

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/132



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

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

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0232
Naslov programa	Funkcije in tehnologije kompleksnih sistemov Functions and technologies of complex systems
Vodja programa	6857 Franjo Pernuš
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	23460
Cenovni razred	B
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko 381 Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.06 Sistemi in kibernetika
Družbeno-ekonomski cilj	07. Zdravje
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.06 Zdravstveni inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Raziskovalni program je obsegal naslednje 4 teme:

I. Analiza medicinskih slik

Analiza medicinskih slik je danes pomembno, inovativno in interdisciplinarno področje raziskav. Zdravniki, fiziki, tehniki in informatiki že vse od začetkov uporabe naprednih tehnik zajemanja slik v medicini, kot so računalniška tomografija (CT), magnetno resonančno slikanje (MRI), ultrazvok (US), pozitronska izsevna tomografija (PET), itd., sodelujejo pri raziskavah, ki naj bi pripeljale do novih diagnostičnih in terapevtskih postopkov. Na področju analize medicinskih slik smo se predvsem posvetili: (1) poravnavi slik različnih modalitet, dimenzij in anatomskih struktur, (2) razgradnji slik različnih modalitet in dimenzij, (3) kvantitativni analizi anatomskih struktur in patologij, (4) objektivnemu vrednotenju in primerjav različnih postopkov ter (5) kliničnim aplikacijam.

II. Membranske nanostrukture in njihove interakcije

Med membranske nanostrukture uvrščamo mikroversikle, nanotube, ozke membrane vratove ter nelamelarne fosfolipidne faze, ki so stabilne v vodni raztopini. Membranske mikroversikle lahko opišemo tudi kot zunajcelične organele, ki odražajo sestavo membrane in sestavo notranjosti celic ter prenašajo snovi in informacije do oddaljenih celic. Eksperimentalno in teoretično smo študirali membranske mikro in nano strukture. Eksperimentalno smo študirali vplive lastnosti membran in okolne raztopine na vesikulacijo in adhezijo membran. Skušali smo povezati predlagane mehanizme s klinično sliko različnih bolezni. Študirali smo tudi lastnosti nanotub in iskali znotrajcelične nanotube. Na področju teorije smo nadaljevali z razvojem teorije deviatorne elastičnosti, ki pojasnjuje stabilnost močno anizotropno ukrivljenih struktur. V to teorijo smo vključili opis biološko pomembnih nelamelarnih faz, kot so inverzna heksagonalna faza in različne kubične faze. Študirali smo posredovane interakcije med membranama, tako da smo porabili in nadgradili teorijo električne dvojne plasti.

III. Kompleksni dinamični sistemi

Študirali smo oscilatorne komponente v pretoku krvi v ožilju, njihove medsebojne interakcije, ter njihove interakcije z možganskimi valovi. Raziskave so potekale na treh vsebinskih področjih: (1) razvoj metod za analizo dinamike oscilacij in njihovih sklopitev, (2) študij fizioloških osnov oscilacij in njihovih interakcij, ter (3) klinične aplikacije.

IV. Industrijske aplikacije računalniškega vida

Sistemi z računalniškim vidom so inteligentni sistemi, ki so z optičnim brezkontaktnim zaznavanjem sposobni zajeti eno ali več slik, jih obdelati, analizirati in izmeriti različne značilnosti objektov na sliki ter sprejeti ustrezno odločitev. Razvoj optoelektronskih in računalniških tehnologij je v zadnjih dveh desetletjih omogočil razvoj in izdelavo številnih sistemov, ki se uporabljajo za kontrolo kakovosti izdelkov v številnih proizvodnih procesih. Predvsem s pomočjo znanj, ki smo jih pridobili z zahtevno analizo medicinskih slik, smo razvijali kompleksne sisteme z računalniškim vidom ter rezultate prenašali v industrijsko okolje.

ANG

Research was focused around the following 4 areas:

I. Medical image analysis

Medical image analysis is a vital and innovative interdisciplinary field of research. Ever since the introduction of advanced medical image acquisition techniques, like computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), ultrasound (US), positron emission tomography (PET), and single photon emission tomography (SPECT), medical physicists, biomedical engineers, physicians, and information scientists have joined their research efforts to develop new diagnostic and therapeutic procedures. In the area of medical image analysis research was focus on: (1) registration of images of different modalities, dimensions and anatomical structures, (2) segmentation of images of different modalities and dimensions, (3) quantitative analysis of anatomical structures and pathologies, (4) objective validation and comparison of methods and (5) clinical applications.

II. Membranous nanostructures and their interactions

Membranous nanostructures are microvesicles (microparticles), nanotubes, thin necks and nonlamellar phospholipid phases which are stable in aqueous solutions. They convey matter and information to distant cells. The membranous

micro and nanostructures were studied experimentally and theoretically. The effects of properties of the membrane and of the surrounding solution on the vesiculation and adhesion of membranes were studied experimentally. The mechanisms were related to the clinical status of patients. We studied the properties of nanotubes and searched for nanotubes inside the cell. Theoretically we were developing the theory of deviatoric elasticity which explains stability of strongly anisotropically curved structures. In this theory we included the description of biologically relevant nonlamellar lipid phases and different cubic phases. Mediated interactions between membranes were studied by applying and upgrading the electric double layer theory.

III. Complex dynamical systems

We investigated the properties of the cardiovascular oscillations and their mutual interactions as well as their interactions with the brain waves. The research was focused on: (1) Development of nonlinear and stochastic methods for analysis of the dynamical properties of the oscillatory components and their couplings; (2) further investigations of the physiological origin of the oscillations and their interactions, and (3) clinical applications.

IV. Machine vision systems

Machine vision systems, which perform automated visual inspection, are being applied to a variety of challenging industrial applications, all with the goal of improving quality and productivity in the manufacturing process. Machine vision unifies illumination, image acquisition, image processing and analysis, feature extraction and material handling technologies to provide non-contact localization, characterization and manipulation of stationary or moving objects. With the expertise mainly obtained by working on difficult medical image analysis problems, we were developing and testing complex machine vision systems.

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

SLO

I. Analiza medicinskih slik

Razvili smo vrsto inovativnih postopkov za avtomatsko analizo medicinskih slik različnih modalitet, različnih dimenzij in različnih anatomskih struktur in patologij. Razviti so bili postopki za obnovo, razgradnjo in poravnavo slik ter postopki za standardizirano vrednotenje razvitih metod. Pridobljene (zgrajene) so bile reprezentativne baze slik, na katerih smo vrednotili razvite postopke. Predvsem smo se posvetili reševanju naslednjih problemov: a) 3D/2D poravnavi, ki je ključni postopek minimalno invazivnih, slikovno vodenih posegov v medicini, b) razgradnji medicinskih slik na osnovi oslonilnih točk, ki je ključni postopek za kvantitativno vrednotenje anatomskih struktur in patologij, c) kvantitativnemu vrednotenju oblike hrbtenice, posameznih vretenc, medvretenčnih diskov in okolčja, d) analizi trdih zobnih tkiv s hiperspektralnim slikanjem, g) kvantitativni analiza možganskih lezij pri pacientih z multiplo sklerozo in obstruktivno spalno apnejo (motnje dihanja med spanjem). Vsi razviti postopki so pomembni in uporabni za študij normalnih in bolezenskih stanj ter v različnih fazah zdravljenja: a) diagnosticiranje, b) načrtovanje, simulacija in minimalno invazivno slikovno vodenje posegov, ter c) spremljanje učinkov zdravljenja oziroma napredovanja bolezni.

II. Membranske nanostrukture in njihove interakcije

S pomočjo originalne teorije deviatorne elastičnosti bioloških membran, ki temelji na orientacijskem urejanju membranskih gradnikov, smo razložili stabilnost membranskih nanotub in inverznih heksagonalnih lipidnih faz, ki so pomembne v komunikacijah med rakastimi in zdravimi celicami. Rezultati našega raziskovanja na področju bioloških membran so prispevali k boljšemu razumevanju mehanizma vezave osteoblastov na nanostrukturirane površine implantov, kjer smo na osnovi simulacij ter teoretičnih in eksperimentalnih rezultatov določili za osteointegracijo optimalno topografijo TiO₂ nanotubularnih površin implantov. S hkratno obravnavo orientacijskega urejanja

vodnih molekul ter končnega volumna ionov smo izboljšali teorijo električne dvojne plasti in med drugim pokazali, da se ob nanostrukturirani titanovi površini implanta dielektričnost ionske raztopine zaradi orientiranih vodnih molekul zelo zmanjša, kar pomembno vpliva na vezavo molekul in osteoblastov na nanostrukturirane površine implanta. Z novo teorijo posredovanih električnih interakcij smo razložili privlak med enako naelektrenimi membranami in tako prispevali k boljšemu razumevanju interakcij med membranami in mikrovesikli in dodanimi učinkovinami, kar je med drugim važno tudi pri nastajanju krvnih strdkov. Na osnovi dobljenih rezultatov smo zaključili, da lahko mikrovesikli posredujejo privlačne interakcije med celicami, kar se odraža v spremenjeni koncentraciji mikrovesiklov v izolatih. Na tej osnovi razvijamo tudi novo klinično uporabno metodo, ki temelji na izolaciji in analizi mikrovesiklov, ki bi se lahko v prihodnosti uporabljala v diagnostiki različnih bolezni, ki so povezane s povečano mikrovesikulacijo. Razvili smo tudi novo metodo simultane priprave.

III. Kompleksni dinamični sistemi

Posvečali smo se eksperimentalnim raziskavam bioloških oscilatorjev, od fluktuacij v membranskem potencialu celic do dinamike kardiovaskularnega sistema in možganov. Dinamiko srčnožilnega sistema in možganov smo študirali teoretično in eksperimentalno. Teoretično smo študirali učinke sklopitev, šuma in faznih asimetrij tako pri sklopljenih oscilatorjih, ki smo jih uporabili pri modeliranju kardiovaskularnega sistema, kot pri sklopljenih fazno oscilatornih skupkih, s katerimi smo modelirali dinamiko možganov. Analitično in numerično smo pokazali, da: (i) ima asimetrija pomembno vlogo pri nadzoru sinhronizacije znotraj in med oscilatornimi skupki, (ii) šum in sklopitev tekmujeta pri induciranju sinhronizacije in (iii) prenehanje delovanja oscilatorja lahko povzročijo ne samo spremembe sklopitev, pač pa tudi spremembe frekvenc in amplitud oscilatorjev. Eksperimentalno pa smo (i) prvi odkrili deltatheta interakcije in kako se te spreminjajo z globino anestezije in (ii) predlagali smo novo metodo za neinvazivno merjenje endotelijskih funkcij v kapilarnem ožilju. Študirali smo tudi dinamiko staranja kardiovaskularnega sistema in pokazali, da je dinamika endotelne aktivnosti ključna za razumevanje staranja kardiovaskularnega sistema. S tem smo prispevali nova spoznanja o pomenu delovanja endotelija za kardiovaskularni sistem tako v normalnem stanju kot tudi pri številnih obolenjih in staranju.

IV. Industrijske aplikacije računalniškega vida

Predvsem smo se osredotočili na hiperspektralno slikanje, ki združuje spektroskopijo in slikanje ter na ta način omogoča sočasno zajemanje spektralne in slikovne informacije o prizoru. Proučevali smo hiperspektralno slikanje v ultravijoličnem, vidnem, bližnje infrardečem ali srednje infrardečem spektralnem območju. Študirali in razvijali smo tehnike zajemanja hiperspektralnih slik, ki temeljijo na spektralnem odčitavanju in eno dimenzionalnem prostorskem odčitavanju. Še posebno smo se posvetili problemu, ki so povezani s kalibracijo sistemov s spektralnim odčitavanjem na osnovi akustično nastavljivega optičnega filtra. Kalibracija, ki obsega valovno, geometrijsko in radiometrično kalibracijo, je namreč predpogoj za zajem kvalitetnih hiperspektralnih slik. Hiperspektralne slike vsebujejo koristno informacijo o slikanem objektu, zato se takšno slikanje vedno pogosteje uporablja v daljinskem zaznavanju, farmaciji, medicini, prehrabeni industriji, itd. Vendar pa so hiperspektralne slike resnično uporabne le ob ustrezni kalibraciji, osvetlitvi in poznavanju prenosne funkcije akustično nastavljivega optičnega filtra. Zaradi tega so naši prispevki na tem področju pomembni in uporabni. Poleg tega smo študirali in razvijali sisteme z računalniškim vidom, ki so z optičnim brezkontaktnim zaznavanjem v vidnem spektru sposobni zajeti eno ali več slik, jih obdelati, analizirati in izmeriti različne značilnice objektov na sliki z namenom ugotavljanja kvalitete proučevanih objektov. Predvsem smo se posvetili farmacevtskim izdelkom, kot so tablete, kapsule in pelete, ter detekciji defektov, ki se lahko pojavijo na teh izdelkih.

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

SLO

Vse zastavljene raziskovalne cilje programa 2009-2014 smo uresničili in presegli. O tem najbolj pričajo rezultati, ki so bili objavljeni v 240 člankih v revijah A1-A4, od tega v 137 člankih iz skupine A1 (1. četrtina revij)! V povprečju smo na leto objavili 40 člankov, letno 17,5 člankov/FTE!

Raziskovalci, ki so delovali na programu v celotnem obdobju, so objavili 164 člankov. Ti so na leto v povprečju objavili 28 člankov (letno 12,4 člankov/FTE).

Število citatov, ki jih je 240 člankov, objavljenih v zadnjih 5 letih, prejelo je 1709 (vir Sicris).

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

SLO

V letu 2014 se program ni spremenil.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	9231956	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba teorije iger za razgradnjo slik na osnovi oslonilnih točk
		ANG	A game-theoretic framework for landmark-based image segmentation
Opis	SLO	<p>Teorija iger sloni na igralcih, množici strategij, ki opisujejo, kaj lahko storijo igralci, ter donosih igralcev, ki so rezultat vsake možne izbrane strategije za vsakega igralca. Elementi teorije iger (igralci, strategije in donosi) so bili domiselno in izvirno prilagojeni za reševanje problema iskanja oslonilnih točk na slikah. Določanje oslonilnih točk, ki opisujejo bodisi obris objekta (anatomske strukture) v dveh dimenzijah ali pa površino objekta v treh dimenzijah, je formulirano kot igra, kjer so oslonilne točke igralci, vsa možna mesta oslonilnih točk na sliki strategije, donosi pa so verjetnosti, da so končni položaji oslonilnih točk na pravih mestih. Verjetnosti odražajo ujemanje intenzitet in prostorskih povezav možnih mest za oslonilne točke v analizirani sliki s statistiko intenzitet in prostorskih povezav, ki je bila pridobljena z analizo večje učne množice slik. učne množice slik.</p> <p>Izvedljivost in učinkovitost predlaganega postopka razgradnje je preverjena na dvodimenzionalnih rentgenskih slikah pljučnih kril in rezinah magnetno resonančnih slik srčnih ventriklov. Primerjava izvirnegapc občutljiv na inicializacijo kot drugi postopki.</p>	
	ANG	<p>A novel game-theoretic framework for landmark-based image segmentation is presented. Landmark detection is formulated as a game, in which landmarks are players, landmark candidate points are strategies, and likelihoods that candidate points represent landmarks are payoffs, determined according to the similarity of image intensities and spatial relationships between the candidate points in the target image and their corresponding landmarks in images from the training set.</p> <p>The solution of the formulated game-theoretic problem is the equilibrium of candidate points that represent landmarks in the target image and is obtained by a novel iterative scheme that solves the segmentation problem in polynomial time. The performance of the proposed framework was evaluated for segmentation of lung fields from chest radiographs and heart ventricles from cardiac magnetic resonance cross-sections.</p>	

		The comparison to other landmark-based segmentation techniques shows that the results obtained by the proposed game-theoretic framework are highly accurate and precise.
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on medical imaging; 2012; Vol. 31, no. 9; str. 1761-1776; Impact Factor: 4.027; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.38; A": 1; A': 1; WoS: EV, IG, IQ, UE, VY; Avtorji / Authors: Ibragimov Bulat, Likar Boštjan, Pernuš Franjo, Vrtovec Tomaž
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	9795156 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> 3D2D poravnava angiografskih slik možganskega ožilja
		<i>ANG</i> 3D-2D registration of cerebral angiograms
	Opis	<p><i>SLO</i> Minimalno invazivni znotrajžilni (endovaskularni) pristop (EIGI) postaja vedno bolj uveljavljen način zdravljenja intrakranialnih anevrizem. Intervencijski radiolog, ki izvaja EIGI, najprej vodi kateter po kompleksnem 3D ožilju do mesta patologije ter nato aplicira terapijo; vse s pomočjo dvodimenzionalnih (2D) fluoroskopskih slik nizkih doz, ki imajo odlično prostorsko in časovno resolucijo in omogočajo prikazovanje posega »v živo«. Za postavljanje diagnoze, kvantifikacijo anevrizme ter za načrtovanje posega se uporabljajo tridimenzionalne (3D) slike, zajete pred posegom. S pomočjo združevanja informacije iz »živih« 2D slik in 3D slike, kar zahteva 3D2D poravnavo slik, bi bilo mogoče olajšati/izboljšati navigacijo in zdravljenje. V preteklosti so že bili predlagani postopki za 3D2D poravnavo, ki so sicer natančni vendar pa ne dovolj robustni oziroma zanesljivi. Raziskovali in razvili smo nov postopek 3D2D poravnave slik, ki sloni na ujemanju 3D modela ožilja in gradiena intenzitet 2D slik. Da bi lahko novi postopek objektivno ovrednotili in ga primerjali z znanimi postopki, smo zajeli slike 10 pacientov ter določili »zlati standard« poravnave s pomočjo oslonilnih točk, ki so bile vidne na 2D in 3D slikah. Natančnost in hitrost predlaganega postopka sta bili primerljivi z natančnostjo in hitrostjo ostalih postopkov, delež pravilnih poravnav in velikost področja konvergence pa sta bila večja.</p> <p><i>ANG</i> Endovascular image-guided interventions (EIGIs) involve navigation of a catheter through the vasculature followed by application of treatment at the site of anomaly using live 2D projection images for guidance. 3D images acquired prior to EIGI are used to quantify the vascular anomaly and plan the intervention. If fused with the information of live 2D images they can also facilitate navigation and treatment. For this purpose 3D2D image registration is required. Although several 3D2D registration methods for EIGI achieve registration accuracy below 1 mm, their clinical application is still limited by insufficient robustness or reliability. In this paper, a 3D2D registration method based on matching a 3D vasculature model to intensity gradients of live 2D images is proposed. To objectively validate 3D2D registration methods, we acquired a clinical image database of 10 patients undergoing cerebral EIGI and established "gold standard" registrations by aligning fiducial markers in 3D and 2D images. The proposed method had mean registration accuracy below 0.65 mm, which was comparable to tested state-of-the-art methods, and execution time below 1s. With the highest rate of successful registrations and the highest capture range the proposed method was the most robust and thus a good candidate for being incorporated in EIGI.</p>
	Objavljeno v	Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE transactions on medical imaging; 2013; Vol. 32, no. 8; str. 1550-1563; Impact Factor: 3.799; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.694; A": 1; A': 1; WoS: EV, IG, IQ, UE, VY; Avtorji / Authors: Mitrović Uroš,

		Špiclin Žiga, Likar Boštjan, Pernuš Franjo	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	25556185	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vloga prekomerne telesne teže, biomehanskih lastnosti medenice in kolčnega sklepnege tlaka v razvoju osteoartroze
		ANG	The role of obesity, biomechanical constitution of the pelvis and contact joint stress in progression of hip osteoarthritis
	Opis	SLO	Raziskali smo, če lahko potrebo po zgodnji zamenjavi kolčnega sklepa razložimo s predhodno povečani kolčnim sklepim tlakom. Zanimalo nas je tudi, kakšno vlogo igrajo prekomerna telesna teža in oblika medenice ter okolčja. S pomočjo biomehanske analize AP rentgenogramov okolčja in medenice 65 kolkov smo prišli do zaključka, da je zgodnja potreba po vstavitvi umetnega kolčnega sklepa statistično pomembno povezana s povečanim kolčnim sklepim tlakom, ki je v mnogih primerih posledica prekomerne telesne teže in biomehansko neugodne oblike medenice in okolčja.
		ANG	The aim of our study was to explore whether earlier hip arthroplasty for idiopathic osteoarthritis (OA) might be explained by enlarged contact stress in the hip joint, and to what extent can that be attributed to obesity and biomechanical constitution of the pelvis. Fifty subjects were selected from a list of consecutive recipients of hip endoprosthesis due to idiopathic OA; standard pelvic radiographs made years prior to surgery were the main selection criteria. For 65 hips resultant hip force and peak contact hip stress normalized to the body weight (R/Wb and p(max)/Wb) were determined from the radiographs with the Hipstress method. Body weight and body mass index (BMI) were obtained with an interview. Regression analysis was used to correlate parameters of obesity (body weight, BMI), biomechanical constitution of the pelvis (R/Wb, p(max)/Wb) and mechanical loading within the hip joint (R, p(max)) with age at hip arthroplasty. We found that younger age at hip arthroplasty was associated with higher body weight (P=0.009), higher peak contact hip stress normalized to the body weight - p(max)/Wb (P=0.019), higher resultant hip force -R (P=0.027) and larger peak contact hip stress - p(max) (P<0.001), but not with BMI (P=0.121) or R/Wb (P=0.614). The results suggest that enlarged contact stress plays an important role in rapid progression of hip OA with both obesity and unfavorable biomechanical constitution of the pelvis (greater p(max)/Wb) contributing.
	Objavljeno v	Baillière Tindall; Osteoarthritis and cartilage; 2009; Letn. 17, št. 7; str. 879-882; Impact Factor: 3.888; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.383; A": 1; A': 1; WoS: TC, WH; Avtorji / Authors: Rečnik Gregor, Kralj-Iglič Veronika, Iglič Aleš, Antolič Vane, Kramberger Slavko, Rigler Igor, Pompe Borut, Vengust Rok	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	9358420	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Sklepanje o časovno spremenljivih sklopljenih dinamičnih sistemih v prisotnosti šuma
		ANG	Inference of time-evolving coupled dynamical systems in the presence of noise
	Opis	SLO	Predstavljen je nov postopek za analizo interakcij med oscilatorji s časovno odvisnimi sklopitvami, ki sloni na signalih, ki jih ti oscilatorji generirajo. Postopek omogoča zaznavanje razlik med nesinhroniziranimi dinamičnimi dogodki in faznimi zdrci, ki jih povzročata šum. Poleg tega omogoča tudi spremljanje sprememb funkcij sklopitve in drugih parametrov. Postopek sloni na fazni dinamiki in Bayesovem sklepanju o

		časovno spreminjajočih se parametrov, kjer predpostavljene porazdelitve gostot oblikujemo na osnovi prejšnjih vzorcev. Postopek je bil numerično preverjen in uporabljen za odkrivanje in vrednotenje časovno spremenljivih interakcij v kardiovaskularnem sistemu.
	ANG	Quantification of the time-varying nature of cardiorespiratory interactions is important in study of normal subjects and patients with various cardiovascular diseases or diseases that affect the cardiovascular system. A new method is introduced for analysis of interactions between time-dependent coupled oscillators, based on the signal they generate. The method is capable to distinguish unsynchronized dynamics from noise-induced phaseslips and enables the evolution of the coupling functions and other parameters to be followed. It is based on phase dynamics, with Bayesian inference of the time-evolving parameters achieved by shaping the prior densities to incorporate knowledge of previous samples. The method is tested numerically and applied to reveal and quantify the timevarying nature of cardiorespiratory interactions.
	Objavljeno v	American Physical Society; Physical review letters; 2012; Vol. 109, no. 2; str. 1-5; Impact Factor: 7.943; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.685; A'': 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Stankovski Tomislav, Duggento Andrea, McClintock Peter V. E., Stefanovska Aneta
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	9778772 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Stacionarni in potujoči valovi v Kuramotovem modelu s poljubno porazdelitvijo frekvenc in jakosti sklopitve
	ANG	Stationary and traveling wave states of the Kuramoto model with an arbitrary distribution of frequencies and coupling strengths
	Opis	SLO Obravnavamo smo Kuramotov model skupka sklopljenih oscilatorjev za poljubne porazdelitve frekvenc in jakosti sklopitve. Družino stanj potujočih valov smo definirali kot stacionarne v rotirajočem okvirju ter izpeljali splošne enačbe za določitev njihovih parametrov. Predlagali smo empirične pogoje za stabilnost, ki so v primeru nekoherence tudi eksaktni. Poleg novih teoretičnih napovedi smo tudi pokazali, da mnogi znani rezultati naravno izhajajo iz naše splošne teorije. Rezultati so uporabni v različnih kontekstih od fizike do biologije.
	ANG	We consider the Kuramoto model of an ensemble of interacting oscillators allowing for an arbitrary distribution of frequencies and coupling strengths. We define a family of traveling wave states as stationary in a rotating frame, and derive general equations for their parameters. We suggest empirical stability conditions which, for the case of incoherence, become exact. In addition to making new theoretical predictions, we show that many earlier results follow naturally from our general framework. The results are applicable in scientific contexts ranging from physics to biology.
	Objavljeno v	American Physical Society; Physical review letters; 2013; Vol. 110, no. 6; str. 1-5; Impact Factor: 7.728; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.852; A'': 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Iatsenko Dmytro, Petkoski Spase, McClintock Peter V. E., Stefanovska Aneta
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek

1.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	SENSUM d.o.o. globalni nišni zmagovalec
		ANG	SENSUM d.o.o. leading global niche company
	Opis	SLO	Člani programske skupine F. Pernuš, B. Likar in R. Bernard, ki so leta 2000 ustanovili podjetje Sensum d.o.o., so v letih 2009-2014, skupaj z zaposlenimi, podjetje razvili v globalnega nišnega zmagovalca na področju avtomatske vizualne kontrole farmacevtskih tablet in kapsul. Število zaposlenih se je v obdobju 2009-2014 povečalo z 8 na 50. Od trenutno 50 zaposlenih jih ima 10 doktorat znanosti, 4 pa delajo doktorat. Sensum, s katero so mnogi člani programske skupine tesno povezani, razvija, izdeluje in trži izdelke na globalnem farmacevtskem trgu. Kupci Sensumovih naprav so največja farmacevtska podjetja, kot so: Pfizer, Novartis, Roche, Bayer, Eli Lilly, Teva, Boehringer, itd.
		ANG	Three members of the programme research group, F. Pernuš, B. Likar and R. Bernard, cofounded the company Sensum in 2000. They, together with the employees, developed Sensum into a global niche company in the field of automatic visual inspection of pharmaceutical tablets and capsules. In the reporting period 2009-2014 the number of employees increased from 8 to 50. From the currently 50 employees, 10 have a PhD degree while additional 4 employees are pursuing a PhD. Sensum, with which several other members of the group are tightly connected, is developing, producing and marketing hightech visual inspection systems for the global pharmaceutical market. Customers of Sensum are the leading pharmaceutical multinationals, like Pfizer, Novartis, Roche, Bayer, Eli Lilly, Teva, Boehringer, etc.
	Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v	Sensum d.o.o.	www.sensum.si
	Tipologija	3.25	Druga izvedena dela
2.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Izjemna količina in kakovost objavljenih člankov v revijah s faktorjem vpliva
		ANG	Extraordinary amount and quality of publications in peer reviewed journals
	Opis	SLO	V obdobju 2009-2014 so raziskovalci na programu objavili 240 člankov v revijah s faktorjem vpliva. V revijah iz prve četrtine (A1) po faktorju vpliva so objavili 137 člankov. Raziskovalci, ki so delovali na programu v celotnem obdobju, so objavili 164 člankov. Normirano število čistih citatov v zadnjih 10 letih je bilo 5634. Število citatov, ki jih je 240 člankov prejelo v zadnjih 5 letih, je 1709 (vir Sicris). Ti podatki jasno kažejo na nadpovprečne rezultate skupine, hkrati pa so pripomogli k mednarodni razpoznavnosti skupine, Univerze v Ljubljani in Slovenije na področjih, ki jih pokriva raziskovalni program.
		ANG	In the reporting period 2009-2014, the researchers on this programme have published 240 papers in peer-reviewed journals with an IF! They have published 137 papers, which is more than a half of all papers, in the top 25% of journals in a field according to the IF. Researchers, that participated to the research programme the whole period, have published 164 papers. In the reporting period 2009-2014 the 240 papers were cited 1709 times (source: Sicris). These figures clearly indicate the above the average results of the group and helped in the recognition of the group, the University of Ljubljana and Slovenia in the scientific fields covered by the programme.
	Šifra	F.35	Drugo
	Objavljeno v	Sicris	

	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i> Članstvo v uredniških odborih mednarodnih revij in serij monografij
		<i>ANG</i> Editorial Board Membership of International Journals and Book Series
	Opis	<p>V obdobju 2009-2014 so bili člani programske skupine v uredniških odborih naslednjih mednarodnih revij in knjižnih zbirk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. IEEE Tr Medical Imaging (F. Pernuš) 2. Computer Aided Surgery (F. Pernuš) 3. EJP Nonlinear Biomedical Physics - Physics of Biological Systems and Their Interactions (A. Stefanovska) 4. Contemporary Physics (A. Stefanovska) 5. Zeitschrift fur Naturforschung. A, A Journal of Physical Sciences (A. Stefanovska) 6. Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes (A. Iglič) 7. Nonlinear Phenomena in Complex Systems (A. Stefanovska) 8. Image Analysis and Stereology (B. Likar) 9. Journal of Medical Imaging (T. Vrtovec) <p>Povabilo v uredniški odbor je priznanje omenjenim raziskovalcem za njihovo odlično raziskovalno delo.</p> <p>In the reporting period 2009-2014 the members of the research programme were on the Editorial Board (or International Advisory Board) of the following peer reviewed journals and book series:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. IEEE Tr Medical Imaging (F. Pernuš) 2. Computer Aided Surgery (F. Pernuš) 3. EJP Nonlinear Biomedical Physics - Physics of Biological Systems and Their Interactions (A. Stefanovska) 4. Contemporary Physics (A. Stefanovska) 5. Zeitschrift fur Naturforschung. A, A Journal of Physical Sciences (A. Stefanovska) 6. Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes (A. Iglič) 7. Nonlinear Phenomena in Complex Systems (A. Stefanovska) 8. Image Analysis and Stereology (B. Likar) 9. Journal of Medical Imaging (T. Vrtovec) <p>The invitations to serve on the editorial boards is the recognition of the research of several members of the group.</p>
	Šifra	C.04 Uredništvo mednarodne revije
	Objavljeno v	Sicris
	Tipologija	4.00 Sekundarno avtorstvo
4.	COBISS ID	7904340 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Nadzorovanje procesa oblaganja pelet z računalniškim vidom
		<i>ANG</i> Digital imaging as a process analytical technology tool for fluid-bed pellet coating process
	Opis	<p>Oblaganje pelet je v farmacevtski industriji razmeroma dobro optimiziran proces. Kljub temu velikokrat prihaja do napak, kot je sprijemanje pelet in neenakomerno nanašanje obloge. Te napake so žal vidne šele na koncu procesa oblaganja. Razvit je postopek in zasnovan sistem za sprotno spremljanje oblaganja pelet. Izsledki so preneseni iz akademskega okolja v industrijsko. Prototip sistema z računalniškim vidom je razvilo podjetje Sensum in ga trenutno testira.</p>

			<p>Pellet coating processes in the pharmaceutical industry are usually driven by fairly well optimized procedures, while coating suspension sprayed on pellets and adverse effects, such as agglomeration, can not be seen during coating process and are only detected at the very end of the process.</p> <p>Digital visual imaging as a process analytical technology (PAT) tool for fluid-bed pellet coating processes is proposed. A method is developed that accurately estimates spherical diameter, coating thickness and adverse agglomeration of pellets by contactless measurements. The knowledge has been transformed from academia to industry. The SME Sensum has already developed a prototype system that is being tested.</p>
	Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
	Objavljeno v	Elsevier; European Journal of Pharmaceutical Sciences; 2010; Vol. 41, no. 1; str. 156-162; Impact Factor: 3.291; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.785; WoS: TU; Avtorji / Authors: Možina Miha, Tomažević Dejan, Leben Stanko, Pernuš Franjo, Likar Boštjan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	7682900	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Pregled postopkov za 3D/2D poravnavo v slikovno vodenih postopkih
		ANG	A review of 3D/2D registration methods for image-guided interventions
	Opis	SLO	<p>Poravnava pred in medintervencijskih slik je ključni postopek slikovno vodene radioterapije, radiokirurgije, minimalno invazivnih operacij, endoskopije in intervencijske radiologije. Podali smo izčrpen pregled in kritično analizirali tiste postopke poravnave, ki kot predintervencijske slike uporabljajo CT ali MR slike in kot medintervencijske slike uporabljajo rentgenske slike. Zne postopke smo razvrstili glede na slikovno tehniko, dimenzije slik, značilnice za poravnavo, geometrijsko preslikavo, optimizacijo ter anatomsko strukturo, ki jo želimo poravnati.</p> <p>Članek, ki je izšel leta 2012, je bil že 72 krat citiran in je že dolgo časa največkrat prenešeni članek v reviji Medical Image Analysis. Zato ima velik vpliv na področje poravnave 3D in 2D medicinskih slik, ki je predpogoj za minimalno invazivne postopke zdravljenja.</p>
		ANG	<p>Registration of pre- and intra-interventional data is the key technology for image-guided radiation therapy, minimally invasive surgery, endoscopy, and interventional radiology. We have reviewed and critically evaluated a large number of 3D/2D data registration methods that utilize 3D CT or MR images as the pre-interventional data and 2D X-ray projection images as the intra-interventional data. The 3D/2D registration methods are reviewed with respect to image modality, image dimensionality, registration basis, geometric transformation, user interaction, optimization procedure, subject, and object of registration.</p> <p>The paper which was published in 2012 was already cited 72 times and is the most downloaded paper published in Medical Image Analysis. As such, it is having a large impact on 3D-2D image registration which is the key enabling technology for minimally invasive image guided therapy.</p>
	Šifra	E.03	Drugo
	Objavljeno v	Oxford University Press; Medical image analysis; 2012; Vol. 16, no. 3; str. 642-661; Impact Factor: 4.087; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.548; A': 1; WoS: EP, EV, IG, VY; Avtorji / Authors: Markelj Primož, Tomažević Dejan, Likar Boštjan, Pernuš Franjo	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine⁷

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Teorije, metode, eksperimente, baze podatkov in različne rezultate, ki so povezani z raziskavami v tem programu, smo objavili v mnogih uglednih znanstvenih revijah. V obdobju 2009-2014 so raziskovalci na programu objavili 240 člankov v revijah s faktorjem vpliva. V revijah iz 1. četrtnine (A1) po faktorju vpliva so objavili 137 člankov. Raziskovalci, ki so delovali na programu v celotnem obdobju, so objavili 164 člankov. Normirano število čistih citatov v zadnjih 10 letih je bilo 5624, število citatov, ki jih je v zadnjih 10 letih prejelo 240 člankov pa je bilo 1709 (vir Sicris). Število in kvaliteta člankov ter odmevnost jasno demonstrirajo pomen raziskav v okviru programa na razvoj znanosti. Rezultati so pripomogli k mednarodni razpoznavnosti članov programske skupine, Univerze v Ljubljani in Slovenije na področjih raziskovalnega programa.

Z raziskovanjem in multidisciplinarnim sodelovanjem med akademsko stroko, izvajalci zdravstvenih storitev, proizvajalcev medicinske opreme, farmacevtskimi podjetji in proizvajalci farmacevtske opreme, smo ustvarjali kritično maso novih znanj, ugotovitev in potreb po inovativnih rešitvah, ki že vodijo in bodo vodila do novih odkritij in novih raziskovalnih izzivov. Izvirni znanstveni prispevki na področjih tehnike, medicine, biologije ter drugih področjih so že spodbudili in bodo še spodbujali razvoj novih oziroma nadgradnjo obstoječih tehnologij, ki bodo raznovrstno izboljšale razumevanja delovanja človeškega organizma, patogeneze ter zdravljenje bolnikov z različnimi boleznimi. Pomembnejši učinki/prispevki naših preteklih raziskovanj so: (i) povečano razumevanje preizkušenih postopkov za analizo slik, ter poznavanje njihovih zmožnosti ter potencialnih pomanjkljivosti, kar smo dosegli z natančno in objektivno znanstveno validacijo trenutno uveljavljenih in naših izvirnih postopkov analize slik, (ii) spodbujanje nadaljnjih raziskav in razvoja postopkov analize slik in objektivnega ocenjevanja ter primerjalnih raziskav z objavo standardne validacijske zbirke slik z referenčnimi rezultati, ki bo javno dostopna raziskovalni skupnosti, (iii) uporaba analize slik za izboljšano diagnostiko, načrtovanje zdravljenja ter zdravljenje različnih obolenj, ki lahko prizadanejo različne organe, (iv) oblikovanje smernic za kvantitativna merjenja v longitudinalnih raziskavah, (v) napredek pri razumevanju in spremljanju napredovanja različnih bolezni, kot posledica novih, objektivnih in ponovljivih in-vivo merjenj iz slik bolnika, (vi) omogočen nadaljnji razvoj in izboljšanje kliničnih smernic in načrtov zdravljenja s spodbujanjem uporabe objektivnih in kvantitativnih merjenj poleg subjektivnega ocenjevanja bolnikovega stanja, (vii) hitrejši razvoj in vrednotenje učinka novih zdravil in inovativnih načinov zdravljenja z omogočanjem zgodnejših odločitev osnovanih na objektivnih merjenjih, (viii) zmanjšanje minimalnega števila bolnikov, ki so potrebni za odkrivanje učinkov zdravljenja v kliničnih raziskavah s pomočjo izboljšane natančnosti in občutljivosti kvantifikacije patologij, (ix) zanesljivejša opredelitev lastnosti posameznih bolnikov, ki omogočajo prilagojeno osebno zdravljenje, (x) izdelava novih nanostrukturiranih površin in nanodelcev ob široki eksperimentalni in teoretični analizi interakcij celic in proteinov s temi strukturam in nanodelci, (xi) kombinacija kliničnih študij in različnih eksperimentalnih, teoretičnih, numeričnih in simulacijskih metod ter ustrezne analize in procesiranja slik bo omogočila pridobiti odgovore na vrsto vprašanj, ki so povezan z mehanizmi osteointegracije in biokompatibilnosti implantov, (xii) izdelava novih antibakterijskih površin in novih nanotehnoloških metod za omejevanje širjenja rakastih celic v človeškem telesu, (xiii) izboljšano razumevanje kardiovaskularne in možganske dinamike, kot tudi za izboljšanje diagnostičnih in prognostičnih možnosti pri raku, diabetesu, demencii, disfunkciji ščitnice in podobnih obolenjih.

ANG

Theory, methods, experiments, databases and different results related to the finished research programme were published in numerous journals and conference proceedings. From 2009 to 2014 researchers on this programme have published 240 papers in peer reviewed journals with an IF. More importantly, the majority of papers (137) were published in the top 25% of journals according to their IF. The key researchers associated with the programme during its whole

duration published 137 journal papers.

Through extensive multidisciplinary research collaborations between academia, healthcare providers, medical device manufacturers, drug developers, and pharmaceutical industry, the mutual exchange of knowledge, views, findings, needs and innovative solutions, led to novel discoveries and revealed or will reveal new and challenging research opportunities. The relevant contributions to the engineering and medical sciences are opening the doors to: (i) increased understanding and contribution to the awareness of the potentials and pitfalls of each of the developed image analysis method and system, achieved through scientifically rigorous and objective validation of existing state of the art and novel image analysis methods, (ii) promotion of further research and development of image analysis methods, and facilitation of objective evaluation and comparison studies, by making standard validation image data sets with benchmark results publicly available to the research community, (iii) application of image analysis techniques to improved diagnosis, therapy planning and therapy delivery related several anatomical structures and pathologies, (iv) formulation of guidelines for quantitative measurements in longitudinal studies, (v) advancement of understanding and monitoring of progression of several diseases, achieved through their objective and reproducible in vivo multi-modality imaging-based measurements, (vi) evolution and improvement of related clinical guidelines and treatment plans, by promoting objective and quantitative measurements in addition to the more subjective neurological status assessment, (vii) faster development and assessment of novel drugs and other innovative ways of therapy, by enabling early decision-making based on objective measurements, (viii) reduction of the numbers of patients required to assess a given treatment effect in a trial by improved accuracy and sensitivity of quantified anatomical structures, (ix) more reliable characterization of individual patients for personalized treatment, and (x) novel fabrication of nanostructures with better physical and chemical (catalytic) properties because of higher available surface due to nano sized structure. Fabrication of new nanoparticle and new nanostructured surfaces may thus lead to improvement of the technological level in industrial production connected to applications in medicine, in pharmaceutical industry, in production of new titanium implants and in fabrication of novel antibacterial surfaces. Nanostructured titanium surfaces are also of high interest as a photocatalyst and for solar cells applications. (xi) New methods for suppressing the cancer spreading in human body, (xii) characterization of the ability of living systems to respond to fluctuations coming from the external and internal environments, and (xii) understanding of the mechanisms that stabilise the frequency and amplitude of the associated oscillations in living systems, that are characterised as interacting self-sustained non-autonomous oscillators.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Pričakovane koristi za slovensko družbo in gospodarstvo so predvsem naslednje:

Koristi v smislu rezultatov:

Inovativno načrtovanje, razvoj in uporaba postopkov kot tudi razširjanje (240 člankov v revijah s faktorjem vpliva), odzivnost, vrednotenje in prenos rezultatov je prispevalo k vidnosti, ugledu in uveljavljanju raziskovalne skupine, raziskovalnih inštitucij (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in Medicinska fakulteta) ter Slovenije kot raziskovalno uspešne države v mednarodnem znanstveno-raziskovalnem okolju. Pričakujemo, da bodo rezultati zaključenega raziskovalnega programa prispevali k napredku na področjih biomedicinske tehnike in zdravljenja različnih obolenj ter tako neposredno koristili bolnikom, zdravnikom ter tudi širši družbi. Nekateri novi postopki bodo implementirani kot namenska programska oprema, ki se trži kot samostojen produkt ali pa bodo del programske opreme večjih sistemov.

Prenos znanja iz akademskega v industrijsko okolje:

Raziskovalna skupina je okrepila sodelovanje s slovenskimi gospodarskimi družbami ter vzpostavila stik z nekaterimi tujimi visokotehnološkimi podjetji, ki razvijajo ali tržijo namenske sisteme in produkte, kot tudi s slovenskimi podjetji, ki so se zanimala za tehnologijo, ki jo je razvita skupina v okviru programa. Izjemno pomemben in najbolj neposreden družbeno-ekonomski učinek raziskovalcev je bila izdatna rast podjetja Sensum, ki so ga leta 2000 ustanovili trije člani programske skupine. Rast se je odražala na: a) povečanem številu delovnih

mest za nedoločen čas - od 2009 do 2014 se je število zaposlenih povečalo za več kot 40, b) tehnološki ravni - visoka tehnološka raven omogoča, da je podjetje Sensum globalni nišni zmagovalec, c) prihodkih ustvarjenih predvsem na (zahtevnih) tujih trgih - prihodki so se od 2009 do 2014 večali in so bili leta 2014 najvišji in d) prispevkov v proračun RS - s povečanim številom zaposlenih za nedoločen čas, prihodki in visoko dodano vrednostjo so člani programske skupine preko podjetja Sensum izdatno polnili slovenski proračun.

Razvoj kadrov:

Zaključeni raziskovalni program je nedvomno prispeval k povečanju znanja ter izboljšanju spretnosti raziskovalcev, ki so bili s projektom neposredno ali pa le delno povezani, in sicer na podlagi tečajev, razširjanja rezultatov, izmenjave informacij ali s katero koli drugo obliko povezovanja s formalnimi raziskavami. Kadri, ki so končali usposabljanje so se v večini zaposlili v industriji. Zaradi izredno aktualne in zanimive teme programa, kot tudi zaradi pridobljenega znanja in izkušenj raziskovalne skupine pričakujemo, da bomo v okviru nadaljevanja programa k raziskovanju privabili tudi nove talentirane raziskovalce.

Krepitev inštitucijskih zmožnosti:

Predlagani raziskovalni projekt je omogočil nabavo novih ter nadgradnjo oziroma prenovo obstoječe strojne opreme in programske opreme, literature ter administrativnih in upravljaljskih sistemov.

Povečano in učinkovitejše sodelovanje:

Na podlagi sodelovanja posameznikov in inštitucij, ki so bile neposredno ali posredno povezane s končanim raziskovalnim projektom, so se vzpostavile nove in/ali okrepile obstoječe povezave, ki bodo posledično prispevale k učinkovitejšemu sodelovanju tudi v prihodnosti.

Viri sredstev:

Za predlagatelje kot tudi za organizacijo, povezano s predlaganim raziskovalnim programom, se je povečala sposobnost pridobivanja novih finančnih, tehničnih in organizacijskih virov, kar bo omogočilo prihodnje raziskovalne projekte.

ANG

The ultimate success of a new methods and technology is measured by their impact on current practices and also through its contributions to scientific knowledge. The following specific benefits to the Slovenian society and industry were achieved:

Benefits in terms of the results:

Innovative design, development and application of the techniques as well as dissemination (240 papers in journals with IF), evaluation and transfer of the results undoubtedly contributed to the visibility, reputation and affirmation of the research team, of the involved institutions (University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering and medical Faculty) and of the Republic of Slovenia in the international scientific research community. The results of the proposed research program primarily impacted the fields of engineering and medicine, by providing direct benefits for the patients, medical doctors, and also for the society as innovations introduced in these fields have the potential to lead to shorter patient recovery times, greater patient comfort, lower risk of complications, and faster patient throughput.

Transfer of knowledge from academia to industry:

The research team did not only strengthen its collaboration with the Slovenian companies but also approached high-tech Slovenian and foreign companies that develop or manufacture relevant devices and systems and which will expressed interest in technology that was being developed within this programme. The extremely important and most direct socio-economic impact of the research conducted within the program was the extensive growth of the hi-tech company Sensum, which was founded in 2000 by the PI and two researchers on the program. The growth of the company was expressed in: a) the number of full-time employees which in the period from 2009 to 2014 increased from cca 10 to over 50, b) technological level- the achieved high technological level of the company enabled the company to become a niche market winner, c) sales revenues achieved at demanding markets - the revenues increased from 2009 to 2014, reaching the highest amount in 2014 d) contribution to the Slovenia budget - through higher employment, sales revenues and high added value.

Human resources development:

The abilities and skills of the researchers fully or partially connected to the finished research programme were improved either during or as a result of the programme by means of mini courses, dissemination of the results, sharing of information, or by any other form of collaboration with formal research. The highly relevant and interesting research topic and the obtained expertise of the research team are expected to attract new talented researchers in the future.

Strengthening of the institutional capacities:

The proposed research programme enabled and helped in acquisition of new and reconditioning, improving and renovating of the existing hardware, software, literature, and administrative and management systems.

Increased and more effective collaboration:

Valuable working relationships with different individuals, organizations and institutions, whether they were directly related to the finished research or not, were established and strengthened, which may lead to more effective future collaborations.

Funds and resources:

The ability to generate new financial, technical or organizational support resources for future research projects increased for the researchers as well as for the institutions involved in the research programme.

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

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	1
bolonjski program - II. stopnja	1
univerzitetni (stari) program	22

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
33941	Gorazd Kovačič	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
8978	LILJANA PERČI-ŠTEFANČ	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Darko Štern	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Nataliya Bobrovska	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
30689	Šarka Perutkova	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Darko Štern	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29559	Jaka Katrašnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31279	Miha Možina	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Hana Debevc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
27526	Maruša Lokar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
0	Jose Ibarra Armenta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28465	Žiga Špiclin	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10401	Tomaž Gyergyek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29375					

	Vid Šuštar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26452	Tine Celcer	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28383	Janez Ivan Pavlič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27568	Jasna Zelko	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27519	Primož Markelj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25528	Miran Burmen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33169	Eva Ogorevc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
31986	Peter Usenik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32850	Matjaž Kosec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
23404	Tomaž Vrtovec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
34203	Ekaterina Gongadze	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28513	Mojca Frank	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
22647	Boštjan Bajec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
34044	Gregor Rečnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
33446	Bulat Ibragimov	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33166	Uroš Mitrović	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij
Dr. - Doktorat znanosti
MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
30689	Šarka Perutkova	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
29559	Jaka Katrašnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
27526	Maruša Lokar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	F - Drugo	
28465	Žiga Špiclin	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
29375	Vid Šuštar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
28383	Janez Ivan Pavlič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
27519	Primož Markelj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
25528	Miran Burmen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
31986	Peter Usenik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
27568	Jasna Zelko	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
33446	Bulat Ibragimov	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
33166	Uroš Mitrović	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

Legenda zaposlitev:

A - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
B - gospodarstvo
C - javna uprava
D - družbene dejavnosti

E - tujina
F - drugo

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

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
18172	Rok Bernard	A - raziskovalec/strokovnjak	36	
20383	Dejan Tomaževič	A - raziskovalec/strokovnjak	72	
27519	Primož Markelj	A - raziskovalec/strokovnjak	12	
29559	Jaka Katrašnik	A - raziskovalec/strokovnjak	12	
35592	Yuliya Genova	B - uveljavljeni raziskovalec	10	
34203	Ekaterina Gongadze	D - podoktorand	22	
33030	Doron Kabaso	D - podoktorand	12	
28540	Matej Daniel	B - uveljavljeni raziskovalec	2	
0	Nataliya Bobrovska	C - študent - doktorand	10	
0	Carlos Lopez Mariscal	B - uveljavljeni raziskovalec	2	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

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

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

SLO

EUREKA grant IMIPEB, Izolacija mikrovesiklov iz periferne krvi, vodja: Veronika KraljIglič

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

SLO

1. Franjo Pernuš in Boštjan Likar (kot soustanovitelja podjetja Sensum), Tomaž Vrtovec, Miran Burmen in Žiga Špiclin (kot dopolnilno zaposleni v podjetju Sensum) in Rok Bernard (soustanovitelj podjetja Sensum), Dejan Tomaževič, Jaka Katrašnik, Primož Markelj, Miran Burmen, Žiga Špiclin (kot zaposleni v podjetju Sensum) so bili v obdobju 2009-2014 vključeni v vrsto raziskovalnih projektov podjetja Sensum
2. Popravljanje svetlostnih nehomogenosti v magnetno resonančnih slikah (Vodja Franjo Pernuš), industrijski project, naročnik Instrumentation Technologies
3. Avtomatska vizualna kontrola kvalitete tablet in kapsul v farmacevtski industriji (Vodja Franjo Pernuš), industrijski projekti Sensum, naročnik farmacevtske multinacionalke
4. Avtomatska vizualna kontrola kvalitete tablet in kapsul v farmacevtski industriji (Vodja Boštjan Likar), industrijski projekti Sensum, naročnik farmacevtske multinacionalke

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

SLO

Vodenje procesa oblaganja pelet v farmacevtski industriji s pomočjo računalniškega vida.

Na primer, na osnovi objavljenega inovativnega postopka za avtomatsko vizualno sprotno spremljanje oblaganja pelet v farmacevtski industriji, je podjetje Sensum razvilo prototip sistema z računalniškim vidom. Sistem je v fazi testiranja in izboljševanja. Ker je proces oblaganja pelet voden na podlagi izkušenj, velikokrat prihaja do sprejemanja pelet in neenakomernega nanašanja obloge. Te napake so žal vidne šele na koncu procesa oblaganja, ko je bila škoda že narejena. S sistemom z računalniškim vidom bi bilo možno sprotno analizirati količino obloge in s tem voditi proces oblaganja.

Analiza zobnega tkiva s hiperspektralnim sistemom.

Natančno poznavanje radiometričnih lastnosti hiperspektralnih sistemov na podlagi akustično nastavljenih optičnih filtrov (AOTF) je ključno za kvantitativno analizo zajetih hiperspektralnih slik. V ta namen smo razvili nov radiometrični model AOTF hiperspektralnih sistemov, postopek za oceno časovno odvisne komponente šuma ter postopek, ki s pomočjo pridobljenih ocen šuma omogoča točno radiometrično kalibracijo slikovnega sistema. Predlagani postopek radiometrične kalibracije smo preizkusili na hiperspektralnih slikah zajetih z AOTF. Kalibracijske postopke, ki smo jih objavili v večjem številu člankov, nameravamo vgraditi v sisteme za kvantitativno analizo hiperspektralnih slik. Ti predstavljajo razmeroma novo tehnologijo, ki je že zrela za avtomatsko vizualno kontrolo kakovosti izdelkov ter za zgodnje odkrivanje patologij. Na primer, rezultati raziskav o uporabi NIR hiperspektralnega slikanja za razločevanje različnih vrst trdega zobnega tkiva z namenom zgodnjega odkrivanja demineraliziranih površin sklenine in kariesa, ki je bil objavljen v: P. Usenik in sod. Automated classification and visualization of healthy and diseased dental tissues by nearinfrared hyperspectral imaging. Applied Spectroscopy, 2012, so spodbudni in tehnološko toliko zreli, da nameravamo v naslednjem obdobju eksperimentalni laboratorijski sistem poenostaviti in poceniti in ga prilagoditi uporabi v klinični praksi.

Fabrikacija nanostrukturiranih titanijevih površin za biomedicinske aplikacije.

V sodelovanju z Univerzo v Erlangnu (Nemčija) smo razvili novo metodo fabrikacije nanostrukturiranih TiO₂ površin iz vertikalno orientiranih nanotub, ki se od metode, ki smo jo uporabljali prej, razlikuj po tem, da lahko sedaj kontroliramo polmer in dolžino nanotub. Sposobni pa smo tudi kreacije novih površin, ki jo sestavljajo TiO₂ nanopore. V laboratoriju na Fakulteti za elektrotehniko smo tudi na novo postavili sistem za fabrikacijo omenjenih TiO₂ nanostruktur po novo razviti metodi. Omenjeni dosežek nam bo omogočil vrsto novih eksperimentov in aplikacij na področju biomedicinskega inženiringa.

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

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	100.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	Potrebna infrastruktura bi poleg potrebnih prostorov obsegala samo cca 5 zmogljivih računalnikov s kvalitetnimi monitorji in programsko opremo.

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Izjemni znanstveni dosežek raziskovalcev v letu 2014 je objava 38 člankov v A1-A4, od tega več kot polovica (22) v revijah iz 1. četrtine glede na faktor vpliva (A1). Ker je program financiran z 2,3 FTE, to pomeni 16,5 člankov/FTE in 9,5 člankov A1/FTE.

Za izjemni dosežek smo izbrali članek :

T. STANKOVSKI, P. MCCLINTOCK, A. STEFANOVSKA. Coupling functions enable secure communications. Physical review. X, 2014, vol. 4, no. 1, str. 1-9 (IF=8.463), ki obravnava varno šifriranje (enkripcijo) sporočil, torej pretvorbo sporočila v obliko, ki jo nepooblaščen osebe praviloma ne morejo razumeti. Šifriranje je nepogrešljivo v modernih komunikacijah. Objavljeno izvirno šifriranje je bilo motivirano s časovno spremenljivo naravo kardiorespiratornega sistema, s katerim se prof. Stefanovska ukvarja v okviru raziskovalnega programa. Gre za zanimiv in pomemben prenos oziroma uporabo izsledkov s področja biomedicine na področje komunikacij.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Izjemno pomemben in najbolj neposreden družbeno-ekonomski učinek raziskovalcev je ustanovitev visokotehnološkega podjetja ali rast že ustanovljenega podjetja, kar se odraža na:

- številu delovnih mest za nedoločen čas,
- tehnološki ravni,
- prihodkih ustvarjenih predvsem na (zahtevnih) tujih trgih in
- prispevkih v proračun RS.

Člani programske skupine F. Pernuš, B. Likar in R. Bernard, ki so ustanovili podjetje Sensus d.o. utrdili kot globalnega nišnega zmagovalca na področju avtomatske vizualne kontrole farmacevtskih tablet in kapsul. Število zaposlenih je konec leta 2014 preseгло 50, prihodki pa so bili najvišji od ustanovitve podjetja leta 2000.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

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

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Franjo Pernuš

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

10.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/132

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

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

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

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

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

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

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

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

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot 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-RPROG-ZP/2015 v1.00b

63-A5-78-6F-E5-34-CC-33-58-E3-87-43-87-CA-1E-0B-DB-D4-38-6D

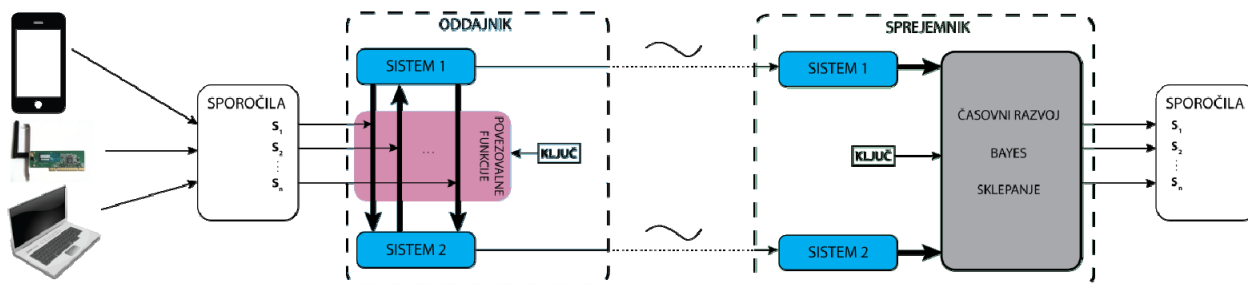
Priloga 1

TEHNIKA

Področje: 2.06 Sistemi in kibernetika

Dosežek: Izvirno šifriranje sporočil, Vir: T. Stankovski, P. McClintock, **A. Stefanovska**. Coupling functions enable secure communications. *Physical review*. X, vol. 4, no. 1, str. 1-9, 2014, (IF: 8.5)

Secure encryption is an essential feature of modern communications, but rapid progress in illicit decryption brings a continuing need for new schemes that are harder and harder to break. Inspired by the time-varying nature of the cardio-respiratory interaction, a new class of secure communications that is highly resistant to conventional attacks is introduced. Unlike all earlier encryption procedures, this cipher makes use of the coupling functions between interacting dynamical systems. It results in an unbounded number of encryption key possibilities, allows the transmission or reception of more than one signal simultaneously, and is robust against external noise. The scheme is highly modular and is readily extendable to support different communications applications within the same general framework.



Dosežek se nanaša na varno šifriranje sporočil, ki je nepogrešljivo v modernih komunikacijah. Objavljeno izvirno šifriranje je bilo motivirano s časovno spremenljivo naravo kardio-respiratornega sistema, s katerim se prof. Stefanovska ukvarja v okviru raziskovalnega programa. Gre za zanimiv in pomemben prenos oziroma uporabo izsledkov s področja biomedicine na področje komunikacij.