

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног
родитеља и име
Датум и место рођења

Станојевић, Драгослав, Вукашин
09.03.1995. Пирот

Основне студије

Универзитет
Факултет
Студијски програм
Звање
Година уписа
Година завршетка
Просечна оцена

Универзитет у Нишу
Природно-математички факултет
Рачунарске науке
Информатичар
2014
2017
9,92

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Примљено: 21.9.2026.

Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
01	1950		

Мастер студије, магистарске студије

Универзитет
Факултет
Студијски програм
Звање
Година уписа
Година завршетка
Просечна оцена
Научна област
Наслов завршног рада

Универзитет у Нишу
Природно-математички факултет
Рачунарске науке
Мастер информатичар
2017
2018
10.00
Развој софтвера
Алгоритми учења сигналом појачања са применом у контроли динамичких система

Докторске студије

Универзитет
Факултет
Студијски програм
Година уписа
Остварен број ЕСПБ бодова
Просечна оцена

Универзитет у Нишу
Природно-математички факултет
Рачунарске науке
2019
150
10.00

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације
Наслов теме докторске дисертације на енглеском језику
Име и презиме ментора, звање
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације

Напредни алгоритми праћења већег броја објеката
Advanced multiple object tracking algorithms
др Бранимир Тодоровић, ванредни професор
НСВ број 817-01-1/25-9, 10.02.2025. године

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна
Број поглавља
Број слика (шема, графикона)
Број табела
Број прилога

142
6
27
33
3

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	Vukašin Stanojević and Branimir Todorović. BoostTrack++: using tracklet information to detect more objects in multiple object tracking. Filomat, 39(16):5685–5702, 2025. У овом раду су идентификована ограничења повећања поузданости коришћеног у BoostTrack-у и предложен метод за побољшање његових перформанси. Предложена је употреба комбинације облика, Махаланобисовог растојања и нове soft BIoU сличности, као и техника благог (soft) повећања поузданости детекције која рачуна нове резултате поузданости на основу мере сличности и претходних резултата поузданости. Уведен је променљиви праг сличности који узима у обзир нижу меру сличности између детекција и праћених објеката (енгл. tracklets) који се не ажурирају редовно. Предложени додаци су међусобно независни и могу се користити у било ком MOT алгоритму. У комбинацији са BoostTrack+ основицом, метод постиже резултате који су скоро на нивоу најбољих савремених (state-of-the-art) метода на скупу података MOT17, као и нове најбоље HOTA и IDF1 резултате на скупу података MOT20.	M21
2	Vukašin Stanojević and Branimir Todorović. Multiple Object Tracking with Adaptive Kalman Filter, The book of abstracts, Artificial Intelligence Conference, 2024. На конференцији су представљени прелиминарни резултати истраживања примене адаптивног Калмановог филтра у проблемима праћења већег броја објеката. Предложени су механизми корекције естимираних коваријансе опсервационог и процесног шума на основу процењене густине сцене, односно, узимајући у обзир потенцијалне грешке приликом упаривања детекција и праћених објеката до којих може доћи у сценама са више блиских објеката који се преклапају.	M34
3	Vukašin Stanojević, Beyond simple thresholding: using tracklet information to improve selection of true positive detections for multiple object tracking, The book of abstracts, XV Serbian Mathematical Congress, 2024. На конференцији је представљен утицај различитих мера сличности на избор тачно-позитивних детекција техником повећања поузданости. Резултати су у целости објављени у раду «BoostTrack++: using tracklet information to detect more objects in multiple object tracking».	M34
4	Vukašin D. Stanojević and Branimir T. Todorović. BoostTrack: boosting the similarity measure and detection confidence for improved multiple object tracking. Machine Vision and Applications, 35(3):53, 2024. У раду је представљен BoostTrack, метод праћења заснованог на детекцијама (енгл. tracking-by-detection) који користи неколико лаганих, лако уградивих (plug and play) додатака за побољшање MOT перформанси. Предложена је мера поузданости пара који чини детекција и одговарајући праћени објекат (енгл. detection-tracklet confidence score). Мера поузданости искоришћена је за скалирање сличности и имплицитно фаворизовање парова са високом поузданошћу детекције и високом поузданошћу праћеног објекта у једнофазном придруживању. У циљу смањења двосмислености која произилази из коришћења пресека уније (енгл. intersection over union - IoU), предложени су нови додаци у виду Махаланобисовог растојања и сличности облика који побољшавају укупну меру сличности. Да би искористили граничне оквире са ниским резултатом детекције у једнофазном придруживању, аутори предлажу повећање поузданости (енгл. confidence boost) за две групе детекција: детекције за које се може претпоставити да одговарају постојећем праћеном објекту и детекције за које се може претпоставити да одговарају претходно недетектованом објекту. Предложени додаци су независни од постојећих приступа, а комбиновани су са интерполацијом и компензацијом кретања камере како би се постигли резултати упоредиви са стандардним референтним решењима. При томе је задржана брзина извршавања у реалном времену. У комбинацији са визуелном сличношћу (енгл. appearance similarity), метод надмашује сва стандардна референтна решења на скуповима података MOT17 и MOT20. Метод у тренутку објављивања заузима прво место међу онлајн методама по HOTA метрици на MOT Challenge такмичењу на MOT17 и MOT20 тест скуповима.	M21
5	Vukašin Stanojević, Lev Kazakovtsev, Predrag S. Stanimirović, Natalya Rezova, Guzel Shkaberina, Calculating the Moore–Penrose Generalized Inverse on Massively Parallel Systems, Algorithms, 2022, 15. У раду је разматрана паралелна имплементација алгорита за рачунање генерализоване Мур-Пенроузове инверзе. Предложени алгоритам заснива се на Чолески факторизацији и	M22

Ширасеном алгоритму за рачунање инверза матрице. Аутори су предложили имплементацију која користи графичке процесорске јединице и CUDA (енгл. Compute Unified Device Architecture) платформу.

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА НЕ

Кандидат је у својој дисертацији разматрао актуелан проблем у области вештачке интелигенције и рачунарског вида, праћења више објеката (Multiple Object Tracking — MOT). Сви резултати приказани у дисертацији су нови и оригинални, а добар део тих резултата је публикован у истакнутим међународним научним часописима. Вредност дисертације представља јасна дефиниција проблема праћења у комплексним и динамичним сценама, предлог и успешна имплементација нових алгоритама (BoostTrack, BoostTrack++ и CAT), чији је изворни код јавно доступан. Тестирања су показала да предложена решења значајно унапређују перформансе праћења у реалном времену кроз побољшану интеракцију између детекције, процене кретања, придруживања података и управљања путањама. Такође, показано је да се правилним комбиновањем компоненти и ефикасним коришћењем детекција ниске поузданости може постићи робустност и висока тачност без потребе за рачунски захтевним модулима, чиме су предложени алгоритми постали практично применљиви у интелигентним системима за рад у реалном времену.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

У уводном поглављу кандидат дефинише проблем праћења више објеката (MOT) и објашњава парадигму праћења заснованог на детекцијама (енгл. Tracking-by-Detection). Истиче се главна мотивација истраживања: развој тачних, робусних и ефикасних алгоритама применљивих у реалном времену. Посебан фокус стављен је на међузависност кључних компоненти система – детекције, процене кретања, придруживања података и управљања путањама. Кандидат представља централну идеју дисертације, а то је да се унапређење перформанси може постићи јачањем интеракције између постојећих компоненти, уместо ослањања на непотребну комплексност. Јасно су дефинисани главни циљеви и научни доприноси који ће бити детаљно разрађени у наредним деловима рада.

Друго поглавље пружа неопходну теоријску основу и преглед литературе неопходне за разумевање преосталог дела дисертације. Описан је стандардни процес обраде у системима праћења заснованим на детекцији. Посебна пажња посвећена је кључним алгоритмима, укључујући детекторе објеката (попут YOLOX модела), моделирање кретања помоћу Калмановог филтера, технике за придруживање података, као и процедуре за управљање путањама и њихово постпроцесирање. Ово поглавље детаљно представља скупове података који се користе за експерименталну евалуацију (MOT17, MOT20, DanceTrack и SportsMOT), заједно са стандардним метрикама за процену успешности праћења, попут MOTA, IDF1 и HOTA метрика.

У трећем поглављу кандидат представља BoostTrack, иновативни метод дизајниран да побољша перформансе праћења у само једној фази придруживања података. Метод уводи две групе техника: повећање поузданости детекције и унапређење мере сличности. Кроз меру поузданости детекције и праћеног објекта, уз коришћење Махаланобисовог растојања и сличности облика, алгоритам имплицитно фаворизује поузданије парове података. Поглавље емпиријски доказује да правилно комбиновање једноставних компоненти може ефикасно смањити потребу за рачунски захтевним модулима, попут ReID система или сложених вишефазних процедура придруживања, задржавајући притом високу тачност и брзину обраде података.

У четвртном поглављу кандидат описује унапређену верзију претходне методе, и назива је BoostTrack++. Ова метода се фокусира на прецизности коришћење информација из трајекторија, конкретно тачно позитивних детекција са ниском поузданошћу. Уводе се механизми засновани на вишеструким критеријумима, укључујући Soft Buffered IoU (SBIoU), адаптивно повећање поузданости детекције и варијабилне прагове сличности који зависе од поузданости предикције стања праћеног објекта. Додатно, ово поглавље представља нову процедуру засновану на Калмановом филтеру која служи за раздвајање трајекторија пре процеса интерполације. У овом поглављу је показано како правилно искоришћење непоузданих опсервација доприноси очувању идентитета објеката у сложеним сценама.

Кључни допринос истраживања, изложен у петом поглављу, представља Crowd-Aware Tracker (CAT), систем за праћење у реалном времену, заснован искључиво на информацијама о кретању. Кандидат предлаже коришћење адаптивног Калмановог филтера који додатно коригује естимирани коваријансе опсервационог и процесног шума на основу процењене густине сцене, односно, узимајући у обзир потенцијалне грешке приликом упаривања детекција и праћених објеката, као и промене кретања до којих може доћи у сценама са више блиских објеката који се преклапају. У истом поглављу кандидат предлаже као меру сличности проширени пресек уније (енгл. Expanded IoU - EIoU) који рачуна пресек уније над граничним оквирима који су проширени на основу естимираних несигурности стања праћеног објекта. Коначно, предложен је побољшани једнофазни радни ток који користи све доступне детекције, дефинишући критеријуме за иницијализацију и ажурирање трајекторија који користе тренутне естимације неизвесности. Експерименти показују да CAT постиже врхунске резултате у својој категорији, успешно парирајући много сложенијим приступима и методима са накнадним процесирањем ван

реалног времена.

У шестом, завршном поглављу кандидат сумира еволуцију развоја од BoostTrack алгоритама до CAT система. Кандидат анализира заједничке принципе који повезују предложене методе, посебно наглашавајући улогу коју комбиновање једноставних компоненти игра у поступку праћења објеката заснованом на детекцијама. Поред тога, ово поглавље објективно сагледава ограничења предложених приступа, попут зависности од перформанси детектора или недостатка визуелних карактеристика у динамичним сценама и анализира предности и достигнућа предложеног Crowd-Aware Tracker (CAT), система за праћење у реалном времену. На крају, дате су јасне смернице за будућа истраживања, укључујући аутоматску калибрацију параметара и интеграцију једноставнијих визуелних модела.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Остварени су сви научни циљеви постављени у пријави докторске дисертације. У дисертацији је разматрано унапређење алгоритама за праћење већег броја објеката у оквиру парадигме праћења заснованог на детекцијама. Предложени су и тестирани нови приступи који користе информације о праћеним објектима ради успешнијег одабира тачно позитивних детекција ниске поузданости. Разматран је и проблем израчунавања сличности, кроз увођење нових мера, укључујући Махаланобисову дистанцу, сличност димензија и проширену IoU меру скалирану варијансом. Предложен је метод за онлајн естимацију шума Калмановог филтера, прилагођен сценама са великом гужвом, као и двосмерни приступ за прецизније спајање фрагментираних трајекторија.

Централно место и истраживања представља развој алгорита Crowd-Aware Tracker (CAT), осмишљеног као систем за праћење у реалном времену, заснован искључиво на информацијама о кретању. Овај метод на најцелисходнији начин обједињује све предложене концепте адаптивне процене неизвесности, потврђујући да правилно комбиновање једноставних компоненти може довести до робусног система који по перформансама парира и најсложенијим моделима.

Резултати добијени на референтним тест скуповима показују да предложена решења значајно унапређују тачност и поузданост праћења, што се огледа у доследном побољшању HOTA, MOTA и IDF1 метрика, као и у ефикасном смањењу броја грешака.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Резултати ове докторске дисертације имају изузетан научни и практични значај у актуелној области вештачке интелигенције и рачунарске вида, са фокусом на проблем праћења већег броја објеката (MOT) у реалном времену. Имајући у виду растућу потребу за интелигентним видео-аналитичким системима у аутономној возњи, роботизици и паметном надзору, предложена решења директно одговарају на савремене технолошке изазове.

Научни допринос дисертације огледа се у оригиналном приступу парадигми праћења заснованој на детекцијама (enl. Tracking-by-Detection). Умешто увођења рачунски захтевних модула за екстракцију визуелних карактеристика (ReID) или сложених вишефазних процедура придруживања, кандидат је показао да се висока тачност и робусно праћење може постићи иновативним комбиновањем једноставних и рачунски ефикасних компоненти.

Кроз развој алгорита BoostTrack и BoostTrack++, кандидат је понудио решења за проблем детекција ниске поузданости, уводећи нове технике повећања поузданости и најпредне мере сличности. Врхунац научног доприноса представља Crowd-Aware Tracker (CAT), који уводи адаптивну естимацију неизвесности помоћу Калмановог филтера (узимајући у обзир тачност гужве у сцени) и проширену меру пресека уније (EIoU), чиме је остварен значајан помак у решавању проблема асоцијације појачака у комплексним сценама.

Практична вредност дисертације доказана је опсежним експерименталном евалуацијом на стандардним скуповима података (MOT17, MOT20, DanceTrack, SportsMOT). Предложени алгоритми (посебно CAT) постижу врхунске (state-of-the-art) резултате у категорији изв. online метода заснованих на кретању, уз задржавање брзине рада у реалном времену. Овакав баланс између високе тачности и рачунарске ефикасности чини ове алгоритме изузетно погодним за директну имплементацију у реалним интелигентним системима.

Значај резултата додатно потврђује чињеница да су они објављени у рецензираном међународном часопису са SCI/SCIE листе, као и да је изворни код алгорита учињен јавно доступним широј научној заједници.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Током израде своје докторске дисертације, кандидат је показао да може потпуно самостално да се бави научним радом и долази до вредних резултата. У договору са ментором је одабрао област примене вештачке интелигенције и рачунаског вида у проблемима праћења више објеката. Самостално је дефинисао проблеме којима ће се бавити: обрада непоуздених детекција, унапређење мера сличности и адаптивна процена неизвесности кретања. Самостално је дошао до предлога решења, имплементирао алгоритме и извршио тестирања на референтним скуповима података. Експерименти су доказали да предложени методи значајно побољшавају тачност праћења, смањују замену идентитета и омогућавају робустан рад у реалном времену.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

Кандидат је у дисертацији разматрао изузетно актуелан проблем у области рачунарског вида, праћење већег броја објеката у реалном времену. Резултати истраживања су нови, оригинални и публиковани у истакнутим међународним часописима. Резултат аутоматске процене оригиналности показује понављања само опште познатих израза и делова текста који су већ објављени у радовима самог кандидата.

Научна вредност дисертације огледа се у јасној дефиницији проблема и имплементацији нових алгоритама чија тестирања доказују значајно унапређење тачности праћења, смањење замене идентитета и робустан рад у комплексним сценама без употребе рачунски захтевних модула.

Практична вредност дисертације доказана је ојсежном експерименталном евалуацијом на стандардним скујовима њодајака (MOT17, MOT20, DanceTrack, SportsMOT). Методи BoostTrack и BoostTrack++ остварују врхунске (state-of-the-art) резултате у HOTA и IDF1 метрикама на скујовима MOT17 и MOT20, док CAT њосијже врхунске резултате у категорији њизв. online метода заснованих на крећању, на скујовима MOT20, DanceTrack и SportsMOT. На скују MOT20, CAT ѡакође надмашује све online методе засноване на визуелним карактеристикама, као и offline методе засноване на информацијама о крећању, уз веома брђну карактеристику брзине рада у реалном времену.

На основу свега изнетог, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Природно-математичког факултета Универзитета у Нишу да прихвати докторску дисертацију Вукашина Станојевића под насловом „Напредни алгоритми праћења већег броја објеката” (енгл. Advanced Multiple Object Tracking Algorithms) и да одобри њену јавну одбрану.

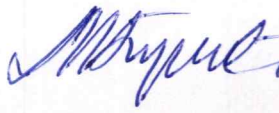
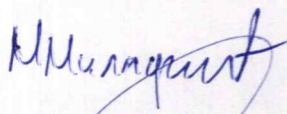
КОМИСИЈА

Број одлуке Научно-стручног већа за природно математичке науке о именовању Комисије

НСВ број 817-01-8/26-10

Датум именовања Комисије

14.09.2026. године

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	др Мирослав Ђирић, редовни професор	председник	
	Рачунарске науке	Природно математички факултет, Универзитет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
2.	др Бранимир Тодоровић, ванредни професор	ментор, члан	
	Рачунарске науке	Природно математички факултет, Универзитет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
3.	др Марко Петковић, редовни професор	члан	
	Рачунарске науке	Природно математички факултет, Универзитет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
4.	др Марко Миладиновић, ванредни професор	члан	
	Рачунарске науке	Природно математички факултет, Универзитет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	
5.	др Драган Јанковић, редовни професор	члан	
	Рачунарство и информатика	Електронски факултет, Универзитет у Нишу	
	(Научна област)	(Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

18.09.2026, Ниш

