

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/5



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-2342
Naslov projekta	Poenostavljeni eksplicitni prediktivni regulator
Vodja projekta	2830 Stanislav Strmčnik
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4650
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.06 Sistemi in kibernetika 2.06.03 Postopki in orodja za načrtovanje in izvedbo sistemov vodenja
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.02
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

V projektu Poenostavljeni Eksplicitni Prediktivni Regulator (PEPR) smo razvili EPR, ki je za razliko od prej znanih praktično uporaben za izboljšanje regulacije v prisotnosti omejitev. Glavni cilji so bili:

- izboljšanje numerične robustnosti,

- poenostavitev oz. zmanjšanje števila regij,
- izvedba na programabilnem logičnem krmilniku (PLK) in
- pilotne aplikacije.

Izhodiščni algoritem za izračun particij EPR z uporabo parametričnega kvadratnega programiranja (pKP) je dobro reševal akademske primere, pri praktičnih pa je prihajalo do napak in nepokritih področij particije. Sistematično smo pregledali numerično problematiko algoritma. Uskladili smo zaporedje pragov, odpravili več izvedbenih napak, izvedli vrsto nadgradenj algoritma in dodali preverjanja zanesljivosti izračunov, s čimer smo delovanje izboljšali. Vendar na degeneriranih območjih lahko pride do prekrivanja regij, v okolici degeneracij pa do izpuščanja regij. Zato smo izvedli več alternativnih algoritmov, med katerimi se je najbolje izkazal algoritem na podlagi parametričnega problema linearne komplementarnosti (pLK).

Izbrali smo sledilno izvedbo brez pogoška v ustaljenem stanju z ocenjevanjem motnje, ki se je izkazala kot učinkovitejša od integracije pogoška. Glede izvedbe z ali brez uporabe ocenjevanja delovne točke nismo opazili bistvenih razlik; večinoma smo uporabljali enotno shemo.

Za zmanjševanje računske zahtevnosti smo najboljše rezultate dosegli z izvirnim pristopom redčenja izhodnih omejitev. Dosegli smo zelo učinkovito zmanjšanje števila regij in hkrati izboljšanje numerične pogojenosti, pri čemer pride do komaj opaznega zmanjšanja regulacijske učinkovitosti.

Naredili smo programsko knjižnico za lokalno linearno analizo (LLA) lastnosti zaprtzančnega sistema s (P)(E)PR, ki izračuna enačbe zaprtzančnega sistema za vsako izmed regij EPR. Dobljene enačbe prikažemo na več načinov, ki jih uporabljamo za uglaševanje regulacijske zanke. Pri tem smo uporabljali koncepte pristopa "Loop Transfer Recovery". LLA se je izkazala kot učinkovito orodje za uglaševanje EPR, komplementarno simulaciji.

PEPR smo v simulacijskih in eksperimentalnih študijah preizkusili na naboru pilotnih naprav:

- PN1: Regulacija tlaka v vakuumski komori (PlasmaIt GmbH),
- PN2: Regulacija temperature hladilne vode v kogeneracijski napravi (CČN Domžale),
- PN3: Regulacija nivoja vode v vezni posodi (laboratorij OSV IJS),
- PN4: Vertikalna stabilizacija plazme v modelu tokamak reaktorja (ITER).

Z eksperimentalnimi testi na PN1 in PN2 smo začeli že v prvih fazah projekta v okolju Matlab-Simulink preko AD/DA pretvornika. Nato smo prešli izvedbo s PLK, kjer smo algoritme PEPR in dodatnega nadzora kvalitete regulacije izvedli kot funkcijske bloke. V preizkusih na PN3 smo uspešno izvedli regulacijo s PEPR s praktično smiselnim upoštevanjem omejitev. V sklepnih fazi projekta smo uspešno izvedli še aplikacijo na PN4, ki je zahtevna zaradi nestabilne in multivariabilne narave procesa in velike variabilnosti dinamike.

ANG

Within the Simplified Explicit Model Predictive Controller (SeMPC) project we have developed an eMPC which, unlike the previously existing ones, practically improves control subject to constraints. The main aims were:

- improvement of numerical robustness,
- simplification, i.e., reduction of the number of regions,
- implementation on a programmable logic controller (PLC), and
- pilot applications.

The initial algorithm for eMPC partition computation based on parametric quadratic programming (pQP) was successful with academic examples, but in practical ones there were errors and uncovered partition parts. We examined issues of numerical conditioning systematically. We tuned a sequence of thresholds, corrected several implementation faults, implemented extensions of the algorithm and added reliability checks, which resulted in improved performance. However, region overlap or missing regions may occur in degenerate areas. Therefore we implemented several alternative algorithms, among which one based on the parametric linear complementarity problem (pLC) shows best performance.

We chose the offset-free tracking approach based on disturbance estimation, which was

more efficient than tracking-error integration. Concerning implementation with or without a target calculator, no decisive differences were found, and we mostly used the 'joint' scheme.

Regarding complexity reduction, best results were achieved with an original approach of sparse placement of output constraints. A very efficient reduction of the region count while also improving numerical conditioning was achieved, with a hardly noticeable deterioration of constraint handling.

We implemented a software toolbox for local linear analysis (LLA) of closed-loop system properties with (S)(e)MPC. The computed formulae may be displayed in several forms, which are used in loop tuning. In the latter we used concepts of Loop Transfer Recovery (LTR). LLA was found to be an efficient tuning tool, complementary to simulation.

SeMPC was tested in simulation and experimental case-studies on a range of pilot plants:

- PN1: Pressure control in a vacuum chamber (PlasmaIt GmbH),
- PN2: Cooling-water temperature control in a CHP plant (CČN Domžale),
- PN3: Liquid level control in a laboratory plant (IJS),
- PN4: Vertical stabilization of plasma in a tokamak fusion reactor (ITER).

The experimental tests on PN1 and PN2 were started in the initial project phases using Matlab/Simulink over an AD/DA converter. Later we switched to the PLC platform, where the algorithms of SeMPC and additional control performance monitoring were implemented as function blocks. In tests on PN3 we successfully implemented SeMPC control with practically useful constraint-handling. In the final stage of the project we successfully completed the PN4 application, which is more challenging due to the unstable and multivariable process and considerably varying dynamics.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Izhodišče projekta Poenostavljeni Eksplicitni Prediktivni Regulator (PEPR) so bile izkušnje, pridobljene v predhodnem projektu CONNECT (6. Okvirni program ES), kjer smo razvili delujoč EPR, ki pa je imel pomanjkljivosti glede praktične uporabnosti:

- izračuni numerično niso bili dovolj zanesljivi,
- dobljene particije EPR so bile preobsežne in jih ni bilo mogoče prenesti na industrijski programabilni logični krmilnik (PLK) ter
- ni bilo mogoče izvesti mehkih omejitev, s katerimi se izognemo problemu nerešljivosti optimizacijskega problema.

Glavni cilji projekta PEPR so bili:

- izboljšanje numerične robustnosti algoritmov,
- poenostavitev particij oz. zmanjšanje števila poliedričnih regij,
- prenos sprotnega dela algoritmov na PLK in
- izvedba pilotnih aplikacij.

V sklopu DS1 "Pregled literature in analiza zahtev" smo sistematično pregledali literaturo s področij algoritmov za določanje particije EPR, vprašanja sledilne izvedbe, povratne zveze iz izhodov in izločanja motenj, zmanjševanje računske zahtevnosti ter EPR na podlagi hibridnih, časovno zveznih in nelinearnih modelov. Glede na izsledke smo ponovno analizirali zahteve za delovne sklope. Našli smo relevantne objave za sklop DS2 o več alternativnih parametričnih LQ in QP algoritmi. Ugotovili smo, da moramo dodatno obravnavati tudi algoritme za parametrični problem linearne komplementarnosti (pLK). Našli smo več alternativnih postopkov za poenostavljane particije za sklop DS4, ki pa jih nismo ocenili kot obetavne, pretežno ker izhajajo iz začetnega izračuna celotne nepoenostavljene particije.

V sklopu DS2 "Razvoj in izpopolnjevanje sledilnega eksplicitnega prediktivnega regulatorja" smo oblikovali algoritem EPR, primeren za kasnejšo aplikativno izvedbo. Primerjali smo različne možnosti izvedbe sledilnega regulatorja z izločanjem pogreška v ustaljenem stanju. Ugotovili smo, da je tudi pri novem algoritmu pristop z ocenjevanjem motnje učinkovitejši od pristopa z integracijo pogreška [COBISS.SI-ID[25808423](#), [23705895](#)].

Glede izvedbe z ali brez uporabe ocenjevanja delovne točke nismo opazili pomembnih razlik glede učinkovitosti delovanja. Izvedba z ločenim ocenjevalnikom delovne točke rezultira v dvonivojski strukturi eksplicitnega regulatorja, kar povzroči nekoliko višjo računsko zahtevnost v fazi izračuna particije in oteži lokalno linearno analizo, zato smo večinoma uporabljali enotno shemo [COBISS.SI-ID[25808423](#)].

Veliko truda smo vložili v raziskave numeričnih lastnosti algoritmov parametričnega kvadratnega programiranja (pKP), ki so podlaga za izračun particije PEPR, možnosti za izboljšanje pogojenosti izračunov in metode za odkrivanje in numerično robustno obravnavo degeneracij. Obstoječe metode so namreč večinoma učinkovito delovale na majhnih testnih problemih, medtem ko so pri praktičnih izvedbah sledilnih regulatorjev včasih obdelale večji del parametričnega prostora rešitve, nekateri deli pa so zaradi težav ostali nepokriti, kar v tipičnih multidimenzionalnih prostorih (4 do 8 dimenzij) težko odkrijemo.

Sestavili smo testni nabor poenostavljenih primerov s tri- ali dvodimenzionalnim prostorom parametrov, pri katerih se težave že pojavljajo. Za izhodiščni algoritem smo izbrali (Baotić, 2002) in njegove nadgradnje vključene v odprtokodno knjižnico "Multi-Parametric Toolbox".

Ugotovili smo, da do napak pri izhodiščnem algoritmu prihaja zlasti zaradi pomanjkljivosti izvedbe tolerančnih pragov. V izboljšani rešitvi [COBISS.SI-ID [23959847](#), [25004839](#)] smo uskladili naslednje zaporedje pragov:

- prag aktivnosti omejitev v preizkušani točki izven izhodiščne regije,
- dodatni prag ranga matrike aktivnih omejitev,
- spremenjeni prag ničnih vrst politopa nove regije pred normiranjem (biti mora kombinacija relativne tolerance in zelo nizke absolutne tolerance),
- prag podobnosti vrst politopa nove regije po normiranju (absolutna toleranca, vendar nižja od obstoječe),
- prag Čebiševega radija nove regije (absolutna toleranca).

Poleg tega je bilo potrebno z uporabljenimi vrednostmi pragov uskladiti interne pragove algoritmov LP in KP, ki jih uporablja. Dodatno smo razširili podprogram za obravnavo degeneracij in odpravili vrsto napak pri izvedbi algoritmov. Dobljeni algoritem je testne primere rešil, preostali pa sta dve pomanjkljivosti teoretične narave:

- 1) na degeneriranih območjih lahko pride do nezaželenega prekrivanja regij,
- 2) v okolici degeneracij lahko pride do izpuščanja regij.

Zato smo iskali alternativne rešitve. Prva je bil algoritem (Tondel, Johansen, Bemporad, 2003). V nedegeneriranih področjih smo dobili z njim enako rešitev kot z izhodiščnim algoritmom, s tem da je iskanje novih regij učinkovitejše, ker ne zahteva reševanja QP problemov. Degenerirana področja rešuje s projekcijo višjedimenzionalnega poliedra na prostor parametrov in jih preslika v eno samo regijo, pri čemer pa je žal ravno tako prihajalo do numeričnih težav.

Alternativni algoritem (Spjøtvold, Tondel, Johansen, 2007) temelji na tangentnih in normalnih stožcih. Namesto projekcije se tu uporablja pretvorba iz polravninskega v vozliščni zapis poliedra. Spet so rezultati v večini primerov enaki kot pri drugih metodah, do numeričnih razlik prihaja v degeneriranih področjih. V nekaterih primerih je bilo iz dobljenega vozliščnega zapisa rešitve mogoče določiti le, da gre za degeneracijo, ne pa tudi ustrezne regije; pokazala se je tudi numerična občutljivost že pri sami pretvorbi iz polravninskega v vozliščni zapis poliedra.

Izboljšano rešitev smo dosegli z algoritmom za določanje particij EPR na podlagi parametrične oblike problema linearne komplementarnosti (pLK) (Jones, Morari, 2006), ki je splošnejši kot izhodiščni pKP. Težave opažene pri pKP odpravljaja s konceptom leksikografske perturbacije. Med algoritmoma pLK in pKP obstaja tesna zveza, tako da je dobljene poliedre nedegeneriranih regij težavnih testnih primerov večinoma mogoče neposredno primerjati. Podrobno smo analizirali numerično problematične točke algoritma pLK kot prej za pKP [COBISS.SI-ID [24318503](#)].

V sklopu DS3 "Analiza lastnosti zaprtizančnega sistema s sledilnim EPR" smo naredili programsko knjižnico za lokalno linearno analizo lastnosti zaprtizančnega sistema z (E)PR LLAPC [COBISS.SI-ID [23050023](#)], ki lahko izračuna enačbe zaprtizančnega sistema s PR razvitim v DS2 za vsako izmed regij EPR. Izvedli smo tudi dopolnitve za uporabo pristopov zmanjšanja računske zahtevnosti (PEPR) iz DS4. Oblikovali smo prikaze dobljenih zaprtizančnih enačb v obliki frekvenčnih karakteristik občutljivostnih funkcij, v obliki diagramov lege korenov na kompleksni ravnini in v obliki časovnih odzivov na stopničast ali impulzni vhodni signal. Te različne možne prikaze zaprtizančnih enačb LLAPC smo uporabili za uglasjevanje regulacijske zanke pri pilotnih aplikacijah PN1, PN2, PN3 in PN4 (glej DS5). Preizkusili smo tudi uglasjevanje EPR po pristopu "Loop Transfer Recovery", ki je dal na naših pilotnih aplikacijah ob manjšem številu uglasitvenih parametrov podobne rezultate kot izhodiščna metoda, ki temelji na oceni kovariance šumnih signalov.

Uporaba tovrstne analize omogoča odkrivanje skritih dinamičnih lastnosti zaprtizančnega

sistema, ki se pokažejo v posebnih razmerah, ki jih pri simulacijskem preizkušanju lahko spregledamo. Sicer ne more opisovati delovanja zaprtostančnega sistema pri prehodih sistema med različnimi regijami, vendar pa dobro opisuje sistem v lokalnih delovnih točkah, ki se pojavljajo med obratovanjem.

V sklopu DS4 "Zmanjševanje računske zahtevnosti" smo na delovnih primerih preizkusili več pristopov.

- Določeno zmanjšanje računske zahtevnosti smo pri pKP algoritmu dosegli že z izboljšavami iz sklopa DS2. Vendar so dodatna preverjanja zanesljivosti izračunov računsko tudi zahtevna.
- Z izvirnim pristopom redčenja izhodnih omejitev v povezavi z znanim postopkom grupiranja sprememb regulirnega signala smo dosegli zelo učinkovito zmanjšanje števila regij in hkrati izboljšanje numerične pogojenosti, pri čemer pride do komaj opaznega zmanjšanja regulacijske učinkovitosti [COBISS.SI-ID [25889063](#), [25715751](#), [26592551](#)].
- Uporaba izhodnih omejitev s skupno pomožno spremenljivko prav tako zelo učinkovito zmanjša število regij, žal pa jo spremlja poslabšanje numerične pogojenosti [COBISS.SI-ID [25715751](#)].

V sklopu DS5 "Simulacijska študija na pilotni napravi" smo oblikovali nabor pilotnih naprav, izdelali in validirali njihove simulacijske modele, na njih simulacijsko preizkušali različne uglasitve regulatorjev, verificirali ujemanje rezultatov simulacije in LLAPC analize in vrednotili rezultate vodenja.

Že v začetnih fazah projekta smo izdelali simulacijske modele za industrijski pilotnih naprav:

- PN1: Regulacija tlaka v vakuumski komori (PlasmaIt GmbH) [25653287] in
- PN2: Regulacija temperature hladilne vode v kogeneracijski napravi (CČN Domžale) [TEMPC-Springer].

V letu 2011 smo dodatno modelirali pilotno napravo:

- PN3: Regulacija nivoja vode v vezni posodi (laboratorij OSV IJS) [COBISS.SI-ID [25889063](#)]

ki se je nato uporabljala pri testiranju prenosa algoritmov na PLK v sklopu DS6.

V izteku leta smo v sodelovanju med IJS in podjetjema INEA in Cosylab v okviru Kompetenčnega centra za sodobne tehnologije vodenja našli izredno atraktiven regulacijski problem:

- PN4: Vertikalna stabilizacija plazme v tokamak reaktorju (ITER) [COBISS.SI-ID [26592551](#)].

pri katerem je izvedba PEPR zahtevnejša kot na prejšnjih primerih, ker gre za nestabilen sistem z dvema vhodoma in izhodoma. Uspešno smo izvedli PEPR, ki izkazuje praktično uporabno izogibanje omejitvam. Za zagotavljanje rešljivosti optimizacijskega problema PEPR smo uporabili mehke omejitve, pri čemer smo uporabili grupiranje vrednosti regulirnega signala in redčenje izhodnih omejitev.

Pripravljalne aktivnosti za sklop DS6 "Demonstracijska aplikacija v industrijskem okolju" smo zaradi interesa sofinancerja INEA d.o.o. začeli izvajati že v letu 2009 s seznanjanjem s ciljno industrijsko PLK izvedbeno platformo Mitsubishi MELSEC Q in s poskusnim prenosom obstoječega algoritma za nadzor in ovrednotenje delovanja regulatorja na PLK. Sofinancer je pokazal za tematiko vrednotenja regulacijskih rezultatov v industrijskih razmerah veliko zanimanje, zato smo med tekom projekta dodelovali algoritme za spremljanje značilk kvalitete regulacijskega delovanja (dvižni čas, prevzpon, oscilatornost, varianca itd.) in iz njih oblikovali dodatni funkcijski blok za nadzor delovanja regulatorja v razvojnem orodju IDR BLOK [COBISS.SI-ID [25061159](#)].

Razvojne različice algoritmov PEPR smo že v zgodnjih fazah projekta eksperimentalno preizkušali na napravah PN1 in PN2 v razvojnem okolju Matlab/Simulink preko AD/DA pretvornika National Instruments. V drugi polovici projekta smo v več iteracijah izvedli prenos algoritmov za sprotno izvajanje blokov PEPR in Kalmanovega filtra na PLK v obliki funkcijskega bloka za razvojno okolje IDR Blok (Inea d.o.o.) in eksperimentalne preizkuse na PN3 [COBISS.SI-ID [25889063](#)]. Pri testih na strojno relativno manj zmogljivi industrijski PLK platformi se je izkazalo, da osnovna izvedba algoritma za določanje aktivne regije ni dovolj hitra pri praktičnih problemih (reda 100 ms za 1000 regij). Zato smo določanje aktivne regije izvedli z binarnim odločitvenim drevesom (BOD), kar je

hitrost določanja regije bistveno pospešilo na pod 10 ms. Za algoritem tvorbe BOD v multidimenzionalnih prostorih je še bolj pomembno majhno število regij v particiji PEPR. Preizkusi na PN3 so bili uspešni, saj smo uspeli pokazati regulacijo s PEPR s praktično smiselnim upoštevanjem omejitev tako v konfiguraciji z enim vhodom in enim izhodom kot v konfiguraciji z dvema vhomoma in enim izhodom.

Sodelovanje s tujimi partnerji: do koristnih idej smo prišli v stikih s tujimi raziskovalci na mednarodnih konferencah [COBISS.SI-ID [25004839](#), [22966823](#), [22848807](#), [26146087](#)]. Posebej pomembno je bilo sodelovanje s partnerji iz Neapeljskega konzorcija CREATE, ki so nam posredovali svoje modele in izkušnje iz vodenja tokamak plazme.

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

Predvideni cilji:

C1: Razviti metodo za praktično uporabno in zanesljivo izvedbo algoritma EPR, ki bo deloval tako za regulacijsko kot tudi za sledilno delovanje v industrijski strojni opremi. Pri tem se naj učinkovitost sistema vodenja s poenostavljanjem algoritma ne bi bistveno zmanjšala.

C2: Izdelati metodo analize delovanja zaprtizančnega sistema za razviti EPR, s katero bo mogoče ovrednotiti učinkovitost sledilnega delovanja, izločanja različnih tipov motenj, dušenja šuma in robustnost na odstopanje modela od dejanske dinamike procesa.

C3: Prikazati in ovrednotiti razvito metodo na različnih tipih industrijskih procesov z računalniško simulacijo.

C4: Demonstrirati razviti algoritem izveden v izbrani industrijski opremi za vodenje na realnem, relativno hitrem dinamičnem procesu.

Vsi cilji so doseženi. Še bolj zadovoljni bi bili, če bi se lahko pohvalili z uspešno industrijsko aplikacijo, vendar ustreznega procesa v zaključni fazi projekta ni bilo na voljo. Zato pa smo prikazali praktično uspešno laboratorijsko izvedbo na PN3 in poleg tega uspešno simulacijsko izvedbo za zelo zahtevnem procesu PN4, ki še ni zgrajen.

Po delovnih sklopih:

DS1: Pregled literature in analiza zahtev zaključena.

DS2: Razvoj algoritma je uspešno zaključen. Numerične težave smo zmanjšali in dodali mehanizme za javljanje slabe pogojenosti izračunov. Težav ni mogoče docela odpraviti, ker je pogojenost izračuna regij v določenih pogojih inherentno slaba; kadar pride v delih particije do zgostitve omejitev, je zaradi omejene točnosti računanja težko določiti nabor aktivnih omejitev in poliedre tam ležečih nano-regij. Pojavljajo se nove metode določanja regij in raziskovanja prostora parametrov, ki jih še nismo uspeli preizkusiti; vendar ne pričakujemo, da bi lahko dosegle fundamentalno boljšo pogojenost izračuna.

DS3: Doseženi so vsi zadani cilj na področju analize zaprtizančnega odziva s PEPR.

DS4: Doseženi so zelo dobri rezultati zmanjševanja števila regij, pri čemer ni potreben predhodni izračun nepoenostavljene particije. Praktični PEPR so izvedljivi na PLK in ne povzročajo znatne degradacije v primerjavi z nepoenostavljenimi.

DS5: Za naprave PN1, PN2, PN3 in zahtevno fuzijsko aplikacijo PN4 je bilo uspešno izvedeno modeliranje, simulacijsko okolje za preizkušanje regulatorjev, uglaševanje na podlagi LLA in simulacijski preizkus.

DS6: Eksperimentalni preizkusi na PN1 in PN2 v okolju Matlab/Simulink so bili opravljeni v prvem delu projekta. V drugem delu so bili algoritmi za določanje aktivne regije PEPR in Kalmanov filter ter algoritmi za vrednotenje regulacijskega odziva prenešeni v ciljno okolje IDR Blok za programiranje PLK in eksperimentalno preizkušeni na PN3.

Zadovoljni smo z rezultatom objavljanja raziskovalnega dela, saj smo pripravili štiri znanstvene članke in tri že objavili v revijah, dva v prvi in enega v drugi četrtini po indeksu SCI na svojih področjih; četrti je v fazi dopolnitve. Izsledke smo predstavili še na dveh uglednih mednarodnih konferencah, več dogodkih lokalnega značaja ter domačih znanstvenih in strokovnih srečanjih.

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

Prišlo je do manjše spremembe programa glede izvedbe simulacijske študije (DS5) oz. pilotne industrijske aplikacije (DS6). Prvotno smo predvidevali izvedbo pilotne industrijske

aplikacije na PLK sistemu v procesni industriji ali na mehanskem procesu. Tekom poskusnega eksperimentiranja na industrijskih napravah PN1 in PN2 pred prenosom na PLK platformo se je izkazalo, da je za učinkovito preizkušanje sistema pri prenosu na industrijski krmilnik primernejši za eksperimentiranje dostopnejši proces s hitrejšo dinamiko, kar smo upoštevali pri izbiri laboratorijske naprave PN3.

V zaključnem obdobju izvajanja projekta v okviru aplikativne dejavnosti sofinancerja INEA d.o.o. nismo našli primerne industrijske aplikacije, pri kateri bi se preizkušani algoritmi v praksi lahko izkazali (kot je bila v preteklosti npr. priprava čimbolj hladne hladilne vode, ki pa ne sme zmrzniti).

V okviru sodelovanja med IJS, sofinancerjem Inea d.o.o., podjetjem Cosylab d.d. in konzorcijem CREATE z Neaplja (IT) s ciljem sodelovanja pri izvedbi podsistemov vodenja procesa jedrske fuzije za eksperimentalni reaktor ITER pa smo naleteli na zelo atraktiven problem vertikalne stabilizacije plazme v tokamak reaktorju, ki smo ga izbrali za demonstracijsko aplikacijo PN4. Reaktor ITER je trenutno v gradnji (Cadarache, FR) in bo predvidoma zagnan leta 2019, tako da eksperimentalna aplikacija v okviru trajanja projekta ni mogoča; prav tako za izvedbo sistema vodenja PLK sistemi niso primerni. Vendar pa partnerji iz konzorcija CREATE razpolagajo s podrobnimi simulacijskimi modeli, ki omogočajo oceno učinkovitosti spremembe regulacijskega algoritma, podjetje Cosylab d.d. pa že aktivno sodeluje pri izvedbi zmogljive računalniške infrastrukture za podporo sistema vodenja ITER CODAC (Control, Data Access and Communication). Ta proces smo izbrali, ker gre za zahteven in atraktiven problem vodenja, ki lahko podjetjema INEA in Cosylab odpre vrata za podpis pogodb o nadaljnjih sodelovanjih pri razvoju podsistemov reaktorja ITER.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	25808423	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uglaševanje sledilnega multi-parametričnega prediktivnega regulatorja z uporabo lokalne linearne analize
		ANG	Tuning of a tracking multi-parametric predictive controller using local linear analysis
	Opis	SLO	Obravnavamo dve temi s področja prenosa teorije multiparametričnih prediktivnih regulatorjev v industrijski regulator: sledenje brez pogreška v ustaljenem stanju in uglaševanje na podlagi lokalne linearne analize. Pokažemo, da je mogoče sledilne sheme brez pogreška v ustaljenem stanju na osnovi ocenjevanja motnje, znane iz klasičnega prediktivnega vodenja, uporabiti tudi v parametrični izvedbi. Prav tako pokažemo, da lahko "skupno" izvedbo sheme, pri kateri prediktivni regulator združuje funkciji dinamičnega vodenja in izločanja pogreška v ustaljenem stanju, brez ločenega ocenjevalnika delovne točke, učinkovito uporabimo za vodenje manjših multivariabilnih procesov z viškom regulirnih signalov. Sheme lahko uglašujemo za učinkovito izločanje motenj in robustno delovanje z uporabo lokalne linearne analize, ki se je izkazala kot zelo učinkovito orodje. Predstavljamo eksperimentalno študijo na problemu regulacije vakuumskega tlaka v prežarjevalniku žice z dvema vhodoma in enim izhodom.
		ANG	This study explores two issues in the transition from mp-MPC theory to the implementation of an industrial controller: offset-free output-feedback tracking, and controller tuning based on local linear analysis of the closed-loop system. It is shown that the disturbance-estimation based offset-free tracking schemes involving an observer/estimator, known from on-line MPC, are also applicable in mp-MPC. Further, that a "joint"-scheme, in which the MPC controller integrates the functions of constrained dynamic control and offset-free tracking without using a separate target calculator, may be efficiently used for control of small-scale multivariable processes with redundant control inputs. Such schemes facilitate tuning for efficient disturbance rejection and robustness using local linear analysis, which was found to be extremely valuable tuning tool. An experimental case study on a two-input single-output system for pressure control in the vacuum

		chamber of a wire annealer is presented.
	Objavljeno v	Institution of Engineering and Technology; IET control theory & applications; 2012; Vol. 6, no. 5; str. 1-11; Impact Factor: 0.990; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.204; WoS: AC, IQ, OA; Avtorji / Authors: Gerkšič Samo, Pregelj Boštjan
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	23705895 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Hibridno eksplicitno prediktivno vodenje nelinearnega procesa aproksimiranega z odsekoma afinim modelom
		<i>ANG</i> Hybrid explicit model predictive control of a nonlinear process approximated with a piecewise affine model
	Opis	<i>SLO</i> Nedavno razvite metode eksplicitnega prediktivnega vodenja (ePV) za hibridne sisteme omogočajo zanimivo možnost za reševanje razreda nelinearnih problemov vodenja. Pri tem pristopu nelinearni proces aproksimiramo z odsekoma afinim hibridnim modelom, ki vsebuje množico lokalnih linearnih modelov. V primerjavi z ePV na podlagi linearnega modela pričakujemo izboljšanje delovanj zaradi zmanjšanja odstopanja modela od prave dinamike procesa, kar pa dosežemo na račun zvišanja računske zahtevnosti. Da bi računsko zahtevnost zmanjšali na sprejemljivo raven, da lahko uporabljamo smiselne dolžine horizontov, prikazujemo učinkovito suboptimalno rešitev. Praktično uporabnost pristopa smo prikazali z eksperimentalno študijo na primeru regulacije tlaka v napravi za prežarjanje žice.
		<i>ANG</i> The recently developed methods of explicit (multi-parametric) model predictive control (e-MPC) for hybrid systems provide an interesting opportunity for solving a class of nonlinear control problems. With this approach, the nonlinear process is approximated by a piecewise affine (PWA) hybrid model containing a set of local linear dynamics. Compared to linear-model-based MPC, a performance improvement is expected with the reduction of the plant-to-model mismatch; however at a cost of controller computation complexity. In order to reduce the computational load, so that desired horizon lengths may be used, we present an efficient sub-optimal solution. The feasibility of the approach for the application was evaluated in an experimental case study, where an output feedback, offset-free-tracking hybrid e-MPC controller was considered as a replacement for a PID-controller-based scheme for the control of the pressure in a wire-annealing machine.
	Objavljeno v	Butterworth-Heinemann; Journal of process control; 2011; Vol. 20, no. 7; str. 832-839; Impact Factor: 1.696; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.204; A': 1; WoS: AC, II; Avtorji / Authors: Pregelj Boštjan, Gerkšič Samo
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	26592551 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Vertikalna stabilizacija ITER plazme z eksplicitnim prediktivnim regulatorjem
		<i>ANG</i> Vertical stabilization of ITER plasma using explicit model predictive control
	Opis	<i>SLO</i> Delo obravnava napredne regulacijske algoritme za vertikalno stabilizacijo plazme v fuzijskem tokamak reaktorju ITER, kjer preko napetostnih generatorjev za kombinaciji zunanjih superprevodnih in notranjih ohmskih navitij poskušamo doseči učinkovit odziv na motnje ob spoštovanju termičnih omejitev. Uporabimo linearno-kvadratno optimalno vodenje z omejitvami, kjer gre za hibrid med linearnim kvadratnim optimalnim regulatorjem in prediktivnim regulatorjem. Obravnavamo vprašanja praktične implementacije v obliki poenostavljenega eksplicitnega

		<p>prediktivnega regulatorja (PEPR), s katero se izognemo sprotni optimizaciji in tako dosežemo kratek čas izračuna.</p> <p>Prikažemo računsko izvedljiv PEPR za vertikalno stabilizacijo plazme, ki izkazuje praktično uporabno izogibanje omejitvam. Za zagotavljanje rešljivosti optimizacijskega problema PEPR smo uporabili mehke omejitve, pri čemer smo uporabili grupiranje vrednosti regulirnega signala in redčenje izhodnih omejitev.</p>
	ANG	<p>In this work we explore advanced control algorithms for the vertical stabilization of plasma in the ITER tokamak for the case where a combination of ohmic in-vessel and superconducting poloidal actuators is used for effective response to disturbances subject to thermal constraints. We apply constrained linear-quadratic optimal control, which is a hybrid between conventional linear quadratic optimal control and model predictive control (MPC). We discuss the issues of practical implementation in the form of simplified explicit MPC, which allows application to fast processes by avoiding the use of on-line optimization.</p> <p>A computationally tractable explicit MPC controller for the plasma VS system capable of practically useful constraint-handling was demonstrated. Softening of the output constraints was required for feasibility, while computational tractability was reached by using move blocking and sparse placement of constraints.</p>
	Objavljeno v	North Holland; Fusion Engineering and Design; 2013; 5 str.; Impact Factor: 1.490; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.949; A': 1; WoS: RY; Avtorji / Authors: Gerkšič Samo, Tommasi Gianmaria de
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	25004839
		Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Izboljšanje zanesljivosti računanja particij eksplicitnih prediktivnih regulatorjev s knjižnico Multi-Parametric Toolbox
		ANG Improving reliability of partition computation in explicit MPC with MPT toolbox
	Opis	SLO V članku rešujemo probleme morebitne slabe numerične pogojenosti in degeneracij pri algoritmu parametričnega kvadratnega programiranja (pQP), ki se uporablja za računanje particij eksplicitnih prediktivnih regulatorjev v knjižnici "Multi-Parametric Toolbox". Najprej povzemamo problem pQP in osnovni algoritem za njegovo reševanje, nato analiziramo njegovo izvedbo v knjižnici MPT s poudarkom na problematiki numerike in predlagamo niz izboljšav za izboljšanje zanesljivosti delovanja.
		ANG The paper addresses the problem of numerical issues and degeneracies in the parametric quadratic programming (pQP) algorithm, used for computing partitions of explicit model predictive controllers (eMPC) with the Multi-Parametric Toolbox (MPT). We summarise the pQP problem setup and the basic algorithm, analyse its implementation in MPT, expose the numerical issues and suggest a series of improvements for more reliable operation, which are relevant also for other pQP solvers.
	Objavljeno v	IFAC; IFAC 2011; 2011; Str. 9260-9265; Avtorji / Authors: Gerkšič Samo
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
5.	COBISS ID	25715751
		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO O računanju particij eksplicitnih prediktivnih regulatorjev preko parametričnega problema linearne komplementarnosti
		ANG On computing partitions of explicit MPC controllers via multi-parametric linear complementarity problem
		Članek obravnava probleme numerike in degeneracij, ki se pojavljajo pri reševanju parametričnega problema linearne komplementarnosti (pLK) za namen izračuna particij eksplicitnega prediktivnega regulatorja (ePR) na

Opis	SLO	podlagi linearnega modela z omejitvami in kriterijske funkcije s kvadratno normo. Po povzetku osnovnega pLK algoritma izpostavimo ključne točke, ki so pomembne za zanesljivo izvedbo numeričnih izračunov. Izboljšano delovanje je ponazorjeno s primerom ePR, ki dostopnim algoritmom na podlagi parametričnega kvadratnega programiranja povzroča težave.
	ANG	The paper addresses the problem of numerical issues and degeneracies arising when solving the multi-parametric linear complementarity problem (pLCP) for the purpose of computing partitions of explicit model predictive controllers (eMPC) based on constrained linear models and a 2-norm cost function. After summarizing the basic pLCP algorithm, several numerical issues relevant for reliable computation of eMPC partitions are exposed. The improved performance is illustrated with an eMPC controller example, which poses a problem for the available multi-parametric quadratic programming (pQP) solvers.
Objavljeno v	IJS delovno poročilo 10954, 2012 (načrtujemo objavo v SCI reviji)	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	25889063	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Izvedba algoritmov za določanje aktivne regije PEPR in pripadajočega Kalmanovega filtra v obliki funkcijskih blokov za okolje IDR Blok	
	ANG	Development of algorithms for eMPC active region selection and the Kalman filter for the IDR Blok environment.	
Opis	SLO	Algoritmi za določanje aktivne regije PEPR in za Kalmanov filter so bili prirejeni za uporabo v obliki funkcijskega bloka za razvojno okolje IDR Blok (Inea d.o.o.), s katerim se programirajo industrijski PLK krmilniki. Preizkušeni so bili na napravi PN3 v dveh konfiguracijah s PLK Mitsubishi MELSEC Q06. Algoritmi v praksi omogočajo učinkovito regulacijo procesa v delovnih točkah, ki so zelo blizu omejitvam, kar dosežejo z agresivnejšim odzivom na motnje, ki bi v predikciji prihodnjega poteka signalov omejitve lahko kršile.	
	ANG	The algorithms for eMPC active region selection and for the Kalman filter have been adapted for use in the form of function blocks in the IDR Blok (Inea d.o.o.) development environment for programming of industrial programmable logic controllers (PLC). They were tested on pilot plant PN3 in two configurations, using a Mitsubishi MELSEC Q06 PLC. In practice, the algorithms facilitate more efficient process regulation in operating points in the vicinity of process constraints, which is achieved by more aggressive responses to disturbances which could violate the constraints in the predicted courses of process signals.	
Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
Objavljeno v	IJS delovno poročilo 11044, 2012; Avtorji / Authors: Gerksič Samo, Pregelj Boštjan, Jerovšek Tadej, Preglej Aleksander, Šink Aleš, Steiner Igor		
Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija		
2.	COBISS ID	25061159	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Performance monitor: razvoj algoritmov za analizo delovanja regulacije in njihova vgradnja v PLK	
	ANG	Performance Monitor: development of algorithms for control performance analysis for PLC implementation	
		Že razvite napredne algoritme za nadzor delovanja zaprtostančnega	

Opis	SLO	regulacijskega sistema smo nadgradili za uporabo v industrijskih sistemih vodenja izvedenih na podlagi PLK krmilnikov v okolju IDR Blok (Inea d.o.o). Performance monitor obsega algoritme za zaznavo in ovrednotenje naslednjih značilnosti in dogodkov v zaprtotlačnem regulacijskem sistemu: prenehaj, umiritveni čas in vrednost cenilk IAE/ISE/ITAE/ITSE ob stopničasti spremembi referenčnega signala; standardna deviacija šuma in oscilacije.
	ANG	Previously developed algorithms for closed-loop control performance monitoring have been upgraded for application in industrial control systems implemented on PLC platform in the IDR Blok (Inea d.o.o.) environment. The Performance Monitor comprises the algorithms for detection and assessment of the following events and features in a closed-loop control system: overshoot, settling time, IAE/ISE/ITAE/ITSE cost functions at a stepwise change of the reference signal; noise standard deviation; oscillation.
Šifra	F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije
Objavljeno v	IJS delovno poročilo 10829, 2011; Avtorji / Authors: Pregelj Boštjan, Gerksič Samo	
Tipologija	2.13	Elaborat, predštudija, študija

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Poleg zgoraj navedenih smo pripravili še dodatne publikacije:

- Članek z naslovom "On Computing Partitions of Explicit MPC Controllers via Multi-parametric Linear Complementarity Problem" [COBISS.SI-ID 24318503] na temo izboljšav algoritma pLCP in redukcije z metodo redčenja izhodnih omejitev iz DS2/DS4 je v procesu revizije,
- Pripravljeno je bilo poglavje z naslovom "Tracking explicit model predictive controllers for low-level control applications" [TEMPC-Springer] za monografijo "Case Studies in Control: Putting Theory to Work", ki bo objavljena pri založbi Springer; v njem ugaševanje EPR s praktičnega stališča opisujemo na primeru naprave PN2.
- Prispevki na tujih konferencah: [COBISS.SI-ID 26146087], [COBISS.SI-ID 25004839], [COBISS.SI-ID 22966823], [COBISS.SI-ID 22848807]
- Delovna poročila: [COBISS.SI-ID 25889063], [COBISS.SI-ID 25061159]
- Diplomaska naloga: [COBISS.SI-ID 9623380]
- Prispevki na domačih konferencah: [COBISS.SI-ID 23959847], [COBISS.SI-ID 23116071]; v kratkem še prispevek "Aplikativna izvedba poenostavljenega eksplicitnega prediktivnega regulatorja na pilotni napravi" na konferenci AiG'13.

Člani projektne skupine in sofinancerja še naprej sodelujejo v okviru podprojekta Kompetenčnega centra za sodobne tehnologije vodenja RRP6: "Razvoj zmogljive platforme za vodenje fuzijskih reaktorjev", v okviru katerega je bila identificirana atraktivna možnost za aplikacijo PEPR za vertikalno stabilizacijo plazme v tokamak reaktorju ITER (PN4).

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Tematika je izredno pomembna za razvoj znanosti vodenja sistemov, ker gre za resno možnost skorajšnjega prehoda naprednih algoritmov v industrijsko prakso. Klasično prediktivno vodenje se namreč v znanstveni literaturi v zadnjem obdobju izredno pogosto pojavlja v vlogi metode izbire pri naprednih algoritmičnem vodenju, s katero je mogoče doseči kvalitetnejše vodenje, vendar industrijska aplikacija zaradi visokih stroškov izvedbe v mnogih primerih ni smiselna. Robustifikacija in zmanjšanje računske zahtevnosti eksplicitnih prediktivnih regulatorjev je v danem trenutku ključnega pomena za industrijski preboj te tehnologije na širokem področju vodenja procesov na fizičnem nivoju, pri katerih je pomembna sistematična obravnava omejitev. S tem bi se odprle tudi možnosti za nadaljnje raziskave zahtevnejših teoretično

naprednejših metod EPR z zagotovljenim robustnim izpolnjevanjem omejitev ob podani negotovosti modela, ki bi bile primerne tudi za varnostno kritične aplikacije. Aplikativna uporaba naprednih algoritmov vnaša v raziskovalna okolja povratno informacijo o praktično pomembnih lastnostih regulacijskih algoritmov in dragocene izkušnje iz pilotnih procesov ter tako usmerja razvoj teorije v industrijsko zanimive smeri. Znanja o prenosu teorije v prakso pomenijo pomembno konkurenčno prednost tudi v znanstvenih okoljih, hkrati pa pripomorejo k teoretičnemu razvoju področja antropocentričnih sistemov. Projekt je omogočil nadaljevanje dela naše raziskovalne ekipe na področju, ki je bilo odprto v okviru uspešnega mednarodnega projekta CONNECT 6. okvirnega programa Evropske skupnosti in omogočil aplikativno nadgradnjo rezultatov.

Objavljene izboljšave metod EPR so pomemben dosežek v svetovnem merilu, ker smo opozorili na problem slabe numerične pogojenosti pri izračunih eksplicitnih prediktivnih regulatorjev in dosegli pomembno izboljšanje numerične robustnosti na zahtevnih praktičnih primerih. Pomemben je tudi prispevek nove metode poenostavitve particije z redčenjem izhodnih omejitev, s katerim dobimo particije z mnogo manj regijami brez večjega poslabšanja regulacijske učinkovitosti, pri čemer za razliko od znanih metod ni potreben ne izračun izhodiščne particije niti pretvorba v vozliščno obliko zapisa poliedra, hkrati pa se izboljša numerična pogojenost problemov. To omogoča širitev področja aplikacij od univariabilnih na manjše multivariabilne procese, kar je izrednega praktičnega pomena, saj se prave prednosti sistematične obravnave omejitev pokažejo šele pri multivariabilnih procesih. Pomembno je tudi, da je z izboljšavami numerike in poenostavitvijo particije postala v eksplicitni izvedbi izvedljiva obravnava izhodnih omejitev v obliki mehkih omejitev.

Na podlagi izboljšanih algoritmov PEPR smo uspešno izvedli predstavljene pilotne aplikacije. Med njimi želimo posebej izpostaviti zahtevno aplikacijo vertikalne stabilizacije tokamak plazme na modelu reaktorja ITER, kjer s pomočjo mehke izhodne omejitve dosežemo manjšo termično obremenitev ohmskih navitij.

ANG

The research topics are of extreme importance for the development of control theory, as a serious opportunity of a breakthrough of advanced control algorithms to the industrial practice is encountered. In the recent scientific literature on automatic control, conventional (non-explicit) MPC very frequently appears as a method of choice among advanced control algorithms, with which more efficient control is achieved but industrial application is not economically feasible due to high implementation costs. A robustification and a decrease of the off-line computational demand of eMPC is currently of key importance for a wide industrial success of this technology in a wide application field of control at the physical level for processes that benefit from advanced handling of constraints. This would open possibilities for further research of more demanding theoretically advanced eMPC approaches with guaranteed robust satisfaction of constraints subject to a given model uncertainty, that would be also suited for safety-critical applications. To the academic research environments, industrial application of advanced control algorithms brings important feedback regarding practically relevant properties of control algorithms and valuable pilot-plant operation experience, and steers the development of theory to practically important directions. Knowledge on the transfer of theory into practice are an important competitive advantage in scientific environments, which also contribute to the theoretical development of the field of anthropocentric systems. The project allowed continued work in the field that was open within the successful international project CONNECT (6th Framework Programme of European Community) and an applicative upgrade of its results. The published improvements of the eMPC methods are a world-class achievement, because we have pointed out the problem of poor numerical conditioning of eMPC computations and have achieved a considerable improvement of numerical robustness in demanding practical examples. The contribution of the new method of partition reduction by sparse placement of constraints is important because it produces controller partitions with much less regions without a considerable deterioration of regulation efficiency and with better numerical conditioning of computation; opposed to other known methods, this approach does not require neither the prior computation of the non-reduced partition nor the conversion of polyhedra to the vertex description. This facilitates a widening of the application field from univariable to smaller multivariable applications, which is important because the advantages of MPC's constraint-handling abilities are most prominent in multivariable control applications. It is also important that the treatment of output constraints as soft constraints has become computationally feasible with the improved algorithms.

Based on these algorithms we have successfully carried out the presented pilot applications.

Among them, we wish to point out the challenging application of vertical stabilisation of tokamak plasma on a model of the ITER reactor, where a lower thermal load of in-vessel ohmic coils was achieved by applying a soft output constraint.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Algoritmi prediktivnega vodenja so splošnonamenski in načeloma uporabni v zelo različnih industrijskih panogah, kjer se srečujemo s problemi vodenja zaradi prisotnosti omejitev. Zelo pogosti so primeri, ko regulirana spremenljivka ne sme preseči določene fizične ali varnostne omejitve, hkrati pa je ekonomsko smiselno obratovanje čim bliže tej meji; v takih primerih je s prediktivnim regulatorjem mogoče doseči pomembne prihranke. Prediktivni regulatorji prav tako omogočajo izpolnjevanje pomožnih ekonomskih ciljev (kadar so na voljo dodatne stopnje prostosti) in sprotno rekonfiguracijo sistema ob izpadih senzorjev ali aktuatorjev.

Izvedba algoritmov na PLK zlasti odpira področje naprednih aplikacij s področja procesne industrije, pri katerih je pristop izvedbe vodenja na PLK industrijski standard, predvsem v kemijski in farmacevtski industriji. Zaradi možnosti uporabe zelo kratkih časov vzorčenja je uporaba mogoča tudi za vodenje mehanskih, pnevmatskih in hidravličnih sistemov, v robotiki ipd. Možnost izvedbe v mikrokontrolerih in FPGA vezjih pomeni tudi, da je to tehnologijo mogoče uporabljati v velikoserijskih izdelkih, npr. klimatskih napravah, avtomobilih, izvršnih členih ventilov... Pričakovane prednosti so v prihrankih energije in surovin ter v hitrejšem ali ustrežnejšem dinamičnem odzivu vodenih procesov.

Koristi od projekta pričakujemo za sofinancerja INEA d.o.o. in uporabnike njihovih storitev. Pomen rezultatov projekta za podjetje INEA d.o.o., ki je v vlogi sofinancerja in uporabnika rezultatov projekta:

1. Možnost izvedbe naprednih regulacijskih aplikacij za vodenje procesov z omejitvami s PEPR. Rezultati pilotnih aplikacij PEPR bodo omogočajo prepoznavanje primernih procesov in trženje rešitev vodenja.
2. Bloka PEPR (EMPC) in KALMAN sta na voljo kot dodatna funkcijska bloka splošnega programskega paketa za zaprtozančno vodenje procesov z uporabo PLK "IDR BLOK", s čimer je dopolnjen nabor funkcij in izboljššan tržni položaj.
3. Kot dodatni funkcijski blok je bil izveden tudi blok za nadzor delovanja regulatorja in ocenjevanje kvalitete regulacije PERFMON. Uporaben je tudi pri drugih tipih regulatorjev.
4. Pridobljeni know-how bo uporaben pri dejavnosti INEA d.o.o. na področju uvajanja sistemov avtomatizacije in pomenil konkurenčno prednost pri vodenju zahtevnih procesov.
5. Algoritmi v funkcijskih blokih predstavljajo možnost prodaje tehnologije proizvajalcem avtomatizacijske opreme (Mitsubishi Electric).

ANG

Predictive control algorithms are general-purpose methods for control of dynamic systems, which may be used in very different industries where problems of control in the presence of constraints are encountered. Typical examples are cases where a controlled variable must not exceed a certain physical or security constraint, while it is economically beneficial to operate as close as possible to this limit; in such cases, important savings may be achieved using MPC. Predictive controllers also facilitate enforcement of lower-priority economic targets whenever redundant degrees of freedom are available; they also enable on-line reconfiguration of the control system in cases of actuator or sensor failures.

Implementation of the algorithm on a PLC opens up the application field of the process industries where the PLC is the standard automation building block, mostly in chemical and pharmaceutical industries. Due to the possibility of very short sampling times, eMPC may also be used for control of mechanical, pneumatic and hydraulic systems, in robotics, etc. Implementability in microcontrollers and in FPGA chips means that this technology may be used in mass-produced items, such as air-conditioning systems, cars, valve positioners, etc. The expected advantages are in savings of energy and raw materials and in faster or more suitable dynamic response of the controlled processes.

Benefits from project results are expected for the co-financer INEA d.o.o. and their customers. INEA d.o.o. company, which acts in the roles of co-financer and the end-user of the project results, expects the following advantages:

1. Implementation capability for advanced control applications on processes with constraints using simplified eMPC. The results of the pilot applications will allow recognition of suitable

processes and marketing of control solutions.

2. The blocks EMPC and KALMAN are available as additional modules of a general-purpose package for PLC-based closed-loop control "IDR BLOK", which will enhance the list of functionality and the market position.

3. The block PERFMON containing the algorithm for controller supervision and evaluation of control efficiency is also available as an additional function block in IDR BLOK. It can also be used with different types of controllers.

4. The gained know-how will be used in the activities of the company in the field of industrial automation services, and will represent a competitive advantage in control of demanding processes.

5. The algorithms in the new function blocks are an opportunity for marketing of advanced technology to automation equipment vendors (Mitsubishi Electric).

**11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni**

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>

F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

F.01: Znanja o praktičnih možnostih uporabe prediktivnih regulatorjev z upoštevanjem omejitev
 F.01: Znanja o magnetnem vodenju plazme v fuzijskih tokamak reaktorjih
 F.02: Numerično izboljšani algoritem za določanje particije eksplicitnega prediktivnega regulatorja (EPR) in izboljšana sledilna izvedba EPR
 F.03: Znanja za prenos naprednih regulacijskih algoritmov na industrijsko PLK platformo
 Usposabljanje pri doktorskem študiju (Aleksander Preglej)
 Diplomaska naloga (Aleš Šink)
 F.04: Napredni prediktivni regulacijski algoritmi so na voljo v obliki, primerni za uporabo v procesni industriji
 F.05: Možnost kvalitetnejše izvedbe rešitev vodenja procesov v prisotnosti omejitev
 F.07: Izboljšano okolje IDR BLOK - uporabniško prijazno grafično razvojno orodje za programiranje zaprtizančnih regulacijskih problemov na standardnih PLK sistemih.
 F.09: Algoritem za sprotno določanje aktivne regije PEPR in Kalmanovega filtra, izvedena v obliki blokov na industrijski PLK platformi za okolje IDR BLOK
 F.09: Algoritem za ocenjevanje zaprtizančnega odziva regulatorja v obliki bloka na industrijski PLK platformi za okolje IDR BLOK
 F.18: Predstavitve na strokovnih konferencah "Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu" 2009 [COBISS.SI-ID 23116071] in 2013 [še ni objavljeno]

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

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
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	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

Glej točki 10.2 in 13.

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

Sofinancer		
1.	Naziv	INEA d.o.o.
	Naslov	Stegne 11, 1000 Ljubljana
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	54.696,31 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25 %
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	Znanja o praktičnih možnostih uporabe prediktivnih regulatorjev z upoštevanjem omejitev Znanja o magnetnem vodenju plazme v fuzijskih tokamak
	2.	Numerično izboljšani algoritem za določanje particije eksplicitnega prediktivnega regulatorja (EPR) in izboljšana sledilna izvedba EPR
	3.	Znanja za prenos naprednih regulacijskih algoritmov na industrijsko PLK platformo Usposabljanje pri doktorskem študiju (Aleksander Preglej) Diplomska naloga (Aleš Šink)
	4.	Algoritem za sprotno določanje aktivne regije PEPR in Kalmanovega filtra, izvedena v obliki blokov na industrijski PLK platformi za okolje IDR BLOK
	5.	Algoritem za ocenjevanje zaprtozančnega odziva regulatorja v obliki bloka na industrijski PLK platformi za okolje IDR BLOK
	Komentar	Ocenjujemo, da so dela potekala v skladu z zastavljenim programom. Za INEA d.o.o. kot sofinancerja projekta je pomembno, da so razviti algoritmi vodenja uporabni v obliki blokov za naše grafično razvojno okolje IDR BLOK za programiranje industrijskih PLC sistemov in da omogočajo učinkovitejše rešitve regulacijskih problemov, pri katerih so prisotne omejitve. Praktične regulacijske sheme na podlagi bloka PEPR s pripadajočim Kalmanovim filtrom so bile uspešno eksperimentalno preizkušene na industrijskem krmilniku v okolju IDR BLOK na primeru vodenja laboratorijske naprave. Učinkovitost algoritmov pri obravnavi omejitev pa se je pokazala tudi na študiji na fuzijskem tokamak reaktorju ITER.
		Podjetje INEA d.o.o. si prizadeva za tehnološko odličnost na področju vodenja industrijskih procesov in ima dolgoletno tradicijo na tem področju. Z razvojem naprednih rešitev si zagotavljamo konkurenčni položaj na trgu. Ukvarjamo se tudi s trženjem naprednih tehnologij, zlasti v okviru sodelovanja s partnerjem Mitsubishi Electric, ki je že odkupil več tehnologij, razvitih v sodelovanju z Odsekom za sisteme in vodenje IJS, za uporabo v svojih sistemih programabilnih logičnih krmilnikov. Prediktivni regulatorji predstavljajo možnost za učinkovito vodenje dinamičnih procesov, pri katerih je pomembno optimalno delovanje v prisotnosti omejitev. Vendar pa je njihova računska zahtevnost onemogočala rutinsko uporabo v industrijskih aplikacijah; s poenostavljeno eksplicitno izvedbo pa je ta ovira odpravljena. Razvite algoritme za eksplicitne prediktivne regulatorje in za spremljanje in vrednotenje odziva zaprtozančnega sistema smo vgradili v naše grafično okolje za programiranje PLC sistemov "IDR Blok" v obliki naprednih funkcijskih blokov, ki omogočajo naprednejše reševanje regulacijskih problemov v aplikacijah. Razvite rešitve bodo omogočile kvalitetnejše praktične izvedbe aplikacij

	Ocena	<p>vodenja v specifičnih primerih, ko je zaželena regulacija na referenčno vrednost čim bližje omejitvi, ki pa ne sme biti presežena. Razviti algoritmi so v eksperimentalni študiji prikazali praktično sposobnost regulatorja, da se v tovrstnih razmerah agresivno odzove na motnje, ki bi lahko povzročile kršitev omejitve, medtem ko na splošno deluje v mirnejšem režimu z majhno varianco aktuatorja. V preteklosti smo se s tovrstnim problemom srečali npr. pri procesu priprave hladilne vode v Pivovarni Union, ki mora imeti čim nižjo temperaturo, vendar ne sme pasti pod točko ledišča.</p> <p>V povezavi s projektom se odpirajo tudi nova tržna možnost na področju izvedbe naprednih visokotehnoloških podsistemov vodenja za preizkusni fuzijski tokamak reaktor ITER (v gradnji), v partnerstvu s podjetjem Cosylab d.d. in neapeljskim konzorcijem CREATE. V tem okviru smo našli regulacijski problem hitre vertikalne stabilizacije plazme v reaktorju, ki se v obstoječih sistemih tipično rešuje s klasičnimi PD regulatorji, vendar se zaradi prisotnosti omejitev na tokovih supraprevodnih in klasičnih tuljav nakazuje možnost učinkovitejše rešitve s prediktivnim regulatorjem. Zaradi nestabilnosti sistema in večjega števila procesnih spremenljivk kot pri dosedanjih poskusnih aplikacijah PEPR gre za zelo zahteven proces. Z algoritmom PEPR je bila uspešno prikazana učinkovitejša rešitev, ki v simulaciji preko postavitve mehke izhodne omejitve toka zmanjša termično obremenitev ohmskih navitij. Rešitev je bila predstavljena na konferenci Symposium on Fusion Technology, Liège 2012, in v reviji Fusion Engineering and Design.</p>
--	-------	--

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Vertikalna stabilizacija ITER plazme z eksplisnim prediktivnim regulatorjem

Preko napetostnih generatorjev za kombinaciji zunanjih superprevodnih in notranjih ohmskih navitij poskušamo doseči učinkovit odziv na motnje ob spoštovanju termičnih omejitev. Uporabimo linearno-kvadratno optimalno vodenje z omejitvami, kjer gre za hibrid med linearnim kvadratnim optimalnim regulatorjem in prediktivnim regulatorjem. Obravnavamo vprašanja praktične implementacije v obliki poenostavljenega eksplisnega prediktivnega regulatorja (PEPR), s katero se izognemo sprotni optimizaciji in tako dosežemo kratek čas izračuna.

Prikažemo računsko izvedljiv PEPR za vertikalno stabilizacijo plazme, ki izkazuje praktično uporabno izogibanje omejitvam. Za zagotavljanje rešljivosti optimizacijskega problema PEPR smo uporabili mehke omejitve, pri čemer smo uporabili grupiranje vrednosti regulirnega signala in redčenje izhodnih omejitev.

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Izvedba algoritmov za določanje aktivne regije PEPR in pripadajočega Kalmanovega filtra v obliki funkcijskih blokov za okolje IDR Blok

Algoritmi za določanje aktivne regije PEPR in za Kalmanov filter so bili prirejeni za uporabo v obliki funkcijskega bloka za razvojno okolje IDR Blok (Inea d.o.o.), s katerim se programirajo industrijski PLK krmilniki. Preizkušeni so bili na napravi PN3 v dveh konfiguracijah s PLK Mitsubishi MELSEC Q06. Algoritmi v praksi omogočajo učinkovito regulacijo procesa v delovnih točkah, ki so zelo blizu omejitvam, kar dosežejo z agresivnejšim odzivom na motnje, ki bi v predikciji prihodnjega poteka signalov omejitve lahko kršile.

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"

Stanislav Strmčnik

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	13.3.2013
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/5

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

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

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

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

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

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

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

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

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

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

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

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

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

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot prilonko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

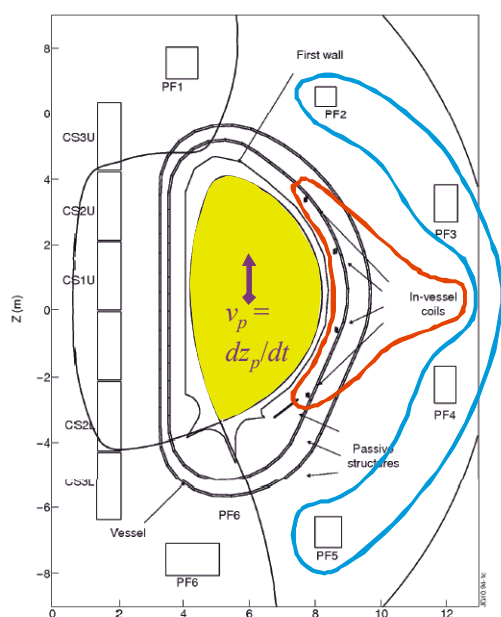
Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00
6A-91-83-96-17-26-A4-A3-5B-FD-A2-CA-C5-90-E5-25-7E-66-06-C8

VEDA: 2 Tehniške in tehnološke vede

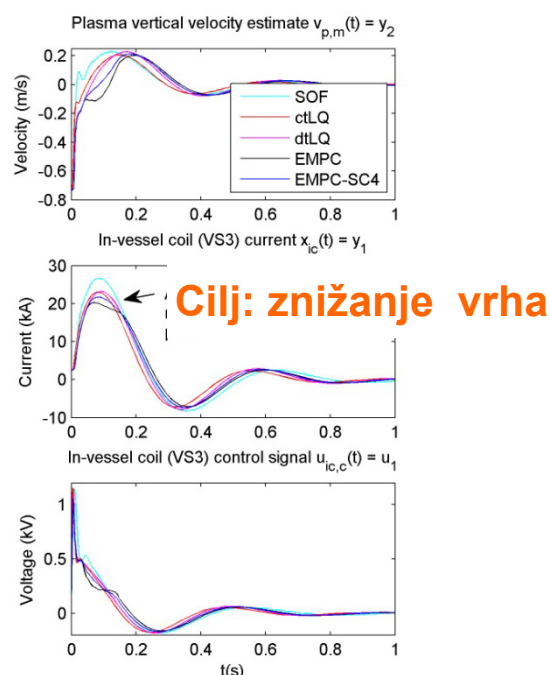
Področje: 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

Dosežek 1: Vertikalna stabilizacija ITER plazme z eksplicitnim prediktivnim regulatorjem

Vir: GERKŠIČ, Samo, TOMMASI, Gianmaria de. Vertical stabilization of ITER plasma using explicit model predictive control. *Fusion eng. des.* [Print ed.], [in press] 2013, 5 str., doi: [10.1016/j.fusengdes.2013.02.021](https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2013.02.021). [COBISS.SI-ID [26592551](https://www.cobiss.si/id/26592551)]



Prerez tokamak reaktorja
Supraprevodna navitja
Ohmska navitja



Regulacijski signali

Preko napetostnih generatorjev za kombinaciji zunanjih superprevodnih in notranjih ohmskih navitij poskušamo doseči učinkovit odziv na motnje ob spoštovanju termičnih omejitev. Uporabimo linearno-kvadratno optimalno vodenje z omejitvami, kjer gre za hibrid med linearnim kvadratnim optimalnim regulatorjem in prediktivnim regulatorjem. Obravnavamo vprašanja praktične implementacije v obliki poenostavljenega eksplicitnega prediktivnega regulatorja (PEPR), s katero se izognemo sprotni optimizaciji in tako dosežemo kratek čas izračuna.

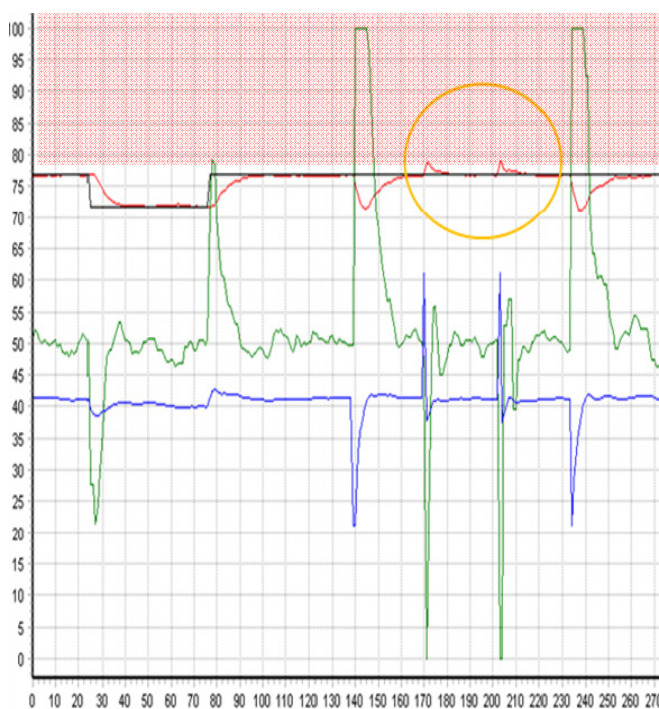
Prikažemo računsko izvedljiv PEPR za vertikalno stabilizacijo plazme, ki izkazuje praktično uporabno izogibanje omejitvam. Za zagotavljanje rešljivosti optimizacijskega problema PEPR smo uporabili mehke omejitve, pri čemer smo uporabili grupiranje vrednosti regulirnega signala in redčenje izhodnih omejitev.

VEDA: 2 Tehniške in tehnološke vede

Področje: 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

Dosežek 2: Izvedba algoritmov za določanje aktivne regije PEPR in pripadajočega Kalmanovega filtra v obliki funkcijskih blokov za okolje IDR Blok

Vir: GERKŠIČ, Samo, PREGELJ, Boštjan, JEROVŠEK, Tadej, PREGLEJ, Aleksander, ŠINK, Aleš, STEINER, Igor. *Izvedba algoritmov za določanje aktivne regije PEPR in pripadajočega Kalmanovega filtra v obliki funkcijskih blokov za okolje IDR* (IJS delovno poročilo 11044). 2012. [COBISS.SI-ID [25889063](#)]



Območje mehke
izhodne omejitve

Cilj: zmanjšanje
motenj v območju
mehke omejitve

Regulacijski signali:
izhod: nivo tekočine
ref. nivoja
vhoda: črpalka, ventil

Algoritmi za določanje aktivne regije PEPR in za Kalmanov filter so bili prirejeni za uporabo v obliki funkcijskega bloka za razvojno okolje IDR Blok (Inea d.o.o.), s katerim se programirajo industrijski PLK krmilniki. Preizkušeni so bili na napravi PN3 v dveh konfiguracijah s PLK Mitsubishi MELSEC Q06. Algoritmi v praksi omogočajo učinkovito regulacijo procesa v delovnih točkah, ki so zelo blizu omejitvam, kar dosežejo z agresivnejšim odzivom na motnje, ki bi v predikciji prihodnjega poteka signalov omejitve lahko kršile.