

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/260



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	J2-2348
<b>Naslov projekta</b>	Ciljno usmerjena sinteza robotskih operacij na osnovi baze vzorčnih gibanj
<b>Vodja projekta</b>	11772 Aleš Ude
<b>Tip projekta</b>	J Temeljni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	4650
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje projekta</b>	05.2009 - 04.2012
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.10 Proizvodne tehnologije in sistemi 2.10.04 Robotika
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	13.02 Tehnološke vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

#### 2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS<sup>1</sup>

<b>Šifra</b>	2.02
<b>- Veda</b>	2 Tehniške in tehnološke vede
<b>- Področje</b>	2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

#### 3. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>2</sup>

SLO

Cilj projekta je bil razvoj in testiranje novih pristopov za učenje ciljno usmerjenih akcij v naravnih okoljih, kot so na primer domovi ljudi. Humanoidni roboti so zaradi svoje podobnosti človeku primerni za takšne aplikacije, saj so domača okolja prilagojena ljudem, poleg tega pa je laikom lažje sodelovati z roboti, ki imajo podobno obliko kot ljudje.

Projekt smo začeli z implementacijo metod za pridobivanje začetnih motoričnih znanj na humanoidnem robotu. Začetne motorične podatke je robot pridobil z opazovanjem gibanja ljudi, ki jih je s pomočjo optimizacijskih metod privedel lastni kinematiki in dinamiki. Za opazovanje gibanj smo uporabili nov sistem za zajemanje človekovega gibanja Kinect, ki je bistveno cenejši kot optični sistemi z markerji. Poleg Kinecta smo za zajemanje gibanj uporabili tudi kinestetično vodenje, pri čemer človek fizično vodi robotsko roko skozi želena trajektorija. V tem primeru je zajeta trajektorija avtomatično primerna za izvedbo na humanoidnem robotu.

V splošnem samo z opazovanjem ni možno rešiti zadane naloge v poljubni situaciji, saj je možnih konfiguracij zunanjega sveta neskončno. Zato smo razvili metode za posplošitev naučenih gibanj, tako da lahko robot reši nalogo ne glede na trenutno konfiguracijo zunanjega sveta. Ta problem smo rešili s povezovanjem cilja naloge z motoričnimi reprezentacijami pridobljenih gibanj. Pri tem smo izhajali iz knjižnic gibanj, ki smo jih pridobili na zgoraj opisana načina. Za reprezentacijo motoričnih znanj smo uporabili dinamične generatorje gibov. Posplošitev gibanj na nove situacije smo dosegli z uporabo regresijskih metod kot sta lokalno utežena regresija in Gaussovi procesi, pri čemer smo kot povpraševalne točke uporabili parametre, ki opisujejo cilj naloge.

Za še boljše reševanje zadane naloge morajo roboti samostojno in brez dodatne pomoči raziskati in izboljšati svoje delovanje v okviru zelene naloge. V tem primeru govorimo o avtonomnem učenju. Zato smo statistično posploševanje povezali s spodbujevalnim učenjem. Robot pri tem izkoristi podatke o trajektorijah, ki privedejo do uspešne izvedbe zelene naloge v določenih situacijah. S tem omeji reševanje naloge na prostor z manjšo dimenzijo kot je dimenzija celotnega prostora vseh robotskih trajektorij, kar bistveno pohitri spodbujevalno učenje.

Kot glavni testni sistem smo uporabili humanoidnega robota HOAP-3, v nekaterih eksperimentih pa tudi antropomorfno robotsko roko KUKA LWR, ki je opremljena s troprstno prijemalko Barrett Hand. V naših eksperimentih smo preizkusili učenje večih nalog iz domačih okolij, med njimi prijemanje in seganje, brisanje, nalivanje, bobnanje in met žoge. S tem smo pokazali uporabnost razvitih metod za splošnonamenske robote v domačih okoljih. Pomoč v gospodinjstvu in zabava spadata med najpomembnejše funkcije domačih robotov, kar je razvidno tudi iz našega nabora testnih nalog. Čeprav smo se v projektu ukvarjali predvsem z roboti v domačih okoljih, so rezultati relevantni za splošno področje servisne robotike.

ANG

The goal of the project was to develop a new methodology that will enable home robots to learn new goal-directed actions in a natural way and without requiring experts to help during learning. Thus no physical models of the task were assumed to be available because only experts can provide such models. Due to their similarity to people, humanoid robots are very suitable for home environments and human-robot interaction; therefore we chose humanoids as a test platform.

We started by implementing methods that can be used to acquire initial motor knowledge on our test humanoid robot. The robot acquired the initial actions by observing people performing actions to be learned. The observed actions were transferred to the robot kinematics and dynamics using optimization methods. To observe human actions we used Kinect sensor developed by Microsoft, which is significantly cheaper than marker-based tracking systems. Besides Kinect we also used kinesthetic guiding to acquire example trajectories. With kinesthetic guiding, a user physically guides robotic arm through the desired trajectory, thus the captured motion is automatically suitable for execution by the robot.

In general it is not possible to observe an action in every possible configuration of the external world. The main research topics of the project was to study the generalization of the learned actions to enable the robot to solve the task in any given situation. This was achieved by combining the goals of an action with the available motor knowledge. We used dynamic movement primitives (systems of nonlinear differential equations) to represent motor knowledge. Generalization was achieved by blending techniques including locally weighted regression and Gaussian process regression, where the parameters describing the goal of an action are used as query points in the database.

To improve its task execution, the robot must be able to autonomously explore the task and improve its performance. For this purpose we connected the results of statistical generalization with reinforcement learning. The idea was to exploit the structure imposed by example

trajectories, which successfully execute task in given situations. This way we reduced the dimensionality of the trajectory space in which the robot looks for an optimal trajectory, thereby accelerating the reinforcement learning process.

As the main testing systems we used humanoid robot HOAP-3 and anthropomorphic arm KUKA LWR equipped with a three-finger Barrett Hand. In our experiments we tested the learning of several tasks arising in home environments including grasping and reaching, wiping, pouring, drumming, and ball throwing. This way we showed the applicability of our approach for general purpose robots in home environments. Helping people in household environments and entertainment are among the most important functions of home robots, which is reflected in our choice of experiments. Although in the project we dealt only with home robots, the proposed research results are relevant for any service robots.

#### 4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>3</sup>

Kot smo predvideli v predlogu projekta, smo naše raziskave začeli z implementacijo metod za učenje robotskih gibov s pomočjo človekovih demonstracij. Za začetno generacijo knjižnic robotskih gibov smo uporabili dva različna pristopa:

- Gibanje človeka smo izmerili z optičnim sistemom za zasledovanje gibanja s pomočjo markerjev ali s senzorjem Kinect. Zajeti človeški gibi so bili potem prenešeni na robotsko kinematiko in dinamiko.
- Direktno kinestetično vodenje robotske roke. Pri tem človek fizično vodi robotsko roko po trajektoriji, ki jo zajamemo z robotovimi notranjimi senzorji.

Drugi pristop se je pokazal kot posebno primeren za učenje gibov na humanoidnem robotu HOAP-3, saj pri tem zajetih trajektorij ni potrebno prilagajati robotski kinematiki, ker jih robot že od samega začetka izvaja sam. Tak način učenja je možen na našem humanoidnem robotu HOAP-3, vendar pa ga žal vsi roboti ne omogočajo. Zato smo študirali tudi metode, ki omogočajo direkten prenos človekovega gibanja na robotsko gibanje. Pri tem smo s pomočjo optičnega sistema za zasledovanje z markerji zajeli ali šestdimenzionalno gibanje roke v kartezičnem prostoru ali pa kar gibanje predmeta, ki ga premika demonstrator. Zajeto gibanje smo prenesli na gibanje robota s pomočjo inverzne kinematike, pri čemer smo upoštevali omejitve v sklepih robota. V drugem delu izvedbe projekta smo za opazovanje človekovih gibanj uporabili tudi Microsoftov senzor Kinect.

Za uspešno robotsko učenje je zelo pomemben izbor reprezentacije, ki jo uporabimo za zapis robotskih gibanj. V ta namen smo uporabili dinamične generatorje gibov (avtonomne, nelinearne diferencialne enačbe), ki so zaradi indirektna parametrizacije po času še posebej primerni za zapis robotskih gibanj. Pri zapisu gibanj z nelinearnimi sistemi lahko na trajektorijo vplivamo na dva načina: s spremembo končne pozicije robota, ki jo v teoriji nelinearnih diferencialnih enačb pogosto imenujemo privlačna točka, in s spremembo parametrov, ki definirajo nelinearni del dinamičnega sistema in ki vplivajo predvsem na obliko trajektorije. Razvili smo novo, hierarhično metodo spodbujevalnega učenja, s katero lahko vzporedno modificiramo tako privlačno točko kot tudi nelinearni del dinamičnega sistema. Povezali smo dve različni metodi spodbujevalnega učenja: spodbujevalno učenje z ocenjevanjem vrednostne funkcije in algoritem  $PI^2$ . S pomočjo prve metode smo ocenili optimalno privlačno točko, s pomočjo algoritma  $PI^2$  pa parametre, ki definirajo nelinearni del diferencialne enačbe. Eksperimentalno smo pokazali, da lahko na ta način uspešno adaptiramo gibanje pri nalivanju vode v kozarec, tako da robot na koncu nalije vodo v kozarec brez kakršnegakoli polivanja. S spodbujevalnim učenjem lahko torej modificiramo opazovane trajektorije tako, da robot uspešno izvede zeleno nalogo.

S pomočjo zgoraj opisanih metod smo zbrali več vzorčnih knjižnic elementarnih robotskih gibov. K vsakemu gibu v knjižnici smo dodali tudi parametre, ki opisujejo cilj naloge. V projektu smo obravnavali gibe kot so seganje in prijemanje, brisanje, nalivanje, met žoge na koš, bobnanje, itd. Na primer, pri seganju in prijemanju je cilj naloge opisan s položajem predmeta, ki ga mora robot prijeti, pri metu pa s položajem koša, v katerega želimo vreči žogo.

Za posploševanje robotskih gibov smo uporabili različne regresijske metode. Glavna ideja je bila uporabiti cilj naloge kot indeks v knjižnico vzorčnih gibanj. Predlagali smo dva pristopa:

- Posploševanje gibov z lokalno uteženo regresijo (Atkeson et al., 1997), pri čemer kot vhodne podatke uporabimo konfiguracije robota (v zunanjih ali notranjih koordinatah) na trajektorijah, ki smo jih zajeli pri določeni frekvenci (tipično od 100 do 500 Hz).
- Posploševanje zajetih trajektorij z Gaussovimi regresijskimi procesi (Rasmussen in Williams, 2006), pri čemer zajete trajektorije najprej zapišemo z dinamičnimi generatorji

gibov. Pri posploševanju tako ne uporabljamo direktno konfiguracij na trajektorijah temveč parametre dinamičnih generatorjev gibov, ki smo jih vključili v knjižnico vzorčnih gibov.

Predlagane metode smo uporabili za posploševanje periodičnih in diskretnih gibov. Diskretni gibi so definirani kot trajektorije, ki se začnejo in končajo v določeni konfiguraciji, periodični gibi pa so definirani kot ponavljajoči se gibi brez natančno določenega začetka in konca. V naših eksperimentih smo pokazali, da lahko z obema pristopoma uspešno posplošimo oba tipa gibov. V obeh primerih je končen rezultat aproksimacijskega postopka robotska trajektorija, ki je zapisana z dinamičnimi generatorji gibov in ki je prilagojena trenutni konfiguraciji objektov v prostoru. Prednost metode, ki temelji na lokalno uteženi regresiji, je predvsem večja natančnost posploševanja, medtem ko lahko z regresijo, ki temelji na Gaussovih procesih, izračunamo ustrezne trajektorije dovolj hitro za uporabo znotraj robotove krmilne zanke.

Za posploševanje naučenih trajektorij na nove situacije lahko uporabljamo tudi druge metode kot je na primer spodbujevalno učenje, pri čemer prej naučene ali posplošene trajektorije uporabimo kot začetne približke. Predlagana metoda posploševanja in spodbujevalno učenje sta dve komplementarni metodologiji, ki se vzajemno dopolnjujeta. Našo metodo posploševanja lahko uporabimo za sintezo dobrih začetnih približkov za spodbujevalno učenje. Po drugi strani pa lahko spodbujevalno učenje uporabimo za generacijo novih trajektorij, ki so primerne kot vhodni podatki pri posploševanju.

Predlagane metode so ustrezne, če gibi, ki jih mora robot izvesti pri opravljanju določene naloge, zvezno prehajajo eden v drugega kot funkcija parametrov, ki opisujejo nalogo glede na trenutno konfiguracijo objektov v okolici robota. V nasprotnem primeru sosednje trajektorije ne vsebujejo informacij, iz katerih bi lahko skleпали na trajektorijo, ki je primerna za izvedbo naloge v dani situaciji. Intuitivno lahko privzamemo, da je ta pogoj izpolnjen pri mnogih praktičnih problemih; ni verjetno, da bi robot pri malo spremenjeni nalogi moral uporabljati povsem drugačne gibe. Naši eksperimenti so pokazali, da lahko pri številnih praktičnih problemih posplošujemo trajektorije z zadostno natančnostjo že pri sorazmerno majhnih množicah vzorčnih trajektorij.

Pokazali smo, da je predlagan postopek posploševanja primeren za realizacijo različnih praktičnih nalog. Kot poseben primer smo obravnavali učenje brisanja mize. Za razliko od drugih nalog smo morali pri brisanju mize upoštevati - poleg podatkov o poziciji gobe - tudi sile, ki delujejo na roko. Le tako smo lahko zagotovili, da je robot obdržal stalen kontakt z mizo in na njo ustrezno deloval. Sile smo merili s senzorjem sile v roki, s čimer smo lahko popravili pozicijske napake, ki nastanejo pri oceni položaja gobe z aktivnim vidnim sistemom. Prijemanje objektov in brisanje spadajo med ključne naloge, ki jih mora robot opraviti pri pospravljanju kuhinjske mize, ki spada med naše testne scenarije.

V zadnji fazi projekta smo raziskali, kako lahko robot samostojno razširi bazo vzorčnih gibov in s tem izboljša natančnost izvedbe naloge. Za vsak problem velja, da bi gotovo našli optimalno rešitev, če bi preiskali vse možnosti. Seveda so primeri, kjer je iskalni prostor dovolj majhen, da si to lahko dovolimo, zelo redki. Za večjo učinkovitost moramo iskalni prostor omejiti. Vse vrste učenja počnejo ravno to. Spodbujevalno učenje omejuje iskanje na tisti del prostora, kjer se nagrade večajo, učenje s posnemanjem pa na primere, podobne demonstracijskim. Pri učenju s posnemanjem moramo vedno iskati kompromis med želeno natančnostjo ter številom začetnih demonstracij. Spodbujevalno učenje pa ponavadi zahteva veliko število neuspešnih poizkusov, preden se pravi "posreči". Za izboljšanje natančnosti posploševanja smo se zato odločili povezati metodi spodbujevalnega učenja in učenja s posnemanjem. Glavna ideja pri tem je, da s posploševanjem pridobimo parametriziran zapis zelenih trajektorij. Za vsak povpraševalni parameter, ki ga uporabimo za poizvedbo v knjižnico vzorčnih gibov, algoritem posploševanja vrne pripadajoče parametre dinamičnega generatorja gibov, če je le povpraševalni parameter znotraj območja knjižnice vzorčnih gibov. Med povpraševalnimi parametri in dobljenimi rešitvami torej obstaja funkcijska povezava. Ideja naše metode je, da namesto da s spodbujevalnim učenjem iščemo odgovor na vprašanje, katera trajektorija prinese največjo nagrado, rešimo problem, kako največjo nagrado dobimo s spreminjanjem vhoda povpraševalnih parametrov v algoritem statističnega posploševanja. Pri tem je pomembno, da je dimenzija povpraševalnih parametrov precej manjša od števila prostih parametrov, ki v celoti opišejo dinamične generatorje gibov. Na primer, če je naša naloga met žoge v tarčo, je povpraševalni parameter položaj tarče v prostoru, ki ga lahko opišemo s tremi kartezičnimi koordinatami. Če to nalogo izvajamo z robotom s sedmimi prostostnimi stopnjami in gib vsakega sklepa zapišemo z desetimi jedrnimi funkcijami, je dimenzija parametrov, ki jih potrebujemo za zapis trajektorije, enaka sedemdeset. Z iskanjem v prostoru povpraševalnih parametrov torej bistveno zmanjšamo iskalni prostor in s tem časovno zahtevnost spodbujevalnega učenja. Na ta način lahko s spodbujevalnim učenjem razmeroma hitro

najdemo nove gibe, ki optimalno rešijo dano nalogo v novih situacijah. Zaradi zmanjšane dimenzije iskalnega prostora lahko tudi pri izbiri algoritma spodbujevalnega učenja uporabimo bolj standardne algoritme (na primer gradientne metode) kot so tisti, ki so primerni za iskanje vseh parametrov dinamičnih generatorjev gibov (na primer  $PI^2$ ).

Funkcijska povezava med povpraševalnimi parametri in parametri, ki opisujejo robotske trajektorije v obliki dinamičnih generatorjev gibov, je omejena na mnogoterost, ki vsebuje že znane robotske gibe. Če pri nekem novem povpraševalnem parametru rešitev ne leži na tej mnogoterosti, potem je z opisano metodo ne moremo najti. Z ozirom na to smo predlagali tristopenjski pristop k učenju robotskih nalog, ki poteka po naslednjem postopku:

- Posnamemo nekaj demonstracijskih gibov, ki uspešno rešijo dano nalogo. Če je možno, to znanje razporedimo po celotnem območju, v katerem deluje robot.
- Dobljeno znanje posplošimo na trenutno situacijo, v kateri se nahaja robot.
- Rezultat izboljšamo s pomočjo spodbujevalnega učenja; učenje poteka v prostoru povpraševalnih parametrov, ki jih uporabljamo za posploševalni algoritem.
- V mnogo primerih ne bomo dosegli želene rešitve z učenjem parametrov v prostoru zmanjšane dimenzije, ki ga definiramo glede na povpraševalne parametre. Fine popravke lahko izvedemo s pomočjo učenja vseh parametrov iz zapisa trajektorije.
- Naučeno rešitev dodamo v bazo vzorčnih trajektorij. Ob soočenju z morebitno novo nalogo proces učenja ponovimo začenši v točki 2.

V večih eksperimentih smo pokazali, da lahko na ta način robot avtonomno poveča zalogo vzorčnih trajektorij.

V projektu smo obravnavali in rešili tudi problem zaporedne izvedbe večih naučenih gibov, ki so podani z dinamičnimi generatorji gibov. Predlagali smo dva nova pristopa, ki zvezno povežeta več zaporednih gibov (do odvodov drugega reda).

Obravnavali smo tudi avtomatično določanje poizvedovalnih parametrov. Jasno je, da mora v ta namen robot imeti določeno predznanje, saj je v splošnem možna dimenzija iskalnega prostora zelo velika. Zato smo v naših raziskavah ročno določili fizične lastnosti objektov, ki pridejo v poštev kot poizvedovalni parametri. Za njihovo izbor smo uporabili statistične korelacijske metode.

Del opisanih eksperimentov smo izvedli pri naših partnerjih v Nemčiji (Univerza v Karlsruheju) in na Japonskem (ATR Computational Neuroscience Laboratories). Tako smo na Univerzi v Karlsruheju preizkusili brisanje mize s tamkajšnjim robotom, na ATR pa smo prezkusili prijemanje objektov, ki jih opazujemo z aktivnim humanoidnim vidom.

## **5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>**

Po projektni vlogi so bili glavni cilji projekta naslednji:

- Učenje osnovnih gibanj s pomočjo človekovih demonstracij in treniranja. Ta del projekta bo deloma osnovan na prejšnjih raziskavah. Čeprav pričakujemo, da bomo nove rezultate dobili tudi na teh področjih, bo poudarek na implementaciji potrebnih predznanj na humanoidnih robotih, ki so na voljo za eksperimente v predlaganem projektu.
- Generalizacija pridobljenih motoričnih znanj za ciljno usmerjeno sintezo robotskih operacij in identifikacija parametrov, ki so pomembni za izvedbo naloge, in njihova uporaba. To so glavne raziskovalne teme, ki jih bomo obravnavali v času trajanja projekta.
- Specifikacija testnih nalog v domačih okoljih, na katerih bomo prikazali uspešnost razvitih metod in preizkusili njihovo učinkovitost. Cilj je implementacija večih nalog povezanih s kuhinjskim okoljem in z igrami z žogo na humanoidnih robotskih sistemih.

Glede na naše končno poročilo lahko ugotovimo, da smo v projektu obravnavali in izpolnili vse zadane naloge.

## **6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>5</sup>**

Zaradi odhodov nekaterih članov projektne skupine v pokoj oziroma v novo službo (Jožef Opeka in Damir Omrčen) in zaradi obveznosti Andreja Gamsa na drugih

projektih, smo projektno skupino dopolnili z večimi novimi člani: Miha Deniša, Goran Škorja in Luka Peternel. Te spremembe niso vplivale na izvedbo in pričakovane rezultate projekta.

## 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	25861415	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sinteza in adaptacija robotskih gibanj s pomočjo baze trajektorij
		ANG	On-line motion synthesis and adaptation using a trajectory database
	Opis	SLO	V tem članku smo predlagali metodologijo za posploševanje senzomotoričnih znanj v realnem času. Trajektorije posplošimo s pomočjo Gaussovih procesov, pri čemer uporabimo kot povpraševalne točke v knjižnico trajektorij parametre, ki opisujejo želeno nalogo. Na realnih nalogah smo pokazali, da lahko predlagano metodo uporabimo v zaprtizančni zanki, kjer metodo posploševanja uporabimo v realnem času za prilagajanje gibanja spremembam, ki jih zaznamo z robotskimi senzorji.
		ANG	In this paper we propose a methodology for the statistical generalization of the available sensorimotor knowledge in real-time. Example trajectories are generalized by applying Gaussian process regression, using the parameters describing a task as query points into the trajectory database. We show on real-world tasks that the proposed methodology can be integrated into a sensory feedback loop, where the generalization algorithm is applied in real-time to adapt robot motion to the perceived changes of the external world.
	Objavljeno v	North Holland; Robotics and autonomous systems; 2012; Vol. 60, no. 10; str. 1327-1339; Impact Factor: 1.056; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.204; WoS: AC, EP, RB; Avtorji / Authors: Forte Denis, Gams Andrej, Morimoto Jun, Ude Aleš	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	23918375	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Posploševanje dinamičnih generatorjev gibov glede na parametre naloge
		ANG	Task-specific generalization of discrete and periodic dynamic movement primitives
	Opis	SLO	V tem članku obravnavamo metodologijo, ki omogoča posploševanje prej naučenih elementarnih gibov. Nove operacije sintetiziramo s pomočjo statističnih metod, pri čemer uporabimo cilj in druge parametre nalog kot indeks, s katerim izluščimo nove gibe iz knjižnice prej naučenih gibov. Na ta način lahko sintetiziramo nove gibe brez zamudnega matematičnega modeliranja zelene naloge. V članku smo tudi prikazali, kako lahko predlagano metodologijo uporabimo skupaj z vidnim sistemom humanoidnega robota. Uporaba klasičnega 3D vida na humanoidnih robotih z zapletenim očesnim sistemom je lahko problematična zaradi napak pri modeliranju, vendar pa lahko s pomočjo statističnega učenja te napake odpravimo.
		ANG	This paper describes a methodology that enables the generalization of the available sensorimotor knowledge. New actions are synthesized by the application of statistical methods, where the goal and other characteristics of an action are utilized as queries to create a suitable control policy, taking into account the current state of the world. The proposed approach enables the generation of a wide range of policies without requiring an expert to modify the underlying representations to account for different task-specific features and perceptual feedback. The paper also demonstrates that the proposed methodology can be integrated with an active vision system of a

		humanoid robot. While 3D vision on humanoid robots with complex oculomotor systems is often difficult due to the modeling uncertainties, we show that these uncertainties can be accounted for by the proposed approach.
Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on robotics; 2010; Vol. 26, no. 5; str. 800-815; Impact Factor: 3.063; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.469; A': 1; WoS: RB; Avtorji / Authors: Ude Aleš, Gams Andrej, Asfour Tamim, Morimoto Jun
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	25079079   Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Učenje nalivanja z robotsko roko; hkratio učenje cilja naloge in oblika trajektorije z dinamičnimi generatorji gibov
	ANG	Learning to pour with a robot arm combining goal and shape learning for dynamic movement primitives
Opis	SLO	Kadar robotska gibanja opišemo z dinamičnimi generatorji gibov, moramo podati parametre kot so končni cilj trajektorije, oblika in trajanje. Pri spodbujevalnem učenju z dinamičnimi generatorji gibov so cilj in trajanje giba določeni v naprej, tako da se robot nauči samo oblike giba. Pri mnogih nalogah pa cilj trajektorije ni podan v naprej, temveč se ga mora robot naučiti. V tem članku obravnavamo metode, ki jih lahko uporabimo za hkratio učenje cilja (končne točke na trajektoriji) in oblike gibanja.
	ANG	When describing robot motion with dynamic movement primitives (DMPs), goal (trajectory endpoint), shape, and temporal scaling parameters are used. In reinforcement learning with DMPs, usually goals and temporal scaling parameters are predefined and only the weights for shaping a DMP are learned. Many tasks, however, exist where the best goal position is not a priori known, requiring to learn it. In this paper we specifically addressed the question of how to simultaneously combine goal and shape parameter learning.
Objavljeno v		North Holland; Robotics and autonomous systems; 2011; Vol. 59, no. 11; str. 910-922; Impact Factor: 1.056; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.204; WoS: AC, EP, RB; Avtorji / Authors: Tamosiumaite Minija, Nemeč Bojan, Ude Aleš, Wörgötter Florentin
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	25192487   Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Zaporedno izvajanje robotskih operacij s pomočjo dinamičnih generatorjev gibov
	ANG	Action sequencing using dynamic movement primitives
Opis	SLO	Avtonomni roboti morajo biti sposobni samostojno povezati obstoječe senzomotorično znanje pri reševanju kompleksnih nalog. Raziskali smo, kako lahko robot zaporedno izvede več gibov, ki so podani z dinamičnimi generatorji gibov. Predlagali smo dva nova pristopa, ki oba zvezno povežeta več zaporednih gibov (do odvodov drugega reda).
	ANG	General-purpose autonomous robots must have the ability to combine the available sensorimotor knowledge in order to solve more complex tasks. In this paper, we investigated the problem of sequencing of dynamic movement primitives. We proposed two new methodologies which both ensure that consecutive movement primitives are joined together in a continuous way (up to second-order derivatives).
Objavljeno v		Cambridge University Press; Robotica; 2012; Vol. 30, no. 5; str. 837-846; Impact Factor: 1.032; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.276; WoS: RB; Avtorji / Authors: Nemeč Bojan, Ude Aleš
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

**8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>2</sup>**

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	25226279	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Organizacija 11. mednarodne konference o humanoidnih robotih (Humanoids)	
	ANG	Organization of 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)	
Opis	SLO	IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots je največja konferenca s področja humanoidne robotike v svetovnem merilu. Konferenca poteka pod okriljem IEEE Robotics and Automation Society, ki je najpomembnejša svetovna organizacija robotikov. V letu 2011 je bil dr. Ude predsednik te konference ("general chair"), ki je v njegovi organizaciji potekala na Bledu <a href="http://www.humanoids2011.org/">http://www.humanoids2011.org/</a> . Gre za največjo robotsko konferenco, ki jo je do sedaj IEEE-RAS dodelila Sloveniji.	
	ANG	IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots is the main conference in the area of humanoid robotics worldwide. It is sponsored by IEEE Robotics and Automation Society, which is the prime robotics society in the world. As a general chair dr. Ude organized this conference at Bled, Slovenia, in 2011 ( <a href="http://www.humanoids2011.org/">http://www.humanoids2011.org/</a> ). Humanoids is the biggest and most important conference sponsored by IEEE-RAS, which has been organized in Slovenia up to now.	
Šifra	B.01	Organizator znanstvenega srečanja	
Objavljeno v	IEEE; 2011; 1 USB ključ;		
Tipologija	2.31 Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci		
2.	COBISS ID	26450471	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Ciljno usmerjena sinteza robotskih operacij na osnovi baze vzorčnih gibanj	
	ANG	Goal-directed action synthesis from a library of example trajectories	
Opis	SLO	Rezultati našega projekta so bili 10. 8. 2011 predstavljeni v vabljenem predavanju na Univerzi v Tokiu, ki velja za najboljšo japonsko univerzo.	
	ANG	The results of our project were presented in an invited talk at the University of Tokyo, which is considered as the best university in Japan.	
Šifra	B.04	Vabljen predavanje	
Objavljeno v	The University of Tokyo; 2011; Avtorji / Authors: Ude Aleš		
Tipologija	3.14 Predavanje na tuji univerzi		
3.	COBISS ID	26449959	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Učenje motoričnih spretnosti v robotiki	
	ANG	Motor learning in robotics	
Opis	SLO	V letu 2012 smo v ustanovili Laboratorij za humanoidno in kognitivno robotiko ( <a href="http://www-hcr.ijs.si/">http://www-hcr.ijs.si/</a> ). Glavno poslanstvo laboratorija je razvoj robotov za pomoč ljudem v naravnih okoljih. V okviru laboratorija trenutno poteka več velikih evropskih projektov in drugih projektov za zunanje uporabnike. Delo laboratorija je bilo predstavljeno v predavanju na Slovenski akademiji znanost in umetnosti.	
		In 2012 we established a new laboratory: Humanoid and Cognitive Robotics Lab ( <a href="http://www-hcr.ijs.si/">http://www-hcr.ijs.si/</a> ). The main mission of the lab is to develop robots that can help people in natural environments. The lab is currently	



		ANG	conducting a number of large European projects and also other projects for external users. The new lab was presented in an invited lecture at the Slovenian Academy of Sciences and Arts.
Šifra	D.05		Akreditacija laboratorija
Objavljeno v	Slovenska akademija znanosti in umetnosti; 2012; Avtorji / Authors: Ude Aleš		
Tipologija	3.14		Predavanja na tuji univerzi
4.	COBISS ID	26449703	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Razvoj kognitivnih robotov: pridobivanje senzomotoričnih znanj z raziskovanjem in posnemanjem	
	ANG	Towards cognitive robots: acquiring sensorimotor knowledge by exploration and imitation	
Opis	SLO	Rezultate naših raziskav na področju statističnega posploševanja robotskih gibanj smo prenesli na humanoidne robote, ki jih za japonske uporabnike razvijajo v ATR Computational Neuroscience Laboratories, Kyoto, Japonska. Naš pristop je omogočil učinkovito učenje humanoidnih robotov pri nalogah kot so seganje in prijemanje, brisanje, bobnanje itd.	
	ANG	The method for statistical generalization of robot behaviors was transferred to humanoid robots, which are being developed at ATR Computational Neuroscience Laboratories, Kyoto, Japan. Our method has proven to be very effective at learning tasks such as reaching and grasping, wiping, drumming etc. on humanoid robots.	
Šifra	F.17		Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso
Objavljeno v	ATR Computational Neuroscience Laboratories; 2012; Avtorji / Authors: Ude Aleš		
Tipologija	3.14		Predavanja na tuji univerzi

## 9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>8</sup>

--

## 10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>9</sup>

### 10.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>10</sup>

SLO

Eden največjih izzivov sodobne robotike je razvoj splošno uporabnih robotov, ki lahko avtonomno delujejo v naravnih okoljih, kot so na primer domovi ljudi. Razvoj takšnih sistemov bo omogočil prenos robotskih tehnologij iz statičnih okolij v tovarnah v bolj nepredvidljiva in dinamična naravna okolja. S tem se bo robotski trg bistveno povečal. V tem projektu smo razvili metodologijo, ki robotom omogoča

- pridobivanje začetnih motoričnih znanj, ki so primerna za robotovo delovanje v točno določenih situacijah, s pomočjo naravnih metod kot sta programiranje na osnovi človekovih demonstracij in kinestetično vodenje, ki ju lahko izvajajo tudi laiki,
- prenos zajetih operacij na kinematiko in dinamiko humanoidnih robotov,
- posploševanje naučenih operacij na bolj splošne situacije, kar omogoča ciljno usmerjeno sintezo robotskih operacij,
- uporabo parametrizacije prostora rešitev naloge za pohitritev spodbujevalnega učenja, in
- avtomatično identifikacijo parametrov, ki opisujejo cilj zadane naloge.

Na ta način smo prispevali k razvoju kognitivnih robotskih sistemov.

ANG

One of the biggest challenges of modern robotics is to enable general purpose robots to autonomously act in natural environments such as homes. The development of such systems will enable the transfer of robot technologies from rather static industrial environments to more unpredictable and dynamic natural environments, thus significantly enlarging the robotics market. In this project we developed a new robot learning paradigm methodology that enables the robots to

- Acquire initial sensorimotor knowledge to solve a given task in different configurations of the external world. We used methods such as the observation of human motion and kinesthetic guiding to enable quick transfer of task knowledge to a robot.
- Transfer of human motion to the robot's kinematics and dynamics.
- Generalization of the acquired action knowledge to new situations, thereby enabling the synthesis of novel robot trajectories.
- The application of task parametrization to accelerate reinforcement learning.
- Automatic identification of parameters that describe the desired task.

This way we contributed to the development of cognitive robotic systems.

## 10.2.Pomen za razvoj Slovenije<sup>11</sup>

SLO

Kognitivna robotika spada med najpomembnejše teme sedmega okvirnega program Evropske Unije. Z izvedbo našega projekta smo prispevali k razvoju področja kognitivne robotike v Sloveniji. Samo v naši programski skupini smo od leta 2011 naprej pridobili in začeli izvajati štiri večje projekte iz sedmega okvirnega programa Evropske unije, tematsko področje "kognitivni sistemi in robotika". S tem smo bistveno povečali raziskovalno dejavnost na tem področju v Sloveniji.

Rezultati našega projekta predstavljajo izhodišče za razvoj novih robotskih sistemov, ki bodo pomagali ljudem v naravnih okoljih, na primer na njihovih domovih. Takšni roboti lahko bistveno prispevajo k izboljšanju kvalitete življenja predvsem starejših ljudi. Če bi s pomočjo robotike podaljšali čas, ko lahko starejši ljudje samostojno živijo na svojih domovih, le za nekaj mesecev, bi s tem bistveno prispevali k reševanju problemov starajoče se družbe. Seveda pa razvoj takšnih robotskih sistemov zahteva še velika nadaljna vlaganja in vključenost v evropske in globalne raziskovalne usmeritve. Zato je pomembno je, da Slovenija s projekti kot je "Ciljno usmerjena sinteza robotskih operacij na osnovi baze vzorčnih gibanj" še naprej ostane vključena v vrhunske raziskave na tem področju v Evropi in v svetu.

ANG

Cognitive robotics is one of the important topics of the seventh framework programme of the European Union. With this project we contributed to the development of cognitive robotics in Slovenia. Our programme group has recently acquired four new FP7 projects in the area of "Cognitive systems and robotics". This way we significantly increased the research activity in this area in Slovenia and contributed to the participation of Slovenia in the EU seventh framework programme.

Results of our projects provide some of the necessary foundations for the development of general-purpose robotic systems that can help people in natural environments, for example their homes. These type of robots could significantly contribute to improving the quality of life, especially for older people. If robotics prolonged the time that people can live at their homes independently and without the help of other people just for a few months, it would significantly contribute to solving the problems of the aging society. It is clear that the development of such robotic systems still requires large investment and integration in European and global research activities. It is therefore important that Slovenia remains at the forefront of research in this field.

## 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		
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

		<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljaljskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.29</b>	<b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.30</b>	<b>Strokovna ocena stanja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.31</b>	<b>Razvoj standardov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.32</b>	<b>Mednarodni patent</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.33</b>	<b>Patent v Sloveniji</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.34</b>	<b>Svetovalna dejavnost</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.35</b>	<b>Drugo</b>	

Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
Rezultat	<input type="text"/>
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

**Komentar**


**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	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Komentar**

--

**13.Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>12</sup>**

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
		1.	
		2.	
		3.	
		4.	
		5.	
	Komentar		
	Ocena		

**14.Izjemni dosežek v letu 2012<sup>13</sup>****14.1. Izjemni znanstveni dosežek**

Razvoj statističnih metod za pospešeno učenje robotov v naravnih okoljih

Okolja, v katerih roboti sobivajo z ljudmi in jim pomagajo, se pogosto spreminjajo, zato morajo roboti v takšnih okoljih znati hitro pridobivati nova znanja. Razvili smo novo metodo za učenje senzomotoričnih operacij, pri kateri povežemo knjižnico vzorčnih robotskih gibanj s parametri,



ki opisujejo cilj naloge v različnih situacijah. Vzorčna gibanja lahko robot pridobi na različne načine, na primer z opazovanjem delovanja ljudi ali pa s kinestetičnim vodenjem. Ta gibanja potem posplošimo na nove situacije s pomočjo statističnih metod in ob upoštevanju parametrov, ki opisujejo cilj naloge v trenutni situaciji. Za zapis in posploševanje robotskih gibanj smo predlagali dinamične generatorje gibov, ki omogočajo bolj fleksibilno izvedbo robotskih operacij. Učinkovitost razvitih metod smo pokazali na večih praktičnih primerih, na primer seganje in prijemanje, brisanje, nalivanje, itd.

## 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:*

Institut "Jožef Stefan"

Aleš Ude

### ŽIG

Kraj in datum:

### Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/260

<sup>1</sup> 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](#)

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

<sup>3</sup> 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](#)

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

<sup>5</sup> 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](#)

<sup>6</sup> 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](#)

<sup>7</sup> 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](#)

<sup>8</sup> 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](#)

<sup>9</sup> 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](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Rubrike izpolnite / prepisite 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](#)

<sup>13</sup> 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 priložitev/-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  
29-5F-A6-B2-B3-57-46-E8-11-7C-60-F5-EF-F1-78-6E-B0-F3-87-3E

# TEHNIKA

## Področje: 2.10.04 Robotika

### Dosežek 1: Statistične metode za pospešeno učenje robotov

Vir: D. Forte, A. Gams, J. Morimoto, A. Ude (2012) On-line motion synthesis and adaptation using a trajectory database, Robotics and Autonomous Systems, vol. 60, no. 10, pp. 1327-1339, doi: 10.1016/j.robot.2012.05.004

#### Izvajanje naučenih operacij



Razvoj statističnih metod za pospešeno učenje robotov v naravnih okoljih

Okolja, v katerih roboti sobivajo z ljudmi in jim pomagajo, se pogosto spreminjajo, zato morajo roboti v takšnih okoljih znati hitro pridobivati nova znanja. Razvili smo novo metodo za učenje senzomotoričnih operacij, pri kateri povežemo knjižnico vzorčnih robotskih gibanj s parametri, ki opisujejo cilj naloge v različnih situacijah. Vzorčna gibanja lahko robot pridobi na različne načine, na primer z opazovanjem delovanja ljudi ali pa s kinestetičnim vodenjem. Ta gibanja potem posplošimo na nove situacije s pomočjo statističnih metod in ob upoštevanju parametrov, ki opisujejo cilj naloge v trenutni situaciji. Za zapis in posploševanje robotskih gibanj smo predlagali dinamične generatorje gibov, ki omogočajo bolj fleksibilno izvedbo robotskih operacij. Učinkovitost razvitih metod smo pokazali na večih praktičnih primerih, na primer seganje in prijemanje, brisanje, nalivanje, itd. Naše metode smo preizkusili na različnih robotih v lastnem laboratoriju in pri partnerjih v večih evropskih projektih.