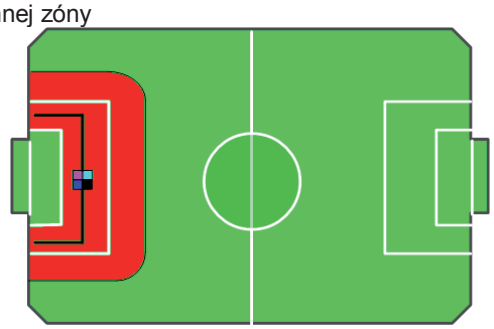
Červenou farbou je definovaná oblasť v ktorej má agent dovolené pôsobiť. Vždy keď sa vyskytne mimo tejto oblasti, tak jeho prioritnou úlohou je dostať sa do tejto oblasti. Čiernou úsečkou je definovaná prioritná dráha základného pohybu. Z nej agent vychádza iba v prípade potreby vynesenia lopty mimo obrannú zónu.

Tento agent je využitý na 100% v každej stratégii, t.j. v žiadnej situácii sa nepočíta s hrou bez brankára. Aj pri maximálnom pressingu by táto možnosť bola veľmi riskantná s rizikom inkasovania gólu oveľa vyšším ako napríklad pri reálnom hokeji.

3.2 Obranca

Základné ciele agenta:

- svojim fyzickým stredom prednej strany stáť na priamke danej vektorom rýchlosti lopty smerujúcej do bránky a tým zabraňovať gólom
- loptu v kľude alebo v nízkej rýchlosti sa snažiť dostať preč z obrannej zóny a z priestoru v tesnej blízkosti obrannej zóny



Obr.10 Oblasť pôsobenia obrancu

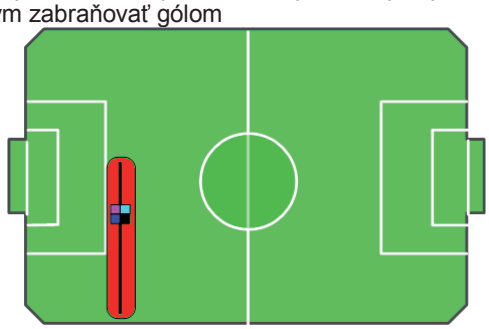
Na Obr.10 je vyznačená oblasť pôsobenia agenta obrancu a jeho prioritný pohyb pri plnení cieľov. Agent si musí dať pozor na porušenie pravidiel a to aby úmyselne nevošiel do gólovej zóny, kde sa môže pri bránení nachádzať len jeden robot. Jeho úlohou je zachytávať správy od brankára, ktorý mu môže oznámiť aby sa mu nebránil pri výkope. V prípade brankárovho výkopu musí obranca uvoľniť priestor vyhnutím sa do strany. Ak sa agent ocitne mimo dovolenú oblasť jeho prioritnou úlohou je návrat do definovanej oblasti.

Tento agent je využívaný na 100% skoro pri všetkých akciách s výnimkou útoku a totálneho útoku pri stratégii s 3 útočníkmi a jedným záložníkom.

3.3 Pravý a ľavý obranca

Základné ciele agentov:

- svojim fyzickým stredom prednej strany stáť na priamke danej vektorom rýchlosti lopty smerujúcej do bránky a tým zabraňovať gólom



Obr.11 Oblasť pôsobenia pravého obrancu

Na Obr.11 je oblasť pôsobenia pravého obrancu. Ľavý obranca má rovnakú oblasť pôsobenia ako pravý pri zrkadlení okolo vertikálnej osi hracej plochy. Agent z hľadiska jeho pohybu je pomerne jednoduchý ale jeho algoritmická zložitosť narastá s množstvom podmienok, ktoré musí plniť v priebehu hry a na ktoré si musí dávať pozor aby neporušil pravidlá. Všetky tieto podmienky ovplyvňujú jeho výsledné správanie sa. Ak je lopta za nimi, potom zaujmú najvýhodnejšiu pozíciu pre zisk lopty pri jej vytlačení z obrannej zóny. V prípade, že sa jedná o aktívnych obrancov, potom sa obrancovia snažia prinútiť súpera preplánovávať dráhu hráčov pri dorážaní z priestoru pred obrannou zónou. Musia ale „mysliet" a neporušiť pravidlá tým, že budú vytláčať súpera z priestoru v ktorom sa už nachádza, t.j. musia ho donútiť k prerážaniu a nie naopak.

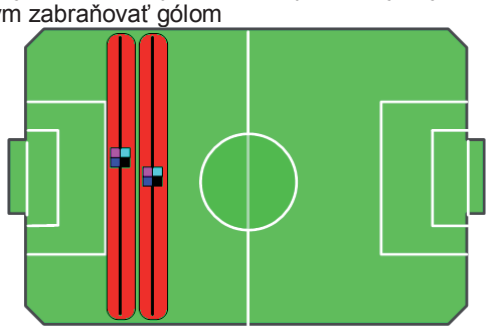
Pravý a ľavý obrancovia musia spolu kooperovať, tak aby vznikla medzi nimi dohoda o obsadení stredovej pozície, keďže obaja majú pole pôsobenia aj v stredovej oblasti. Musia kooperovať s obrancom a brankárom, ktorý môžu vykopávať loptu smerom od gólovej resp. obrannej zóny. Kooperovať musia aj s útočníkom, ktorý môže vyvážať loptu získanú v zadných rohoch ihriska.

Agenti pravý a ľaví obrancovia sa vyskytujú najmä pri defenzívnych akciách vo všetkých vyvinutých stratégiách a často dochádza k zámene ich ID pri preklápaní defenzívnych akcií na útočné a späť.

3.4 Zadný a vysunutý obranca

Základné ciele agentov:

- svojím fyzickým stredom prednej strany stáť na priamke danej vektorom rýchlosti lopty smerujúcej do bránky a tým zabraňovať gólom



Obr.12 Oblasti pôsobenia zadného a vysunutého obrancu

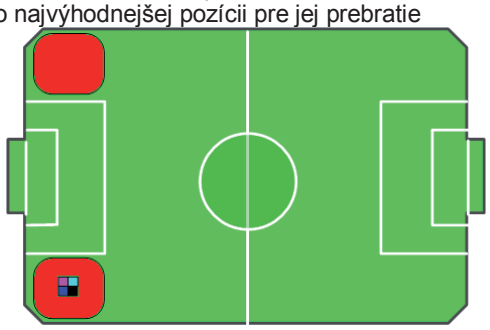
Na Obr.12 sú zobrazené oblasti a prioritné pohyby zadného a vysunutého obrancu. Títo obrancovia sú ako v predošlom prípade čo sa týka pohybu jednoduchý, ale čo sa týka výsledného správania ich zložitosť rapídne narastá. Musia kooperovať skoro z každým hráčom na hracej ploche kvôli možným kolíziám.

Ich výskyt v priebehu akcií pre základné stratégie je obdobný ako v predchádzajúcom prípade a sú alternatívou k pravému a ľavému obrancovi.

3.5 Defenzívny útočník

Základný cieľ agenta:

- čakať na získanie lopty v priestore vedľa obrannej zóny v čo najvýhodnejšej pozícii pre jej prebratie



Obr.13 Oblasť pôsobenia defenzívneho útočníka

Tento agent (Obr.13) sa výlučne vyskytuje iba pri strategickej akcii totálna defenzíva. Pred preklopením stavu z defenzívy obyčajne bol útočníkom, ktorý šiel za získaním lopty. Keďže sa mu to aj pričinením súpera nie vždy podarí a lopta sa dostane do obrannej zóny, musí master použiť tento typ útočníka. Ak by ho nepoužil, s vysokou pravdepodobnosťou by došlo k porušeniu pravidiel a výskytu viacerých ako dvoch robotov v obrannom pásme. Za tento priestupok voči pravidlám by nasledoval pokutový kop.

V prípade, že lopta sa dostane v obrannom pásme na druhú stranu ako čaká agent, potom dôjde k preskupeniu obrancov pred obrannou zónou a týmto agentom. Master vyhodnocuje kedy je potrebné k preskupeniu pristúpiť a akým spôsobom preskupiť jednotlivé pozície, tak aby sa defenzívny útočník nachádzal vedľa druhej strany obranného pásma.

3.6 Záložník

Základný cieľ agenta:

- čakať na získanie lopty v stredovom priestore v čo najvýhodnejšej pozícii pre jej získanie alebo pre nahradenie pozičnú zámenu s niektorým z útočníkov

Obr.14 Oblasť pôsobenia záložníka

Agent záložník (Obr.14) bol vytvorený ako typ stredového hráča. Najčastejšie je využívaný ako hráč pre strategické akcie útok a totálny útok, alebo pri prechode agentov z obrany do útoku. Tento agent môže byť podobne ako obrancovia aktívny alebo pasívny. Pri prechode z útoku do obrany ho agent master často využíva na zastavovanie protiútokov ešte v strede hracej plochy. Pri prechode

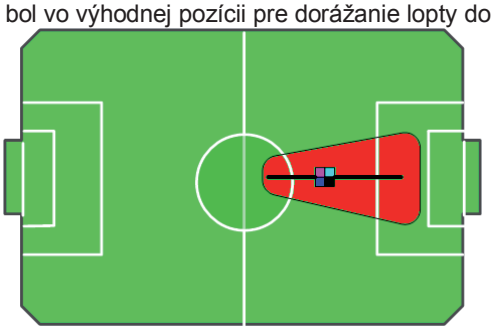
z útočných akcií smerom do obrany ostane tento čakať na protihráča s loptou až kým sa protihráč nedostane s loptou za tohto hráča, alebo kým sa nezmení smer lopty.

Tento agent sa vyskytuje vo všetkých vytvorených stratégiách podobne ako brankár a obranca. Na rozdiel od brankára dochádza však veľmi často k zámene ID.

3.7 Stredný útočník

Základný cieľ agenta:

- zaujať najvýhodnejšiu pozíciu v strede pred bránou, tak aby bol vo výhodnej pozícii pre dorážanie lopty do brány



Obr.15 Oblasť pôsobenia stredného útočníka

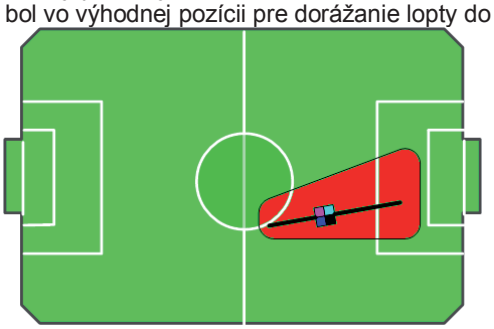
Je to typ hráča, ktorý sa pohybuje výlučne pred bránou súpera (Obr.15). Jeho úlohou je dosiahnutie gólu dorazením lopty do brány. Tá sa môže pred hráčom ocitnúť v prípade straty lopty útočníkom a odrazením sa do priestoru pred bránu, alebo v prípade cielenej prihrávky od útočníka. Sekundárnou úlohou hráča je zaujímať postavenie na ihrisku v rámci svojej oblasti pôsobenia tak, aby bol pripravený kedykoľvek zameniť útočníka v pohybe za loptou a čím skôr ju získal.

Tento typ hráča sa využíva v útoku alebo v totálnom útoku. Jeho využitie pri iných akciách je otázne z dôvodu pozičného postavenia, ktoré je na polovici súpera.

3.8 Pravý a ľavý útočník

Základný cieľ agenta:

- zaujať najvýhodnejšiu pozíciu vpravo pred bránou, tak aby bol vo výhodnej pozícii pre dorážanie lopty do brány



Obr.16 Oblasť pôsobenia pravého útočníka

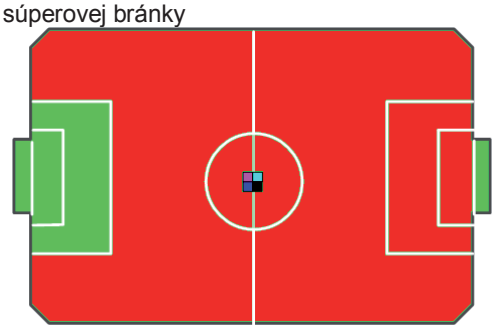
Typ hráča „krídelný“ útočník sa využíva podobne ako v predchádzajúcom prípade (Obr.16). Ich oblasťou pôsobenia je daný ich pohyb, ktorý je analógiou pohybu stredného útočníka postaveného mierne na stranu. V žiadnej z vytvorených stratégií nedochádza k použitiu troch dorážajúcich útočníkov naraz. Maximálne sú použitý dvaja stranový útočníci a jeden útočník.

Využitie v priebehu hry, podobne ako v predchádzajúcom prípade, je výlučne v akciách útok a totálny útok ako podpora útočníka s loptou resp. idúceho za loptou.

3.9 Útočník

Základný cieľ agenta:

- získať loptu v čo najkratšom čase a čím skôr ju dopraviť do súperovej bránky



Obr.17 Oblasť pôsobenia útočníka

Najčastejšie používaný typ hráča s výnimkou brankára. Útočník (Obr.17) je z hľadiska algoritmickej zložitosti najzložitejším a zároveň aj najkomplexnejším hráčom z hľadiska správania sa a plánovania svojích pohybov. Deliberatívna časť agenta oproti ostatným agentom je na oveľa vyššej úrovni. Svoj pohyb na rozdiel od ostatných agentov neplánuje po priamke z bodu do bodu, ale plán je zložený z dvoch typov dráhy: pohyb po priamke a pohyb po kružnici. Taktiež musí kooperovať s ostatnými hráčmi ako napr. dorážajúcimi útočníkmi. Na základe ich postavenia pred alebo na hranici obranného pásma súpera im posiela prihrávky z rohov hracej plochy v prípade, že jeho pohyb smerom na bránu je blokovaný viacerými hráčmi súpera.

Útočník z hľadiska rotácie postov (zámena priradenia ID) je najčastejšie premiestňovaný elementárny agent.

4. Metodika vytvárania celkovej stratégie

Vo fáze vývoja stratégie s_highn bolo potrebné najskôr popísať akým spôsobom sa má systém správať a ktorých agentov z množiny AH bude potrebné použiť. Správanie sa systému je popísané nastavením prahových parametrov preklápania a hysteréz určujúcich prechody medzi strategickými akciami s_mid a množinou použitých elementárnych agentov pre tvorenú stratégiu. Po nastavení prahových parametrov bola vytvorená nová množina elementárnych agentov :

$$\forall s_high_n \exists AH_n \subset AH; |AH_n| \geq 5 \qquad (2)$$

n...číslo stratégie, n=1,2,...,počet všetkých vytvorených stratégií

Následne sa vyberú elementárny agenti prislúchajúci ku každej strategickej akcii:

$$\forall s_mid_{nm} \exists AH_{nm} \subset AH_n; |AH_{nm}| = 5 \qquad (3)$$

n...číslo stratégie

m...číslo strategickej akcie, m=1,2,3,4,5 (totálna obrana, obrana, hra o stred, útok, totálny útok)

$$AH_{nm} = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\} \qquad (4)$$

a_1...agent s maximálnou prioritou

$\vdots$

a_5...agent s minimálnou prioritou

Každému používanému elementárnemu agentovi prislúcha práve jeden robot:

$$\exists! ID; a = ID, a \in AH_{nm} \qquad (5)$$

Na hracej ploche sa nachádza 5 robotov jedného tímu. Roboti sú daný množinou robotov R:

$$R = \{ID1, ID2, ID3, ID4, ID5\} \quad (6)$$

IDn...robot, ktorý pred priradením prislúcha agentovi a_n, pre n=1,2,3,4,5

$$\begin{aligned} &pred_priradením: a_n = IDn \\ &po_priradení: a_n = IDm, n = 1,2,3,4,5, m = 1,2,3,4,5 \end{aligned} \quad (7)$$

K priraďovaniu robotov k agentom dochádza podľa pravidiel, ktoré boli navrhnuté pre strategickú akciu s_mid. Pravidlá boli navrhnuté pre každého elementárneho agenta a_n podľa všeobecného kľúča:

$$\begin{aligned} &a_1 \in R \\ &a_2 \in (R - a_1) \\ &a_3 \in (R - a_1 - a_2) \\ &a_4 \in (R - a_1 - a_2 - a_3) \\ &a_5 \in (R - a_1 - a_2 - a_3 - a_4) \end{aligned} \quad (8)$$

Všetky spomenuté parametre a pravidlá využíva agent master ako svoju databázu znalostí, ktorú využíva pre rozhodnutia o zvolenej startegickej akcii a pre priradenie funkcie robotom v priebehu hry.

5. Implementácia vybranej stratégie

Stratégiu užívateľ zvolí v riadiacom programe kombináciou volieb v oblasti nastavenia stratégií:

- OBRANA – AGRESIVITA → aktívna
- OBRANA – ŠTÝL → vedľa seba
- ZÁLOHA → aktívna
- ÚTOK → jeden doráža v strede

Z pohľadu na kombinácie uvedené v dôjde k výberu týchto položiek:

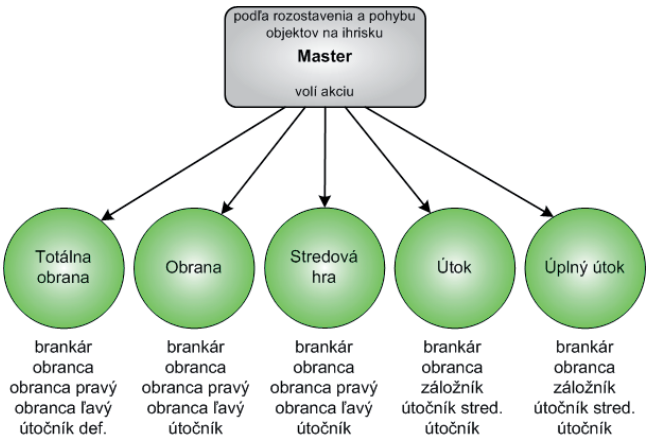
- 2 kooperujúci útočníci
- útočník bez lopty sa pohybuje v strede pred bránou súpera
- 2 obrancovia pred obrannou zónou sú aktívny v preberaní súpera
- záložník v stred poľa je aktívny v pohybe do strán

Zvolená stratégia je jednou z najviac defenzívne zameraných stratégií, ktoré boli implementované do programu. Pri útočení útočia najviac dvaja útočníci s jedným záložníkom. Všetky prahové hodnoty preklopení strategických akcií sú maximálne posunuté smerom k útočnému pásmu súpera. Pri tejto stratégii je uvažované s nastavením aktívnej obrany aj zálohy a so zvolenými obrancami vedľa seba (pravý a ľavý).

Agent master má k dispozícii túto množinu elementárnych agentov:

$$AH_1 = \{b, o, op, ol, z, u, ud, us\} \quad (9)$$

Pre stratégiu agent master využíva celkovo 8 elementárnych agentov, ktorých správanie sa pozná. Nakoniec rozhoduje o ich priradení k ID na hracej ploche. V predchádzajúcej kapitole je uvedené, že najskôr musí agent master rozhodnúť o jednej z akcií smid z množiny strategických akcií Sa a ku každej strategickej akcii podľa zvolenej stratégie shigh priradí k ID agenta z množiny AHn (Obr.18)



Obr.18 Existencia elementárnych agentov pre strategické situácie

5.1 Totálna defenzíva

Pre strategickú akciu totálna defenzíva platia nasledovné pravidlá prideľovania robotov elementárnym agentom hráčom z množiny, ktorá je podmnožinou AH_1 a obsahuje práve 5 elementárnych agentov pre ktorý prislúchajú danej akcii pre zvolenú základnú startégiu:

- brankár
- obranca
- pravý obranca
- ľavý obranca
- defenzívny útočník

Priraďovací kľúč pre priraďovanie robotov k elementárnym agentom:

$$\begin{aligned} &b \in \{ID1, ID2\} \\ &b = ID1 \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} &o \in \{ID2, ID3, ID4, ID5\} \\ &op \in (\{ID2, ID3, ID4, ID5\} - o) \\ &ol \in (\{ID2, ID3, ID4, ID5\} - o - op) \\ &ud \in (\{ID2, ID3, ID4, ID5\} - o - op - ol) \end{aligned} \right\} \\ &b = ID2 \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} &o = ID1 \\ &op \in \{ID3, ID4, ID5\} \\ &ol \in (\{ID3, ID4, ID5\} - op) \\ &ud \in (\{ID3, ID4, ID5\} - op - ol) \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

5.2 Defenzíva

V rámci zvolenej základnej stratégie sú pre túto akciu z množiny AH_1 priradený elementárny agenti:

- brankár
- obranca
- pravý obranca
- ľavý obranca
- útočník

Pravidlá priraďovania robotov k elementárnym agentom hráčom sú podľa kľúča:

$$b \in \{ID1, ID2\}$$

$$b = ID1 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} o \in \{ID2, ID3, ID4, ID5\} \\ op \in (\{ID2, ID3, ID4, ID5\} - o) \\ ol \in (\{ID2, ID3, ID4, ID5\} - o - op) \\ u \in (\{ID2, ID3, ID4, ID5\} - o - op - ol) \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$b = ID2 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} o = ID1 \\ op \in \{ID3, ID4, ID5\} \\ ol \in (\{ID3, ID4, ID5\} - op) \\ u \in (\{ID3, ID4, ID5\} - op - ol) \end{array} \right\}$$

5.3 Hra o stred

Priradený elementárny agenti z AH_1 sú:

- brankár
- obranca
- pravý obranca
- ľavý obranca
- útočník

Pravidlá priraďovania robotov k elementárnym agentom sú podľa kľúča:

$$\begin{array}{l} u \in \{ID5, ID4, ID3\} \\ ol \in (\{ID5, ID4, ID3\} - u) \\ op \in (\{ID5, ID4, ID3\} - u - ol) \\ b \in \{ID1, ID2\} \\ o \in (\{ID1, ID2\} - b) \end{array} \quad (12)$$

5.4 Útok a totálny útok

Priradený elementárny agenti z AH_1 sú:

- brankár
- obranca
- záložník
- stredný útočník
- útočník

Pravidlá priraďovania robotov k elementárnym agentom sú podľa kľúča:

$$\begin{array}{l} u \in \{ID5, ID4, ID3\} \\ us \in (\{ID5, ID4, ID3\} - u) \\ z \in (\{ID5, ID4, ID3\} - u - us) \\ b \in \{ID1, ID2\} \\ o \in (\{ID1, ID2\} - b) \end{array} \quad (13)$$

Záver

Práve spomenutý prístup k tvorbe stratégií v rámci vývoja tímu SjF TUKE Robotics pomohol získať úspechy na medzinárodnom poli. Pomocou navrhnutej metodiky bolo dokopy vyvinutých až 24 rôznych stratégií správania sa systému v priebehu hry.

Vyvinutý systém, aplikovaný na tím robotov hrajúcich futbal, samozrejme nie je optimálny a vykazuje niekoľko druhov chýb v priebehu hry, ale tvorí veľmi dobrý základ z ktorého sa dá čerpať pri vývoji kooperujúceho systému tvoreného viacerými robotmi v praxi. Po menšej resp. väčšej úprave je možné aplikovať, ktorúkoľvek časť systému do praxe.

Literatúra

[1] HAJDUK, M.,SUKOP, M.: Multiagents system with dynamic box change for MiroSot. In: Progress in Robotics: Communications in Computer and Information Science 44. – Berlin: Springer-Verlag, 2009, p.287-292, ISBN 978-3-642-03985-0, ISSN 1865-0929, 2009

[2] SUKOP, M.: Stratégie riadenia a kooperácie skupiny mobilných robotov na báze MAS – robotsoccer. Habilitačná práca, Košice, 2012

[3] SUKOP, M.: Prenos informácií medzi riadiacim počítačom a hráčmi v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.209-212, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011

[4] SUKOP, M.: Spracovanie obrazu a detekcia objektov v aplikácii robotického futbalu. In: ROBTEP 2011: Automatizácia/Robotika v praxi, zborník príspevkov z 11. Medzinárodnej konferencie, 16.12.2011, Košice, TU, SjF, s.213-216, ISBN 978-80-553-0846-3, 2011

[5] SVETLÍK, J., SUKOP, M.: Using of multiagent systems in robosoccer. In: Acta Mechanica Slovaca. Roč.11,č.2-A/2007 (2007), s.157-160, ISSN 1335-2393, 2007

[6] http://www.fira.net

[7] http://www.robosoccer.sk

Abstract

The paper describes the way of implementation of the possibility of overall strategy development into the system developed by SjF TUKE Robotics team. The overall strategy is a strategy by which the user can set the basic behaviour of the system. Based on this strategy the main agent "master" influences the behaviour of agents "players" in various strategic situations.

doc. Ing. Marek Sukop, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Nemcovej 32
042 00 Košice
E-mail (marek.sukop@tuke.sk)

Zostavenie technického scenára **montáže prepojovacej svorky pre** istiace prvky

Marek Vagaš, Vladimír Baláž, Ján Semjon

Abstrakt
Článok sa zaoberá zostavením technického scenára montáže prepojovacej svorky, ktorá je jednou z častí elektrotechnických ističov. Prepojovacia svorka je zložená z kovovej skrutky M5, mosadzného výlisku v tvare U a podložkou so závitom pre uchytenie prepojovacieho kábla. Jej funkciou je prepojenie ističa káblom do el. siete. Realizácia montáže je navrhnutá za pomoci robota s dvomi ramenami firmy Yaskawa Motoman. Navrhované riešenie popisuje technický scenár pre montáž prepojovacej svorky pre istiace prvky.

Kľúčové slová: technical scenario, dual arm robot, assembly, connecting clamp

Úvod

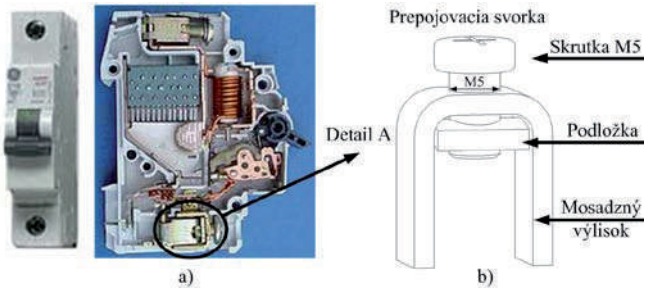
Pre úspešné zostavenie a realizovanie technického scenára montáže prepojovacej svorky je dôležité tak nadobudnutie znalostnej bázy programovania robotov s dvomi ramenami ako aj zabezpečenie realizácie účinnej kooperácie oboch funkčných ramien robota pri montáži. Je to náročná úloha tak z pohľadu efektivity montáže, ako aj z pohľadu požiadaviek kladených na takýto typ montáže bez účasti ľudskej obsluhy. Pod pojmom technický scenár môžeme rozumieť jednotlivú postupnosť na seba nadväzujúcich činností potrebných pre úplné zmontovanie prepojovacej svorky do spoločného funkčného celku.

Problematika v tejto tak širokej oblasti je v čiastočnej miere predmetom riešenia tohto príspevku a poskytuje návrh technického scenára montáže v spolupráci s robotom vybaveným dvomi ramenami. Taktiež jeho overovanie či z pohľadu verifikácie softvérovými prostriedkami (3D CAD), ale aj z hľadiska realizácie scenára na konkrétnom pracovisku s analýzou dosiahnutých výsledkov montáže. Postupným riešením nám ide o odhalenie perspektívnosti a efektívnosti použitia takýchto koncepcií v robotickej technike.[1]

Interakcia spolupráce medzi ramenami robota je závislá aj v miere implementácie sofistikovanej senzorovej techniky, či už do časti koncových efektorov ako aj v miere implementácie strojového videnia, teda 3D kamerových systémov. Stratégie vykonávaných scenárov montáže prepojovacej svorky sa realizujú s ohľadom na celkový čas montáže a tiež na vhodný mechanizmus postupu montáže.

Skladba prepojovacej svorky a **určujúce podmienky montáže**

Elektrotechnický istič, ktorého funkciou je odpojenie elektrického obvodu (spotrebiča) a ochrana pred preťažením alebo skratom je na obr. 1a. Jednou z jeho častí je aj prepojovacia svorka, ktorej funkciou je prepojenie kábla ističa na el. sieť (detail A). Táto časť elektrotechnického ističa sa skladá zo samotnej kovovej skrutky, mosadzného výlisku v tvare U a podložky so závitom M5 obr. 1b.



Obr. 1 Skladba prepojovacej svorky - objekt technického scenára

Návrh technického scenára montáže vychádza z nasledovných požiadaviek kladených na zmontovanú prepojovaciu svorku:

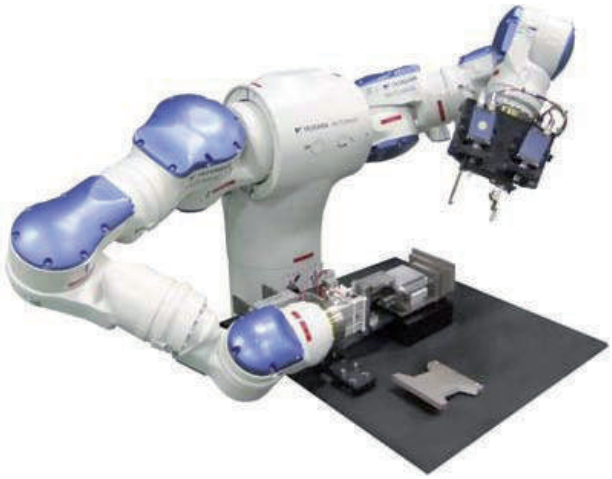
- Celkový čas montáže nesmie presiahnuť 5 sekúnd
- Použiť robot s dvomi ramenami a navrhnúť vhodné uchopovanie komponentov
- Zabezpečiť prísun komponentov do miesta montáže
- Navrhnúť skladovanie hotových objektov montáže

Zostavenie technického scenára

Zostavenie technického scenára je realizované na báze využitia robota SDA 10 s dvomi ramenami od Japonskej firmy Yaskawa Motoman, ktorý sa vyznačuje veľmi dobrou manipulovateľnosťou, disponuje 15-timi riadenými osami a opakovateľnou presnosťou polohovania 0,1mm, obr.2.

Konštrukcia je založená na silnom pohone s vysoko výkonným zápästím a plne integrovanými prívodnými káblami, čo robí z robota SDA10D ideálne riešenie pre celý rad aktivít, ako je montáž, preprava komponentov, obsluha

strojov, balenie a ďalšie úlohy týkajúce sa manipulácie, ktoré mohol skôr vykonávať iba človek. Obe robotické ramená môžu pracovať spoločne alebo môžu dané úlohy vykonávať nezávisle na sebe. Vďaka nízkym nárokom na miesto môže tento robot pracovať v uzavretých priestoroch, čo umožňuje úsporu cenných prevádzkových plôch [2].

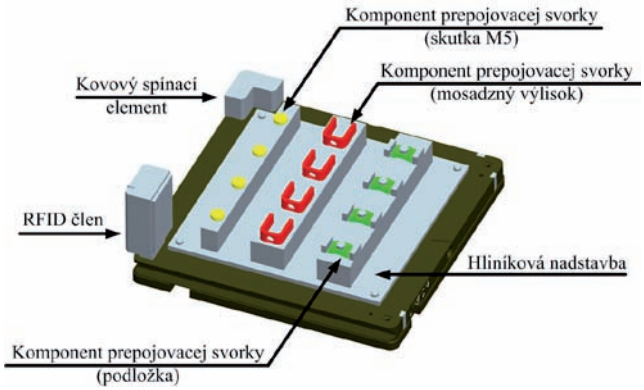


Obr. 2 Priemyselný robot s dvomi ramenami firmy Yaskawa Motoman

Koncové efektory robota navrhujeme vybaviť dvoj - činnými pneumatickými chápadlami s dvomi resp. s tromi čeľusťami pre uchopovanie komponentov prepojovacej svorky [3]. Návrh predpokladá uloženie jednotlivých komponentov prepojovacej svorky na prepravnú paletu, ktoré sú dopredu zorientované v polohe pre uchopenie robotickým ramenom.

Materiálom prepravnej palety je plast, na ktorom sú umiestnené štyri centrovacie kolíky. Na tieto kolíky je nasadená hliníková nadstavba, ktorá sa skladá z troch častí pre presné polohovanie všetkých komponentov prepojovacej svorky, obr. 3.

Prepravná paleta je vybavená RFID členom pre zabezpečenie informácií o komponentoch na palete, jej polohe a počte kusov. Aby bolo možné zaistiť presnú polohu je nutné prepravnú paletu doplniť o kovový spínací element, ktorý zabezpečuje zopnutie signálu snímačom a jeho následné odoslanie do riadiaceho systému.



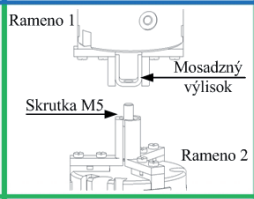
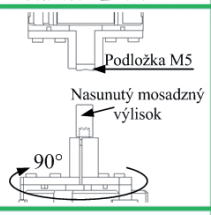
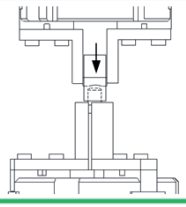
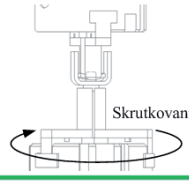
Obr. 3 Prepravná paleta s uložením komponentov prepojovacej svorky

Postupnosť operácií technického scenára montáže prepojovacej svorky pre istiace prvky (viď. Tabuľka 1) je založený na použití robota s dvomi ramenami firmy Yaskawa Motoman, konkrétne typu SDA 10 [4]. Technický scenár montáže je rozdelený do štyroch základných krokov. V prvom kroku montáže rameno 1 robota uchopuje mosadzný výlisok tvaru U, ktorý je uložený na palete v polohe pre uchopovanie dvojčeľusťovým chápadlom. Zároveň rameno 2 robota, ktoré disponuje trojčeľusťovým chápadlom s čeľusťami upravenými pre uchopovanie rotačných objektov uchopuje hlavičku skrutky M5 a nasúva ju do predvŕtaného otvoru mosadzného výlisku.

V kroku č. 2 je už ukončené nasunutie mosadzného výlisku tvaru U na skrutke M5. Rameno 1 robota uvoľňuje z čeľustí nasunutý mosadzný výlisok a vracia sa späť ku palete pre podložku so závitom M5. Rameno 2 robota ostáva v polohe s uchopenou skrutkou a nasunutým výliskom.

V nadväznosti na predchádzajúce sa v tomto kroku deje prisunutie za predpokladu splnenia podmienky súosovosti medzi oboma montovanými komponentmi prepojovacej svorky potrebnej pre ďalšiu operáciu, ktorou je samotné zaskrutkovanie.

V poslednom kroku technického scenára montáže prepojovacej svorky je potrebné realizovať operáciu zaskrutkovania skrutky M5 do podložky so závitom. Skrutkovanie prebieha otáčaním ramena 2 robota, pričom rameno 1 drží polohu. Následne sa zmontovaná prepojovacia svorka presunie na výstup pre kontrolu správnosti montáže objektu ako celku.

Popis technického scenára montáže		
Krok	Priebeh	Popis
1		V prvom kroku montáže rameno 1 nasúva na skrutku M5 uchopenú v ramene 2 mosadzný výlisok tvaru U
2		V kroku č. 2 je mosadzný výlisok nasunutý na skrutke M5 na ramene 2. Rameno 2 sa pootočí o 90° aby bolo možné prisunúť podložku so závitom M5 až ku skutke.
3		V treťom kroku sa rameno 1 prisunie ku skrutke M5, na ktorej je mosadzný výlisok. Prisunutie je realizované s dôrazom na súosovosť medzi komponentami.
4		V poslednom kroku rameno 2 otáčavým pohybom skrutkuje skrtuku M5 do podložky so závitom.

Tab.1 Postupnosť operácií technického scenára montáže prepojovacej svorky pre istiace prvky

Záver

Nasadzovanie priemyselných robotov s dvomi ramenami do procesov montáže je podmienené výraznou mierou skracovania montážnych i manipulačných cyklov, čo jednoznačne vedie ku zvyšovaniu ekonomických ukazovateľov vo výrobnom i nevýrobnom podniku. Idea predstavená v príspevku ponúka návrh technického scenára montáže prepojovacej svorky s ohľadom na jeho realizáciu v

robotizovaných pracoviskách takéhoto typu, pričom je potrebné sa zamerať tak na konštrukčnú koncepciu návrhu ako aj na oblasť riadenia na báze hierarchického usporiadania všetkých zariadení robotizovaného pracoviska. V neposlednom rade je potrebné myslieť na vybavenie pracoviska vnútornými a vonkajšími senzorickými kapacitami pre tie zariadenia, u ktorých existuje potenciál zvyšovania inteligencie pracoviska ako celku.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci projektu VEGA 1/0810/11 Princípy profilácie a kooperácie multirobotických systémov / 2011 – 2013.

Literatúra

[1] SUKOP, M., HAJDUK, M., BALÁŽ, V., VAGAŠ, M.: Increasing degree of automation of production systems based on intelligent manipulation. In: Acta Mechanica Slovac. Roč. 15, č.4,2011, s. 58-63. ISBN 1335-2393

[2] VAGAŠ, M.: Koncepčné riešenie jednotlivých uzlov ramena robota. In: Robtep 2011: Automatizácia / Robotika v praxi: 11. celoštátna konferencia s medzinárodnou účasťou: Košice: TU, SjF, 2011, s.229-234. ISBN 978-80-553-0846-3

[3] BALÁŽ, V., VAGAŠ, M.: Vizualizácia a zber informácií robotizovaného pracoviska. In: Robtep 2011: Automatizácia / Robotika v praxi: 11. celoštátna konferencia s medzinárodnou účasťou: Košice: TU, SjF, 2011, s.23-26. ISBN 978-80-553-0846-3

[4] ANNA, V., ALPEK, F., HAJDUK, M., BALÁŽ, V., SUKOP, M.: Automation of palletization with ccd camera. In: MTEM 2007. Cluj - Napoca: MTEM, 2007, p. 175 – 182. ISBN 9739087833

Abstract

The article discusses about assembly of connecting clamp for circuit breaker elements. Connecting clamp contains of screw M5, brass molded part U shaped and washer with thread M5 and serves for connecting cable to circuit breaker and than to electricity. Proposed solution of technical scenario automates whole assembly process of connecting clamp.

Ing. Marek Vagaš, PhD.

Ing. Vladimír Baláž, PhD.

Ing. Ján Semjon, PhD.

Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Němcovej 32
042 00 Košice
Tel.: +421556022625
E-mail: marek.vagas@tuke.sk

Renovated of safe tool machine - System analysis machinery

Štefan VALENČÍK

Abstract
The paper deals with risk management safety program new and reconstruction machines, which as members of the management company must deal with. There are accountable for the consequences of untreated enough risks that may stop a dangerous event. Damage in this case can be life or health of users or it can create damage to their property i.e. that may end up as damage the machine. Contribution from own perspective is focused on: defining the basic concepts of base solution, system methodology management of technical risks and system analysis of the machinery.
Key words: safety program, risk management, education

Introduction

Design, manufacture, install and make operational the renovated manufacturing machine is a very difficult feat that requires parallel actions in three areas. The first is the construction of hereditary mechanical parts, electrical wiring and supply of media to another, then renovated and new construction machinery parts, energy and information devices, especially in terms of design and technology links, and then to the third risk management, which aims to ensure meet all legislative requirements placed on the safety of the reconstructed machine.

1. Spectrum management of technical risks

According to ISO / DIS 31000 [1] risk management process involves the application of logical and systematic steps. Risk management is here defined as the systematic application of policies, procedures and techniques of management roles dealing with the determination of the context, detection, analysis, evaluation, assessment, treatment, monitoring and communicating risks to them in a way that allows the organization to minimize losses and maximize the opportunities of cost effective manner. To achieve maximum benefit, it is necessary to risk management activities (hazard identification, risk assessment, treatment risks, monitoring risks ...) can be initiated in the first stage of the project and continue to risk management in all other stages.
For security of production machines can not see the risk of a chance to succeed. Such an approach would be simply unacceptable health hazard as the lives of users of these devices, as well as prosperity of the company, which would be dangerous machines launched or in operation. Described above a general risk management is therefore not absolutely applied to detect the safety of production costs and needs to be modified in such a way to answer legislative requirements with regard to safety of machinery and therefore the relevant harmonized standards relating to safety of machinery.
All activities associated with the development of new and refurbished production machine, ensuring the quality, safety, hygiene and ecology are associated with larger or smaller risks. The task of management of technical risks is time to identify all the hazards, assess (evaluate) the associated risk (i.e. risk levels deriving from machine design, management, establishment, maintenance, operation, liquidation, etc.).
And, if appropriate, develop and implement remedial measures to risk reduction. Figure 1 presents the broad scope of management of technical risks. The most important areas of technical risk management is ensuring the safety of machinery in terms of their structure and behavior throughout their life cycle and further ensure the functional safety of control systems (electronic, pneumatic, hydraulic).

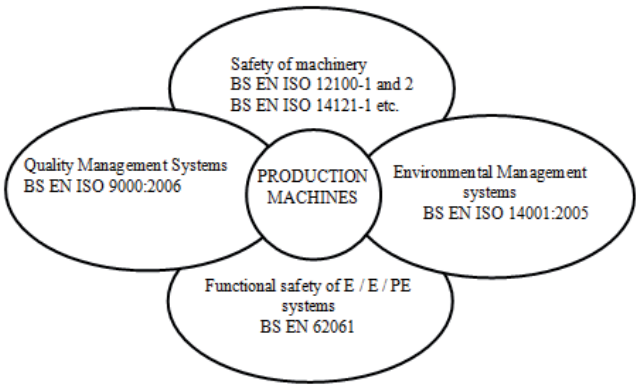


Figure.1 Spectrum management of technical risks

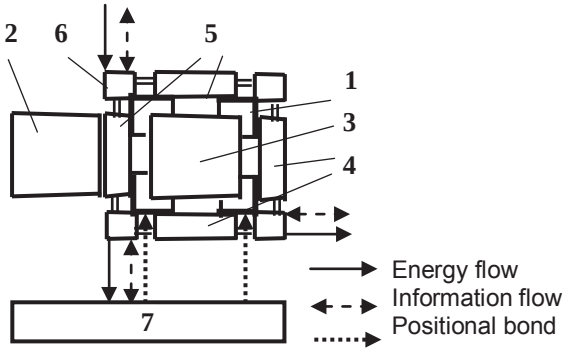
Quality management systems are useful in demonstrating how the parameters are identical for all products of similar type to the enterprise in production, so the general management of risks during the provision of product development in terms of fulfilling the particular rogue and the customer wishes.
Environmental management systems then find their application in solving parsimony requirements throughout the life cycle of machinery for the environment.
The risk is necessary in the management of technical risks seen as a threat to peace, which is determined by a combination of importance (severity of) potential damage and the likelihood of damage.

2. The essence of system analysis machinery

System methodology management of technical risks in the manufacturing machine is based on standard methods and quality assurance tools and production machines such modifies It belongs to a sequence of activities necessary to achieve the security machinery.
For the purpose of hazard identification and risk assessment is important to understand the basic concept and principle of the machine under consideration by the next phases of activities:
- creating a block diagram of the production machine. Block diagram of the machinery is such a diagram, where is the appropriate level of representation show the distinctive logi-

cal construction of machinery (functional and structural connections of individual components) and its any significant interaction of particular elements.

• identify the relevant hazards associated with construction of the production machine. Using the block diagram of machinery (Figure 2) and standards EN 12100-1 to provide all the relevant (existing) risks associated with the design of the machine;



1- Reference base
2- Motion
3- Transformation and distribution of elements
4- Transmission elements
5- Interconnection elements
6- Member of the collection and distribution of energy and information
7- Frame machine

Figure 2: Block diagram of the reconstructed part of the tool machine

• identify hazardous areas of machine manufacturing (Table 1). In response to identified relevant hazards associated with machine design and the intended layout and cover of the machine using the block diagram of the tool machine selected main danger areas of machine. Various hazards in these dangerous areas are usually provided with a common preventive measure to reduce risk.

Documentation of sources of hazards relevant to the tool machine Table 1

Name of the machine component	Position of the component in the system
Linear actuator	Spherical unit
	Chucking unit
Rotary actuator	Rotating unit
Transformation and distribution of elements	Spherical unit – Rotating unit
	Chucking unit
Transmission elements	Rotating unit
	Chucking unit
Interconnection elements	Spherical unit – Rotating unit
	Rotating unit – Chucking unit
Member of the collection and distribution of energy and information	Spherical unit – Rotating unit – Chucking unit
Type – source of hazards	
Mechanical / jam, press, cut, wound, capture or retraction – the moving parts. Electrical – overload, short circuit, the live parts, electrical phenomena. Heat – alignment, friction, lubrication and cooling, working conditions and environmental conditions. Hazards generated by noise – static and dynamic stiffness, systematic and random variation, wear. Unexpected start – incompetence, inattention, another person. Unexpected speeding overrun – design and infomation ensuring.	

In Table 1 is provided examples of documentation of relevant hazards associated with construction of the machine. In the column "Location component in the system" states the dangerous area in which the component occurs. In the column "type of danger" is provided calculation of the relevant hazards according to EN ISO 14121-1.

Conclusion

The proposed modified risk management of new machines, which is based on the general principles of risk management and systemic risk assessment methodology, clearly highlights the important role of corporate management in the overall assessment process and risk reduction. Successful security solution developed by the machine is in any case can not be made without the support of top management of the company to be enough to perceive the importance of this process and create favorable conditions for its implementation.

The lack of or inappropriate management of the risks of new machines will just lead the company responsible for the consequences of untreated enough risks that may stop a dangerous event. Damage in this case can be life or health of users or it can create damage to their property i.e. that may end up as damage the machine.

References:

[1] ISO/DIS 31000: Risk management- Principles and guidelines on implementation, 2008.

[2] MAREK, J. a col.: Construction CNC machine tools. MM publishing s r. o. Praha 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.

[3] PAČAIOVÁ, H., SINAY, J., GLATZ, J.: Safety and risks of technological systems: EVaOL SjF TU Kosice, 2009. ISBN 978-80-553-0180-8.

[4] STN EN ISO 12100-1 a 2: Safety of machinery: Basic terms, general principles of machine Design.. Bratislava: SÚTN, 2004.

[5] STN EN ISO 14121-1: Safety of machinery: Risk Assessment. Part 1: Principles. Bratislava: SÚTN, 2008.

[6] TOLNAY, M.: Operation and maintenance of production systems. EU STU Bratislava, Bratislava 2008. ISBN 978-80-89313-39-6.

[7] Valenčík, Š.: Methodology for recovery machines. EVaOL TU Kosice, 2011, 330 p.. ISBN 978-80-533-0679-7.

doc. Ing. Štefan Valenčík, CSc.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta/Ústav konštrukcie strojov a zariadení
Katedra výrobnej techniky a robotiky
Němcovej 32
stefan.valencik@tuke.sk

Archív

Archive

2001 AT&P journal PLUS 1: Adaptívne a nelineárne riadenie systémov (tlačená verzia)
Adaptive and nonlinear control systems (printed version)

AT&P journal PLUS 2: Robotika, mechatronika, diskrétne výrobné systémy (tlačená verzia)
Robotics, mechatronics, discrete manufacturing systems (printed version)

2002 AT&P journal PLUS 3: Robustné systémy riadenia (tlačená verzia)
Robust control systems (printed version)

2003 AT&P journal PLUS 4: Samonastavujúce sa systémy v riadení procesov (tlačená verzia)
Selftuning systems in process control (printed version)

2004 AT&P journal PLUS 5: Robotické systémy (elektronická – CD verzia)
Robotics systems (electronic – CD version)

2005 AT&P journal PLUS 6: Mechatronika (elektronická – CD verzia)
Mechatronics (electronic – CD version)

AT&P journal PLUS 7: Umelá inteligencia v praxi (elektronická – CD verzia)
Artifical intelligence in Practise (electronic – CD version)

2006 AT&P journal PLUS 1: Mechatronické systémy (elektronická – CD verzia)
Mechatronic systems (electronic – CD version)

AT&P journal PLUS 2: Inteligentné meracie systémy (elektronická – CD verzia)
Intelligent measurement systems (electronic – CD version)

2007 AT&P journal PLUS 1: MMaMS'2007 (elektronická – CD verzia)
MMaMS'2007 (electronic – CD version)

AT&P journal PLUS 2: Riadenie procesov (elektronická – CD verzia)
Process Control (electronic – CD version)

2008 AT&P journal PLUS 1: Mobilné robotické systémy (elektronická – CD verzia)
Mobile robotic systems (electronic – CD version)

AT&P journal PLUS 2: Riadenie v energetike (elektronická – CD verzia)
Control of Power Systems (electronic – CD version)

2009 AT&P journal PLUS 1: Inteligentné pohybové systémy (elektronická – CD verzia)
Intelligent motion control systems (electronic – CD version)

AT&P journal PLUS 2: Riadenie procesov (elektronická – CD verzia)
Process control (electronic – CD version)

2010 AT&P journal PLUS 1: Systémy automatického riadenia (elektronická – CD verzia)
Systems of automatic control (electronic – CD version)

AT&P journal PLUS 2: Robotika vo vzdelávaní (elektronická – CD verzia)
Robotics in education (electronic – CD version)

2011 ATP Journal PLUS 1: Systémy automatického riadenia (elektronická – CD verzia)
Systems of automatic control (electronic – CD version)

ATP Journal PLUS 2: Riadenie procesov (elektronická – CD verzia)
Process Control (electronic – CD version)

2012 ATP Journal PLUS 1: Modelovanie mechanických a mechatronických sústav (elektronická – CD verzia)
Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems (electronic – CD version)