

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/33



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-5477
Naslov projekta	Sprotno učenje modelov za spremljanje in napovedovanje stanja mehanskih sistemov
Vodja projekta	28479 Matej Gašperin
Tip projekta	Zt Podoktorski projekt - temeljni
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	08.2013 - 07.2015
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.06 Sistemi in kibernatika 2.06.03 Postopki in orodja za načrtovanje in izvedbo sistemov vodenja
Družbeno-ekonomski cilj	
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Mehanski sistemi se s časom obrabljajo, kar vodi v nastanek večjih poškodb in posledično prekinitev obratovanja, drage servisne posege in skrajšuje življenjsko dobo sistemov. Navkljub precejšnjemu obsegu raziskav in razvoja na področju spremljanja stanja v zadnjih desetih letih, ostaja sprotno ocenjevanje stanja posameznih komponent in

napovedovanje morebitnih napak izjemno težavno . Trenutno velja prepričanje, da področje potrebuje premik od tradicionalnih tehnik spremljanja in napovedovanja stanja, kot so analiza trendov itd., k uporabi naprednejših tehnik iz sorodnih disciplin.

Teorija vodenja sistemov nudi bogat nabor orodij za modeliranje procesov v prostoru stanj, ki jih danes rutinsko uporabljamo za analizo kompleksnih sistemov, podvrženih različnim vhodnim signalom. Uporaba takšnih modelov se izkaže kot izredno primerna za modeliranje razvoja mehanskih poškodb in napak. V takšnem modelu so vhodni signali na primer navor ali število vrtljajev gredi in izhod proizvedena moč, temperatura in signal vibracij. Izračunamo lahko tudi številne dodatne izhode, katerih vrednost predstavlja indikacijo stanja posamezne komponente (ang. Condition Indicator (CI)). Na podlagi znanih časovnih potekov teh spremenljivk lahko nato ocenimo trenutno stanje sistema.

Cilj projekta **Sprotno učenje modelov za spremljanje in napovedovanje stanja mehanskih sistemov** je razvoj novih postopkov za sprotno ocenjevanje in napovedovanje stanja naprave iz merljivih signalov, ki bodo temeljili sprotne učenju modelov. To bomo dosegli s kombinacijo naprednih postopkov za ocenjevanje stanj in računanjem ocene neznanih parametrov modela na podlagi funkcije verjetja v obliki postopka oceni-maksimiziraj (ang- Expectation-Maximization (EM)) . Pomembna novost predlaganega pristopa je zmožnost sprotne učenja in avtomatskega prilagajanja modela v primeru sprememb v procesu, ki so lahko posledica spremembe obratovalnih pogojev ali drugih nepričakovanih dogodkov.

Projekt sestavljajo trije glavni cilji:

- Razvoj postopkov za napovedovanje stanja z uporabo nelinearnih dinamičnih modelov.
- Validacija predlaganega okvira za sprotne ocenjevanje in napovedovanje stanja pri spremenljivih pogojih obratovanja.
- Validacija novih postopkov in izvedba pilotnih projektov.

ANG

Mechanical systems deteriorate in time. These deteriorations cause mechanical faults that eventually lead to interruptions in performance, expensive maintenance and reduced lifetime of the entire system. Despite the vast amount of research devoted to condition monitoring in the last decades, the on-line evaluation of component health or the ability to predict incipient failure remains difficult. It is believed that a shift in traditional health management tools, such as trend analysis, to techniques from different disciplines is required to achieve the promise of condition-based maintenance and prognostics.

Control theory provides a powerful set of modelling tools to study the interactions and behaviour of a system when subjected to conditions or inputs. In this scope a state-space representation of a system can be used to model machinery components. In such a model, the input variables could be for example torque and RPM into a gearbox, and the output variables are heat and vibration. Additionally, any number of derived outputs can be calculated that are indicators of the systems component conditions (a Condition Indicator (CI)). These inputs and output can be used to represent the state of the system.

The goal of the project **On-line System Identification for prognostics and Health Management** is to develop new algorithms for data-driven prediction of RUL with on-line estimation of the state-space model. This is achieved by combining the state estimation algorithm with Maximum-Likelihood parameter estimation in the form of the Expectation-Maximization (EM) algorithm. The important additional feature of the proposed framework is the ability to automatically adapt to the eventual changes in the process (change of operating conditions or other incipient events).

The project comprises the three main goals, which can be summarized as follows:

- *To develop algorithms for model-based prognostics with on-line estimation of nonlinear dynamical models.*
- *To validate the system identification framework for model-based prognostics under non-stationary operating conditions.*
- *To validate the developed algorithms on real-world applications and*

disseminate the results.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Cilj projekta SysID-PHM je razvoj in demonstracija uporabe novi računskih postopkov za napovedovanje odpovedi v mehanskih in elektro-kemičnih sistemih z uporabo matematičnih modelov. V prvih šestih mesecih dela na projektu SysID-PHM so bili glavni poudarki dela na dveh področjih. Prvo je postavitve in utemeljitev teoretične podlage za razvoj novih postopkov za sprotno ocenjevanje sistemov v prostoru stanj. Drugo področje pa zajema vzpostavitev ustreznega okolja in opreme, ki bo omogočalo izvedbo potrebnih preizkusov za validacijo postopkov na realnih napravah. To smo dosegli s sodelovanjem s sodelavci na odseku za sisteme in vodenje ali skozi mednarodno povezovanje.

Cilj projekta **Sprotno učenje modelov za spremljanje in napovedovanje stanja mehanskih sistemov** (kratica SysID-PHM) je razvoj in validacija novih računskih postopkov za odkrivanje napak in napovedovanje odpovedi elektrokemičnih in mehanskih sistemov z uporabo matematičnih modelov. V letu 2014 smo v okviru projekta SysID-PHM predstavili dve novi metodi za potrebe modeliranja in sprotnega sledenja parametrov modela razvoja napak. To sta marginalizirani filter z delčki (ang. particle filter), ki smo ga uporabili za odkrivanje napak v sistemih z gorivnimi celicami in napovedovanje odpovedi mehanskih sistemov in pristop k modeliranju preostale življenjske dobe ležajev na osnovi modelov Gausovih procesov.

Razvoj novi postopkov za napovedovanje odpovedi

Uporaba modelov v prostoru stanj za napovedovanje časa odpovedi naprav je v znanstvenih krogih sprejeta kot najbolj ustrezen način modeliranja degradacije. Novost pri pristopu, ki ga uporabljamo v sklopu projekta SysID-PHM je, da ta razred modelov uporabljamo skupaj z računskimi postopki za avtomatsko sprotno učenje modela iz podatkov. To omogoča avtonomno obratovanje sistemov za spremljanje in napovedovanje stanja (PHM). V letu 2013 smo predstavili dve novi metodi za ocenjevanje modelov v prostoru stanj. Dodatno smo razvili nov algoritem za učenje modelov na osnovi Gausovih procesov.

Glavna omejitev pri uporabi naprednih filtrov stanj dinamičnih sistemov je njihova računsko zahtevnost. V sklopu projekta SysID-PHM to rešujemo z uporabo Rao – Blackwell-ovega teorema. Razvili in predstavili smo novo izvedbo determinističnega filtra, ki uporablja masne delce in Rao-Blackwell-ov teorem, s čimer zagotovimo bistveno nižjo računsko zahtevnost. Deterministična narava postopka zagotovi ponovljivost in večjo robustnost v primerjavi s stohastičnimi izvedbami, kar naredi postopek primeren za uporabo v najbolj kritičnih napravah. Delovanje filtra smo predstavili na simuliranih podatkih.

Marginalizirani filter z delčki za prognostiko sistemov z gorivnimi celicami

Eden izmed najpomembnejših rezultatov projekta SysID-PHM je razvoj in uporaba marginaliziranega filtra z delčki za sledenje impedance sklada s PEM gorivnimi celicami. Glavna novost in razlika od predhodnih rezultatov je, da problem diagnostike oblikujemo kot problem ocenjevanja parametrov dinamičnega sistema. Pokazali smo, da s takšno formulacijo problema zajamemo enako diagnostično informacijo, kot klasične metode ocenjevanja impedance, pri čemer zaobidemo veliko omejitev, ki jih imajo klasične metode obdelave signalov.

Dodatna novost predstavljenega postopka je, da uporablja t.i. marginalizirani filter z delčki za oceno vrednosti parametrov. To pomeni, da ocenjevanje poteka med obratovanjem sistema in da je rezultat podan v obliki verjetnostne porazdelitve, kar nam omogoči verjetnostno interpretacijo ocene. Ta porazdelitev je nato uporabljena v

sistemu odločanja in visokonivojskega vodenja sistema.

Postopek smo validirali na komercialno dostopnem skladu s PEM gorivnimi celicami z močjo 7kW. Eksperimentalni podatki vključujejo simulirano poplavljanje celic. Na odjemni tok smo superponirali majhne perturbacije in opazovali napetostni odziv na skladu. Z rezultati na teh podatkih smo potrdili hipotezo, da lahko poplavljanje sklada zadovoljivo modeliramo s spremembo enega parametra v dinamičnem modelu celice.

Marginalizirani filter z delčki za prognostiko litijevih akumulatorjev

Cilji dela na področju diagnostike in prognostike litijevih akumulatorjev je razvoj sistematiziranega postopka za ocenjevanje treh pomembnih parametrov stanja: stanje napolnjenosti (SoC), stanje iztrošenosti (SoH) in preostala življenjska doba (RUL). V sklopu projekta SysID-PHM razvijamo sistem za spremljanje teh stanj z uporabo dinamičnega modela tokovno-napetostnih povezav, kjer o trenutnih vrednostih teh stanj sklepamo na podlagi trenutne vrednosti parametrov modela. V letu 2014 smo na tem področju realizirali naslednja cilja:

- **Razvoj poenostavljenega matematičnega modela Li-ion akumulatorja.** Vsem metodam, ki temeljijo na uporabi matematičnih modelov je skupno to, da je njihova uporabnost in točnost ocen neposredno odvisna od kvalitete in ustreznosti uporabljenega modela. V ta namen smo razili namenske modele za ocenjevanje stanj v Li-ion akumulatorjih, ki jih bomo uporabili skupaj z ustreznimi postopki ocenjevanje parametrov.
- **Uporaba marginaliziranega filtra z delčki za ocenjevanje napolnjenosti.** Skupaj z ustreznim modelom smo razvili računski postopek za sledenje parametrov tega modela. Rezultat postopka je sprotne ocena porazdelitvene funkcije parametra, ki jo lahko neposredno prevedemo v oceno stanja napolnjenosti (SoC) akumulatorja.

Marginalizirani filter z delčki za napovedovanje odpovedi mehanskih sistemov

Na problematiki napovedovanja odpovedi in ocenjevanje preostale življenjske dobe mehanskih sistemov nadaljujemo delo, ki je bilo začeto že v doktorski disertaciji dr. Mateja Gašperina. Uporaba marginaliziranega filtra z delčki nam je omogočila preboj na tem področju, saj smo z njim lahko razvili algoritem za ocenjevanje preostale življenjske dobe z uporabo nelinearnega modela razvoja poškodbe. Uporabljeni model je osnovan na uporabi Parisovega zakona in novost dela v sklopu SysID-PHM projekta je, da smo prvi, ki smo ta model uporabili v sklopu sprotnega ocenjevanja stanja za napovedovanje odpovedi.

Modeli na osnovi Gaussovih procesov v sistemih za ocenjevanje in napovedovanje stanj

Modeli na osnovi Gaussovih procesov (GP) so se v zadnjih letih uveljavili kot standardna metoda za učenje in gradnjo modelov na osnovi črne škatlice (ang. black-box models). V sklopu projekta SysID-PHM vidimo modele GP kot orodje, ki ga uporabimo v primeru ko za razvoj modela v prostoru stanj ni dovolj predhodnih podatkov in je potrebno uporabiti model, ki bo osnovan izključno na podatkih. Modeli v prostoru stanj lahko opišejo zelo velik nabor različnih mehanizmov odpovedi, vendar postavitve problema v takšni obliki lahko zahteva dodatne preizkuse ali zadostno količino podatkov. V primerih, ko to ni mogoče se je potrebo zateči k modelom na osnovi črne škatlice (ang. *black-box*). V ta namen smo v projektu SysID-PHM sodelovali pri razvoju novega postopka za učenje modelov z Gaussovimi procesi, ki uporablja metodo adaptivnega vzorčenja in je zato primerna za uporabo v sprotne učenje za potrebe sistemov PHM.

Prispevka dela na projektu v letu 2014 sta uporaba GP modelov za napovedovanje odpovedi ležajev in razvoj novega postopka učenja GP modelov, ki uporablja adaptivno vzorčenje za reševanje numerične integracije.

Eksperimentalno delo in validacijski podatki

Pomemben del razvoja novih postopkov za sisteme PHM je tudi njihova ustrezna validacija na realnih napravah in realnih podatkih. Precejšen del aktivnosti na projektu SysID-PHM je bil v letu 2013 usmerjen k postavitvi eksperimentalnega okolja in zbiranju podatkov. V sklopu predhodnih raziskav na odseku za sisteme in vodenje smo že zbrali precejšnjo količino podatkov iz trajnostnih testov na mehanskih sistemih. Področje spremljanja stanja elektro-kemičnih sistemov je novo in ustrezno eksperimentalno okolje zato še ni v celoti vzpostavljeno.

V sodelovanju s sodelavci odseka za sisteme in vodenje smo v letu 2013 sodelovali pri postavitvi namenske eksperimentalne proge s sistemov s PEM gorivnimi celicami, ki omogoča izvedbo preizkusov s simuliranimi napakami in zajem ustreznih signalov. Testni sistem smo že preizkusili in validirali tako dobljene podatke.

Dodatno je dr. Matej Gašperin eden izmed pobudnikov razširitve sodelovanja med Odsekom za sisteme in vodenje in Kemijskim inštitutom na temo razvoja sistemov PHM za litij-ionske akumulatorje. Skozi to sodelovanje si bomo zagotovili dostop do testnih prog in obstoječih eksperimentalnih podatkov iz preizkusov staranja litij-ionskih akumulatorjev.

Mednarodno sodelovanje

V letu 2013 je dr. Matej Gašperin okrepil sodelovanje z dvema ključnima mednarodnima partnerjema. To sta skupina iz Univerze v Plznu, Češka republika in Inštitut FEMTO-ST, Francija.

Sodelovanje z Univerzo v Plznu izhaja iz skupnega zanimanja in dela na področju razvoja stohastičnih algoritmov za ocenjevanje stanj med dr. Matejem Gašperinom in doc. dr. Václav Šmidlom. V letu 2013 sta raziskovalca sodelovala na področju Rao-Blackwellovih filtrov in modelov na osnovi Gaussovih procesov. Rezultat sodelovanja v letu 2013 sta dva skupna članka na mednarodnih konferencah.

V letu 2014 je nosilec projekta dr. Matej Gašperin nadaljeval z aktivnim sodelovanjem z dvema ključnima raziskovalnima institucijama. To sta University of West Bohemia, Češka republika in inštitut FEMTO-ST, Francija.

Sodelovanje s Češko univerzo smo v letu 2014 razširili na področje ocenjevanja stanj Li-ion akumulatorjev. Dr. Matej Gašperin je skupaj s sodelavci Instituta »Jožef Stefan« v novembru 2014 obiskal univerzo in v sklopu tega obiska so izvedli meritve na akumulatorju za električne avtobuse. Rezultati meritev bodo obdelani z namenom priprave skupne publikacije v letu 2015.

Prav tako smo se v letu 2014 trudili nadgraditi sodelovanje s francoskim inštitutom FEMTO-ST. Dva študenta iz odseka za sisteme in vodenje na IJS sta ste udeležila poletne šole na temo diagnostike sistemov z gorivnimi celicami, ki jo je organiziral FEMTO-ST. Kot rezultat tega, je Dr. Matej Gašperin konec leta 2014 pripravil konferenčni članek, ki je bil sprejet na mednarodno konferenco Fundamentals and Development of Fuel Cells, ki bo potekala v Franciji v prvi polovici 2015.

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

Po naši oceni je delo na projektu potekalo v skladu z načrtom in mejniki so bili doseženi v predvidenih rokih. Pomembni doseženi mejniki projekta so novi algoritmi, razviti posebej za potrebe sistemov PHM. Algoritem za napovedovanje odpovedi ležajev z uporabo Renyi entropije je namenjen izboljšanju natančnosti napovedi pri spremenljivih obratovalnih pogojih (članek v reviji bo izšel v letu 2104). Algoritem, ki uporablja Rao-Blackwellov teorem in filter na osnovi masnih je namenjen spremljanju stanja v najbolj varnostno kritičnih sistemih. Tretji nov postopek, adaptivno vzorčenje za učenje modelov na osnovi Gaussovih procesov pa je namenjen učenju modelov na osnovi črne škatlice in za uporabo v primerih, ko razpolagamo z zelo majhno količino podatkov.

- **Konsolidacija teoretičnega okvira za razvoj računskih postopkov.** Pregled literature iz področja ocenjevanja parametrov dinamičnih sistemov je razkril več možnih poti za razvoj namenskih postopkov za potrebe ocenjevanja in napovedovanja stanja sistemov. Z obširnimi simulacijskim in eksperimentalnim delom smo zožili nabor in identificirali najbolj primerne postopke za naše potrebe. Ti postopki vključujejo marginalizirani filter z delčki za modele v prostoru stanj in modele na osnovi Gaussovih procesov za modele na osnovi podatkov. Z delom v sklopu projekta smo v letu 2014 utrdili naše izkušnje s tema dvema postopkoma in uspeli realizirati znanstvene doprinose a tem področju (Gašperin et. al., 2014, delcev Šmidl in Gašperin, 2013).
- **Zbiranje in urejanje eksperimentalnih podatkov za potrebe validacije postopkov.** V letu 2014 smo končali z razvojem in izdelavo preizkuševališča za izvajanje eksperimentov z gorivnimi celicami in baterijskimi akumulatorji. To nam omogoča avtonomno izvedbo preizkusov v prostorih odseka za sisteme in vodenje na IJS in zbiranje verodostojnih podatkov, ki smo jih uporabili pri razvoju računskih postopkov.
- **Razvoj in uporaba postopkov za sprotno spremljanje in napovedovanje stanja sistemov in naprav.** Pridobljena znanja povezana z razvojem računskih postopkov in razpoložljivi eksperimentalni podatki so nam omogočili, da smo v skladu s cilji razvili in preizkusili namenske postopke za spremljanje in napovedovalne stanja na različnih sistemih. Rezultati vključujejo demonstracijo delovanja na PEM gorivnih celicah (Gašperin et. al. 2015), Li-ion akumulatorjih in ležajih.

Ugotavljamo, da smo v sklopu projekta SysID-PHM opravili vse korake postopka razvoja in vpeljave novih postopkov za sprotno ocenjevanje in napovedovanje stanja sistemov. Tako smo za osnovno idejo, ki jo je v svoji doktorski disertaciji oblikoval dr. Matej Gašperin pridobili potrebna znanja (tudi z mednarodnim povezovanjem), postavili teoretično ozadje za uporabo teh postopkov in demonstrirali učinkovitost ter prednosti novih postopkov z različnimi realnimi napravami. Posledično ocenjujemo delo na projektu SysID-PHM kot uspešno.

5.Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Pri izvajanju projekta ni prišlo do sprememb programa raziskovalnega projekta.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	27855399	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Napovedovanje časa odpovedi ležajev z uporabo Jenssen-Rényi indeksov in modelov na osnovi Gaussovih procesov
		ANG	Bearing fault prognostics using Rényi entropy based features and Gaussian process models
	Opis	SLO	Klasične značilke na osnovi signala vibracij so se izkazale kot neustrezne in neinformativne za napovedovanje odpovedi ležajev. V članku to problematiko rešujemo z uporabo pristopa, ki uporablja Rényijevo entropijo in iz nje izpeljane značilke, ki opisujejo verjetnostne lastnosti signala vibracij. Časovno evolucijo vrednosti novih značilk modeliramo z GP modeli, rezultat pa je ocena porazdelitvene funkcije za čas odpovedi. Predlagani postopek smo uporabili na učnih podatkih iz IEEE PHM podatkovnega izziva, ki so bili dobljeni iz realnih preizkusov.
			Standard bearing fault detection features are shown to be ineffective for estimating bearings remaining useful life (RUL). Addressing this issue, in

		ANG	this paper we propose an approach for bearing fault prognostics employing Rényi entropy based features describing the statistical properties of the envelope of the generated vibrations and a set of Gaussian process (GP) models. These models are non-parametric black-box models which search for the relationships among measured data rather than trying to approximate the modelled system by fitting the parameters of the selected basis functions. Bearing RUL is estimated as a posterior distribution following the Bayes' rule using GP models' output as likelihood distribution. The proposed approach was evaluated on the data set provided for the IEEE PHM 2012 Prognostic Data Challenge.	
	Objavljeno v		Academic Press; Mechanical systems and signal processing; 2015; Vol. 52/53; str. 327-337; Impact Factor: 2.256;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.297; A': 1; WoS: IU; Avtorji / Authors: Boškoski Pavle, Gašperin Matej, Petelin Dejan, Juričič Đani	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID		27802151	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Obdelava signalov Signal Processing and Stochastic Filtering for EIS Based PHM of Fuel Cell Systems	
		ANG	Signal processing and stochastic filtering for EIS based PHM of fuel cell system	
	Opis	SLO	V članku predstavljamo nove metode za sprotno ocenjevanje in sledenje impedanci sklada s PEM gorivnimi celicami. Nove metode omogočajo obdelavo surovih podatkov o obratovanju sklada za potrebe zgodnjega odkrivanja napak povezanih z vsebnostjo vode v celici. Ustrezno upravljanje z vodo v gorivnih celicah namreč predstavlja enega izmed glavnih vzrokov za okvare in prezgodne odpovedi Sistemov s PEM gorivnimi celicami. Predlagani rešitvi temeljita na razširjeni verziji Kalmanovega filtra in zvezno metodo valjčne transformacije. Učinkovitost obeh metod je dokazana z eksperimentalnimi rezultati. Članek predstavlja razširitev in nadaljevanje in nadaljevanje dela, ki je bilo prvotno objavljeno na konferenci v letu 2013.	
		ANG	This paper presents an alternative computational method for on-line estimation and tracking of the impedance of PEM fuel cell systems. The method is developed in order to provide the information to diagnostics and health management system. Proper water management remains the main issue influencing the reliability and durability of PEM fuel cell technology and despite the thorough understanding of the underlying processes and extensive experimental work, the hardware implementation of the methods is often not properly addressed. In this scope, we will show how the characteristic values of the fuel cell impedance, required by the diagnostic system, at different frequencies can be computed by robust and computationally efficient algorithms, which are suitable for implementation in embedded systems. The methods under consideration include continuous-time wavelet transform and extended Kalman filter. The results demonstrate that these methods	
	Objavljeno v		Wiley-VCH-Verlag; Special issee of the 5th International Conference on Fundamentals & Development of Fuel Cells, FDFC 2013, 16-18th April, 2013, Karlsruhe, Germany; Fuel cells; 2014; Vol. 14, no. 3; str. 457-465; Impact Factor: 2.080;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.747; WoS: HQ, ID; Avtorji / Authors: Gašperin Matej, Boškoski Pavle, Debenjak Andrej, Petrovčič Janko	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	27016743	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Rao-Blackwellova izvedba filtra na osnovi masnih točk
		ANG	Rao-blackwellized point mass filter for reliable state estimation
	Opis	SLO	V članku predstavljamo novo izvedbo računskega filtra na osnovi masnih točk, ki temelji na uporabi Rao-Blackwellovega teorema, s katerim bistveno znižamo računsko zahtevnost postopka. Zaradi visoke zanesljivosti in robustnosti je novi algoritem primeren za implementacijo z najbolj zahtevnih sistemih. Rezultat je plod skupnega dela z doc. dr. Vaclav Šmidlom iz University of West Bohemia, Češka. Članek je bil uspešno predstavljen na pomembni mednarodni konferenci FUSION 2013, kjer sva skupaj z dr. Šmidlom navezala stike z vodilnimi skupinami na področju ocenjevanja stanj dinamičnih sistemov (Univerza v Linkopingu, Švedska)
		ANG	The paper presents a new version of the point mass filter, which is based on Rao-Blackwell theorem and greatly increases computational efficiency of the estimation algorithm. Due to its reliability and robustness it is appropriate for implementation in safety critical applications. The algorithm is a result of the joint work with dr. Vaclav Šmidl from University of West Bohemia, Czech Republic and was presented at the international conference on information fusion FUSION 2013. Based on our result, we managed to establish contact with the leading research groups on the topic of state estimation (University of Linköping, Sweden).
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	ISIF = International Society of Information Fusion; FUSION 2013; 2013; 7 str.; Avtorji / Authors: Šmídl Václav, Gašperin Matej	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	27015719	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Prediktivna diagnostika pri pospeševalnikih z visoko zahtevano zanesljivostjo
		ANG	Predictive diagnostics for high-availability accelerators
	Opis	SLO	Visoka stopnja zanesljivosti in varnosti je ključna zahteva pri sistemih, ki vključujejo pospeševalnik delcev. K sreči, vsaka prekinitev žarka ne pomeni nujno odpovedi. Na primer, pri načrtovanju reaktorja MYRRHA se za napako smatra le prekinitev žarka, ki je daljša od treh sekund. Naloga prediktivne diagnostike je zgodnje odkrivanje in napovedovanje časa odpovedi in s tem omogočiti ustrezne preventivne ukrepe. S tem povečamo varnost sistema in preprečimo širitev napak ali okvaro dodatnih komponent. Eden izmed možnih pristopov k prediktivni diagnostiki je, da se opravi poglobljena analiza procesnih spremenljivk iz vseh komponent pospeševalniškega sistema. Z opazovanjem trendov teh spremenljivk ali izpeljanih značilnosti nato lahko zaznamo napako in napovemo čas odpovedi. V primeru, da takšne veličine niso na voljo, pospeševalnik lahko opremimo z dodatnimi senzorji.
		ANG	In Accelerator Driven Systems, high availability of the accelerator is one of its key requirements. Fortunately, not every beam trip is necessarily a failure. For example, in the proposed MYRRHA transmuter, absence of the beam for less than 3 seconds is still deemed acceptable. Predictive diagnostics strives to predict where a failure is likely to occur, so that a mitigating action can be taken in a more controlled manner, thus preventing failure of other components while exactly pinpointing the component that is about to fail. One approach to predictive diagnostics is to analyze process variables that quantify inputs and outputs of components as archived by the accelerator's distributed control system. By observing trends in their values an impending fault can be predicted. In addition,

		sensors measuring e.g., vibration, temperature or noise can be attached to critical components.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	JACoW; Proceedings of 4th International Particle Accelerator Conference, IPAC 2013, May 13-17, 2013, Shanghai, China; 2013; Str. 873-875; Avtorji / Authors: Žagar Klemen, Bokal Drago, Strniša Klemen, Gašperin Matej, Pajor Gašper, Medeiros-Romao L., Vandeplassche D.
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
3.	COBISS ID	28011559 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Adaptivno vzorčenje za Bayesovo sklepanje v modelih na osnovi Gaussovih procesov
		<i>ANG</i> Adaptive Importance sampling for Bayesian inference in Gaussian process models
	Opis	Modeli na osnovi Gaussovih procesov (GP) so postali uveljavljeno orodje na področju razvoja sistemov vodenja. Medtem ko je podporna matematična teorija popolnoma v skladu s teorijo Bayesovega učenja, postopki uporabljeni v praksi pogosto uporabljajo grobe približke. V članku predstavljamo nov postopek učenja GP modelov, ki ohranja polno Bayesovo sklepanje z uporabo vzorčenja po pomembnosti (ang. importance sampling). Razviti postopek je pomemben prispevek, ker mogoči uporabo modelov GP v primeru neenakomerno porazdeljenih ali pomanjkljivih učnih podatkov, ima odlične lastnosti konvergence in razmeroma nizko računsko zahtevnost. Ključne prednosti novega postopka smo potrdili s študijami na simuliranih podatkih. Ocenjujemo, da je pomen rezultata dejstvo, da je bil objavljen na ključnem dogodku na področju avtomatskega vodenja v svetu in s tem pomaga pri prepoznavnosti skupine in Instituta "Jožef Stefan" v svetu. Gaussian process (GP) models are nowadays considered among the standard tools in modern control system engineering. They are routinely used for model-based control, time-series prediction, modelling and estimation in engineering applications. While the underlying theory is completely in line with the principles of Bayesian inference, in practice this property is lost due to approximation steps in the GP inference. In this paper we propose a novel inference algorithm for GP models, which relies on adaptive importance sampling strategy to numerically evaluate the intractable marginalization over the hyperparameters. This is required in the case of broad-peaked or multi-modal posterior distribution of the hyperparameters where the point approximations turn out to be insufficient. The benefits of the algorithm are that it retains the Bayesian nature of the inference, has sufficient convergence properties, relatively low computational load and does not require heavy prior knowledge due to its adaptive nature. All the key advantages are demonstrated in practice using numerical examples. The significance of the result lies in the fact that it was published at the leading event of the automatic control scientific community and promotes the department of Systems and Control as well as the Jožef Stefan Institute in the domain.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	International Federation of Automatic Control; IFAC 2014; 2014; Str. 5011-5016; Avtorji / Authors: Petelin Dejan, Gašperin Matej, Šmídl Václav
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti²

SLO

Potreba po avtomatiziranih postopkih za nadzor stanja industrijske opreme pridobiva na pomenu v vedno več industrijskih panogah. Razvoj tega raziskovalnega področja se je sicer začel za zadovoljitev potreb vojaške in industrije v energetskega sektorju, danes pa je stopnja razvoja področja zadostna, da je zanimiva tudi za civilni sektor. Vendar prenos tehnologije iz visoko specializiranih naprav na bolj ali manj masovno kosovno proizvodnjo postavlja dodatne omejitve in zahteva prilagoditve obstoječih postopkov.

V Sklopu raziskovalnega projekta Sprotno učenje modelov za spremljanje in napovedovanje stanja (kratica: SysID-PHM) smo uspešno naslovili predvsem eno izmed teh ovir, ki je potreba po sprotnem in avtomatskem učenju matematičnih modelov, ki se uporabljajo za izračun ocene poškodbe oz. časa odpovedi komponente. S tem bistveno pripomoremo k enostavni vpeljavi metodologije spremljanja stanja na novih področjih.

Glavna novost in izvirnost našega pristopa je v tem, da za model procesa uporabimo matematični model v prostoru stanj, katerega parametre ocenjujemo sprotno in avtomatsko iz razpoložljivih podatkov. Z uspešno demonstracijo delovanja naših postopkov smo po nam znanih podatkih edini, ki smo v celoti združili problem ocenjevanja napake in ocenjevanja parametrov modela v enem sistemu.

Implementacija rezultatov projekta v industrijskem okolju bo omogočila doseganje občutnih prihrankov pri neposrednih in posrednih stroških vzdrževanja. Nadgradnja obstoječih postopkov z ocenjevanjem preostale življenjske dobe pa je podlaga za uvedbo popolnoma novega pristopa k vzdrževanju opreme in koriščenje zunanjih specializiranih podjetij za vzdrževanje. Na dolgi rok oboje zagotavlja finančne koristi za podjetje, povečuje razpoložljivost in zagotavlja boljše izkoriščenost opreme.

ANG

Nowadays, the requirement for automated procedures for monitoring of equipment is becoming more important in several industrial branches. The beginnings of the field can be traced back to military industry and energy sectors. With the maturing of the research field, the application areas are being broadened. However, the transfer of the technology from highly specialized application areas to wide industrial applications poses additional requirements, which have to be adequately addressed.

In the scope of the research project Online System Identification for Model-Based Prognostics and Health Management (SysID-PHM) we have addressed one of these requirements, which is the need for autonomous identification of mathematical models for prognostics. With this, we can highly contribute to the decrease in time needed to apply such algorithms to a wide array of processes.

The novelty of our solution is that we adopt a mathematical model in the state-space, where the parameters of the model are automatically inferred from available operation data. With this we are, up to our knowledge, the first group to effectively incorporate model identification and prognostics in one algorithm.

From the industrial viewpoint, the implementation of the predictive maintenance gives opportunity for significant decrease of the direct as well as indirect maintenance costs in every company. New monitoring technologies allow radically new ways of maintenance i.e. predictive maintenance and moving the maintenance from the company (outsourcing) to the companies specialized for that purpose. Both will in the end decrease the costs and increase the availability

of the equipment and hence the efficiency of the overall production process.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Za relativno majhno in izvozno orientirano gospodarstvo, kot je slovensko, predstavlja obvladovanje nišnih in visokotehnoloških področij, kot je področje, ki ga pokriva project SysID-PHM, velik potencial za ustanavljanje novih zagonskih podjetij ali povečanje konkurenčne prednosti obstoječih. V času izvajanja projekta smo aktivno sodelovali s podjetji INEA d.o.o. in COSYLAB d.d., ki sta obe pokazali zanimanje za različne rezultate projekta.

Dodatno, poleg pozitivnih učinkov za slovensko gospodarstvo, rezultati projekta pozitivno prispevajo tudi k mednarodni prepoznavnosti odseka za sisteme in vodenje in celotnega Instituta "Jožef Stefan". Kot posledica več kvalitetnih objav znotraj ožjega raziskovalnega področja smo okrepili ugled raziskovalne skupine in s tem potencial za nova mednarodna sodelovanja.

ANG

For a relatively small and export oriented economy, such as Slovenian, the niche high-technology fields, such as the one covered in the The SysID-PHM project have a great potential to contribute to either formation of new start-up companies, or increase the competitiveness of the existing companies active in the area. In the duration of the project, we have established a working relationship with companies INEA d.o.o. and COSYLAB d.d., both of which are interested in the specific results of the project.

Furthermore, apart from anticipated benefits for the economy, the results contribute to the international recognition of the Department of Systems and Control and entire Jožef Stefan Institute. Following several impactful publications, we have been able to raise the reputation of the research group from the targeted community and increase the potential for future collaborations.

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

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

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih	

	procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	

G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☐	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☐	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	☐	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	☐	☐	☐	☐	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	☐	☐	☐	☐	
G.09.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	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			

13. Izjemni dosežek v letu 2015¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V članku predstavljamo uporabo Rao-Blacwellove izvedbe filtra stanj za avtomatsko sledenje impedance Sistema s PEM gorivnimi celicami. V delu sledimo uveljavljeni in preverjeni teoriji, da impedance Sistema nosi zadostno informacijo, potrebno za ločevanje med suhim, normalnim in navlaženim stanjem membrane. Za modeliranje impedance Sistema, smo razvili model na osnovi električnega nadomestnega vezja.

Glavna novost pristopa je, da problem sprotne diagnostike navlaženosti membrane sklada prevedemo na problem sprotnega ocenjevanja parametrov modela v prostoru stanj. Rezultat podajamo v obliki porazdelitvene funkcije verjetja za vrednosti parametrov in oceno posodabljammo vsakič, ko dobimo novo meritev toka in napetosti. Iz porazdelitvene funkcije algoritem nato oceni stopnjo tveganja za poplavljanje oz. izsuševanje sklada.

Delovanje postopka smo validirali na testnem sistemu z 7kW PEM gorivno celico in potrdili našo hipotezo.

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"

Matej Gašperin

ŽIG

Datum:

20.3.2016

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2016/33

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

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](#)

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

⁴ 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](#)

⁵ 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](#)

⁶ 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](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ 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](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

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

¹¹ Rubrike izpolnite / prepišite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2015 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2016 v1.00

E4-BF-FF-E7-26-08-4E-D1-EC-4F-14-06-89-E4-5B-B9-16-56-3B-5A

Priloga 1

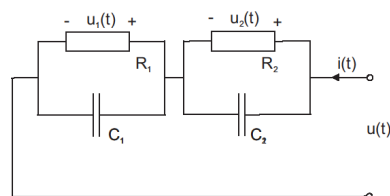
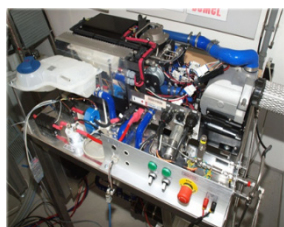
VEDA TEHNIKA

Področje: Sistemi in kibernatika

Dosežek 1: Rao-Blackwellova izvedba filtra stanj za diagnostiko sistemov s PEM gorivnimi celicami

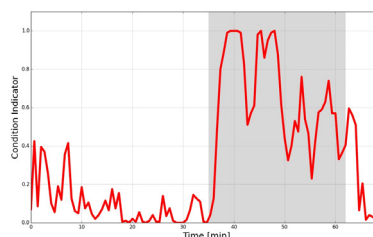
Vir: Matej Gašperin, *6th International Conference on Fundamentals & Development of Fuel Cells Toulouse, France*, 3 - 5 February 2015.

Razvili in uporabili smo postopek za sprotno učenje modela Sistema z gorivno celico PEM, ki iz električnih podatkov o delovanju Sistema avtomatsko oceni stopnjo navlaženosti membrane.



7kW PEM gorivna celica (levo) in njeno nadomestno vezje (desno)

Desna slika prikazuje vrednosti značilke med preizkusom. Vrednosti na grafu predstavljajo tveganja za poplavljanje membrane.



V članku predstavljamo uporabo Rao-blackwellove izvedbe filtra stanj za avtomatsko sledenje impedance Sistema s PEM gorivnimi celicami. V delu sledimo uveljavljeni in preverjeni teoriji, da impedance Sistema nosi zadostno informacijo, potrebno za ločevanje med suhim, normalnim in navlaženim stanjem membrane. Za modeliranje impedance Sistema, smo razvili model na osnovi električnega nadomestnega vezja.

Glavna novost pristopa je, da problem sprotna diagnostike navlaženosti membrane sklada prevedemo na problem sprotnega ocenjevanja parametrov modela v prostoru stanj. Rezultat podajamo v obliki porazdelitvene funkcije verjetja za vrednosti parametrov in oceno posodabljammo vsakič, ko dobimo novo meritev toka in napetosti. Iz porazdelitvene funkcije algoritem nato oceni stopnjo tveganja za poplavljanje oz. izsuševanje sklada.

Delovanje postopka smo validirali na testnem sistemu z 7kW PEM gorivno celico in potrdili našo hipotezo.