

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ЗА МАШИНСТВО И
ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владимира Ђорђевића, дипломираног машинског инжењера

На предлог Научног-наставног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу од 28.11.2023. год. (број одлуке 1056/6) и одлуком Већа за техничко-технолошке науке од 20.12.2023. год. (број одлуке IV-04-969/12), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Владимира Ђорђевића**, дипломираног машинског инжењера, под насловом:

**ИНТЕЛИГЕНТНИ РЕГУЛАТОРИ ЗАСНОВАНИ НА АДАПТИВНОМ
ДИНАМИЧКОМ ПРОГРАМИРАЊУ**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, која је одобрена за израду одлуком Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу број 201/3 од 29.03.2022. године и одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-275/8 од 13.04.2022. године, на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Научно-наставном већу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Докторска дисертација Владимира Ђорђевића, дипломираног машинског инжењера, под називом „Интелигентни регулатори засновани на адаптивном динамичком програмирању“ представља резултат научно-истраживачког рада у области интелигентног управљања, а односи се на примену адаптивног динамичког програмирања (АДП) у системима управљања.

Кандидат је у докторској дисертацији указао на актуелност и значај савремених научних метода заснованих на АДП-у. Проблем које је разматран у

докторској дисертацији један је од водећих изазова научне заједнице која се бави аутоматским управљањем. У савременој теорији управљања, оптимално управљање игра веома битну улогу у пројектовању регулатора. Међутим, оптимално управљање представља технику управљања, која обично зависи од савршеног познавања модела система, који у већини практичних случајева није могуће одредити. Непрецизни модели ће деградирати перформансе управљања традиционално пројектованог оптималног регулатора.

АДП представља ефикасан начин за постизање високих перформанси оптималног регулатора који се заснива на адаптивном управљању, оптималном управљању и учењу са поткрепљивањем. Класични алгоритми управљања засновани на АДП-у имају повратну спрегу по стању, што може учинити имплементацију непрактичном и захтевати додатну мерну опрему. Кандидат је у докторској дисертацији разматрао примену алгоритама управљања који користе методе засноване на реконструкцији стања, уместо њиховог директног мерења. АДП техника управљања са повратном спрегом по излазу, користи измерене улазно/излазе сигнале за реконструкцију стања система, чиме се губи потреба за прецизно познавање динамике система.

Кандидат је, додавањем истраживачког шума управљачком улазу, постигао конзистентност апроксимација и јединственост решења у сваком кораку итерације, и на тај начин испунио захтеве перзистентне побуде. Разматрана је примена различитих облика перзистентних побуда (бели шум, псеудо случајни бинарни сигнал и сума синусоида), као и њихов утицај на процес учења.

Разматрани су алгоритми управљања АДП-а покренути догађајима, чиме је смањен број ажурирања регулатора. Ажурирање регулатора се врши само када је то потребно (на пример када се погоршају перформансе система), чиме се постиже значајна уштеда енергетских, рачунарских и комуникационих ресурса.

Кандидат је разматрао унапређење детекције и дијагностике отказа у системима аутоматског управљања, односно побољшање перформанси система управљања толерантних на отказе, применом регулатора заснованих на АДП-у.

Поред теоријских оквира, илустрован је и практични аспект добијених резултата. Симулацијом је приказана конкретна примена предложене методологије на примерима управљања хидрауличког серво актуатора (ХСА) и самобалансирајућег робота.

2. Значај и допринос докторске дисертације са становништва актуелног стања у одређеној научној области

У докторској дисертацији разматрано је управљање засновано на учењу у реалном времену, где током рада система, на основу измерених улаза и излаза, регулатор учи да компензује непознату динамику система, различите поремећаје и грешке моделовања обезбеђујући жељене перформансе система управљања.

Оптимални закон управљања се итеративно остварује на основу повратне спреге по излазу, реконструкције стања и АДП-а. Да би се обезбедила конзистентност апроксимација и добила јединствена решења у сваком кораку итерације, улазу је додат истраживачки шум у виду суме синусоида. Тако добијени улазно/излазни сигнали су коришћени за реконструкцију вектора стања модела, што је од великог значаја са практичне стране у односу на технике управљања са директним мерењем стања које захтевају употребу великог броја сензора. Коришћењем повратне спреге по излазу и методе реконструкције стања, примењена техника управљања заснована на АДП-у представља користан алат за дигиталну имплементацију у реалним системима. Закон управљања се итеративно учи и у реалном времену веома ефикасно обезбеђује решење проблема оптималног управљања заснованог само на мерењима.

Примењена је управљачка стратегија заснована на догађајима, чиме је смањен број ажурирања управљачких улаза у односу на регулаторе са периодичним ажурирањем. Регулатор се ажурира само када се испуне одређени услови (на пример када се погоршају перформансе система) и на тај начин се остварује значајна уштеда енергетских, рачунарских и комуникационих ресурса.

Могућност интелигентних регулатора заснованих на АДП-у, због предности које пружају методе засноване на учењу у реалном времену, представљају добру основу за унапређење детекције и дијагностике отказа у системима аутоматског управљања заснованих на моделу, односно побољшање перформанси система управљања толерантног на отказе.

Доминантне нелинеарности у ХСА, са којима је веома тешко руковати са великом тачношћу, су немогућност тачног одређивања параметара настале као резултат заштите власничких података појединих произвођача, индиректног мерења, губицима притиска, различитим условима струјања, коефицијентима трења и цурења, генерисањем дисконтинуалних управљачких сигнала услед ефеката засићења и промене смера серво вентила, и тако даље. Штавише, променљиви услови рада током извршавања задатка, као што су температура уља, коефицијенти стишљивости, флукутирајући напојни притисак и запремина у цеви, доводи до промена параметара модела који погоршавају постојеће перформансе управљања. Такође, неке од традиционалних метода управљања, укључујући ПИД регулаторе, фази регулаторе и клизни режим управљања, у стању су да управљају самобалансирајућим роботом у одсуству тачног познавања параметара система, али не постижу оптимално управљање. У практичним применама, осим просте стабилизације, често је пожељно испунити и критеријум оптималности. Традиционални линеарно квадратни регулатор, заснован на решењу Рикатијеве једначине, постиже циљ оптималног управљања. Међутим, линеарни квадратни регулатор захтева тачно познавање модела система. Основна предност разматраних методологије управљања је избегавање познавања динамике система, што је веома важно у практичним условима.

3. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Докторска дисертација кандидата Владимира Ђорђевића, дипломираног машинског инжењера, под називом „Интелигентни регулатори засновани на адаптивном динамичком програмирању“ представља резултат самосталног научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области. Докторска дисертација је прошла обавезну проверу на плагијаризам у софтверу iThenticate која потврђује да је реч о оригиналном научном раду. Такође, у складу са Правилником о поступку провере на плагијаризам Универзитета у Крагујевцу, докторска дисертација је позитивно оцењена од стране ментора, др Владимира Стојановића, ванредног професора Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу.

На основу спроведених теоријских и експерименталних истраживања и добијених резултата, може се закључити да дисертација представља оригинални научни рад. Обрађена тема је актуелна, садржајна и даје конкретне научне резултате. Кандидат је самостално и темељно обрадио тему, при чему је користио теоријске основе и литературне изворе научних дисциплина релевантних за разматране проблеме. Критички је анализирао бројене научне радове који се односе на разматрану проблематику.

4. Преглед остварених резултата кандидата у одређеној научној области

4.1 Биографија кандидата

Владимир Ђорђевић је рођен 18.02.1985. године у Крушевцу. Завршио је ОШ „Јован Поповић“ у Крушевцу. Средње образовање је стекао у периоду 1999.-2003. год. у Машинско-електротехничкој школи у Крушевцу – образовни профил машински техничар.

Након завршетка средње школе уписао је Машински факултет у Краљеву. Дипломирао је на смеру Конструисање и пројектовање у машиноградњи, група Аутоматско управљање и флуидна техника на тему Фази управљање инверзним клатном, 2010. године. Током студија остварио је просечну оцену 8,83 (осам и 83/100). Докторске академске студије на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву уписао је школске године 2019/2020, и тренутно је студент треће године докторских студија. Положио је све испите предвиђене програмом студија са просечном оценом 9,4 (девет и 40/100).

Од јануара 2011. године је запослен на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву, и био је укључен у реализацију пројекта код Министарства за науку:

1. ТР33026, финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, 2011-2019, Повећање енергетске ефикасности постројења за производњу топлотне енергије помоћу аутоматског управљања. Руководилац пројекта проф. др Драган Пршић. Носилац истраживања Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву.

2. TP33027, финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, 2011-2019, Развој енергетске ефикасности постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе. Руководилац пројекта проф. др Раде Карамарковић. Носилац истраживања Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву.

Од јануара 2019. године изабран је у звање асистента за ужу научну област Аутоматско управљање и флуидна техника и ангажован на извођењу вежби предмета Катедре за аутоматско управљање и флуидна техника.

4.2 Референце кандидата

Као аутор или коаутор, кандидат је објавио 28 научно-стручних радова у домаћим и међународним часописима и конференцијама. Међу објављеним радовима истичу се 7 рада у часописима са SCI листе, од којих су 2 рада цитирана у докторској дисертацији. Објављени радови кандидата су следећи:

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **V. Đorđević**, V. Stojanović, H. Tao, X. Song, S. He, W. Gao (2022): Data-Driven Control Of Hydraulic Servo Actuator Based On Adaptive Dynamic Programming. Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S, Vol. 15(7), pp. 1633–1650. DOI: 10.3934/dcdss.2021145, ISSN: 1937-1632.
2. Novak Nedic, Vladimir Stojanovic, **Vladimir Djordjevic** (2015): Optimal control of hydraulically driven parallel robot platform based on firefly algorithm, Nonlinear Dynamics, Vol. 82 (3), pp. 1457-1473, DOI: 10.1007/s11071-015-2252-5, ISSN: 0924-090X.
3. Novak Nedić, Dragan Prsic, Ljubisa Dubonjic, Vladimir Stojanovic, **Vladimir Djordjevic** (2014): Optimal cascade hydraulic control for a parallel robot platform by PSO, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 72, pp. 1085-1098, DOI: 10.1007/s00170-014-5735-5, ISSN: 0268-3768.
4. Radovan R. Bulatović, Stevan R. Đorđević, **Vladimir S. Đorđević** (2013): Cuckoo Search algorithm: A metaheuristic approach to solving the problem of optimum synthesis of a six-bar double dwell linkage, Mechanism and Machine Theory 61, pp. 1-13, DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2012.10.010, ISSN 0094-114X.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **V. Đorđević**, H. Tao, X. Song, S. He, , W. Gao, V. Stojanovic (2023): Data-driven control of hydraulic servo actuator: An event-triggered adaptive dynamic programming approach, Mathematical Biosciences and Engineering, Vol. 20 (5), pp. 8561–8582. DOI: 10.3934/mbe.2023376, ISSN: 1551-0018.

2. Vladimir Stojanovic, Novak Nedic, Dragan Prsic, Ljubisa Dubonjic, **Vladimir Djordjevic** (2016): Application of cuckoo search algorithm to constrained control problem of a parallel robot platform, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 87 (9), pp. 2497-2507, DOI: 10.1007/s00170-016-8627-z, ISSN: 0268-3768.

Рад у међународном часопису (M23)

1. Ljubiša M. Dubonjić, Vojislav Ž. Filipović, Novak N. Nedić, **Vladimir Đorđević** (2018): Design of an H^∞ PI controller with given relative stability and its application to the CSTR problem, Hemijska Industrija 72 (3), pp. 115-127, DOI: 10.2298/HEMIND170529007D, ISSN 0367-598X.

Рад у националном часопису међународног значаја (M24)

1. Vojislav Filipović, **Vladimir Đorđević** (2015): Design of robust recursive identification algorithms for large-scale stochastic systems, FACTA UNIVERSITATIS Automatic Control and Robotics, Vol. 14 (1), pp. 43-54, ISSN: 1820-6417.

Саопштења са међународног скупа штампано у целости (M33)

1. **V. Đorđević**, V. Stojanović, H. Tao, X. Song, S. He, W. Gao (2023): Event-triggered adaptive dynamic programming based optimal control for hydraulic servo actuator. XI International Triennial Conference Heavy Machinery-HM 2023, June 21-24 2023, Vrnjačka Banja (Serbia), Session D, pp. 1-6. ISBN: 978-86-82434-01-6.
2. **V. Đorđević**, M. Morato, V. Stojanović, Adaptive Dynamic Programming Based Optimal Control for Hydraulic Servo Actuator, X International Triennial Conference Heavy Machinery HM 2021, June 23 – June 25 2021, Vrnjačka Banja (Serbia), Session C, pp. 37-42, ISBN: 978-86-81412-09-1.
3. D. Pršić, V. Stojanović, **V. Đorđević**, A Constructive Approach to Teaching with Robotino, 7th International Scientific Conference Technics and Informatics in Education, 25-27 May 2018, Čačak (Serbia), pp. 273-278, ISBN: 978-86-7776-226-1.
4. V. Filipović, **V. Đorđević**, Identification of MIMO Hammerstein Models in the Presence of Piecewise Polynomial Disturbances using Kaczmarz Algorithm, IX International Triennial Conference Heavy Machinery HM 2017, June 28 – July 1 2017, Zlatibor (Serbia), Session C, pp. 19-24, ISBN: 978-86-82631-89-7
5. **V. Đorđević**, V. Filipović, Philosophical Interpretation of Connection of Robust Statistics and Fuzzy Logic: The Robust Fuzzy Clustering, IX International Triennial Conference Heavy Machinery HM 2017, June 28 – July 1 2017, Zlatibor (Serbia), Session C, pp. 25-30, ISBN: 978-86-82631-89-7
6. Lj. Dubonjić, V. Filipović, N. Nedić, **V. Đorđević**, Design of Fixed Order H^∞ Controllers with Specific Settling Time using D-Decomposition, IX International

- Triennial Conference Heavy Machinery HM 2017, June 28 – July 1 2017, Zlatibor (Serbia), Session C, pp. 37-41, ISBN: 978-86-82631-89-7
7. **V. S. Đorđević**, V. Ž. Filipović, Recursive identification of Takagi-Sugeno models in the presence of piecewise polynomial disturbances, XIII Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, 09-10 November 2016, Niš (Serbia), SAUM, pp. 139-142, ISBN: 978-86-6125-170-2.
 8. Lj. M. Dubonjić, V. Ž. Filipović, **V. S. Đorđević**, Outlier robust one-step-ahead adaptive predictor for Hammerstein models, XIII Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, 09-10 November 2016, Niš (Serbia), SAUM, pp. 143-146, ISBN: 978-86-6125-170-2.
 9. V. Filipović, **V. Đorđević**, Recursive Estimation of the Takagi-Sugeno Models I: Fuzzy Clustering and the Premise Membership Functions Estimation, VIII Triennial International Conference Heavy Machinery, Zlatibor, Serbia, 24 - 26 Jun 2014, Section D, pp. 45-50, ISBN: 978-86-82631-74-3.
 10. **V. Đorđević**, V. Filipović, Robust Recursive Identification of Multivariable Processes, VIII Triennial International Conference Heavy Machinery, Zlatibor, Serbia, 24 - 26 June 2014, Section D, pp. 93-98, ISBN: 978-86-82631-74-3.
 11. **V. S. Đorđević**, V. Ž. Filipović, Practical Consideration for Identification of Decentralised Control Systems, XII Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, Niš, Serbia, 12 – 14 November 2014, pp. 93-96, ISBN: 978-86-6125-117-7.
 12. V. Ž. Filipović, **V. S. Đorđević**, Recursive Estimation of the Takagi-Sugeno Models II: Estimation of Hammerstein Models, XII Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, Niš, Serbia, 12-14 November 2014, pp. 290-293, ISBN: 978-86-6125-117-7.
 13. N. Nedici, D. Prsic, L. Dubonjic, V. Stojanovic, **V. Djordjevic**, Optimal Tuning of PID Controllers for a Hydraulically Driven Parallel Robot Platform Based on Firefly Algorithm, International Conference of Automatics and Informatics, 3-7 October 2013, Sofia, Bulgaria, pp. 277-280, ISSN: 1313-1850.
 14. Dragan Pršić, Ljubiša Dubonjić, **Vladimir Đorđević** – Determination of the Describing Function of Nozzle-Flapper Type Pneumatic Servo Valve, 35th International Conference of Production Engineering - ICPE 2013, Kraljevo-Kopaonik, 25-28 September 2013, pp. 1-4, COBISS.SR-ID 204080908.
 15. **Đorđević V.S.**, Brašić V.S - The Methods for Synthesis and Analysis Controlled Time Delay System with Required Damping Factor, XI Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, pp. 44-47, Niš, Serbia, (2012), ISBN: 978-86-6125-072-9.
 16. **Vladimir Đorđević**, Dragan Pršić, Radovan Bulatović - Optimization of the parameters of PID controller on the model of inverted pendulum by using algorithm of particle swarm optimization, Heavy Machinery 2011, Vol. 7, No 3, pp. 19-26, ISBN 978-86-82631-58-3.
 17. Zvonko Petrović, Ljubomir Lukić, Radovan Bulatović, **Vladimir Đorđević**, Nenad Nikolić - Optimization of the parameters of broaching machining mode

by using the method of particle swarm optimization, Heavy Machinery 2011, Vol. 7, No 5, pp. 73-78, ISBN 978-86-82631-58-3.

18. Miljan Veljović, Radovan Bulatović, **Vladimir Đorđević** - Optimization of the plane truss by using the method of particle swarm optimization, Heavy Machinery 2011, Vol. 7, No. 7, pp. 55-60, ISBN 978-86-82631-58-3.

Рад у националном часопису (M53)

1. **V. Đorđević**, Lj. Dubonjić, M. M. Morato, D. Pršić, V. Stojanović (2022): Sensor fault estimation for hydraulic servo actuator based on sliding mode observer. Mathematical Modelling and Control, Vol. 2 No. 1, pp. 34–43. DOI: 10.3934/mmc.2022005, ISSN: 2767-8946.
2. **V. Đorđević**, V. Stojanović, D. Pršić, Lj. Dubonjić, M. M. Morato (2022): Observer-based fault estimation in steer-by-wire vehicle. Engineering Today, Vol. 1 No. 1, pp. 7–17. DOI: 10.5937/engtoday2201007D, ISSN: 2812-9474.

5. Оцена испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Владимира Ђорђевића, дипломираног машинског инжењера, под називом „Интелигентни регулатори засновани на адаптивном динамичком програмирању“ одговара по садржају теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу одлуком број 201/3 од 29.03.2022. године и одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-275 од 13.04.2022. године. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација. Наслов докторске дисертације, урађена истраживања, као и циљеви проучавања су у складу са оним који су наведени у пријави теме.

Дисертација је написана на 111 страна, садржи 77 слика и 145 библиографских јединица. Дисертацију чини шест поглавља, којима претходи резиме рада, на српском и енглеском језику, и садржај рада, док се на крају рада налази списак литературе. Претходно поменути поглавља су наведена према следећем распореду:

1. Увод;
2. Регулатори засновани на адаптивном динамичком програмирању;
3. Управљање засновано на догађајима;
4. Системи управљања са толерисаним отказима;
5. Практични примери;
6. Закључак и даља истраживања.

У првом (уводном) поглављу дисертације дат је преглед литературе и досадашњих истраживања, дефинисани су предмет и циљеви истраживања, као и основне хипотезе. Такође, ово поглавље садржи и уопштени приказ садржаја докторске дисертације.

У другом поглављу описани су принципи учења поткрепљивањем и дат је преглед развоја адаптивног динамичког програмирања, са акцентом на примени у управљању. Разматрано је управљање засновано на адаптивном динамичком програмирању у случају када је динамика система непозната. Неопходни улазно/излазни подаци прикупљани су за потребе фазе учења. Разматрана је примена метода планирања експеримента за пројектовање побудног сигнала који максимизира количину информације из мерења која су на располагању, будући да је прави систем априорно непознат.

У трећем поглављу разматрано је управљање системом са непознатом динамиком коришћењем регулатора заснованог на адаптивном динамичком програмирању покренутог догађајима. Увођењем стратегије покренуте догађајима у затворено коло система значајно је смањен број ажурирања управљања. На овај начин смањује се комуникација између регулатора и система и на тај начин се чувају рачунарска и комуникацијска ресурси.

У четвртном поглављу разматрано је управљање толерантно на отказе актуатора засновано на адаптивном динамичком програмирању. Овај задатак је изазован због неодређених поремећаја, непознате динамике и немерљивих стања система. Циљ је да се постигне асимптотско праћење и компензација отказа актуатора минимизирањем унапред дефинисаног индекса перформансе. Из практичних разлога, технике адаптивног динамичког програмирања и компензације отказа су интегрисане да итеративно одређују апроксимирано оптимално управљање толерантно на отказе користећи улазно/излазне податке, без а priori познавања динамике управљаног система и мерених стања.

У петом поглављу су показане перформансе предложених техника управљања на примерима хидрауличког серво актуатора и самобалансирајућег робота, кроз интензивне симулације у софтверском пакету Матлаб.

У шестом поглављу дата су закључна разматрања, као и правци будућег истраживања.

На крају дисертације је приказан списак коришћене литературе.

На основу свега наведеног, Комисија сматра да докторска дисертација по свом садржају и обиму истраживања, као и квалитету добијених резултата у потпуности испуњава постављене циљеве и одговара пријављеној теми дисертације.

6. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Владимир Ђорђевић, дипломирани машински инжењер, у оквиру докторске дисертације је извршио систематску анализу постојећих знања из области регулатора заснованих на адаптивном динамичком програмирању.

Најважнији резултати докторске дисертације су следећи:

- Извршен је детаљан преглед научне области која се бави пројектовањем интелигентних регулатора заснованих на АДП-у, и на критичан начин наведена су ограничења и недостаци појединих приступа.
- Развијена је АДП метода за дискретне линеарне системе са комплетно непознатом динамиком.
- Применом теорије планирања експеримента, генерисана је перзистентна побуда у виду оптималне суме синусоида, што је скратило време учења, односно убрзало процес пројектовања регулатора.
- Предложена је методологија проширења на континуалне нелинеарне системе која се заснива на чињеници да се нелинеарни системи могу верно представити сумом линеарних система.
- Имплементирана је стратегија управљања заснована на догађајима, чиме је значајно смањен број укључивања регулатора.
- Имплементирана је стратегија управљања која унапређује детекцију и дијагностику отказа, и побољшава перформансе система управљања у случају појаве отказа.
- Извршена је евалуација предложене методологије кроз интензивне симулације.
- Симулацијом, на примеру хидрауличког серво актуатора и самобалансирајућег робота, илустрована је могућност практичне примене предложених регулатора.

7. Примењивост резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Владимира Ђорђевића, дипломираног машинског инжењера, под називом Интелигентни регулатори засновани на адаптивном динамичком програмирању, применљиви су и корисни, како у теорији, тако и у пракси.

У тези представљен је нови оквир за оптимално управљање засновано на учењу за класу линеарних временских дискретних система. Развијени су регулатори засновани на адаптивном динамичком програмирању за дискретне линеарне системе са комплетном непознатом динамиком. Применом теорије планирања експеримента, одређен је оптимални сигнал у облику суме синусоида, тако да излазни сигнал носи максимум информације о систему, чиме се скраћује време учења и убрзава процес пројектовања интелигентних

регулатора. Имплементиране су стратегије управљања засноване на догађајима и развијени су одговарајући АДП регулатори, чиме се смањује број укључивања регулатора и врши се уштеда енергетских, рачунарских и комуникацијских ресурса. Имплементирана је стратегија управљања која је унапредила детекцију и дијагностику отказа, што је побољшало перформансе система управљања у случају појаве отказа. Предложени приступ управљању заснован на учењу има широку примену у практичним инжењерским системима. Могућност практичне реализације предложених АДП регулатора илустрована је симулацијом на примерима управљања хидрауличког серво актуатора и самобалансирајућег робота.

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Кандидат је у дисертацији дао систематичан и детаљан приказ добијених резултата, које су проистекли као резултат интензивних симулација. Део научних резултата је већ верификован објављивањем научно-стручних радова у међународним часописима и конференцијама.

Категорија M21

1. **V. Đorđević**, V. Stojanović, H. Tao, X. Song, S. He, W. Gao (2022): Data-Driven Control Of Hydraulic Servo Actuator Based On Adaptive Dynamic Programming. Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S, Vol. 5(7), pp. 1633–1650. DOI: 10.3934/dcdss.2021145, ISSN: 1937-1632.

Категорија M22

1. **V. Đorđević**, H. Tao, X. Song, S. He, , W. Gao, V. Stojanovic (2023): Data-driven control of hydraulic servo actuator: An event-triggered adaptive dynamic programming approach, Mathematical Biosciences and Engineering, Vol. 20 (5), pp. 8561–8582. DOI: 10.3934/mbe.2023376, ISSN: 1551-0018.

Категорија M33

1. **V. Đorđević**, V. Stojanović, H. Tao, X. Song, S. He, W. Gao (2023): Event-triggered adaptive dynamic programming based optimal control for hydraulic servo actuator. XI International Triennial Conference Heavy Machinery-HM 2023, June 21-24 2023, Vrnjačka Banja (Serbia), Session D, pp. 1-6. ISBN: 978-86-82434-01-6.
2. **V. Đorđević**, M. Morato, V. Stojanović, Adaptive Dynamic Programming Based Optimal Control for Hydraulic Servo Actuator, X International Triennial Conference Heavy Machinery HM 2021, June 23 – June 25 2021, Vrnjačka Banja (Serbia), Session C, pp. 37-42, ISBN: 978-86-81412-09-1.

Категорија M53

1. **V. Đorđević**, Lj. Dubonjić, M. M. Morato, D. Pršić, V. Stojanović (2022): Sensor fault estimation for hydraulic servo actuator based on sliding mode observer. *Mathematical Modelling and Control*, Vol. 2 No. 1, pp. 34–43. DOI: 10.3934/mmc.2022005, ISSN: 2767-8946.
2. **V. Đorđević**, V. Stojanović, D. Pršić, Lj. Dubonjić, M. M. Morato (2022): Observer-based fault estimation in steer-by-wire vehicle. *Engineering Today*, Vol. 1 No. 1, pp. 7–17. DOI: 10.5937/engtoday2201007D, ISSN: 2812-9474.

Комисија сматра да истраживања и резултати ове докторске дисертације представљају користан материјал за даљу публикацију радова у међународним и националним часописима у области управљања заснованог на адаптивном динамичком програмирању.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Владимира Ђорђевића, дипломираног машинског инжењера, под називом „Интелигентни регулатори засновани на адаптивном динамичком програмирању“ и менторством др Владимира Стојановића, ванредног професора, одговара теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу и одобреној од стране Већа за Техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

Кандидат је у приказу свог рада користио одговарајућу стандардизовану стручну терминологију, док су структура докторске дисертације и методологија излагања у складу са универзитетским нормама. Докторска дисертација по квалитету, обиму и приказаним резултатима истраживања у потпуности задовољава законске услове и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације.

Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада и поседује способност систематског приступа и коришћења литературе. При томе, кандидат је показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно и маркира проблеме у циљу дефинисања суштинских закључака и добијању конкретних и применљивих резултата.

С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат Владимир Ђорђевић, дипломирани машински инжењер, и поднета докторска дисертација, испуњавају све услове који се у поступку оцене писаног дела докторске дисертације захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу.

На основу свега наведеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владимира Ђорђевића, дипломираног машинског инжењера, предлаже Научно-наставном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу, да докторску дисертацију кандидата под називом:

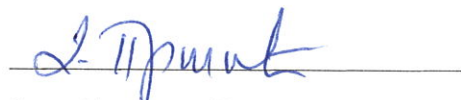
**ИНТЕЛИГЕНТНИ РЕГУЛАТОРИ ЗАСНОВАНИ НА АДАПТИВНОМ
ДИНАМИЧКОМ ПРОГРАМИРАЊУ**

прихвате као успешно урађену и да кандидата позову на јавну одбрану докторске дисертације.

У Краљеву и Београду

Јануар, 2023. године

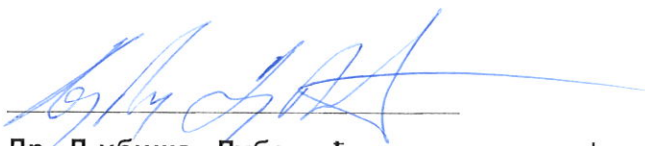
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



Др Драган Пршић, редовни професор, Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Аутоматско управљање и флуидна техника, **председник**



Др Радиша Јовановић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, ужа научна област: Аутоматско управљање, **члан**



Др Љубиша Дубоњић, ванредни професор Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област: Аутоматско управљање и флуидна техника, **члан**