

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/129



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0028
Naslov programa	Mehatronske sistemi Mechatronics systems
Vodja programa	3869 Miro Milanovič
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	58752
Cenovni razred	C
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	796 Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.06 Sistemi in kibernetika
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Pri razvoju mehatronskih sistemov smo v preteklem obdobju sinergijsko povezovali znanja različnih znanstvenih disciplin, kar je omogočilo funkcionalno integracijo metod

načrtovanja in vodenja s področij elektrotehnike, strojništva in informatike. Pri raziskavah in razvoju smo se osredotočili na nove metode načrtovanja proizvodov in naprav, zasnovanih na principih povratne vezave vodenja.

Kot osrednji modul mehatronskega sistema smo identificirali modul za vodenje, ki zagotavlja pravočasno (v realnem času) in dovolj natančno delovanje sistema, odpravlja vpliv motenj ter vodi (regulira in krmili) ostale elektro-mehanske module. Uporabljeni algoritmi vodenja so bili zasnovani in razviti na osnovi novih principov in metod robustnega vodenja, ki temeljijo na teoretičnih izsledkih delovanja sistemov v drsnem režimu, mehke logike, umetnih nevronske mreže in genetskih algoritmov.

Poleg načrtovanja in povezovanja elektronskih in mehanskih komponent je bil poudarek raziskav tudi na uvajanju novih spoznanj informacijskih znanosti in komunikacijskih pristopov. Razvite algoritme smo z uporabo novih pristopov prenesli na programirljivo digitalna vezja (FPGA), kjer je bila posebna pozornost posvečena izvedbi postopkov vodenja in nadzora z uporabo HDL (Hardware Description Language).

Opis dinamičnih sistemov v prostoru stanj smo razširili na polje dogodkovnih sistemov, kar je omogočilo poenoten pristop k modeliranju z rekurzivnim zapisom. Na področju sistemov za nadzor in diagnostiko smo razvili napredne hibridne algoritme in metode, prilagojene za delo v realnem času.

Za namen spremljanja in vodenja industrijskih procesov so bili uporabljeni nadzorni sistemi (SCADA), ki omogočajo kasnejšo analizo in obdelavo zajetih podatkov. Ker za procese, kjer je zahtevana hitra odzivnost, SCADA sistemi niso ustrezni, smo zgradili razširitvene modularne podsisteme (zaznava napak, prilagoditve modelov, sprotna identifikacija), ki pa niso vplivali na funkcionalnost osnovnega sistema. Pri razvoju teh podsistemov je bil poudarek na zaznavanju in diagnostiki napak, kar je omogočilo odpravljanje le-teh.

Na področju pretvorniške tehnike smo razvili in preizkusili modulacijske algoritme, ki omogočajo izboljšanje elektromagnetne združljivosti ob istočasno doseženi pocenitvi merilnih verig, saj zagotavljajo delovanja AC-DC pretvornikov s faktorjem moči 1 brez meritve toka.

Intenzivno smo raziskovali tudi na področju pretvorniških sistemov, primernih za pretvorbo energij, pridobljenih iz obnovljivih in alternativnih virov, pri čemer je bil poudarek na razvoju algoritmov za učinkovito upravljanje z energijo.

Pomemben modul mehatronskih sistemov predstavljajo tudi senzori električnih in neelektričnih veličin. V okviru raziskav na tem področju smo razvili nove merilne principe, zasnovane na temperaturno kompenziranem kapacitivno-frekvenčnem in induktivno-frekvenčnem pretvorniku, ki so primerni za merjenje raznih procesnih veličin kot so premik, vlažnost, gostota tekočin, tlaki itn.

ANG

In the previous period, the development of mechatronic systems was based on synergistic merging of knowledge from different scientific disciplines which allowed functional integration of design and control methods from the fields of electrical and mechanical engineering as well as information technology. The research of new methods was concentrated on the design of products and devices based on the principles of feedback control theory.

The control module was identified as a central module of mechatronic system. It has to guarantee a proper system real time functioning and has to be capable to eliminate disturbances influence as well as to control other electro-mechanical modules. The applied control algorithms have been designed and developed on the basis of new design principles and robust control methods that rely on the theoretical basis of sliding mode control systems, fuzzy logic, artificial neural networks and genetic algorithms.

In addition to the design of electronic and mechanical components, the research was concentrated on introduction of new knowledge regarding information and communication approaches. The developed algorithms are implemented on the flexible programmable gate array circuits (FPGA), where special attention was put to the implementation of control and supervision using HDL (Hardware Description Language). Description of dynamic systems in state space was expanded into the field of event driven

systems, which resulted in a unified approach to recursive modeling. In the field of systems' monitoring and diagnostics, advanced hybrid algorithms and methods, suitable for the real time application, were developed.

SCADA systems that allow subsequent analysis and processing of captured data have been used for monitoring and controlling of industrial processes. Since SCADA systems are not suitable for the processes where fast response is required, new modular subsystems (error detectors, adjustment models, real-time identification), which didn't affect the functionality of the basic system, were built. The development of these subsystems was focused on the error detection and fault diagnosis, leading to their elimination.

In the field of power converter modulation techniques algorithms, capable to improve the EMC (electromagnetic compatibility), as well as reduce the costs of measuring chains, were developed, where PFC (power factor correction) operation is obtained without current measurement.

An important area, which was also studied, were converter systems suitable for applications in renewable and alternative energy sources, where the algorithms for efficient energy (power) management were developed.

An important module of mechatronic systems are sensors for measurement of electrical and nonelectrical quantities. In the context of research in this area, new measurement principles based on temperature compensated capacity-frequency and inductance-frequency converter were developed, suitable for measurements of various process variables as are position, humidity, fluid density, pressure, etc.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)²

SLO

Razvoj mehatronskih sistemov temelji na sinergijskem povezovanju fizikalnega sistema, senzorjev, aktuatorjev, elektronike, vodenja in računalnikov z informacijsko-komunikacijskimi rešitvami skozi proces načrtovanja. V obdobju 2009-2014 je raziskovalno delo programske skupine potekalo usklajeno na različnih smereh, s poudarkom na področjih naprednega načrtovanja ter vodenja in nadzora mehatronskih sistemov. Le-ti predstavljajo hibridne strukture na strojnem in na informacijskem nivoju, zato se je pokazala potreba po implementaciji algoritmov vodenja na različnih platformah, predvsem na mikrokontrolerih, DSP in FPGA vezjih. Razvijali in uporabljali smo formalne pristope načrtovanja naprav, sistemov in postopkov vodenja. Vzporedno s tem pa smo tudi razvili ustrezno tehnologijo za modeliranje in simulacijo mehatronskih sistemov [COBISS.SI-ID 24178983], [COBISS.SI-ID 15191318], [COBISS.SI-ID 15032598], [COBISS.SI-ID 15281430].

V okviru raziskav na področju meritev smo se osredotočali na razvoj in aplikacije virtualne instrumentacije s posebnim poudarkom na izdelavi oddaljenih laboratorijev. Predlagane nove metode so omogočile hitro realizacijo oddaljenih eksperimentov s področja avtomatskega vodenja ob uporabi vgrajenih sistemov vodenja [COBISS.SI-ID 13390614], [COBISS.SI-ID 13634070], [COBISS.SI-ID 13210134], [COBISS.SI-ID 13004310]. Delo na tem segmentu je bilo potrjeno s pridobitvijo mednarodnih projektov, ki so bili izvedeni in ki še trajajo kot so: E-PRAGMATIC (E-učenje in praktični tečajji iz mehatronike in alternativnih tehnologij v industriji), SustEner (Izobraževanje za zeleno okolje) STECET (Znanost in tehnologija- Evropsko sodelovanje v izobraževanju), NeReLa (Izgradnja mreže oddaljenih laboratorijev univerz in strokovnih šol).

Na področju merilnih postopkov smo razvili in eksperimentalno ovrednotili metodo, zasnovano na kvarčni oscilatorski strukturi, ki zagotavlja izjemno merilno natančnost, občutljivost in kompenzacijo različnih vplivov okolice. Delo na senzorski tehniki je bilo koncentrirano na razvoj temperaturno kompenziranih kapacitivno-frekvenčnih in induktivno-frekvenčnih pretvornikov z visoko rezolucijo, ki so primerni za aplikacije pri merjenju malih premikov, temperatur, tlakov... [COBISS.SI-ID 15832598], [COBISS.SI-ID 16191254], [COBISS.SI-ID 18221846], [COBISS.SI-ID 18183190]

Delo je zajemalo tudi aktivnosti na področju močnostne elektronike, kjer smo razvijali in preizkušali različne pretvornike in njihove sklope, ter izvajali raziskave njihovega

medsebojnega učinkovanja. Osrednja pozornost je bila namenjena optimizaciji pretvorb energije iz alternativnih virov in upravljanju z energijo [COBISS.SI-ID 15281430]. Raziskovalno delo na področju pretvornikov je bilo osredotočeno tudi na razvoj novih postopkov vodenja, s poudarkom na novih modulacijskih tehnikah in njihovi implementaciji z vidika zmanjševanja elektromagnetnih emisij naprav v okolico (konduktivne in sevalne motnje). Rezultat tega dela je nov modulacijski postopek za 3f AC-DC pretvornik, ki na osnovi natančnega matematičnega modeliranja in z uvedbo višjih harmonikov v funkcijo prevajalnega razmerja, omogoča delovanje naprave s faktorjem moči ena brez uporabe merilnikov toka in napetosti [COBISS.SI-ID 15236630], [COBISS.SI-ID 15478550]. Raziskovalno delo je potekalo na posameznih pretvornikih [COBISS.SI-ID 1024063324] in na 4kW hibridnem pretvorniškem sistemu. Intenzivno smo se ukvarjali tudi z matematičnim opisom diskretnega dogodkovnega vodenja, implementiranega na FPGA vezjih [COBISS.SI-ID 14924310] in z izvedbo digitalnega tokovnega modulatorja, ki omogoča popolno digitalizacijo vodenja DC-DC pretvornikov [COBISS.SI-ID 15455766]. Za potrebe avtomobilske industrije je bil razvit večfazni DC-DC system moči do 16 KW, kjer je bila implementirana tokovna digitalna regulacija, zasnovana na meritvi integralov pod krivuljami tokov in/ali napetosti. Razvit je postopek merjenja reguliranih veličin, ki je bil izveden z napetostno krmiljenimi oscilatorji, ki so omogočili preprosto galvansko ločitev merilnih veličin od mikroračunalniškega vezja in preprosto meritev potrebnih integralov. Zaradi integralnega pristopa je bilo potrebno po vpeljati dinamično referenco, kar smo teoretično analizirali in eksperimentalno ovrednotili [COBISS.SI-ID 17671446].

Na področju aktuatorjev smo se ukvarjali z uvajanjem izmeničnih motorjev v mehatronske sisteme, kjer je temeljno usmeritev predstavljalo uvajanje novih postopkov vodenja, zasnovanih na hibridnih in dogodkovnih implementacijah klasičnih postopkov. Razvili smo tudi metode za vodenje, ki so zasnovane na uporabi neholonomskih modelov [COBISS.SI-ID 16326678]. Tako je bilo za asinhronski motor razvito vodenje z implicitnim (največji možni navor pri danem statorskem toku) vodenjem magnetenja rotorja [COBISS.SI-ID 15928086], [COBISS.SI-ID 16373526]. Takšno vodenje lahko potem razvrstimo med uveljavljene postopke FOC in DTC kot učinkovitejše oz. optimalne. Izsledke raziskav na področju vodenja motorjev smo aktivno prenašali v industrijsko prakso. Razvit in zgrajen je bil štirikvadrantni pretvornik, ki omogoča dvosmerni pretok moči med omrežjem in električnim motorjem in deluje z visokim faktorjem moči, pri čemer je vodenje izvedeno kot dogodkovno orientiran sistem. Izvršen je bil tudi prenos znanj s področja modelno orientiranega vodenja PMSM, kjer smo za izvedbo in preizkušanje uporabljali grafična orodja z možnostjo avtomatskega generiranja kode ter RCP (Rapid Control Prototyping), SIL (Software-in-the-loop) in HIL (Hardware-in-the-loop) pristope. V nadaljevanju smo raziskovali hibridne algoritme, kjer smo s poljem programabilnih logičnih vrat (FPGA) izvajali algoritme zasnovane na prediktivnem ocenjevanju sistemov s spremenljivo strukturo. Uporabljena je bila strategija sekvenčnega preklapljanja, tako kot se uporablja pri sinhronskih stroji s permanentnimi magneti. V primeru AC motornih pogonov smo v nasprotju z običajno vektorsko regulacijo, kjer ne upoštevamo lastnosti razsmernika za izvedbo same regulacije, predlagali regulacijo, kjer sta bila upoštevana model in stanje pretvornika. To je omogočilo boljšo dinamiko navora kakor tudi hitrejšo izvajanje algoritmov vodenja. Kot posledico takšnega pristopa lahko izpostavimo zmanjšano stikalno frekvenco in enostavnejšo izvedbo postopka vodenja. Razvit je bil tudi prediktivni regulator, zasnovan s teorijo drsnega režima, ki je bil oblikovan kot avtomat stanja znotraj FPGA polja. Tako zastavljen regulator navora in hitrosti je bil tudi eksperimentalno preverjen [COBISS.SI-ID 16609302].

Na področju haptičnega teleoperiranja smo program dela realizirali skladno s predvidevanji. Na enosnem eksperimentalnem sistemu smo potrdili izboljšave haptične vernosti vsled visoke frekvence tipanja in vodenja. Regulacijski algoritem za haptično teleoperiranje, izpeljan po postopku vodenja v drsnem režimu, uvaja princip pospeškovnega vodenja in modalno razčlenitev na dve neodvisni koordinati, ki se nanašata na vodenje gibanja in sile pri bilateralnem teleoperatorju. Z implementacijo na FPGA vezju [COBISS.SI-ID 16789526] zagotovimo visoko frekvenco tipanja in vodenja, s čimer lahko dosežemo praktično robustnost in visoko haptično vernost skaliranega bilateralnega teleoperiranja [COBISS.SI-ID 16563990]. Robustni algoritem vodenja smo

razširili na n-prostostnih stopenj, kar omogoča uporabo tudi na večosnih robotskih sistemih [COBISS.SI-ID 16800278]. Raziskave smo nadaljevali še v smeri psevdo brezsenzorskega haptičnega teleoperiranja, pri čemer lahko sistem realiziramo brez zunanega mehanskega senzorja, kar je še posebej zanimivo v robotski kirurgiji. Meritev položaja izvedemo s Halovimi senzorstvi, vgrajenimi v ohišje motorja, in t.i. PLL alfa-beta sledilnikom, ki bistveno poveča neobčutljivost na merilni šum in poenostavi algoritem zajemanja podatkov [COBISS.SI-ID 17176086] ter izboljša kvaliteto haptičnega teleoperiranja [COBISS.SI-ID 17041430].

Razvit je bil tudi postopek implementacije regulatorja, ki je deloval v drsnem režimu, v FPGA okolju. Uporabljen je bil postopek, ki je nezvezno regulacijo zamenjal z zvezno, kar je zagotovilo signale brez »drhtenja« pri enaki robustnosti sistema na motnje, ki se lahko pojavijo v sistemu. Visoko zmogljivo skalirano bilateralno teleoperiranje je bilo mogoče doseči le z uporabo FPGA vezij. Za te potrebe smo morali optimizacijo izvesti tako, da smo uporabili minimalno mogoče število vrat znotraj FPGA in pri tem nismo poslabšali regulacijskih odzivov. Predlagani algoritem je bil preverjen na 2- DoF laboratorijskem bilateralnem teleoperativnem sistemu [COBISS.SI-ID 16563990]. Raziskave smo izvajali tudi na področju samoučočih sistemov za generiranje komponent programskih jezikov iz ontologij [COBISS.SI-ID 16120086] in zajemanja znanja s spletnih strani [COBISS.SI-ID 17041686]. Razvili smo hibridni navzkrižni pristop za izvedbo in testiranje samoučočih sistemov ter ga aplicirali na področje medicinskih informacijskih sistemov [COBISS.SI-ID 512239160], [COBISS.SI-ID 16807702].

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

SLO

Znanstveno raziskovalno delo programske skupine je v obdobju 2009-2014 potekalo skladno z zastavljenimi načrti in cilji, ki so bili tudi v celoti doseženi, kar dokazuje veliko število objavljenih prispevkov v revijah z visokim faktorjem vpliva in uspešni prenosi znanj v industrijsko okolje.

Največ aktivnosti je bilo namenjenih razvoju naprednih algoritmov načrtovanja in vodenja ter prilagoditvam za prenos razvitih metod na industrijske platforme, pri čemer smo sisteme obravnavali kot hibridne, kar predstavlja novost v teoriji naprednega vodenja sistemov, kamor smo umestili tudi metodo neholomskega vodenja s področja optimalnega vodenja in postopkov.

Izsledke raziskav na področju vodenja motorjev smo aktivno prenašali v industrijsko prakso. Tako je bil razvit in zgrajen štirikvadrantni pretvornik za dvosmerni pretok energije med omrežjem in električnim motorjem, ki deluje z visokim izkoristkom in nastavljivim faktorjem moči. Izvršen je bil prenos znanj tudi s področja modelno orientiranega vodenja PMSM.

Na področju haptičnega teleoperiranja smo program dela realizirali na enoosnem eksperimentalnem sistemu, kjer smo potrdili izboljšave haptične vernosti vsled visoke frekvence tipanja in vodenja. Prav tako smo pokazali, da lahko s psevdo brezsenzorsko konfiguracijo sistema dosežemo kvalitetno haptično teleoperiranje. Zgradili smo dvoosni robotski eksperimentalni sistem z linearnimi motorji, s čimer smo eksperimentalno delo še razširili.

Za merjenje parametrov elektromehanskih relejev je bil razvit, izdelan in predan v uporabo merilnik za testiranje relejev, ki je zasnovan na virtualni instrumentaciji in omogoča avtomatsko in hitro merjenje električnih parametrov relejev skladno s standardi. Izdelali smo modele različnih pretvornikov, ki omogočajo študijo delovanja sistema z več izvori in bremenami. Pri eksperimentalnem delu smo uporabljali DSP in FPGA module. V skladu z načrtom so bili eksperimentalno verificirani doseženi teoretični rezultati na področju algoritmov upravljanja z energijo in pretokom moči za pretvornike, napajane z različnimi viri.

Raziskovalno delo je bilo usmerjeno tudi v razvoj univerzalne platforme za učenje nevronskega modela z uporabo globalnih optimizacijskih metod. Razvoj modelov in algoritmov na podlagi procesnih podatkov omogoča hitrejšo izvedbo in boljšo predpripravo kode za implementacijo v industrijsko opremo.

Razvite merilne metode na osnovi kvarčne oscilatorske strukture so preverjene z

eksperimenti in na prototipnih modelih. Najpomembnejša pridobitev raziskav so nova temeljna spoznanja, ki jih je mogoče aplicirati tudi na druge metode merjenja neelektričnih veličin. Na področju samoučečih algoritmov za inteligentne sisteme smo razvili pristope, ki omogočajo lažje in učinkovitejše učenje strojev-računalnikov, pri tem pa smo poseben poudarek namenili obdelavi besedil v naravnem jeziku, formalizaciji znanja, povezovanju nelinearnih dinamičnih sistemov in strojnega učenja ter oblikovanju inteligentnih sistemov.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014⁴

SLO

Bistvenih sprememb programa raziskovalnega programa v letu 2014 ni bilo, bila je le manjša sprememba v sestavi programske skupine.

Konec februarja je zaradi upokojitve zapustil programsko skupino dr. Peter Cafuta (5543). Sodelavec Milan Čurkovič (4529) je aprila po promociji doktorata prerazporejen iz tehnika v raziskovalca. Julija je zaradi prerazporeditve dela programsko skupino zapustil dr. Božidar Bratina (25094).

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek																				
1.	<table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>13440534</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td>SLO</td> <td>Visoko precizno vodenje servopogonov</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>High precision motion control of servo drives</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Opis</td> <td>SLO</td> <td>Raziskane so prednosti uporabe in izvedljivost vodenja električnih motorjev z uporabo zelo hitrih (MHz) preklapljanj namesto klasičnih ojačevalnikov. Predlagan je integriran pristop vodenja, ki temelji na pristopu dogodkovno orientiranega vodenja in ga je mogoče izvesti z digitalno logiko. Stikalni pretvornik združuje regulacijo toka in hitrosti v eno samo regulacijsko zanko. Navor obremenjevanja ocenjuje modelno referenčni opazovalnik. Algoritem vodenja je izveden na platformi FPGA.</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>In this paper, we investigate the advantages and feasibility of motor control using very fast (in megahertz) switching in place of traditional amplifiers. We also propose integrated motion control architecture based on discrete-event control approach to be implemented in digital logic at an equally high rate. A switching controller combines the current and motion feedback paths into a single loop. A model-based observer estimates the load torque. When compared to second-order controllers implemented with traditional amplifiers, the proposed design promises increased performance, better efficiency, and improved load estimation. Simple implementation makes concepts of switching control very attractive in motion-control systems like control of dc or ac servomotors. The control algorithm designed by the proposed approach can be easily implemented on field programmable gate array platforms.</td> </tr> <tr> <td>Objavljeno v</td> <td colspan="2">Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2009; Vol. 56, no. 10; str. 3810-3816; Impact Factor: 4.678; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.249; A'': 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Jezernik Karel, Rodič Miran</td> </tr> <tr> <td>Tipologija</td> <td colspan="2">1.01 Izvirni znanstveni članek</td> </tr> </table>	COBISS ID	13440534	Vir: COBISS.SI	Naslov	SLO	Visoko precizno vodenje servopogonov	ANG	High precision motion control of servo drives	Opis	SLO	Raziskane so prednosti uporabe in izvedljivost vodenja električnih motorjev z uporabo zelo hitrih (MHz) preklapljanj namesto klasičnih ojačevalnikov. Predlagan je integriran pristop vodenja, ki temelji na pristopu dogodkovno orientiranega vodenja in ga je mogoče izvesti z digitalno logiko. Stikalni pretvornik združuje regulacijo toka in hitrosti v eno samo regulacijsko zanko. Navor obremenjevanja ocenjuje modelno referenčni opazovalnik. Algoritem vodenja je izveden na platformi FPGA.	ANG	In this paper, we investigate the advantages and feasibility of motor control using very fast (in megahertz) switching in place of traditional amplifiers. We also propose integrated motion control architecture based on discrete-event control approach to be implemented in digital logic at an equally high rate. A switching controller combines the current and motion feedback paths into a single loop. A model-based observer estimates the load torque. When compared to second-order controllers implemented with traditional amplifiers, the proposed design promises increased performance, better efficiency, and improved load estimation. Simple implementation makes concepts of switching control very attractive in motion-control systems like control of dc or ac servomotors. The control algorithm designed by the proposed approach can be easily implemented on field programmable gate array platforms.	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2009; Vol. 56, no. 10; str. 3810-3816; Impact Factor: 4.678; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.249; A'': 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Jezernik Karel, Rodič Miran		Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS ID	13440534	Vir: COBISS.SI																		
Naslov	SLO	Visoko precizno vodenje servopogonov																		
	ANG	High precision motion control of servo drives																		
Opis	SLO	Raziskane so prednosti uporabe in izvedljivost vodenja električnih motorjev z uporabo zelo hitrih (MHz) preklapljanj namesto klasičnih ojačevalnikov. Predlagan je integriran pristop vodenja, ki temelji na pristopu dogodkovno orientiranega vodenja in ga je mogoče izvesti z digitalno logiko. Stikalni pretvornik združuje regulacijo toka in hitrosti v eno samo regulacijsko zanko. Navor obremenjevanja ocenjuje modelno referenčni opazovalnik. Algoritem vodenja je izveden na platformi FPGA.																		
	ANG	In this paper, we investigate the advantages and feasibility of motor control using very fast (in megahertz) switching in place of traditional amplifiers. We also propose integrated motion control architecture based on discrete-event control approach to be implemented in digital logic at an equally high rate. A switching controller combines the current and motion feedback paths into a single loop. A model-based observer estimates the load torque. When compared to second-order controllers implemented with traditional amplifiers, the proposed design promises increased performance, better efficiency, and improved load estimation. Simple implementation makes concepts of switching control very attractive in motion-control systems like control of dc or ac servomotors. The control algorithm designed by the proposed approach can be easily implemented on field programmable gate array platforms.																		
Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2009; Vol. 56, no. 10; str. 3810-3816; Impact Factor: 4.678; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.249; A'': 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Jezernik Karel, Rodič Miran																			
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek																			

2.	COBISS ID	16608790	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Prediktivni regulator trifaznega inverterja v drsnem režimu <i>ANG</i> FPGA-based predictive sliding mode controller of a three-phase inverter	
Opis	<i>SLO</i>	V prispevku je predlagan nov prediktivni tokovni regulator spremenljive strukture za trifazna bremena, napajana s stikalnim močnostnim pretvornikom. Zahtevani so robustnost na spremembe parametrov bremena, hiter odziv, zmanjšanje števila preklopov in enostavna izvedba. Za izpolnitev zahtev je uporabljen regulator v drsnem režimu, zasnovan kot končni avtomat stanj in izveden s programabilnim vezjem FPGA. Strategija preklapljanja, opisana z diagramom prehajanja stanj, zagotavlja minimalno število preklopov vej trifaznega močnostnega pretvornika, kar je potrjeno z rezultati simulacije in eksperimentom. Predlagana metoda vodenja je bila verificirana na primeru vodenja BLAC motorjev, kar pa ne omejuje njene širše uporabe tudi za drugačna izmenična bremena kot so usmerniki, razsmerniki ter asinhronski, sinhronski in reluktančni motorji. Predlagano vodenje je razvito, analizirano in izvedeno na FPGA vezju. Eksperimentalno je bilo verificirano v sklopu hitrostnega vodenja motornega pogona.	
	<i>ANG</i>	This paper proposed a novel predictive variable structure switching based current controller for a three phase load driven by a power inverter. The design specifications are robustness to load electrical parameters, fast dynamic response, reduced switching frequency, and simple hardware implementation. In order to meet previous specifications, a sliding mode controller has been developed, which is designed as finite state automata, and implemented with a field programmable gate array (FPGA) device. The switching strategy implemented within the state transition diagram provides for a minimum number of switches by the three phase inverter that is confirmed through simulation and experimental results. Its regulation using the proposed control law provides good transient response by the brushless ac motor control. However, this does not limit the wider applicability of the proposed controller that is suitable for different types of ac loads (rectifier and inverter) and ac motors (induction, synchronous, and reluctance). A new logical FPGA torque and speed controller is developed, analyzed, and experimentally verified.	
Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2013; Vol. 60, no. 2; str. 637-644; Impact Factor: 6.500; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.432; A'': 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Čurkovič Milan, Jezernik Karel, Horvat Robert		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	15236630	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Algoritem pulzno širinske modulacije za popravek faktorja premaknitve za trifazni usmernik, zasnovan na strukturi pretvornika navzdol <i>ANG</i> IDF-correction-based PWM algorithm for a three-phase AC-DC buck converter	
Opis	<i>SLO</i>	V članku je predstavljen algoritem pulzno širinske modulacije (PŠM) za trifazni usmernik za primer, ko sta v vhodnih faznih napetostih prisotna tretji in peti harmonik. Matematična analiza, ki je bila zasnovana na ustreznem dodajanju vpliva teh harmonskih komponent v funkcije prevajalnega razmerja, je omogočila delovanje usmernika s faktorjem premaknitve ena. Na osnovi teoretičnih izsledkov je predlagan algoritem PŠM, ki omogoča doseg delovanja usmernika s faktorjem premaknitve ena brez uporabe tokovnih merilnikov. PŠM algoritem je teoretično raziskan in opisan, njegova uporabnost pa je potrjena s simulacijo in eksperimentom.	

		ANG	This paper presents a pulsewidth modulation (PWM) algorithm for a three-phase ac-dc rectifier, where the third and fifth harmonics are indicated in the input phase voltages. A mathematical analysis, which includes this voltage harmonic's components, shows that the unity input displacement factor (IDF) can be reached by appropriate evaluation of duty-cycle functions. A PWM algorithm is proposed based on this developed theoretical achievement. This approach enables current sensorless unity IDF rectification. The PWM algorithm is investigated theoretically and verified by simulations and experiment.
	Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2011; Vol. 58, no. 8; str. 3308-3316; Impact Factor: 5.160; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.379; A": 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Milanovič Miro, Šlibar Primož
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	16563990	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izvedba regulacijskega algoritma v drsnem režimu za skalirano bilateralno teleoperiranje z FPGA vezjem
		ANG	FPGA implementation of sliding mode control algorithm for scaled bilateral teleoperation
	Opis	SLO	V članku smo predlagali regulacijski algoritem, izpeljan z metodo vodenja v drsnem režimu, v izvedbi na FPGA vezju. V postopku načrtovanja algoritma smo nezvezno vodenje nadomestili z zveznim. Tako smo dosegli delovanje brez neželenega drhtenja in hkrati ohranili praktično robustnost na motnje. Izvedba algoritma je tudi preprosta, pri čemer ne potrebujemo modela regulacijske proge. Za kvalitetno skalirano bilateralno teleoperiranje je potrebno zagotoviti tudi visoko frekvenco tipanja signalov in osveževanja regulacijske veličine. Zato smo regulacijski algoritem izvedli z FPGA vezjem. Predstavili smo optimizacijske pristope, s katerimi lahko minimiziramo potrebne strojne vire na FPGA vezju in optimiziramo regulacijski interval. Uporabili smo LabVIEW programski jezik za hitro gradnjo prototipov. Vse algoritme smo eksperimentalno preverili in potrdili z enosnim laboratorijskim sistemom za bilateralno teleoperiranje.
		ANG	This paper proposes a FPGA-based Sliding Mode Controller for scaled bilateral teleoperation. The control algorithm is derived by using the sliding mode control based design approach. The applied design procedure replaces a discontinuous control with a continuous one. Thus, it guarantees chattering-free performance whilst retaining practical robustness regarding disturbances, and provides easy model-free implementation. A high control rate is strongly required in order to achieve high-performance scaled bilateral teleoperation. Hence, the control algorithm is implemented by the FPGA. In order to design a sufficient logic circuit for the FPGA, general optimization approaches are presented that aim to minimize hardware resources, and to optimize the control rate. The design applies high-level programming language (LabVIEW) for rapid prototyping. The presented algorithms were validated by the 2- DoF laboratory bilateral teleoperation system.
	Objavljeno v		The Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial informatics; 2013; Vol. 9, iss. 3; str. 1291-1300; Impact Factor: 8.785; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.345; A": 1; A': 1; WoS: AC, EV, IJ; Avtorji / Authors: Hace Aleš, Franc Marko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	14387222	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Spletni laboratorij s področja energetske elektronike in vodenja

		sistemov: načrtovanje, izvedba in evaluacija tečaja mehatronike
	ANG	Power engineering and motion control web laboratory: design, implementation, and evaluation of mechatronics course
Opis	SLO	V sklopu projekta »Elearning Distance Interactive Practical Education« se je združilo 13 partnerjev iz 11 evropskih držav z namenom izgradnje oddaljenega laboratorija s področja energetske elektronike in vodenja sistemov. Oddaljeni laboratorij ponuja 18 samostojnih spletnih tečajev, ki so nadgrajeni z oddaljenimi eksperimenti. V prispevku je opisan cilj projekta, organizacija in tudi realizacija tečaja mehatronike, ki pojasnjuje najpomembnejše vidike vodenja sistemov, od modeliranja, simulacij, načrtovanja vodenja do eksperimentalnega preverjanja in primerjave med različnimi regulatorji.
	ANG	During the E-learning Distance Interactive Practical Education project, 13 partners from 11 European countries joined together to build a power engineering and motion control remote laboratory, which would offer 18 complete online courses with remote experiments and high-quality documentation, to students from the universities of all participating partners. The major benefit of this project is the possibility of sharing expensive equipment and lessening the burdens of technical and organizational problems. This paper outlines the project's goals, organization, and, as an example, realization of one of the project's modules. The described module is a mechatronics motion control course, which explains the most important aspects of motion control design, from modeling, simulations, control design, experimental validation, and comparison between various controllers. The technical solutions, educational strategy, and realization details are given for the module. The pilot testing of the module was performed to assess the module and find out what the students' personal attitude concerning e-learning and remote experiments. The results of testing are presented and discussed.
Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on industrial electronics; 2010; Vol. 57, no. 10; str. 3343-3354; Impact Factor: 3.439; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.081; A": 1; A': 1; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Rojko Andreja, Hercog Darko, Jezernik Karel
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	17749782 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Razvoj in validacija komponent in podsistemov hibridnega pogonskega sistema za električno letalo
	ANG	Development and validation of hybrid propulsion system components and sub-systems for electrical aircraft
		Projekt HYPSTAIR obravnava razvoj, verifikacijo in validacijo komponent serijskega hibridnega pogonskega sistema za majhna letala. Serijski hibridni pogonski koncept predstavlja trenutno najboljši sistem glede na izkoristek goriva in dosežene preletene razdalje pri lahkih letalih. Sistem je obravnavan kot testna platforma električnega letala, z električnim generatorjem na krovu, ki se uporablja za povečanje dosega letala, ko je to potrebno (prazne baterije). Zaradi omejitve shranjevanja energije v ustreznih baterijah je potrebno razširiti sistem z ICE generatorjem (motor z notranjim zgorevanjem), ki zagotavlja dovolj učinkovito

Opis	SLO	<p>proizvodnjo električne energije potrebne za letenje.</p> <p>V projektu je obravnavano konceptualno načrtovanje vseh komponent hibridnega pogona in sicer generatorja, motorja, usmernika, razsmernika, baterije in upravljalne enote. Pri načrtovanju pogonskega sklopa bo poseben poudarek posvečen varnostnim konceptom (safety integration level).</p> <p>V okviru projekta bo tudi razvit namenski vmesnik človek stroj, ki bo omogočil enostavno upravljanje celotnega pogonskega sklopa. Zaradi varnostnih zahtev bo pogonski sistem zgrajen z redundanco.</p> <p>Vse komponente sistema bodo na ustrezen način preskušene in certificirane. Zaradi pomanjkanja ustreznih standardov bodo v vse postopke vključene evropske inštitucije (EASA), ki bodo sodelovale pri nastajanju standardov na področju hibridnih pogonskih sistemov za lahka letala.</p>		
	ANG	<p>The HYPSTAIR project concerns the design, verification and validation of components of a serial hybrid propulsion system for small aircraft testing platform. A serial hybrid aircraft concept currently represents the best efficiency versus range compromise in the light aviation segment. It can be considered as an electrically powered aircraft, with an on board generator used for extending the range when necessary. Limitations of current electric energy storage technology make an electric only propulsion system as yet unsuitable for long range flying, therefore an on board ICE generator provides a weight efficient, if somewhat less energy efficient, power generation solution.</p> <p>The project will involve conceptual design of the hybrid propulsion system components, namely the generator, motor, inverter, batteries and control unit. The components will be sized and designed by considering the performance and energy efficiency of the complete airframe propulsion system, and will be tested in a laboratory environment.</p> <p>A dedicated human machine interface will be designed that will allow simple operation of a complex hybrid system. Together with the reliability of electrical motors and the use of dual energy sources, safety of flying as provided by a system built upon these components will be improved.</p> <p>All components will be designed in a way that they will meet the relevant safety and certification standards. As there currently exist no regulations for aviation hybrid drive systems, defining these in collaboration with the authorities will be an important contribution of the project, paving the way for hybrid and electric technologies to be introduced to the market.</p> <p>These efforts will help create a competitive supply chain for hybrid drive components and reduce the time to market of such innovations.</p>		
	Šifra	F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Objavljeno v	Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko; 2013; [108] str.; Avtorji / Authors: Milanovič Miro, Rodič Miran, Truntič Mitja		
Tipologija	2.13 Elaborat, predstudija, študija			
2.	COBISS ID	16519958	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	Vodenje mehatronskih sistemov z avtomatom stanj	
		ANG	Finite-state machine control of mechatronic systems	
			<p>Načrtovanje postopkov vodenja in algoritme za kompleksne procese lažje opišemo oz. okarakteriziramo s pojavom diskretnih dogodkov kot z diferencialnimi enačbami, izpeljanimi na osnovi fizikalnih zakonov. Takšna zasnova je namenjena bolj za opis procesov v simbolni obliki kot pa v številski obliki. Končni cilj je združitev računalniških konceptov s postopki vodenja z namenom, da bi razvili pomembno teorijo za vodenje močnostnih pretvornikov, procesnih krmilnikov, vgrajenih sistemov in pogonskih sistemov gibanja. Takšno projektiranje izboljšuje kakovost</p>	

Opis	SLO	strojnoprogramske opreme v kratkem času razvoja. Načrtovalec mora le navesti akcije, dogodke in prehode v smislu enostavnih nalog in tabel. V splošnem je tako načrtovanje zelo strukturirano in učinkovito, programske naloge zlahka razumljive in diagnostika napak se enostavno vključi v strukturo programa. Izvedljivost tega pristopa je uporabljena na primeru avtomatskih drsnih vrat. Predstavljen je modularni avtomat stanj, sistem »dogodek - pogoji - zvršni sistem«, generiranje gibanja, nadzor gibanja z estimacijo bremena in primer sistema z digitalnim signalnim procesorjem. Podrobno so obdelane omejitve in lastnosti vsake tehnike in predstavljena je tabela stanj z zmožnostjo predstavitve vzporednih asinhronih sekvenčnih procesov. Rezultati tega dela so nastali v sodelovanju z mladim raziskovalcem iz industrije in bodo uporabljeni v praksi.	
	ANG	The design of control concepts and algorithms for complex processes that are characterized more by the occurrence of discrete events than by differential equations representing the laws of physics is described. Such design is intended for process description in a symbolic, rather than numeric form. The goal is to combine concepts from both computer science and control, in order to develop a meaningful theory for controlling power electronics, process controllers, embedded systems and motion drive systems. Such design improves the firmware quality in a short development time. A designer would have only to specify the actions, events and transitions in terms of simple functions and tables. Generally, such design is highly structured and efficient, programming tasks are readily comprehended and fault diagnostics are easily included into the program structure. An application to the automatic sliding door illustrates the feasibility of this approach. The modular finite state machine, event-condition-action system, motion generation, motion control with load estimation and an example of a digital signal processor system is presented. The limitations and attributes of each technique are discussed, and a state table format is presented with the capability of representing parallel asynchronous sequential processes. The results were obtained from work with young researcher from industry and will be implemented in practical work.	
Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka		
Objavljeno v	SAGE Publ.; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I, Journal of systems and control engineering; 2012; Vol. 226, iss. 10; str. 1394-1409; Impact Factor: 0.667; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.364; WoS: AC; Avtorji / Authors: Hanžič Franc, Jezernik Karel		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	12321563	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Simulacija izvedbe pulznega MIG/MAG varjenja s tiristorskim virom toka	
	ANG	Simulation of pulsed MIG/MAG welding process by thyristor current source	
Opis	SLO	Na osnovi predhodno izdelane simulacije je bil narejen funkcionalni prototip varilnega aparata za Varstroj Lendava, pod imenom VARMIG 600 T44 Synergy, ki je imel sekundarno regulacijo varilnega toka preko trifaznega polno krmiljenega tiristorskega mosta. Krmilje je bilo izvedeno z mikroprocesorsko enoto, ki omogoča tudi shranjevanje ustrezne tehnološke baze za varilne programe.	
	ANG	Based on the previously developed simulation of thyristor based converter the functional prototype of welding machine was built for company Varstroj Lendava, under the name VARMIG 600 T44 Synergy, which had a secondary control of the welding current through a three phase thyristor converter. The control was performed with a microprocessor that	

		allows to store adequate technological base information for welding programs.
	Šifra	F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka
	Objavljeno v	Celjski sejem; Stanje in trendi razvoja v varilni tehniki; 2012; Str. 23-26; Avtorji / Authors: Langus Danijel, Köveš Arpad, Polajnar Ivan, Golob Marjan
	Tipologija	1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci
4.	COBISS ID	15281430 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Implementacija diskretno dogodkovne regulacije izmeničnih motorjev s trajnimi magneti brez ščetk
		<i>ANG</i> Implementation of discrete event control for brushless AC motor
	Opis	<i>SLO</i> Študija opisuje implementacijo hibridne strategije vodenja, ki je uporabljena za vodenje sinhronskih izmeničnih motorjev s trajnimi magneti (PMSM, BLAC). Hibridno vodenje je splošen pristop za preklopno vodene hibridne sisteme (HS). Ta razred HS vključuje zvezni proces, ki ga vodi diskretni krmilnik s končnim številom stanj. Globalna stabilnost sistema je prikazana z uporabo funkcije Lyapunova. Le ta vključuje element, ki kaznuje večanje energije regulacijskega pogreška navora in statorskega toka, kar izboljšuje stabilnost delovanja. Zaprtizančni sistem, ki uporablja predlagano vodenje, daje dobre odzive v primeru prehodnih pojavov. Razvit je bil nov logični regulator toka (navora) z FPGA, ki temelji na teoriji Lyapunova. Sledenje referencam hitrosti in navora (toka) je prikazano s simulacijskimi in eksperimentalnimi rezultati.
		<i>ANG</i> This study presents the implementation of a hybrid control strategy that is applied to a brushless AC (BLAC) motor drive. Hybrid control is a general approach for control of switching based hybrid systems (HS). This class of HS includes a continuous process, controlled by a discrete controller with a finite number of states. The overall stability of the system is shown with the use of Lyapunov technique. The Lyapunov functions contain a term that penalises incremental energy of control error, torque and stator current, which enhances the stability. The closed loop system, with the proposed control law, provides good transient response and good regulation of the BLAC motor control. A new logical field programmable gate array current (torque) controller is developed, based on the Lyapunov theory. The reference tracking performance of speed and torque (current) is demonstrated in terms of transient characteristics through simulation and experimental results.
	Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v	Institution of Engineering and Technology; IET power electronics; 2011; Vol. 4, iss. 7; str. 767-775; Impact Factor: 1.621; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.323; WoS: IQ; Avtorji / Authors: Horvat Robert, Jezernik Karel
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	269260288 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Robustno bilateralno teleoperiranje s programirljivim vezjem FPGA
		<i>ANG</i> Robust Bilateral Teleoperation with Programmable Circuit FPGA
		V disertaciji je predstavljen regulacijski algoritem za skalirano bilateralno vodenje, ki je načrtovan v virtualnem modalnem prostoru in izpeljan po postopku vodenja v drsnem režimu. Takšen algoritem zagotavlja delovanje brez drhtenja, robustnost na motnje sistema in omogoča enostavno implementacijo. Poleg tega omogoča tudi skalirano bilateralno teleoperiranje, kar je potrebno, kadar gospodar in suženj nista enaka mehanizma. Za delovanje potrebuje regulacijski algoritem informacijo o

Opis	SLO	<p>položaju gospodarja/sužnja in zunanjih silah, ki delujejo na sistem. Predlagana je uporaba analognih Hallovih senzorjev, ki so v današnjih časih že vgrajeni v ohišje nekaterih motorjev. S takšnimi senzori je mogoče zagotoviti ustrezno informacijo o položaju in hitrosti. Predstavljeni so algoritmi za estimacijo položaja in hitrosti. Izvedena je implementacija regulacijskega algoritma na FPGA vezju. Za FPGA vezje je značilna velika računrska moč in paralelno izvajanje procesov, zaradi česar je mogoče doseči visoke frekvence vodenja. To se je že izkazalo kot pogoj za vrhunske sisteme vodenja. Za takšne sisteme so potrebne visoke lomne frekvence implementiranih filtrov. Ti filtri so praviloma vključeni za filtriranje vhodnih signalov, za meritev hitrosti in v nekaterih primerih tudi za estimacijo zunanje sile. Visoke lomne frekvence so pogoj tudi za zmogljivo bilateralno teleoperiranje. Zaradi omejenih strojnih virov FPGA vezja je pri zahtevnih sistemih potrebno skrbno načrtovati konfiguracijo logičnega vezja. V nasprotnem primeru je lahko razpoložljiva količina strojnih virov premajhna. V disertaciji je predstavljena načrtovalska metodologija, ki omogoča optimizacijo strojnih virov FPGA vezja in časa izvedbe procesov. Poleg tega takšna načrtovalska metodologija omogoča kratek čas načrtovanja. Predlagana izvedba zmogljivega bilateralnega teleoperatorja, ki vključuje analogne Hallove senzorje in FPGA vezje, je eksperimentalno preizkušena. V ta namen je bil izdelan preprost eksperimentalni sistem. Eksperimenti vključujejo različne scenarije (prosto gibanje, dotik mehkega objekta in dotik trdega objekta) in različne vrednosti regulacijskih parametrov. Predlagana izvedba omogoča zmogljivo skalirano bilateralno teleoperiranje s kvalitetnim prenosom oddaljenega občutka dotika.</p>
	ANG	<p>The dissertation presents a control algorithm for scaled bilateral control that is designed in the virtual modal space and derived by using the sliding mode approach. This control algorithm ensures chattering free performance, robustness to the system disturbances and it allows easy implementation. Moreover, it allows scaled bilateral teleoperation that is necessary when the master device and the slave device are not the identical robot mechanisms. The control algorithm requires information of the master/slave positions and the external forces that act on the system. For position and velocity estimation the use of analog Hall sensors, which are nowadays already built into the motor housing, are proposed. Such sensors can provide sufficient position and velocity information. The algorithms for position and velocity estimation are presented. The robust control algorithm for bilateral teleoperation is implemented by the FPGA circuit. The FPGA circuits are known for its high computational power and parallel execution of the processes that allows achieving high control rates. This was already recognized as a necessity for high end control systems. This allows setting high cut off frequencies of the implemented filters. These filters are usually utilized to filter input signals, for speed measurement and in some cases also for external force estimation. High cut off frequency is required for high performance bilateral teleoperation. Hence, the FPGA circuit has rather limited hardware resources; logic circuit design may present a challenging task. Such design has to be carefully designed, especially for complex control systems; otherwise, the provided hardware resources might be insufficient. This thesis presents the design methodology, which allows the optimization of the hardware resources and the execution time of implemented processes. Moreover, such a design methodology allows a short design time. Performance of the proposed bilateral teleoperator, that includes analog Hall sensors and FPGA circuit, is experimentally examined. For this purpose, a simple experimental system was utilized. The experiments involve different scenarios (free motion, touching soft obstacles and touching hard obstacles) and different values of control parameters. The proposed bilateral teleoperator allows high-performance scaled bilateral teleoperation with high-haptic fidelity.</p>

Šifra	F.04	Dvig tehnološke ravni
Objavljeno v	M. Francj; 2013; XXIII, 157 str.; Avtorji / Authors: Franc Marko	
Tipologija	2.08	Doktorska disertacija

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

1. V obdobju 2009 - 2014 so člani programske skupine aktivno sodelovali pri organizaciji in izvedbi tradicionalnih robotskih tekmovanj. Tako smo tudi v lanskem letu 13. maja organizirali celodnevno prireditev Mariborski robotski izziv, ki združuje državna tekmovanja v robotiki za osnovnošolce, srednješolce in študente. Državno tekmovanje ROBOsled za osnovnošolce se tradicionalno izvaja skupaj z državnim tekmovanjem za študente in dijake RoboT, ki smo ga izvedli že 15-letno zapored. Že petič smo organizirali državno tekmovanje RoboCupJunior v razredu Reševanje za osnovnošolce in za dijake srednjih šol. Tekmovanje RoboCupJunior se izvaja po pravilih svetovnega robotskega tekmovanja za osnovnošolce in srednješolce. V vseh kategorijah je v letu 2014 sodelovalo okrog 170 učencev OŠ (spremljalo jih je 74 mentorjev) in okrog 150 dijakov SŠ (spremljalo jih je 25 mentorjev). V predtekmovanjih po regijah so bile te številke še nekajkrat višje. Sodelovalo je tudi nekaj ekip iz Avstrije, Slovaške in Hrvaške [COBISS.SI-ID 13577499].

2. Soudeležba pri izvedbi zimskih počitniških šol v obdobju 2009 - 2014 za dijake SŠ.

4. Sodelovanje na sejnih (IFAM, MOS).

5. Aktivnost članov v Društvu avtomatikov Slovenije, ki je nacionalni zastopnik IFAC organizacije.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti³

SLO

Pomen dela programske skupine za razvoj znanosti je predvsem v razvoju novih postopkov vodenja in načrtovanja (sistemov in vodenja), ki smo jih objavili v znanstveni in strokovni periodiki ter so bili predstavljeni na znanstvenih in strokovnih konferencah. Na ta način smo prispevali k svetovni zakladnici znanja.

Pomemben prispevek predstavlja tudi uporaba novih sistemov in naprav, ki omogočajo nove pristope k reševanju problemov vodenja in načrtovanja ter tako pospešujejo razvoj. Ključnega pomena so bili sinergijski učinki povezovanja več področij: elektrotehnike, strojništva in računalništva, kar predstavlja ena od temeljnih lastnosti mehatronike. Prispevek znanosti, ki smo ga prepoznali pri objavljanju naših raziskovalnih dosežkov v svetovni periodiki, je zagotovo uvajanja informacijsko-komunikacijske tehnologije v postopke vodenja, kar ima za posledico boljše zajemanje, opisovanje in prikazovanje podatkov, kakor tudi večjo učinkovitost mehatronskih naprav. Rezultati naših raziskav s področja močnostene elektronike, kjer so bile uvajane novosti pri regulaciji in vodenju pretvorniških naprav so prav tako potrjeni v svetovni periodiki z zelo visokimi faktorji vpliva. Hitra obdelava podatkov v realnem času je zaradi narave procesov implementirana v haptičnih napravah za hitro bilateralno teleoperiranje, kar tudi štejeemo za odličen prispevek k razvoju mehatronskih sistemov.

Predlagani cilji programa na področju nadzora in diagnostike so bili izvedeni predvsem v širjenju znanja in vključevanju naprednih algoritmov na ustrezne tehnološke platforme z željo izboljšave in racionalizacije delovanja sistemov. S povezavo nadzornih funkcij klasičnih SCADA sistemov in ločenih sistemov (sprotno zaznavanje napak) na eni strani in poslovnim nivojem na drugi, je bilo mogoče pokazati izboljšave za hitrejša odziva in ukrepanja odgovornih na vseh nivojih odločanja. Prav tako je z ustreznimi funkcijami nadzornih sistemov mogoče doseči višjo stopnjo varnosti in zanesljivosti ter preventivno ukrepati z manj zastoji. Posledično je mogoče doseči višjo produktivnost sistemov. Ocenjujemo, da je naše delo na tem področju zelo dober prispevek k boljši teoretični povezljivosti posameznih pristopov ter dodatno omogoča praktične izvedbe sistemov za napredno vodenja sistemov in odkrivanje napak.

Naše delo v preteklem obdobju je bilo prepoznano kot zelo inovativno, zaradi česar smo bili povabljeni in vključeni v mednarodne razvojne konzorcije za razvoj električnih avtomobilov na vodikovih platformah, za razvoj hibridnega plinskega vozila z električnim motorjem z dvojnimi rotorjem, ki je nadomestil klasični mehanski menjalnik pri avtomobilih in v razvoj serijskega hibridnega pogonskega sistema, ki bo uporabljen v hibridnem letalu.

V primeru programske skupine predstavljajo tako prispevek k znanosti ne samo razvite metode in postopki, temveč tudi metode načrtovanja in načini predstavitve rezultatov.

ANG

The importance of the program group work for the development of science lies predominantly in the development of new control and design approaches (of systems and control), which were published in scientific and professional journals and presented at scientific and professional conferences. In this way we contributed to the world's knowledge treasury.

An important contribution was also given by the use of new systems and devices that enable new approaches to solving problems of control and design, thus accelerating the scientific advance. The synergistic effects of combining different professional fields as are: electrical, mechanical and informatics engineering, which represents one of the fundamental property of mechatronics, was of crucial importance. The important contribution to scientific advance that we recognized in publishing of our research results in journals worldwide, is certainly the introduction of information and communication technologies into the control processes, resulting in better capturing, describing and displaying of data, as well as improved efficiency of mechatronic devices. Our research in the field of the power electronics, where new approaches to the modulation and control of power electronics converters are introduced, were confirmed by publications in international journals with high impact factor. Rapid data processing in real time is, due to the nature of the processes, implemented in haptic systems for rapid bilateral teleoperation, which is also considered as a great contribution to the development of mechatronic systems confirmed by publications in globally recognized journals with high IF. The proposed objectives of the program for monitoring and diagnostics were carried out mainly by the dissemination of knowledge and integration of advanced algorithms into the relevant technology platforms with a desire to improve and rationalize the operation of systems. By connecting the supervisory functions of traditional SCADA systems and separate systems (real time fault detection) on the one hand and the business level systems, on the other, it was possible to show improvements in terms of faster responses and actions at all levels of decision making.

Likewise, with the use of adequate functions of supervisory systems, higher levels of safety and reliability can be achieved. Also preventive actions can be executed with less congestions and consequently it is possible to achieve higher productivity of the systems. We believe that our work in this area represents significant contribution to improving the theoretical connectivity of various approaches, and provides an additional support to the practical implementation of systems for advanced control and fault detection.

Our work in the previous period was identified as a very innovative and we have therefore been included in the international development consortias for the development of electric cars on hydrogen platforms, for the development of hybrid gas vehicle with an electric motor with double rotor, which can replace the traditional manual gearbox and for the development of a series hybrid power train, which will be implemented in a hybrid aircraft.

In the case of our research group it can be indicated that not only developed methods and procedures, but also design methods and ways of presenting the results, can be considered as contributions to science.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Razvoj in vključevanje naprednih algoritmov vodenja postopkov načrtovanja, informacijsko komunikacijskih tehnologij, vgrajenih regulacijskih sistemov, naprav energetske elektronike, senzorjev in merilnih tehnik, sistemov za diagnostiko napak in sprotno obdelavo podatkov v hitro razvijajočo se industrijsko opremo ima pomembno vlogo pri dvigu stopnje avtomatizacije in razvoju visoko tehnoloških procesov v Sloveniji. Raziskave, analiza in razvoj novih tehnologij so na področju vodenja sistemov z vključevanjem in nadgradnjo s sistemi za nadzor in zaznavo napak doprinesle k prenosu novih tehnologij v industrijo in gospodarstvo.

Predlagan program je posegel na področje mladih, visokih tehnologij tako v smislu njihovega

razvoja kakor tudi prenosa v praktično rabo. Program je s tem neposredno pripomogel k dvigu ravni in konkurenčnosti gospodarskih subjektov v smislu novih proizvodov z visoko dodano vrednostjo. Razvoj na tem področju bo nujno generiral tudi nova delovna mesta z višjo dodano vrednostjo. Program je neposredno in sistematično razvijal visoke tehnologije, pridobival in kopičil kritična znanja ter izobraževal kadre, ki bodo omogočili nadaljevanje tovrstnega dela v prihodnosti, kar pa je ključnega pomena za dvig dodane vrednosti slovenskih proizvodov in s tem splošnega ekonomskega razvoja.

Raziskave so potekale tudi na področju izkoriščanja alternativnih in obnovljivih virov energije, kar bo imelo za rezultat manjše izpuste CO₂ in s tem pozitivne učinke na varovanje okolja ter kvaliteto življenja. Delo je potekalo tudi na področju električnih in hibridnih vozil, ki predstavljajo prihodnost osebne in tovornega prometa ter s tem nove možnosti za ugodno pozicioniranje slovenskih podjetij na svetovnem tržišču.

Pomembna je bila tudi diseminacija pridobljenih znanj s področja naprednih tehnologij v gospodarsko okolje in delo na popularizaciji znanosti, še posebno na področju tehnike in naravoslovja.

ANG

Development and integration of advanced control algorithms, design methods, information and communication technologies, embedded control systems, power electronics devices, sensors and measurement techniques, systems for fault diagnostics and prompt processing of data into the rapidly evolving industrial equipment plays an important role in raising the level of automation and the development of high technology processes in Slovenia. Research, analysis and development of new technologies in the field of control systems by integrating and upgrading them with monitoring and error detecting systems contributed to the transfer of new technologies into the industry and the economy.

The proposed program interfered with the area of new high technologies, both in terms of their development, as well as their transfer into practical use. The program thus directly contributed to raising of the technological level and competitiveness of economic subjects in terms of introducing new products with high added value. Developments in this field will certainly generate new jobs producing higher added value products. The program directly and systematically developed high technologies, acquired and accumulated critical knowledge and trained staff, which will enable the continuation of such work in the future, which is crucial for raising value added of Slovenian products and thus overall economic development.

Research was also conducted on the exploitation of alternative and renewable energy sources, which will result in lower CO₂ emissions and thus present a positive impact on the environment and quality of life. Work was also conducted in the field of electric and hybrid vehicles, which represent the future of passenger and freight transport as well as new opportunities for favorable positioning of Slovenian companies on the world market.

10. Zaključna mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹¹

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	165
bolonjski program - II. stopnja	38
univerzitetni (stari) program	168

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
32712	Matej Babič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29878	Robert Horvat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32575	Franc Hanžič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

4529	Milan Čurkovič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Bojan Ploj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
9798	Jože Korelič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32201	David Lukman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34146	Marko Franc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32138	Igor Pernek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30952	Sandi Pohorec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29044	Jure Čas	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28427	Simon Kocbek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30739	Gregor Škorc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
25428	Aljaž Kapun	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25641	Miljenko Križmarić	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
25425	Mateja Verlič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26526	Miroslav Palfy	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25094	Božidar Bratina	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25427	Mitja Truntič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23371	Darko Hercog	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
23807	Igor Poljanšek	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Konstantinos L. Kollias	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Daniel Moran Gueimond	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Andro Glamnik	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	RRodrigo Castro Fernand	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
22699	Gregor Štumpf	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Aleksander Ačko	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
8633	Marijan Španer	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Vladimir Hunjadi	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij**Dr.** - Doktorat znanosti**MR** - mladi raziskovalec**11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
29878	Robert Horvat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
32201	David Lukman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	F - Drugo	
32138	Igor Pernek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
30952	Sandi Pohorec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
28427	Simon Kocbek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
25428	Aljaž Kapun	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
25425	Mateja Verlič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

26526	Miroslav Palfy	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
25094	Božidar Bratina	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
25427	Mitja Truntič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	

Legenda zaposlitev:

- A - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
- B - gospodarstvo
- C - javna uprava
- D - družbene dejavnosti
- E - tujina
- F - drugo

12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
34146	Marko Franc	A - raziskovalec/strokovnjak	10	
0	Mirsad Čosović	C - študent - doktorand	02	
0	Senad Huseinbegović	C - študent - doktorand	02	
0	Carlos Restrepo Patino	D - podoktorand	08	
0	Antonio Leon	C - študent - doktorand	06	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C - študent - doktorand iz tujine
- D - podoktorand iz tujine

13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

1. HYPSTAIR: (FP7 AAT-2013-RTD-1) "Razvoj in validacija komponent in podsistemov hibridnega pogonskega sistema za električno letalo", koordinator projekta: Pipistrel d.o.o. Ajdovščina, udeleženec v projektu: Univerza v Mariboru, FERI, vodja: dr. M. Milanovič, : 01.09.2013-01.03.2016.
2. Hi-CEPS: (FP6 TIP5-CT-2006-031373) "Visoko integrirani hibridni električni pogonski sistem vozil z notranjim zgorevanjem", koordinator projekta: Centro Ricerche Fiat, udeleženec v projektu: Univerza v Mariboru, FERI, vodja: dr. M. Milanovič, : 01.09.2006-01.07.2011.
3. HySYS: (FP6 SES6 - 019981) " Razvoj komponent za hibridno vozilo z gorivno celico", koordinator projekta: Daimler AG, udeleženec v projektu; Univerza v Mariboru, FERI, vodja: dr. M. Milanovič, projekta: 01.12.2005-30.11.2009, projekt podaljšan z aneksom do 30. 11. 2010.
4. NeReLa: Izgradnja mreže oddaljenih laboratorijev univerz in strokovnih šol (543667-TEMPUS-1-20131-RS-TEMPUS-JPHES), partnerji v projektu, dr. A. Rojko, 2013-2016.
5. ELLAN : Evropsko omrežje za aktivno življenje starejših (39547-LLP-1-2013-F1-ERASMUS-ENW), partnerji v projektu, dr. P. Kokol, 2013-2016.

6. SustEner: Izobraževanje za zeleno okolje (CZ/11/LLP-LdV/TOI/134002), partnerji v projektu, dr. A. Rojko, 2011-2014.
7. E-PRAGMATIC: E-učenje in praktični tečaji iz mehatronike in alternativnih tehnologij v industriji (510586-LPP-1-2010-1-SI-LEONARDO-LNW), nosilci projekta, dr. A. Rojko, 2010-2012.
8. MeRLab: Inovativni oddaljeni laboratorij za e-poučevanje mehatronike (LLP-LdV-TOI-2007-SI-16), partnerji, dr. K. Jezernik, 2008-2009.
9. IRMA: Mednarodna raziskava za izboljšave v proizvodnji (LLP-KA1-SCR / 2007-1990 - IRMA), partnerji-podizvajalci, dr. A. Hace, 2008-2009.
10. STECET: Znanost in tehnologija- Evropsko sodelovanje v izobraževanju (518206-LLP-1-2011-1-BE-ERASMUS-EAM), partnerji v projektu, dr. A. Rojko, 2011-2012.
11. SI-HU ECO-HUB (2011-2014): Informacijsko in izobraževalno eko-vozlišče za podporo malim in srednje velikim podjetjem pri povezovanju, inoviranju, razvoju in trženju okolju prijaznih izdelkov, procesov in storitev, partnerji v projektu, dr. M. Zorman, 2011-2014.
12. SI-AT ESSR ExportCoop SEE: Skupni nastop na izbranih trgih držav jugovzhodne Evrope s sodelovanjem podjetij iz avstrijske Koroške in Slovenije, projektni partnerji-podizvajalci, dr. M. Zorman, 2011-2015.
13. EUREKA E! 4571 Neuro-Temp: Nov pristop kontrole procesa temperature na osnovi metod mehkega računanja, partnerji v projektu, dr. B. Tovornik, dr. N. Muškinja, 2009-2012.
14. BI-BiH/08-09: Tehnike mehkega računanja v mobilni robotiki, dr. K. Jezernik, 2008-2009.
15. BI-HU/09-10-002: Dogodkovno krmiljen robotski sistem v povezavi z upravljanjem življenjskega cikla proizvodnih informacij, dr. K. Jezernik, 2009-2010.
16. BI-UKR/09-10-014: Daljinsko vodeni laboratorij za raziskavo fizičnih lastnost večplastnih nanosistemov s "spin-dependent electron scattering" metodo, dr. R. Šafarič, 2009-2010.
17. BI-SR/10-11-021: Razvoj naprednega industrijskega mehatronskega produkta in validacija njegovega prostorskega analitičnega modela z eksperimentom in računalniškimi simulacijami, dr. A. Hace, 2010-2011.
18. BI-RO/12-13-015: Tehnike za simulacijo in vodenje robotov v minimalno invazivni kirurgiji, dr. A. Hace, 2012-2013.
19. BI-BA/12-13-022: Pogonski sistemi za električna in hibridna vozila, dr. M. Milanovič, 2012-2013.
20. BI-FI/12-13-015: Izboljšanje varnosti pacientov s pomočjo podatkovnega rudarjenja – MIPAS, dr. P. Kokol, 2012-2014.
21. CEEPUS (CIII-RO-0202): Izvajanje in uvedba sistemov e-učenja na študijskem področju proizvodnih tehnologij v srednjeevropski regiji, dr. N. Muškinja, 2013-2014.
22. CEEPUS (CII-CZ-0404 -01-1011): Kibernetika in moderne regulacijske metode, koordinacija programa, dr. N. Muškinja, 2010-2012.

14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

1. KC SURE - Napredni sistemi učinkovite rabe električne energije, <http://www.sure.si>, dr. M. Rodič.
2. KC STV – Kompetenčni center za sodobne tehnologije vodenja, <http://www.kcstv.si>, dr. M. Golob.
3. Haptični vmesniki v industriji, industrijski projekt za podjetje ISOMAT d.o.o., Mežica, dr. A. Hace.
4. Digitalizacija tokovne zanke za DCDC pretvornik z mikroprocesorjem, industrijski projekt za SiEVA d.o.o., Šempeter pri Gorici, dr. M. Milanovič.
5. Načrtovanje in razvoj stroja za polnjenje tablet v pretisni omot, industrijski projekt za BP BLISTER PACK d.o.o., Odranci, dr. D. Hercog.
6. Nadgradnja programske opreme merilnega sistema za izvajanje, nadzor in analizo tipskih meritev eksplozijsko varnih izmeničnih strojev, industrijski projekt za Bartec Varnost d.o.o., Zagorje ob Savi, dr. D. Hercog.
7. Programska oprema za vodenje brezkrtačnih električnih strojev v varnostno kritičnih aplikacijah za podjetje Kolektor Group d.o.o, Idrija, partnerji v projektu, dr. M. Rodič.
8. Integracija mehkega nadzornega regulatorja za distribucijo tehnološke pare, industrijski projekt za Tanin d.d., Sevnica, dr. N. Muškinja.
9. Prenova krmilnega sistema za proizvodnjo razdelilnikov toplote v TTO Thermotechnik d.o.o., Hrvaška, industrijski projekt, dr. N. Muškinja.
10. Nadzorni sistem elektro transformatorjev, industrijski projekt za Kolektor Sinabit d.o.o., Radomlje, dr. M. Golob.
11. Razvoj avtomatskega merilnika relejev za ISKRA-RELEJI, d.d., Makole, industrijski projekt, dr. B. Gergič.
12. Project MESIA - Mobilni vir električne energije z integracijo alternativnih virov energije, partnerji TECES Maribor in Letrika d.d. Šempeter pri Gorici, dr. M. Milanovič.

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹⁷

SLO

Rezultati aktivnosti programske skupine so v preteklem obdobju dosegli stopnjo, na kateri jih je mogoče implementirati v industrijski praksi, kar smo z neposrednimi povezavami s podjetji tudi začeli aktivno uresničevati. Preko vključenosti v projekt KC SURE skupaj s podjetjem Kolektor Group smo razvili štirikvadrantni trifazni pretvornik za vodenje sinhronskih motorjev s trajnimi magneti. V ta namen smo uporabili komercialno dostopno orodje (npr. Matlab/Simulink), ki ga je mogoče uporabiti tudi v končnih aplikacijah sistemov vodenja in ne samo v postopkih analize in načrtovanja. Dodana so bila še orodja primerna za certifikacijo in analizo, s pomočjo katerih so komercialna orodja postala atraktivna za končne uporabnike (industrijo). V ta namen je bil razvit štiri-kvadrantni pogonski sistema za TFM motorje moči 50kW. Razvita programska oprema se izvaja na komercialno konkurenčni platformi 32 bitnega mikrokrmilnika, kjer so za doseg višje stopnje zanesljivosti, poleg osnovnih funkcij, uporabljene še v sistem integrirane zaščitne funkcije. Le-ta je pogoj za pridobitev certifikacije takšnega sistema, ki predstavlja nov, tehnološko zahtevni, industrijski izdelek (Kolektor Group). Aktivnosti so se nadaljevale z delom v okviru "raziskovalnih vavčerjev", kjer posebno pozornost

namenjamo uvajanju funkcionalne zanesljivosti, ki predstavlja pomemben vidik v nadaljnjem razvoju mehatronskih sistemov in njihove uporabe v praktičnih aplikacijah, še posebej v varnostno kritičnih okoljih (avtomobilska in letalska industrija).

Stopnjo zrelosti za prenos v industrijsko prakso dosegajo tudi sistemi in orodja za računalniško podprto načrtovanje vodenja (CACSD, Computer Aided Control System Design). Rezultate bomo uporabili pri razvoju novega izdelka za Iskro Avtoelektriko. V letu 2013 je pridobljen projekt razvoja mikro inverterja, primerne za alternativne električne vire (gorivne celice in fotovoltaika).

Za družbo Isomat d.o.o. je bila obdelana možnost uvajanja haptičnih vmesnikov za povečanje fleksibilnosti produkcijskih enot pri začetnih nastavitvah stroja (učenje robota). Programski paket, ki izvaja komunikacijo med obdelovalnimi stroji in podajalnim robotom, je bil razvit za TTO Thermotechnik d.o.o.. Stroj, ki smo ga razvijali s podjetjem BP Blister pack d.o.o., je nameščen v proizvodni liniji podjetja Krka. Za podjetje Bartec Varnost d.o.o. smo izvedli posodobitev programa za izvajanje, nadzor in analizo tipskih meritev za eksplozijsko varne izmenične motorje. S podjetjem Dorson d. o. o. smo sodelovali pri uvajanju novega izdelka (drсна vrata), kjer sta razvita in implementirana programska oprema ter uveden redundančni krmilni sistem omogočila visoko stopnjo varnosti delovanja sistema.

Skupaj s slovenskim podjetjem PIPISTREL, svetovno znanim po izdelavi ultra lahkih letal, smo pridobili evropski projekt iz FP7, kjer uvajamo v njihove tehnološke postopke certificiranje in funkcionalno varnost (functional safety) za njihov novi izdelek in sicer letalo s hibridnim pogonom.

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

HAPTIČNO TELEOPERIRANJE Z FPGA VEZJEM, COBISS ID:16563990

Haptično teleoperiranje sistemov je zanimivo tako v industriji kot v medicini, torej na področjih vodenja sistemov, kjer je človek še vedno vključen v zanko odločanja. Pri tem kvaliteta reproducirane haptične informacije bistveno prispeva k intuitivnosti in varnosti vodenja. V našem delu smo regulacijski algoritem za haptično teleoperiranje izpeljali z metodo vodenja v drsnem režimu in tako zagotovili praktično robustnost na motnje. Za zagotovitev široke pasovne širine regulacijske zanke smo algoritem izvedli z FPGA logičnim vezjem, ki omogoča visoke hitrosti procesiranja signalov. Dosegli smo visoko frekvenco tipanja signalov in osveževanja regulacijske veličine. V prispevku smo predstavili metode za optimalno implementacijo na FPGA vezju. Vse algoritme smo eksperimentalno potrdili s preprostim laboratorijskim sistemom. Predlagana metoda predstavlja prispevek k izboljšanju robotsko asistiranе minimalno invazivne kirurgije.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

--

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe

- ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
matične RO (JRO in/ali RO s
koncesijo):*

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za
elektrotehniko, računalništvo in
informatiko

Miro Milanovič

ŽIG

Kraj in datum:

Maribor

10.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/129

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014),

pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

¹² Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot prilonko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b

71-14-AF-9C-5D-CC-F2-FD-25-6D-FC-18-CB-0E-A2-E4-6F-DC-78-19

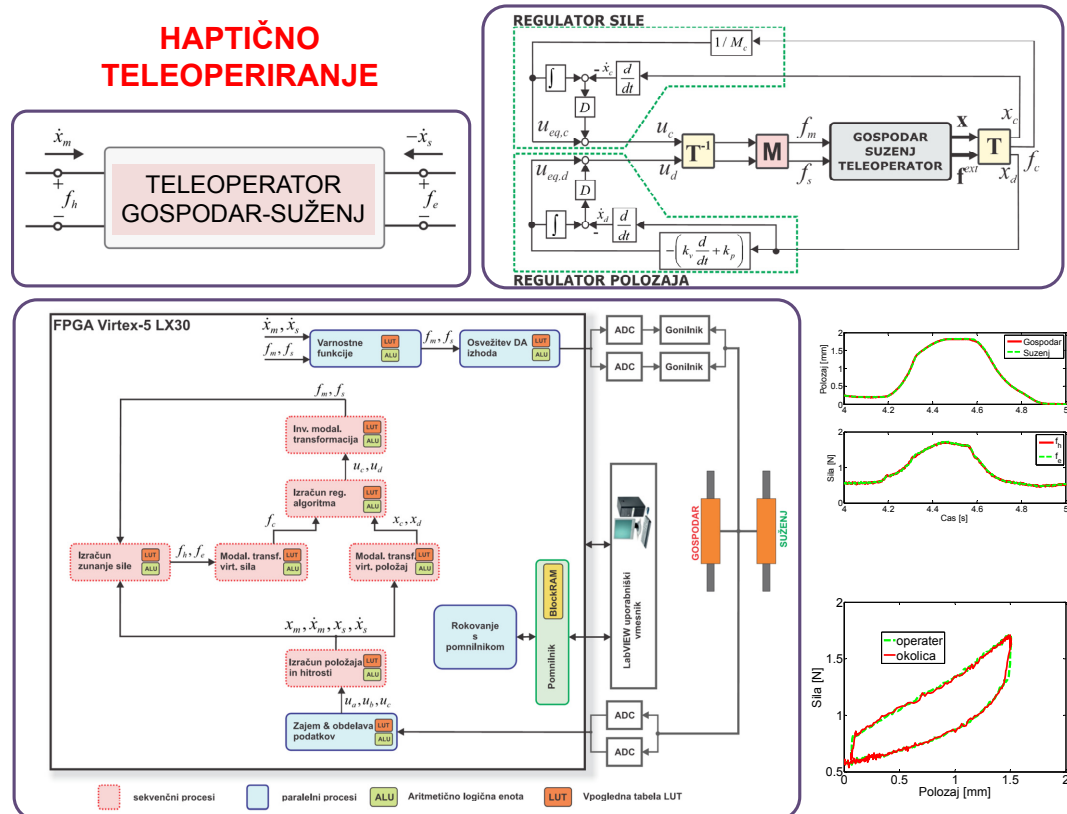
Priloga 1

VEDA: Tehniške vede

Področje: 2.06 Sistemi in kibernetika

Dosežek 1: HAPTIČNO TELEOPERIRANJE Z FPGA VEZJEM

Vir: COBISS.SI-ID [16563990](https://www.cobiss.si/id/16563990)



FPGA logična vezja so vedno bolj zanimiva za sisteme vodenja, kjer se zahteva visoka hitrost procesiranja. Uporaba FPGA vezij lahko izboljša sistemske performanse in posledično tudi razširi področje uporabe takšne tehnologije kot je haptično teleoperiranje, ki ima velik potencial tako v medicini kot tudi v industriji. Čeprav visoka haptična vernost še vedno predstavlja velik izziv, je prav ta predpogoj v zahtevnih aplikacijah. Zato smo se v našem delu ukvarjali s problemom vodenja bilateralnega teleoperatorja. Regulacijski algoritem smo izpeljali z metodo vodenja v drsnem režimu, da zagotovimo praktično robustnost na motnje. Ker je potrebno zagotoviti tudi visoko frekvenco tipanja signalov in osveževanja regulacijske veličine, s čimer lahko bistveno razširimo pasovno širino regulacijske zanke, smo regulacijski algoritem izvedli z FPGA vezjem. Pri tem smo uporabili ustrezne optimizacijske pristope za minimalno porabo strojnih virov na FPGA vezju. Metodo smo eksperimentalno preverili in potrdili s preprostim laboratorijskim sistemom za bilateralno teleoperiranje.

Haptično teleoperiranje sistemov je zanimivo na področjih vodenja sistemov s človekom v zanki odločanja. Za zanesljivo vodenje je kvaliteta reproducirane haptične informacije odločilnega pomena. Predlagana metoda prispeva k izboljšanju na področju robotsko asistiranе minimalno invazivne kirurgije.