

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/168



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1.Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-2259
Naslov projekta	Razvoj adaptivnega okolja navidezne resničnosti za izvajanje robotsko podprte rehabilitacije
Vodja projekta	14038 Zlatko Matjačič
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	5311
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	309 Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije - Soča
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.06 Sistemi in kibernetika 2.06.07 Biomedicinska tehnika
Družbeno-ekonomski cilj	07. Zdravje

2.Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.06
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.06 Zdravstveni inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3.Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

V okviru projekta smo delovali na razvoju adaptivnega okolja funkcionalnih nalog za rehabilitacijo roke v navidezni resničnosti za že razvitega lastnega nizko-cenovnega haptičnega robota, ki omogoča urjenje gibanja roke. V prvem delu

projekta smo se posvetili razvoju adaptivnega haptičnega impedančnega kontrolerja, ki omogoča vzajemno sodelovanje človeka in stroja. S sodobnimi pristopi vodenja nelinearnih sistemov in strojnega učenja smo razvili in eksperimentalno preizkusili metodologijo adaptivnega variiranja parametrov impedančnega krmilnika rehabilitacijskega robota, ki raven haptične pomoči prilagaja tako, da uporabnik lahko uspešno izvrši nalogo, hkrati pa vzpodbuja aktivno sodelovanje z zgolj minimalno zadostno pomočjo robota. V okolju navidezne resničnosti smo razvili nabor funkcionalnih nalog, ki uporabniku nudi kognitivno enostavno dožemanje zahtevane naloge. Razvili smo tudi metodologijo določanja trajektorije seganja, ki temelji na optimalnem vodenju sistemov in omogoča optimalno premagovanje mišične zategnjenosti posameznega uporabnika. Glavni rezultat tega dela projekta je spoznanje, da oblika poti seganja z roko nima pomembnega vpliva na potrebno haptično podporo robota, ključen parameter pa je hitrostni profil giba. Skozi obsežno eksperimentalno študijo smo pokazali na pomembnost adaptivnega spreminjanja nivoja haptične pomoči robota, kjer je ključna izbira dinamike spreminjanja omenjene pomoči. Ključna spoznanja, ki sledijo iz rezultatov projekta, smo združili v celovito shemo vodenja haptičnega okolja in okolja navidezne resničnosti, kjer z izbiro le nekaj parametrov, ki določajo primeren hitrostni profil seganja ter primerno dinamiko adaptivnega spreminjanja haptične podpore, na hiter in klinično sprejemljiv način ustvarimo optimalne pogoje učenja gibanja roke za vsakega posameznega uporabnika.

ANG

The project was focused on the development of adaptive virtual-reality haptic environment of functional tasks for upper-extremity rehabilitation for already developed low-cost haptic robot. In the first part of the project we have focused on the development of adaptive haptic human-machine interaction impedance controller; by applying contemporary approaches of nonlinear systems control methods and machine learning techniques we have tested methodology of adaptively varying the parameters of impedance controller for rehabilitation robot that adjusts the level of haptic support to enable the user to successfully execute a given task while at the same time encouraging active involvement of the user by providing only the level of support termed as "assistance-as-needed". Within the virtual reality (VR) based training environment we developed a set of functional tasks that are cognitively easy to comprehend. We have further developed a methodology of arm reaching trajectory selection that is based on the method of optimal control of systems which takes into account subject specific arm muscles' tightness that to a great extent impedes movement. The main result of this part of the project is recognition that a form of a reaching path does not importantly influence the needed haptic support of a robot; however the velocity profile of the trajectory turned out to be crucial. Throughout the extensive experimental study we have demonstrated the importance of adaptively varying the level of haptic support where the key parameter turned out to be the appropriate dynamics of changing the level of haptic support. We have used all key findings of the project to build a comprehensive scheme of controlling haptic and VR environment where by varying only a few parameters that determine appropriate velocity profile and further appropriate dynamics of adaptively varying haptic support we can create in a timely and clinically acceptable fashion the optimal conditions of arm reaching re-learning suitable for each individual.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

V pričajučem raziskovalnem projektu smo se posvetili celoviti analizi in sintezi

ponovnega učenja oz. urjenja gibanja z zgornjo ekstremiteto, katere delovanje je okvarjeno zaradi poškodbe zgornjega motoričnega nevrona. Rehabilitacijski roboti so si dodobra utrli pot v klinično okolje in prakso, saj v kombinaciji s primernimi okolji navidezne resničnosti omogočajo znatno večji obseg ponavljajočih se gibov. Ključen parameter vodenja rehabilitacijskih robotov se nanaša na izbiro nivoja haptične podpore, ki se kaže v sili s katero robot potiska oz. vleče dlan od neke začetne točke proti ciljni točki. Omenjena haptična podpora je vnaprej izbrana in je konstantna navadno tudi do nekaj sto ponovitev istega giba. Temeljne študije okrevanja oz. plastičnosti možganov kažejo, da boljše rezultate dosežemo s primerno izbrano in nadzorovano variabilnostjo haptične podpore. Pri tem pa se kaže kot izziv določitev primerne dinamike spreminjanja nivoja haptične podpore. Navadno se za premagovanje omenjene razdalje uporablja trajektorija, ki ima obliko daljice, hitrostni profil pa je zvonast. Oba parametra, ki določata trajektorijo seganja, replicirata gibanje roke nevrološko intaktnega človeka. Omenjen izbor trajektorije pa ni nujno optimalen tudi pri ljudeh s spastično okvaro, kjer mišična zategnjenost pomembno vpliva na izvedbo giba. V projektu smo se skozi ustrezno raziskovalno-razvojno delo posvetili obema osrednjima vprašanjem in sicer: 1.) Kako določiti trajektorijo gibanja spastične roke, ki bo optimalna v smislu najmanjše potrebne haptične pomoči robota ter 2.) kako določiti ustrezno dinamiko spreminjanja nivoja haptične podpore, tako da bo okrevanje najhitrejše.

V prvem delu projekta smo se najprej posvetili razvoju in raziskavam na področju izbire ustreznega adaptivnega kontrolerja za izvedbo funkcionalnih nalog doseganja z zgornjo ekstremiteto. Glavni rezultat našega raziskovalnega dela na tem področju se nanaša na pomembnost vključitve fizičnega dušilnega elementa v strojno opremo haptične naprave, kar pomembno izboljša stabilnost in pasivnost haptične interakcije med robotom in uporabnikom. V okviru raziskav optimalne izbire trajektorij za urjenje gibanja doseganja z zgornjo ekstremiteto smo razvili matematični in fizikalni model zgornje ekstremitete, ki je omejena na gibanje v ravnini. Razviti model smo uporabili pri načrtovanju optimalnih trajektorij gibanja iz dane začetne v dano končno točko. Simulirali smo različne možne karakteristike spastične prizadetosti (tonična spastičnost s poudarkom na povečanem tonusu v začetku giba) treh mišičnih skupin zgornje ekstremitete. Razvili smo optimizacijski algoritem s katerim lahko preiščemo celoten delovni prostor roke in načrtamo za vsakega posameznika optimalno trajektorijo v smislu najmanjše potrebne haptične pomoči. V sklopu simulacij in modeliranja smo se lotili tudi razvoja trajektorij, ki ne temelji na kriteriju optimalnosti, pač pa z uporabo adaptivnega vodenja hitrostnih profilov, predvsem pa z uporabo elipsoidnega polja haptičnih sil, poskušamo priti do optimalnih trajektorij ne da bi potrebovali identifikacijo stanja zgornje ekstremitete vsakega posameznika, kar je nujno pri določevanju trajektorij z orodji dinamične optimizacije. Oba pristopa smo testirali in primerjali na fizikalnem modelu roke - manipulandumu, kjer lahko emuliramo tonično spastičnost posameznih mišičnih skupin zgornje ekstremitete. Rezultati naših študij kažejo predvsem na pomembnost pravilne izbire hitrostnega profila trajektorij seganja iz točke v točko. Hitrostni profil, ki minimizira potrebno haptično pomoč robota, je močno odvisen od karakteristike mišične zategnjenosti. Ugotovili smo, da je mogoče z izbiro že samo treh različnih hitrostnih profilov pokriti široko področje različnih okvar zgornje ekstremitete, kar ima pomembne implikacije za praktično uporabo v kliničnem okolju. Rezultate simulacij in emulacij smo preverili tudi na izbranem kliničnem primeru, kjer se je pravilna izbira hitrostnega profila pokazala za ključno v smislu minimizacije potrebne haptične pomoči robota. V okviru omenjenih študij smo nadalje ugotovili, da oblika trajektorij seganja nima praktično nobenega vpliva na potreben nivo

haptične podpore. V okviru raziskovanja primerne dinamike spreminjanja nivoja haptične podpore smo razvili nalogo premikanja roke iz točke v točko v navideznem okolju, kjer smo na 27 nevrolško intaktnih osebah testirali vpliv različnih shem adaptivne haptične podpore. Preiskovance smo razdelili v tri skupine, kjer je bila dinamika spreminjanja haptične podpore odvisna od uspešnosti izvedbe naloge ter od vnaprej izbrane hitrosti spreminjanja nivoja podpore. Rezultati potrjujejo našo hipotezo, da konstanten nivo haptične pomoči ni ustrezen in da je vpeljava ustrezne adaptivne haptične podpore ključna za izboljšanje učenja ciljnih funkcionalnih gibov.

Ključna spoznanja, ki sledijo iz rezultatov projekta, smo združili v celovito shemo vodenja haptičnega okolja in okolja navidezne resničnosti, kjer z izbiro le nekaj parametrov, ki določajo primeren hitrostni profil seganja ter primerno dinamiko adaptivnega spreminjanja haptične podpore, na hiter in klinično sprejemljiv način ustvarimo optimalne pogoje učenja gibanja roke za vsakega posameznega uporabnika.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Ocenjujemo, da smo v celoti izpolnili program dela na raziskovalnem projektu in da smo v celoti izpolnili tudi vse raziskovalne cilje projekta. Rezultati projekta potrjujejo v literaturi navedeno potrebo po adaptivni izbiri haptične podpore pri učenju seganja z zgornjo ekstremiteto, hkrati pa tudi podajajo konkretne usmeritve na kakšen način je omenjeno adaptivnost potrebno implementirati v klinični praksi. Spoznanja o pomembnosti izbire ustreznega hitrostnega profila, ki upošteva specifično okvaro spastične zgornje ekstremitete, pa so v svetovnem merilu pomembna novost.

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

V obdobju izvajanja raziskovalnega projekta ni prišlo do sprememb programa oz. povečanja ali zmanjšanja projektne skupine.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	1081449	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Študija vpliva viskoznega dušenja na stabilnost haptičnih vmesnikov
		ANG	Design of a series visco-elastic actuator for multi-purpose rehabilitation haptic device
	Opis	SLO	Skozi teoretično analizo, simulacije in eksperimentalno validacijo smo raziskali vpliv dodanega viskoznega dušenja na stabilnost in pasivnost haptičnih vmesnikov, ki imajo paralelno kinematično strukturo in so gnani s pogonom z dodano serijsko elastičnostjo. Določili smo tri zadostne pogoje s katerimi določimo ustrezno viskozno dušenje glede na ostale parametre haptičnega vmesnika.
			Background. Variable structure parallel mechanisms, actuated with low-cost motors with serially added elasticity (series elastic actuator - SEA), has considerable potential in rehabilitation robotics. However, reflected masses of a SEA and variable structure parallel mechanism linked with a compliant actuator result in a potentially unstable coupled mechanical oscillator, which has not been addressed in previous studies. Methods. The aim of this paper was to investigate through simulation, experimentation and

		ANG	theoretical analysis the necessary conditions that guarantee stability and passivity of a haptic device (based on a variable structure parallel mechanism driven by SEA actuators) when in contact with a human. We have analyzed an equivalent mechanical system where a dissipative element, a mechanical damper was placed in parallel to a spring in SEA. Results. The theoretical analysis yielded necessary conditions relating the damping coefficient, spring stiffness, both reflected masses, controller's gain and desired virtual impedance that needs to be fulfilled in order to obtain stable and passive behavior of the device when in contact with a human. The validity of the derived passivity conditions were confirmed in simulations and experimentally. Conclusions. These results show that by properly designing variable structure parallel mechanisms actuated with SEA, versatile and affordable rehabilitation robotic devices can be conceived, which may facilitate their wide spread use in clinical and home environments.
	Objavljeno v		BioMed Central; Journal of neuroengineering and rehabilitation; 2011; Vol. 8, no. 1; Impact Factor: 3.264; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.509; A': 1; WoS: IG, RU, WC; Avtorji / Authors: Oblak Jakob, Matjačič Zlatko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	7998548	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Klinična študija različnih oblik robotske pomoči pri urjenju gibanja paretične roke
		ANG	Evaluation of upper extremity robot-assistances in subacute and chronic stroke subjects
	Opis	SLO	V prispevku smo ovrednotili učinke različnih strategij robotske pomoči na sposobnost izvajanja kompleksne naloge gibanja paretične roke oseb po preboleli možganski kapi v okolju navidezne resničnosti, kakor tudi korelacijo z različnimi haptičnimi parametri, ki opisujejo interakcijo človek-robot. Študija izpostavlja pomen adaptivne haptične interakcije, ki se prilagaja zmožnostim posameznika.
		ANG	This paper evaluates the effect of different modes of robot-assistances in a complex virtual environment on the subjects' ability to complete the task as well as on various haptic parameters arising from the human-robot interaction. The study highlights the importance of adaptive haptic interaction that should take into account current abilities of each individual subject.
	Objavljeno v		BioMed Central; Journal of neuroengineering and rehabilitation; 2010; Vol. 7, no. 1; str. 1-9; Impact Factor: 2.638; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.381; A': 1; WoS: IG, RU, WC; Avtorji / Authors: Ziherl Jaka, Novak Domen, Olenšek Andrej, Mihelj Matjaž, Munih Marko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	1189993	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Študija vpliva različnih adaptivnih algoritmov haptične podpore na učinkovitost motoričnega učenja
		ANG	The influence of haptic support algorithm dynamics on the efficacy of motor learning
			Izhodišča: Sodobna rehabilitacija temelji na intenzivnih treningih gibanja, ki jih podpira bodisi haptični robot bodisi fizioterapevt, ki sledi predpisanim protokolom. Številne raziskave so pokazale, da vadba enostavnih in ponavljajočih se funkcionalno usmerjenih nalog učinkovito zmanjša motorično prizadetost roke, medtem ko na izboljšanje funkcij roke nima pomembnega vpliva. Vzrok je urjenje v nespremenljivih pogojih in predvidljivo delovanje haptične naprave. Študije plastičnosti možganov

Opis	SLO	nakazujejo, da bi bilo potrebno za uspešno učenje funkcionalnih dejavnosti v vadbo vključiti določeno mero nadzorovane variabilnosti, ki bi spodbujala razvoj ustreznih motoričnih vzorcev. To pa zahteva merjenje trenutnih zmožnosti uporabnika in prilagajanje ravni haptične podpore rehabilitacijskih robotov. S študijo smo želeli raziskavi vpliv dinamično različnih algoritmov haptične podpore (angl. haptic support algorithms, HSA) na učinkovitost motoričnega učenja, pri katerem raven haptične podpore postopno zmanjšujemo glede na napredek v motoričnih sposobnostih. Metode: Sedemindvajset zdravih oseb smo razdelili v tri skupine z različnimi shemami HSA. Za učenje gibov roke smo uporabljali simulacijo ročnega nogometa, pri katerem oseba z nedominantno roko in s pomočjo haptične naprave upravlja virtualnega nogometaša. Protokol je zajemal vrednotenje pred treningom in brez haptične pomoči, trening gibanja s pomočjo haptične naprave in z izbrano shemo HSA ter vrednotenje po treningu. Rezultati: Rezultati kažejo na bistveno motorično izboljšanje v vseh treh skupinah, vendar pa statistična analiza kaže, da med skupinami obstajajo razlike. Izbira sheme HSA, ki je primerna za dano nalogo, pomembno vpliva na izboljšanje motoričnih sposobnosti po obdobju treninga. Zaključki: Študija je pokazala, da je za vsako motorično nalogo oz. za vsako motorično sposobnost posameznika potrebno uporabiti takšno shemo HSA, ki v omejenem številu poskusov maksimizira učinek treninga.	
	ANG	Background: Repetitive task training, delivered either by a therapist or haptic robot is core of modern rehabilitation of movement. In the current rehabilitation, robotics-based movement training the level of haptic support assisting the movement is rather stationary and may remain the same for periods of days. The aim of this paper was to investigate the influence of haptic support algorithms (HSA) dynamics on the outcome of motor learning. Methods: Twenty-seven neurologically intact participants, divided into three groups supported by dynamically different HSA, played a rather demanding two degrees of freedom motor task (virtual reality based table football) to learn wrist movements with their inferior arm. The evaluation before training without support was followed by the training sessions and concluded with evaluation after training without robotic support. Results: The results showed significant improvement in all three groups, but the statistical analysis reveals the difference within groups. The selection of the HSA that is appropriate for the given motor task had a significant influence on the level of acquired motor skills after the training period. Conclusions: The results of this study suggest that for every motor task or equivalently for every motor ability of a particular subject such a HSA scheme exist and should be implemented that maximizes training effects in a limited number of training attempts.	
	Objavljeno v	[Slovensko zdravniško društvo]; Zdravniški vestnik; 2011; Letn. 80, št. 7/8; str. 561-570; Impact Factor: 0.155;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.53; WoS: PY; Avtorji / Authors: Zadavec Matjaž, Matjačič Zlatko	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
4.	COBISS ID	1138793	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Razvoj variabilne strukture kinematike mehanizma haptičnega robota za celovito urjenje gibanja zgornje ekstremitete	
	ANG	Variable structure pantograph mechanism with spring suspension system for comprehensive upper-limb haptic movement training	
Opis	SLO	V sodelovanju s španskim podjetjem TECNALIA, ki je odkupilo patentne pravice naše mednarodne patentne prijave PCT smo razvili inovativno kinematično strukturo robotskega mehanizma, ki omogoča urjenje gibanja roke in zapestja v osmih različnih načinih gibanja. Skozi študij treh kliničnih primerov smo demonstrirali učinkovitost razvite naprave pri ponovnem učenju gibanja roke.	

	ANG	Numerous haptic devices have been developed for upper-limb neurorehabilitation, but their widespread use has been largely impeded because of complexity and cost. Here, we describe a variable structure pantograph mechanism combined with a spring suspension system that produces a versatile rehabilitation robot, called Universal Haptic Pantograph, for movement training of the shoulder, elbow, and wrist. The variable structure is a 5-degree-of-freedom (DOF) mechanism composed of 7 joints, 11 joint axes, and 3 configurable joint locks that reduce the number of system DOFs to between 0 and 3. The resulting device has eight operational modes: Arm, Wrist, ISO (isometric) 1, ISO 2, Reach, Lift 1, Lift 2, and Steer. The combination of available work spaces (reachable areas) shows a high suitability for movement training of most upper-limb activities of daily living. The mechanism, driven by series elastic actuators, performs similarly in all operational modes, with a single control scheme and set of gains. Thus, a single device with minimal setup changes can be used to treat a variety of upper-limb impairments that commonly afflict veterans with stroke, traumatic brain injury, or other direct trauma to the arm. With appropriately selected design parameters, the developed multimode haptic device significantly reduces the costs of robotic hardware for full-arm rehabilitation while performing similarly to that of single-mode haptic devices. We conducted case studies with three patients with stroke who underwent clinical training using the developed mechanism in Arm, Wrist, and/or Reach operational modes. We assessed outcomes using Fugl-Meyer Motor Assessment and Wolf Motor Function Test scores showing that upper-limb ability improved significantly following training sessions.
Objavljeno v		Rehabilitation Research and Development Service, Dept. of Veterans Affairs; Journal of rehabilitation research and development; 2011; Vol. 48, no. 4; str. 317-333; Impact Factor: 1.779; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.179; A'': 1; A': 1; WoS: WC, WC; Avtorji / Authors: Perry Joel C., Oblak Jakob, Jung Je H., Cikajlo Imre, Veneman Jan F., Goljar Nika, Bizovičar Nataša, Matjačič Zlatko, Keller Thierry
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine²

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Vodenje mednarodnega projekta – EU 7 OP – Zlatko Matjačič
		ANG	Leadership of international projects – EU 7 FP
	Opis	SLO	Univerzitetni rehabilitacijski inštitut RS - Soča je partner na evropskem projektu sedmega okvirnega programa. Prof. dr. Zlatko Matjačič je vodja slovenskega partnerja. Projekt CORBYS razvija kognitivni okvir vodenja robotskih sistemov s poudarkom na rehabilitacijskem robotu za urjenje hoje.
		ANG	University rehabilitation institute RS is a partner on a European project in seventh framework programme. Project CORBYS aims at development of a cognitive control framework of robots with emphasis on a rehabilitation robot for overground training of walking.
			Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov
	Šifra	D.01	Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov
	Objavljeno v		http://www.corbys.eu
	Tipologija	2.14	Projektna dokumentacija (idejni projekt, izvedbeni projekt)

2.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Vodenje mednarodnega projekta – EU 7 OP – Marko Munih
		ANG	Leadership of international projects – EU 7 FP
	Opis	SLO	Fakulteta za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani je partner na evropskem projektu sedmega okvirnega programa. Prof. dr. Marko Munih je vodja slovenskega partnerja. Cilj projekta EVRYON je razvoj t.i. „wearable robots“.
		ANG	Faculty of electrical engineering, University of Ljubljana is a partner on a European project in seventh framework programme. Project MIMICS is concerned with development of wearable robots.
	Šifra		D.01 Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov
	Objavljeno v		www.evryon.ch
	Tipologija		2.14 Projektna dokumentacija (idejni projekt, izvedbeni projekt)

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

--

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Področje kognitivne robotike je prioriteno raziskovalno področje v robotiki. Vključeno je tudi v EU7 FP (podpodročje ICT - Cognitive robotics). Na drugi strani je robotsko podprta nevrolška rehabilitacija prioriteno področje raziskav v rehabilitacijski medicini. Projekt je usmerjen v obe interdisciplinarni raziskovalni področji. Iz rezultatov številnih kliničnih raziskav izhaja splošno soglasje, da 1.) bo rehabilitacijska robotika v prihodnosti igrala ključno vlogo v nevrolški rehabilitaciji in 2.) da obstoječe metode robotske rehabilitacije kot tudi obstoječi protokoli terapevtskih postopkov zdaleč niso optimalni. Projekt je obravnaval obe vprašanji, izvedena sta bila tako razvoj kot vrednotenje tako adaptivnega vodenja rehabilitacijskega robota kot tudi adaptivnega in dinamično spreminjajočega okolja navidezne resničnosti. V tem smislu rezultati projekta veliko prispevajo ter poglobljajo trenutno razumevanje, kako je rehabilitacijsko robotiko in okolja navidezne resničnosti možno uporabiti pri nevrolški rehabilitaciji.

ANG

Area of cognitive robotics is high priority area of research in the field of robotics. It is also included in the EU 7th FP (under the horizontal track ICT - Cognitive robotics). On the other hand the area of robotically-assisted neurological rehabilitation is a high-priority field of research in rehabilitation medicine. The project was directed into both of these interdisciplinary research fields. From the state of the art it follows that there exists a wide consensus that 1.) rehabilitation robotics will play in the future the key role in neurological rehabilitation and 2.) that the existing control of rehabilitation robots as well as the existing treatment protocols are far from being optimal. The present project addressed both of the two issues and was aimed at development and evaluation of adaptive rehabilitation robot control as well as adaptive and dynamically changing VR environment. In this respect the results of the project greatly contribute to and further our current understanding on ways how rehabilitation robotics and VR environments can be used in neurological rehabilitation.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Zaradi staranja populacije lahko v prihodnosti pričakujemo rast povpraševanja po učinkovitih in finančno vzdržnih rehabilitacijskih storitvah. Rezultati projekta so neposredno relevantni za vzpostavitev nove klinične dejavnosti na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu, ki bo

temeljila na rehabilitacijski robotiki. Ker naša robotska platforma, haptični robot UHD, predstavlja tudi nizko cenovno rešitev, bo končen sistem, združen z novimi algoritmi adaptivnega impedančnega vodenja in adaptivno spreminjajoče naloge v navidezni resničnosti, možno uporabiti pri nudenju terapije skozi telerehabilitacijske storitve. Na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu smo v naš Pametni dom IRIS že umestili pilotno telerehabilitacijsko storitev urjenja ravnotežja med stojo. Komunikacijske rešitve in protokoli interakcije pacient/terapevt bi lahko učinkovito uporabili tudi s sistemom za urjenje zgornjih okončin, razvoj katerega je predmet tega predloga. Razvoj telerehabilitacijskih storitev, ki so v smislu začetne investicije v tehnološko opremo ugodne, imajo velik potencial pri neposrednem varčevanju sredstev javnega zdravstvenega sektorja z neposrednim zmanjšanjem stroškov zdravljenja, ki so odvisni od števila dnevov hospitalizacije in številom obiskov pri zdravniku. Rezultati projekta so tako neposredno uporabni pri uresničevanju ene izmed usmeritev sprejete Resolucije o nacionalnem planu zdravstvenega varstva v Republiki Sloveniji, za obdobje 2008 – 2013, ki predvideva prenos izvajanja fizioterapije in delovne terapije na domove uporabnikov v obsegu med 20 – 30%.

ANG

Due to ageing population we can expect in the near future an increase in demand for effective and financially sustainable rehabilitation services. The results of the project are directly relevant for setting-up a new clinical activity based on rehabilitation robotics at the University rehabilitation institute. Furthermore, since our robotic platform, haptic robot UHD, is designed in such a way that presents a low-cost solution, it is envisaged that combined with the new algorithms of adaptive impedance control and adaptively changing VR-based training tasks, the resulting system may be used to deliver therapy through telerehabilitation-based service. At the University rehabilitation institute we have already implemented in our Smarthome IRIS a pilot telerehabilitation service of balance training during standing. The developed communication solutions and trainee/therapist interaction protocols could be effectively used also with the system for upper extremity training that is the subject of present proposal. Development of telerehabilitation services that are affordable in terms of initial investment into the technological equipment have tremendous potential for directly saving resources in public healthcare sector by directly reducing the healthcare costs associated with the number and duration of hospitalizations and visits at clinicians that are presently required. The project results may be directly applied to fulfill one of the guidelines of the Resolution on the national healthcare plan in Republic of Slovenia for period 2008 – 2013, which requires transfer of 20 – 30% of physical and occupational therapy services to be delivered at homes of users.

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen

	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE

	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

V sodelovanju s španskim podjetjem TECNALIA, ki je odkupilo PCT patentno prijavo sodelujemo pri aktivnostih, ki so potrebne za razvoj komercialnega produkta oz. za ustrezno licenciranje obstoječe patentne prijave. Podelitev evropskega in ameriškega patentna za razvitega rehabilitacijskega robota je v sklepni fazi.

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☒	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☒	

G.01.03.	Drugo:						
G.02	Gospodarski razvoj						
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu						
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov						
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje						
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije						
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti						
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost						
G.02.07.	Večji delež izvoza						
G.02.08.	Povečanje dobička						
G.02.09.	Nova delovna mesta						
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih						
G.02.11.	Nov investicijski zagon						
G.02.12.	Drugo:						
G.03	Tehnološki razvoj						
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti						
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti						
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij						
G.03.04.	Drugo:						
G.04	Družbeni razvoj						
G.04.01	Dvig kvalitete življenja						
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja						
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave						
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti						
G.04.05.	Razvoj civilne družbe						
G.04.06.	Drugo:						
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete						
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj						
G.07	Razvoj družbene infrastrukture						
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura						
G.07.02.	Prometna infrastruktura						
G.07.03.	Energetska infrastruktura						
G.07.04.	Drugo:						
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva						

G.09.	Drugo:						
--------------	---------------	--	---	---	---	---	--

Komentar

Končni rezultat projekta, ki se nanaša na metodologijo izbire ustreznih trajektorij in adaptivnosti podpore haptične pomoči je mogoče enostavno implementirati tudi v obstoječo programsko opremo rehabilitacijskih robotov, ki so v klinični praksi.

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer		
1.	Naziv	Zavod za zdravstveno zavarovanje Slovenije	
	Naslov	Miklošičeva 24, 1000 Ljubljana	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	56.000	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	F.21
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	Komentar	Poleg vseh v poročilu navedenih znanstvenih dosežkov, mednarodne patentne prijave, predstavitev na kongresih je z vidika ZZZS najpomembnejša praktična uporabnost rezultatov projekta, ki se kaže v izboljšanih možnostih uporabe rehabilitacijske robotike v vsakodnevni klinični praksi.	
	Ocena	V kolikor bo URI-SOČA uspela uspešno izvesti prenos rezultatov projekta v klinično prakso se bo to pokazalo v izboljšanih možnostih uporabe rehabilitacijske robotike v vsakodnevni klinični praksi.	

14.Izjemni dosežek v letu 2012¹³**14.1. Izjemni znanstveni dosežek**

V zadnjem letu izvajanja projekta smo združili vsa nova spoznanja v predlog celovite sheme izbire ustrezne trajektorije in izbire ustrezne dinamike variiranja adaptivne haptične podpore, ki predstavlja pomemben napredek k bolj individualiziranemu pristopu k urjenju gibanja zgornje ekstremitete, ki upošteva tako specifično mišično zategnitev kot tudi dinamične in kognitivne sposobnosti posameznega uporabnika.

14.2. 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 ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut
Republike Slovenije - Soča

Zlatko Matjačić

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	6.3.2013
-----------	----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/168

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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 projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Rubrike izpolnite / prepišite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

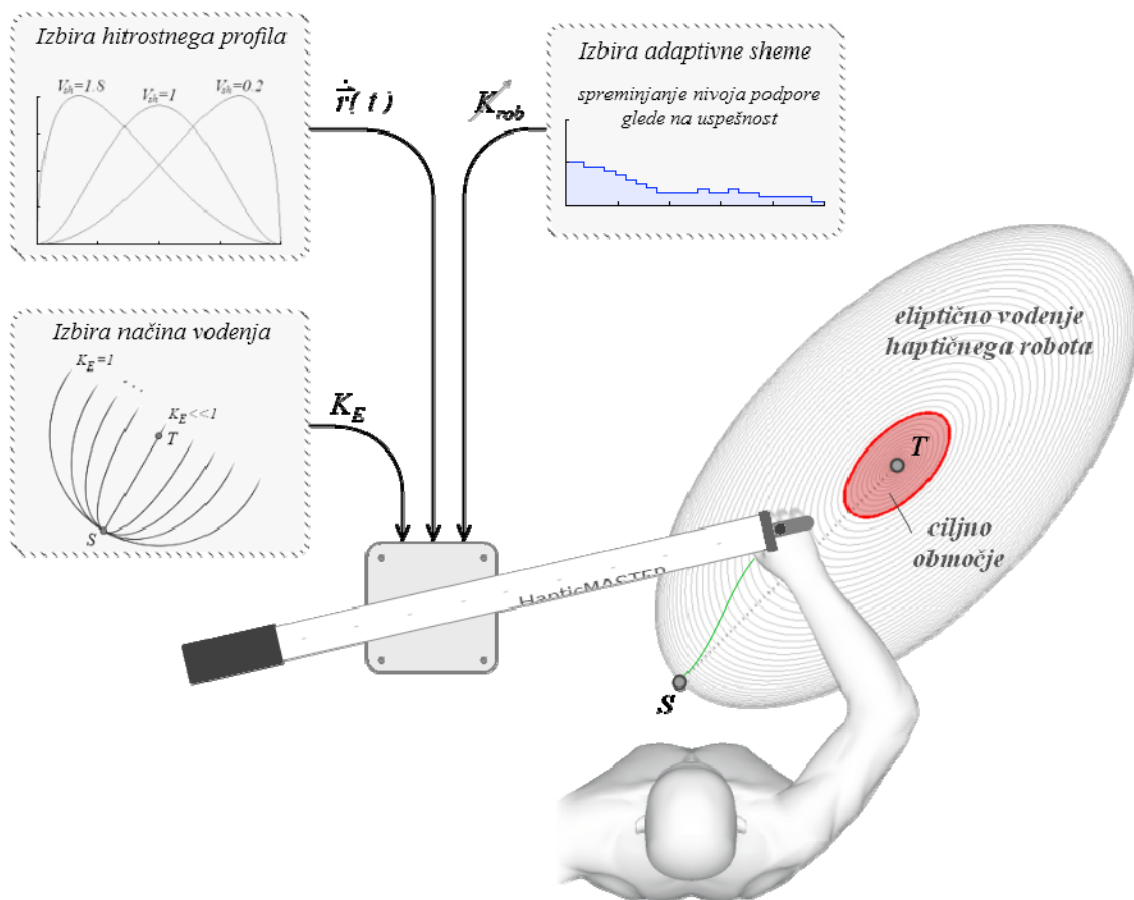
¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-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-RPROJ-ZP/2013 v1.00
B3-02-AE-37-31-29-73-AC-9B-01-95-0C-5B-93-AE-04-0C-7C-D9-67

APLIKATIVNI PROJEKT L2-2259

Razvoj adaptivnega okolja navidezne resničnosti za izvajanje robotsko podprte rehabilitacije

Vir: M. Zadavec, ADAPTIVNOST HAPTIČNE PODPORE IN DOLOČANJE OPTIMALNIH TRAJEKTORIJ PRI URJENJU GIBANJA PARETIČNE ZGORNJE EKSTREMITETE, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2013.



Razvili smo inovativen pristop k sintezi optimalnih trajektorij urjenja gibanja prizadete zgornje ekstremitete, ki temelji na:

- Ustrezni izbiri hitrostnega profila
- Ustrezni izbiri adaptive sheme določanja nivoja haptične podpore
- Ustrezni izbiri načina gibanja

Razvita shema je zaradi enostavnosti spreminjanja omenjenih treh parametrov neposredno uporabna v klinični praksi.