

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
ЧАЧКА

ПРИМ. НО	27.12.2023		
Оријед.	Б	Дик	Вредност
012	2492		

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације
кандидата Предрага Столића

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-775/13 од 18.10.2023., на предлог Наставно-научног већа Факултета техничких у Чачку (одлука број 012-100-1737/21 од 4.10.2023. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Предрага Столића**, дипл. инж. индустријске информатике, под насловом:

„РАЗВОЈ САМОАДАПТИРАЈУЋИХ ВИРТУЕЛНИХ МАШИНА
У ЦИЉУ ПОБОЉШАЊА ИСХОДА УЧЕЊА
У ХЕТЕРОГЕНОМ РАЧУНАРСКОМ ОКРУЖЕЊУ“

Докторанд Предраг Столић је 20.9.2023. године, након испуњења услова предвиђених Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, предао рукопис докторске дисертације Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку, на оцену и проверу. Чланови Комисије детаљно су прегледали рукопис и проценили научни квалитет дисертације при чему су дали своје сугестије за унапређење презентације научних резултата. На основу Извештаја о провери на плагијаризам докторске дисертације и Оцене ментора проф. др Данијеле Милошевић о извештају и провери оригиналности докторске дисертације, број 012-2111 од 15.11.2023., а према члану 7. Правилника о поступке провере плагијаризма Универзитета у Крагујевцу, Комисија је констатовала да је утврђено подударане текста настало услед евиденције текста пријаве саме дисертације, претходно публикованих резултата проистеклих из истраживања које је докторанд спровео и препознавања библиографских извора уредно наведених у дисертацији уз поштовање академских правила цитирања. Овим су се стекли сви услови утврђени Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу да Комисија референата поднесе Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације представља налажење одређеног скупа метода које ће омогућити правилну реализацију и рад виртуелних машина у изразито хетерогеном рачунарском окружењу и адекватну адаптацију виртуелних машина на променљивост окружења у коме остварују своје задатке. Наведени скуп метода обухвата оба аспекта адаптације виртуелних машина, како са хардверског становишта, тако и са софтверског. На тај начин реализује се један свеобухватан приступ, уместо парцијалних приступа усмерених само на софтвер, или само на хардвер, чиме би се покрила само једна од особености и чиме би се изгубио један део функционалности решења за којим се у дисертацији трага.

Примарни циљ истраживања представља примену претходно поменутих добијених методолошких принципа на реализацију самоадаптирајуће виртуелне машине, односно крајњи циљ се може формулисати као развој самоадаптивности виртуелне машине на изразито хетерогено и променљиво рачунарско окружење кроз одговарајуће поступке и решења. Тиме се остварује једно аутоматизовано, паметно и интелигентно решење са посебним акцентом на његову примену у домену високошколског образовања. Различити корисници у високошколском образовном систему (студенти, предавачи, техничко особље и остали заинтересовани), кроз имплементацију оваквог решења, боље се фокусирају на остварење исхода учења у целокупном наставном процесу уместо честе праксе да се део фокуса губи услед разних активности везано за различите софтверске и хардверске аспекте рада виртуелне машине (праћење перформанси, конфигурисање, инсталације, ажурирања, оптимизације и остало). Реализацијом самоадаптирајућих виртуелних машина стиче се један велики простор за коришћење овако реализоване виртуелизације у различитим врстама едукације јер се смањује неопходна количина техничког знања из различитих домена рачунарске технике (оперативних система, рачунарских система, виртуелизације итд.) будући да се често јавља ситуација да корисници немају нека основна предзнања из домена рачунарске технике, или та знања поседују у недовољној количини, а чест је случај и погрешних тумачења, као и недовољне информисаности приликом доношења значајнијих одлука и спровођења кључних акција.

Прво поглавље докторске дисертације представља уводни део у коме су приказани изазови са којима се извођење наставе у високошколском образовању суочава када се оно имплементира по принципима „учења код куће“ у изразито хетерогеном рачунарском окружењу. Идентификовани су одређени проблеми које треба превазићи са становишта коришћења постојећих рачунарских ресурса, а на које традиционални приступи не могу дати одговарајућа решења. Постављене су одговарајуће хипотезе и дат је преглед коришћених метода и методологија у докторској дисертацији. Такође, дат је и преглед стања у подручју истраживања кроз анализу релевантних научно-истраживачких радова публикованих у последњих пет година.

У другом поглављу размотрен је концепт хетерогености рачунарског окружења који се јавља приликом реализације наставног процеса уз употребу учења на даљину. Представљено је развијено софтверско решење намењено идентификацији софтверских и хардверских компоненти система који се користе од стране корисника у наставном процесу приликом реализације задатака „од куће“ уз посебан осврт на особености решења за сваку од три анализираних платформе – Windows, Linux, macOS. Над дефинисаним тестним узорцима спроведена су одговарајућа испитивања и извршена карактеризација добијених података применом елемената статистичке анализе. Кроз добијене резултате потврђено је постојање изразите хетерогености рачунарског окружења приликом реализације наставних процеса у високошколском образовању када се они заснивају на употреби учења на даљину.

У трећем поглављу извршена је идентификација проблема са софтверског становишта који се испољавају као резултат присутности изразите хетерогености рачунарског окружења. Указано је како се употребом виртуелизације, односно коришћењем виртуелних машина, део ових проблема може превазићи, али и који се нови проблеми испољавају. У циљу успешног коришћења виртуелних машина у наставном процесу од крајњих корисника, који подразумева минимизацију појаве и утицаја поменутих проблема, искоришћени су принципи онтолошког инжењерства. У ту сврху развијена је посебна, нова онтологија која се фокусира на потребу унифицираног коришћења софтвера приликом реализације наставних процеса у високошколском образовању. Онтологија је адекватно описана кроз извршену јасну и недвосмислену дефиницију класа, њихових међусобних веза и атрибута, као и одговарајућих неопходних унапред дефинисаних ентитета. Саму онтологију прати и извршено одговарајуће расуђивање, као и реализација адекватних упита над самом онтологијом за потребе синтетисања неопходног знања које ће се користити у оквиру софтверских задатака за потребе реализације наставних процеса у високошколском образовању. За потребе реализације задатака базираних на употреби поменуте онтологије развијен је посебан наменски софтвер који омогућава интеграцију и реализацију поменутих упита над самом онтологијом, адекватно прибављање резултата извршења, њихово даље процесирање и реализацију конкретних софтверских акција заснованих на добијеним подацима у оквиру виртуелне машине.

У четвртном поглављу извршена је анализа проблема са хардверског становишта који се такође, као и претходно поменути софтверски, испољавају као резултат изразите хетерогености посматраног рачунарског окружења. Идентификоване су узрочно-последичне везе, које се јављају на основу међусобног дејства које се производи на релацији физички рачунар (систем домаћин, host) и виртуелне машине (гостујући систем, guest) и извршена њихова карактеризација. На основу те карактеризације реализован је одговарајући наменски софтвер за иницијализацију виртуелног хардвера на циљаном рачунару када се виртуелна машина стартује први пут или када наступи нека битнија промена у физичком хардверу, односно у хардверској конфигурацији циљаног рачунара. Реализовани су и одговарајући сервиси за праћење и документовање стања

хардвера у реалном времену за све три посматране платформе на физичком рачунару - Windows, Linux, macOS, као и сервис за праћење и документовање стања виртуелног хардвера у реалном времену на Linux базираној виртуелној машини. Посебно развијен наменски софтвер, чији је рад базиран на подацима оствареним радом претходно поменутих решења врши анализу постојећих и предикцију будућих стања физичког и виртуелног хардвера. За остварење прогнозираних вредности анализирана су три предиктивна модела: ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average), случајна шума (Random Forest) и Prophet, након чега је извршен избор модела који се најбоље уклапа у постојеће решење не само по квалитету остварених резултата, већ и по испољеним перформансама самог модела. На основу прогнозираних вредности развијен је одговарајући математички модел на основу којег се врши прорачун вредности које ће се примењивати у даљем раду виртуелног хардвера, а које ће виртуелној машини бити додељене на адекватан начин употребом посебно развијеног наменског софтвера.

Пето поглавље описује реализацију самоадаптирајуће виртуелне машине, односно интеграцију решења реализованих у претходним поглављима докторске дисертације у једно целовито решење спремно за употребу у задатом домену примене. Описана је припрема основне (базне) виртуелне машине која ће се дистрибуирати на циљане рачунаре корисника где ће се одговарајућим поступцима вршити даље формирање исте у виду обезбеђења самоадаптивности. Ови поступци, као и само руковање виртуелном машином на одредишном рачунару, обезбеђени су кроз посебно реализован софтвер за интегрисано управљање самоадаптирајућом виртуелном машином који је развијен за све три циљане платформе (Windows, Linux, macOS). Како би се обезбедила тачност, униформност и једноставност целокупног процеса развијене су одговарајуће инсталационе процедуре за све претходно поменуте платформе. Поред инсталационих процедура намењених примени на одредишним рачунарима, односно рачунарима крајњих корисника, одговарајуће инсталационе процедуре развијене су и за реализацију над предметном виртуелном машином.

У шестом поглављу приказани су резултати тестирања решења развијеног у оквиру докторске дисертације. Тестирање је извршено кроз четири сегмента тестирања, односно кроз функционално тестирање, тестирање оптерећења, тестирање конфигурације и тестирање корисничког интерфејса, при чему су поједине групе тестирања спроведене кроз неколико фаза тестирања у зависности од комплексности и обимности самих тестних поступака. За сваки од видова тестирања извршено је јасно дефинисање циљева тестирања, као и процедура на основу којих ће се дато тестирање спровести. Кроз остварене резултате добијене различитим скупом тестова, потврђени су различити аспекти разматраног решења у оквиру докторске дисертације, попут реализације функционалности на одговарајући и предвиђени начин, остајања у границама прихватљивих вредности током употребе, остварења одговарајућих перформанси, рада на различитим корисничким конфигурацијама и различитим размештајима серверских компоненти и сличног.

У седмом поглављу дискутована је реална применљивост остварених самоадаптирајућих виртуелних машина у наставним процесима високошколског образовања. Применљивост је анализирана у односу на постојеће планове и програме основних и мастер академских студија студијског програма Рударско инжењерство Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Посебно је истакнута применљивост у реализацији елемената практичне наставе и предиспитних активности у предметима на оба нивоа посматраних студија. Анализом реалних чинилаца дошло се до показатеља да су самоадаптирајуће виртуелне машине у потпуности применљиве за остварење наставних процеса у високошколском образовању када ти процеси у себе укључују делом или у целости реализацију активности на студентским рачунарима код куће. Паралелно са тим указано је да се једнако добра применљивост може остварити и у реализацији наставних процеса у оквиру институционалних ресурса, односно приликом реализације наставних процеса у оквиру рачунарских лабораторија.

У осмом поглављу указује се на нека уочена ограничења која су се испољила приликом рада на развоју решења које се описује у оквиру докторске дисертације. Указано је на минимум техничких услова који морају бити испуњени на нивоу BIOS-а рачунара како би дато решење било могуће имплементирати. Размотрени су и неки бочни ефекти који се могу јавити приликом коришћења имплементираних решења а који настају као последица имплементираних механизма ажурирања и надоградње оперативног система, одговарајућих безбедоносних механизма и подешавања, рада антивирусног софтвера и сличног. Описана су и нека ограничења која се јављају приликом компајлирања кода за различите верзије оперативних система. Ово поглавље разматра и питања могућих будућих праваца развоја описаног решења. Посебно је наглашен потенцијал које овакво решење може испољити у односу на постојеће капацитете LMS (Learning Management System) и како се синергијом LMS-а и описаног решења могу остварити нове погодности у остваривању задатих циљева учења. Размотрен је и даљи рад на унапређењу предикције које се користи у описаном решењу. Указано је и на чињеницу да дато решење остварује и једну ширу применљивост захваљујући уграђеним онтолошким принципима који у себи обједињавају два врло битна концепта: дељење (sharing) и поновну примену (re-using).

У Закључку је сажето приказан значај који реализовано решење у оквиру докторске дисертације има у домену дигиталне трансформације наставних процеса у високошколском образовању. Описано је како се комплексност која се јавља услед присутности изразито хетерогеног рачунарског окружења може савладати применом реализованих самоадаптирајућих виртуелних машина које адекватно своде дату комплексност на одговарајући прихватљив минимум у коме се, посматрано на одговарајућем нивоу апстракције, хетерогеност може разматрати као хомогено окружење. Указано је да су полазне посебне хипотезе, као и општа хипотеза изнета у оквиру докторске дисертације, у потпуности доказане. Споменута је и могућност примене наведеног решења и ван домена високошколског образовања чиме се остварује једна шира применљивост.

Након Закључка приказана је и Литература са наводима коришћених библиографских извора из којих се сагледава опсежност спроведених истраживања и детаљна анализа решавањем проблема. У оквиру докторске дисертације дати су и додатни елементи у виду Идентификационе странице, Резимеа на српском и енглеском језику, Биографије докторанда, Изјаве аутора о оригиналности докторске дисертације, Изјаве аутора о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и Изјаве аутора о искоришћавању докторске дисертације.

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

Докторска дисертација кандидата Предрага Столића, дипл. инж. индустријске информатике, под називом „Развој самоадаптирајућих виртуелних машина у циљу побољшања исхода учења у хетерогеном рачунарском окружењу“ настала је као резултат кандидатовог самосталног научноистраживачког рада у области примене онтолошког инжењерства, виртуелизације и машинског учења у савременом приступу реализацији наставних процеса у високошколском образовању.

Као први допринос докторске дисертације истиче се увођење појма хетерогеног рачунарског окружења у наставне процесе високошколског образовања који се у савременом смислу све више ослањају на принципе учења код куће. До сада хетерогено рачунарско окружење је углавном занемаривано у разматрањима услед употребе различитих униформних онлајн решења приликом остваривања наставних процеса. Међутим, постоји значајни део наставног процеса који ће се остваривати употребом личних рачунарских ресурса студената ван поменутог униформног онлајн окружења. У том случају испољиће се хетерогеност која није занемарљива и која се као таква мора узети у обзир у циљу правилне реализације дефинисаних наставних циљева. Оправданост оваквог увођења концепта хетерогености рачунарског окружења у наставним процесима високошколског образовања приказана је кроз анкету која је спроведена међу испитаницима који су у овом случају представљали студенте на основним академским студијама једне високошколске институције. Прикупљање података о рачунарском окружењу у коме се остварује наставни процес врши се софтвером за прикупљање података који је посебно развијен за ову намену и који прикупља стварне податке о софтверској и хардверској конфигурацији сваког рачунара и снима у одговарајућу базу података. Кроз софтвер за обраду података врши се карактеризација хетерогености рачунарског окружења применом елемената статистичке анализе (средња вредност, медијана, минималне и максималне вредности, број појављивања, стандардно одступање) над прикупљеним подацима снимљеним у поменутој бази података. О значају правилног сагледавања хетерогености рачунарског окружења говоре и подаци презентовани у докторској дисертацији где је за посматрану количину радне меморије за први узорак добијено стандардно одступање са приближном вредношћу 2,4714, док је у другом узорку та вредност далеко већа и износи

приближно 7,0314. Приближна вредност стандардног одступања за обједињене податке такође није занемарљива и има вредност од 5,1494.

Други допринос ове дисертације огледа се у развијеној онтологији. Анализом научне литературе и референтних радова увидело се да постоје различите онтологије које посматрају одређени аспект управљања софтвером, али се није наишло на онтологију која управљање софтвером ставља у специфичну сврху употребе у домену високошколског образовања које поседује неке своје специфичности. Сходно томе, у оквиру докторске дисертације развијена је нова онтологија која у себи интегрише знања из два домена, односно повезује домен високошколства са доменом управљања софтвером. Део онтологије који се односи на моделирање високошколског домена реализован је у складу са националном класификацијом нивоа студија у образовном систему Републике Србије, међутим он се лако може адаптирати, уз блаже модификације, за применљивост и у другим образовним системима како би одговорио на специфичне услове националних класификација које могу постојати у другим државама. Софтверски домен у онтологији реализован је по одговарајућим принципима руковања софтвером који су заступљени у Linux дистрибуцијама, међутим, слично претходном, по потреби и овај део онтологије се може једноставно модификовати и прилагодити за коришћење у доменима који подразумевају употребу софтвера у другим оперативним системима. У складу са тим може се рећи да постоји одрживост предметне онтологије. Захваљујући основним принципима онтолошког инжењерства, може се остварити и шири допринос на основу развијене онтологије јер се поменута онтологија даље може уграђивати у друге онтологије, делом или у целости, или може послужити и као основа за развој нових онтологија. Над поменутом онтологијом конструисани су одговарајући SPARQL упити који у синергији са одговарајућим резонавањем омогућавају синтетисање одговарајућих информација потребних за даљи рад. Ови упити инкорпорирани су у одговарајући софтвер који захваљујући применом упита над одговарајућом онтологијом производи одговарајуће дејство над Linux системом у циљу спровођења одговарајуће акције неопходне за адекватно руковање задатим софтвером. Софтвер се може једноставно модификовати за остваривање применљивости и над другим оперативним системима чиме се може обезбедити и шире дејство посматраног целокупног решења.

Трећи допринос представља математички модел за прорачун вредности радне меморије која ће бити додељена виртуелној машини. Анализом стања у подручју истраживања, кроз преглед радова публикованих у последњих пет година, увидело се да окосницу истраживања чине технике управљања и балансирања виртуелном меморијом које се заснивају на расподели меморије између самих виртуелних машина (нпр. memory ballooning технике) док се узрочно-последичне везе које постоје између самог физичког система (host система) и виртуелне машине врло ретко разматрају. У дисертацији су управо разматране претходно поменуте узрочно-последичне везе на основу чије идентификације је развијен одговарајући математички модел за прорачун вредности количине радне меморије која ће бити додељена за рад виртуелној машини.

Математички модел у обзир узима укупни инсталирани капацитет радне меморије на физичком рачунару, искоришћење радне меморије на физичком рачунару, али и искоришћење виртуелне радне меморије на виртуелној машини. Искоришћење радне меморије, било да се ради о физичком рачунару, или о виртуелној машини, бележи се у реалном времену у одговарајућим временским интервалима. У дисертацији тај интервал износио је 15 секунди, мада се по потреби могу дефинисати и други интервали. Ове вредности, између осталог користе се и као улазне вредности за алгоритме машинског учења на основу којих ће се вршити предикција будућих стања како би се очувала стабилност и конзистентност физичког и виртуелног система.

У складу са претходним један од доприноса је и примена алгоритама машинског учења који су овде коришћени за предвиђање вредности будућих меморијских стања заснованих на временским серијама. Приликом развоја упоређивана су три модела: интегрисани ауторегресиони модел покретних просека - ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average), случајна шума (Random Forest) и Prophet модел развијен од стране компаније Meta (Facebook). Када је реч о ARIMA моделу, тестови су вршени за различите вредности параметара p , d и q и установљено је да се најбоље вредности остварују за вредности $(p, d, q) = (1, 1, 1)$. Случајне шуме се најчешће користе у проблемима класификације, али своју применљивост имају и у домену временских серија када се могу, одређеним трансформацијама, користити и као јак добар регресиони модел. Тестирања су вршена за различити број стабала ($n_estimators$), међутим установљено је да се модел најбоље понаша за ниже вредности броја стабала, па је модел реализован са $n = 10$ стабала. Prophet Forecasting Model представља модел који поседује врло велики степен аутоматизације, али су и овде вршена одговарајућа тестирања са различитим вредностима ширине интервала несигурности ($interval_width$), почев од стандардних 80 процената па навише. Установљено је да се најбољи резултати остварују применом овог модела са вредношћу ширине интервала несигурности од 95 процената. За међусобну компарацију модела коришћене су прорачунате вредности средње апсолутне процентуалне грешке (MAPE - Mean Absolute Percentage Error), при чему је ARIMA модел остварио вредност од 6,4 %, модел случајне шуме 5,8 %, док је Prophet остварио вредност од 2,4 %. Као што се види из претходних резултата сви модели се могу сматрати као модели високе тачности, међутим у складу са оствареним резултатом у крајњој имплементацији математичког модела коришћен је Prophet модел будући да је остварио највишу тачност. Такође, овај модел је остварио и најбоље резултате у погледу перформанси самог модела, будући да му је време потребно за генерисање предиктивних вредности изузетно мало у односу на посматрани временски интервал забележених вредности. Приликом тестирања за временске интервале прикупљених података ширине до 9 часова, максимално време генерисање предиктивних вредности износи око 1 секунде, а највеће забележено потребно време за генерисање предиктивних вредности износи око 40 секунди за континуални временски интервал прикупљених података од 15 дана.

Четврти допринос представља реализација самоадаптивности виртуелне машине. Реализована је база виртуелна машина заснована на једној од Linux дистрибуција која ће се користити од стране високошколске институције у сврху дистрибуције крајњим корисницима, односно студентима. Развијен је наменски софтвер за интегрисано управљање виртуелном машином на одредишту, односно на сваком од рачунара које ће студенти користити у наставном процесу. Софтвер омогућава аутоматизоване поступке преузимања базе виртуелне машине и њеног инсталирања на одредиште, иницијализацију параметара виртуелног хардвера, припрему и управљање сервисом за континуирано праћење потребних параметара, инсталацију софтвера на виртуелној машини, прорачуне прогнозираних вредности, прорачуне додељиваних вредности на основу уграђеног математичког модела, адаптацију на промене окружења и основне команде за руковање самом виртуелном машином. Развијене су и одговарајуће инсталационе процедуре које омогућавају једноставан поступак инсталације софтвера на одредишту и његово прилагођавање задатом оперативном систему. Одговарајуће софтверско решење прошло је и одговарајуће поступке тестирања кроз функционално тестирање, тестирање оптерећења, конфигурације и корисничког интерфејса чиме су доказане све функционалности софтвера, поседовање одговарајућих перформанси, применљивост у различитим хардверским и софтверским окружењима и остале карактеристике.

Овде треба напоменути да је у смислу одговора на задате циљеве докторске дисертације и пружања адекватног одговора на проблеме савладавања постојања изразито хетерогеног рачунарског окружења, целокупан софтвер развијан коришћењем мултиплатформских принципа. Ово се може сматрати још једним доприносом будући да је софтвер развијен за коришћење на Windows, Linux и macOS системима чиме се избегава постојање селективности окружења у коме се примењује. У већини случајева се развој софтвера намењеног употреби у високошколском образовању циљано врши само за одређене Windows оперативне системе, а у овом случају та пракса је избегнута и софтвер се доказано може примењивати готово на свим заступљеним оперативним системима који се могу наћи на рачунарима који се примењују од стране студената у савладавању циљева наставног процеса.

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

На основу Извештаја о провери на плагијаризам докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу и Оцене ментора о извештају и провери оригиналности докторске дисертације број 012-2111 од 15.11.2023., и увида у литературне податке, утврђено је да је докторска дисертација под називом „Развој самоадаптирајућих виртуелних машина у циљу побољшања исхода учења у хетерогеном рачунарском окружењу“ кандидата Предрага Столића, дипл. инж. индустријске информатике, резултат његовог оригиналног научног рада.

4. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Предраг Столић, дипл. инж. индустријске информатике, запослен је на Техничком факултету у Бору Универзитета у Београду као универзитетски сарадник у звању асистента, ужа научна област аутоматика и рачунарска техника и ангажован је на извођењу практичне наставе из предмета ужих научних области информатике и аутоматике и рачунарске технике. У научноистраживачком раду током трајања докторских студија, као аутор или коаутор публиковао је три рада у истакнутом међународном часопису (M22), један рад у међународном часопису (M23), 30 саопштења са међународних скупова штампаних у целини (M33), 2 предавања по позиву са скупа националног значаја (M61) и једно ново техничко решење у фази реализације (M85):

Рад у истакнутом међународном часопису - M22

1. **P. Stolic**, D. Milosevic, Z. Stevic and I. Radovanovic, Ontology Development for Creating Identical Software Environments to Improve Learning Outcomes in Higher Education Institutions, *Electronics* 2023, 12(14), 3057, DOI: 10.3390/electronics12143057
2. **P. Stolic**, Z. Stevic, S. Petronic, V. Nikolic, M. Stevic, D. Kreculj and D. Milosevic, Modeling, Simulation, and Computer Control of a High-Frequency Wood Drying System, *Electronics* 2023, 12(1), 226, DOI: 10.3390/electronics1201226
3. Z. Stevic, S. Dimitrijevic, M. Stevic, **P. Stolic**, S. Petrovic, M. Radivojevic and I. Radovanovic, The Design of a System for the Induction Hardening of Steels Using Simulation Parameters, *Appl. Sci.* 2023, 13(20), 11432, DOI: 10.3390/app132011432

Рад у међународном часопису - M23

1. Z. Stevic, M. Stevic, I. Radovanovic, **P. Stolic**, M. Milesevic, M. Marjanovic, M. Radivojevic and S. Petronic, Computer-Controlled Voltage/Current Source and Response Monitoring System for Electrochemical Investigations, *Int. J. Electrochem. Sci.* 2021, 16, 210659, DOI: 10.20964/2021.06.04

Саопштење са међународног скупа штампано у целини - M33

1. J. Ivaz, D. Petrović, **P. Stolić**, M. Radovanović, D. Zlatanović, S. Stojadinović, P. Stojković, Occupational injuries in underground coal mining: statistical analysis of data, The 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2023., Proceedings, pp. 80 - 83, ISBN: 978-86-6305-140-9
2. D. Petrović, J. Ivaz, S. Stojadinović, **P. Stolić**, D. Zlatanović, Risk management and mining machines maintenance – a brief review, The 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2023., Proceedings, pp. 497 - 500, ISBN: 978-86-6305-140-9
3. M. Stevic, Z. Stevic, **P. Stolić**, I. Radovanovic, D. Ilic, Z. Jovanovic, Micro Step Electric Drive Controlled By Microcontroller, 11th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2023., Proceedings, pp. 181-184, ISBN: 978-86-85535-16-1

4. Z. Stevic, I. Radovanovic, **P. Stolić**, S. Petronic, M. Jaric, M. Stevic, D. Ilic, Energy Efficiency in Electric Vehicles - An Overview, 11th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2023., Proceedings, pp. 203-208, ISBN: 978-86-85535-16-1
5. **P. Stolić**, I. Radovanovic, Z. Stevic, D. Petrovic, The Role of the Synergy of Mining and Computer Technologies in the Process of Transition to Renewable Electrical Power Sources, 11th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2023., Proceedings, pp. 253-260, ISBN: 978-86-85535-16-1
6. **P. Stolić**, I. Radovanovic, Z. Stevic, Sustainability of Solutions Based on Renewable Sources of Electricity - ICT Approach, 11th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2023., Proceedings, pp. 261-268, ISBN: 978-86-85535-16-1
7. B. Ivankovic, Z. Lazarevic, I. Radovanovic, M. Stevic, **P. Stolić**, D. Ilic, Z. Stevic, Implementation of 200 kWp Solar Power Plant on a Flat Roof in Paraćin, 11th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2023., Proceedings, pp. 329-332, ISBN: 978-86-85535-16-1
8. **P. Stolić**, Z. Stević, Z. Stanimirović, I. Stanimirović, Implementation of anti-covid measures in the university educational process using the advantages of the thermal imaging approach, The XXIII International Scientific-Practical Conference Modern Information and Electronic Technologies, Odessa, Ukraine, 2022., Proceedings, pp. 34 - 37, ISBN: 2308-8060
9. **P. Stolić**, Z. Stević, S. Dimitrijević, Z. Stanimirović, I. Stanimirović, Data handling culture - a forgotten aspect of the integration of renewable electrical power sources, 10th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2022., Proceedings, pp. 173 - 180, ISBN: 978-86-85535-13-0
10. Z. Stević, **P. Stolić**, I. Radovanović, M. Stević, Z. Stanimirović, I. Stanimirović, Solar energetics - state and perspectives, 10th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2022., Proceedings, pp. 135 - 140, ISBN: 978-86-85535-13-0
11. **P. Stolić**, D. Milošević, Z. Stević, Introduction to non-contact temperature measurement procedures using the Python programming language, 9th International scientific conference Technics and Informatics in Education, Čačak, Serbia, 2022., Proceedings, pp. 153 - 158, ISBN: 978-86-7776-262-9
12. **P. Stolić**, D. Milošević, Z. Stević, Some aspects of the use of new electronic platforms in the implementation of the system for the application of renewable electricity sources, 7th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2019. , Proceedings, pp. 37-42, ISBN 978-86-81505-97-7
13. **P. Stolić**, D. Milošević, Alternative Software Solutions for Ensuring the Continuity of the Teaching Process in Emergency Situations, 8th International Scientific Conference Technics and Informatics in Education, Čačak, Serbia, 2020., Conference Proceedings, pp. 196-203, ISBN 978-86-7776-247-6

14. Z. Stević, M. Stević, I. Radovanović, **P. Stolić**, M. Radivojević, S. Petronić, PC and LabVIEW based voltage and current source for electrochemical investigations, XXII International Scientific-Practical Conference Modern Information and Electronic Technologies – MIET-2021, Odesa, Ukraine, 2021., Proceedings, pp. 46-49, ISSN 2308-8060
15. **P. Stolić**, Z. Stević, M. Stević, I. Radovanović, M. Radivojević, S. Petronić, Personal data protection: challenges of the COVID-19 pandemic, XXII International Scientific-Practical Conference Modern Information and Electronic Technologies - MIET-2021, Odesa, Ukraine, 2021., Proceedings, pp. 24-27, ISSN 2308-8060
16. **P. Stolić**, Z. Stević, A. Milosavljević, The use of modern traffic solutions in the field of renewable electrical power sources, 9th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2021., Proceedings, pp. 209-216, ISBN 978-86-85535-09-3
17. **P. Stolić**, J. Ivaz, D. Petrović, Z. Stević, Advantages of Mining Engineering Curriculum Realization Using Solutions Based on Free Software, The 52nd International October Conference on Mining and Metallurgy - IOC 2021, Bor, Serbia, 2021., Proceedings, pp. 221-224, ISBN 978-86-6305-119-5
18. **P. Stolić**, D. Milošević, Using web server log files for analysis and improvements related to study programs , 7th International Scientific Conference Technics and Informatics in Education, Čačak, Serbia, 2018. , Conference Proceedings, pp. 168-173, ISBN 978-86-7776-226-1
19. **P. Stolić**, D. Milošević, A. Milosavljević, E-learning and log analysis in introduction the new technologies and technological solutions, 50th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2018. , Proceedings, pp. 491-495, ISBN 978-86-7827-050-5
20. **P. Stolić**, A. Peulić, D. Tanikić, Software development for thermovision application in triage procedures of emergency conditions, XXVI International Conference “Ecological Truth and Environmental Research” - EcoTER '18, Bor Lake, Serbia, 2018. , Proceedings, pp. 379-384, ISBN 978-86-6305-076-1
21. **P. Stolić**, D. Milošević, Site administration and analysis – Do traditional statistics tell us everything?, 49th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2017. , Proceedings, pp. 456-459, ISBN 978-86-6305-066-2
22. **P. Stolić**, D. Milošević, Z. Stević, Use of data science in the renewable energy resources, 5th International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, 2017. , Proceedings, pp. 263-268, ISBN 978-86-81505-84-7
23. **P. Stolić**, D. Milošević, Improving of e-waste management using data science elements, XII International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor Lake, Serbia, 2017. , Proceedings, pp. 147-153, ISBN 978-86-6305-069-3
24. **P. Stolić**, A. Peulić, D. Tanikić, Thermovision application in triage procedures for emergency orthopedic conditions, XXV International Conference “Ecological Truth” -

- Eco-Ist '17, Vrnjačka Banja, Serbia, 2017. , Eco-Ist '17 Proceedings, pp. 621-627, ISBN 978-86-6305-062-4
25. **P. Stolić**, S. Stolić, A. Milosavljević, Some of text analytics applications in higher education institutions, 6th International Conference Technics and Informatics in Education, Čačak, Serbia, 2016. , Conference Proceedings, pp. 211-217, ISBN 978-86-7776-192-9
 26. **P. Stolić**, A. Milosavljević, S. Stolić, Conceptual design of virtual laboratory for river water flows pollution monitoring, XI International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, Serbia, 2016. , Conference Proceedings, pp. 215-220, ISBN 978-86-6305-051-8
 27. **P. Stolić**, B. Đorđević, Some considerations about development of future big data oriented file systems, 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016. , Conference Proceedings, pp. 335-338, ISBN 978-86-6305-047-1
 28. **P. Stolić**, S. Stolić, A. Milosavljević, M. Pantović, Monitoring and improvement energy efficiency of commercial vehicle fleet based on data driven approach, XXIV International Conference “Ecological Truth” - Eco-Ist '16, Vrnjačka Banja, Serbia, 2016. , Eco-Ist '16 Proceedings, pp. 526-532, ISBN 978-86-6305-043-3
 29. A. Milosavljević, **P. Stolić**, D. Milošević, Internet of labs as a new concept in prediction and validation of results in laboratory investigations, 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Borsko jezero, Bor, Serbia, 2015. , Conference Proceedings, pp. 485-488, ISBN 978-86-7827-047-5
 30. **P. Stolić**, B. Đorđević, M. Pantović, Reducing environmental impact of big data using server virtualization technology in data centers, XXIII International Conference “Ecological Truth” - Eco-Ist '15, Kopaonik, Serbia, 2015. , Eco-Ist '15 Proceedings, pp. 198-206, ISBN 978-86-6305-032-7

Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у целини - M61

1. Z. Stević, I. Radovanović, **P. Stolić**, M. Stević, Povećanje efikasnosti solarnih panela prinudnim hlađenjem, Savetovanje “Energetska efikasnost i obnovljivi izvori energije”, Požarevac, Srbija, 2023., Zbornik radova, pp. 23-27, ISBN: 978-86-905702-0-1
2. **P. Stolić**, Z. Stević, I. Radovanović, M. Stević, Dijagnostika solarnih sistema sa prinudnim hlađenjem, Savetovanje “Savremene metode tehničke dijagnostike”, Požarevac, Srbija, 2023., Zbornik radova, pp. 48-51, ISBN: 978-86-905702-1-8

Ново техничко решење у фази реализације - M85

1. Z. Stević, S. Dimitrijević, S. Dimitrijević, M. Stević, D. Milenković, **P. Stolić**, Razvoj invertora indukcione peći za kaljenje
- 5. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему**

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Развој самоадаптирајућих виртуелних машина у циљу побољшања исхода учења у хетерогеном рачунарском окружењу“, Комисија констатује да обим и циљеви истраживања одговарају по садржају теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. Квалитет спроведених истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за докторску дисертацију. Дисертација представља оригинални научни допринос у области примене онтолошког инжењерства, виртуелизације и машинског учења у савременом приступу реализацији наставних процеса у високошколском образовању.

6. Научни резултати докторске дисертације

Из истраживања спроведених током израде ове дисертације до сада је публикован један рад у истакнутом међународном часопису (M22), а у фази припреме су још два научна рађа. Теоријским и експериментално-истраживачким радом кандидат је дошао до следећих научних резултата:

- Установљена је постојаност изразито хетерогеног рачунарског окружења приликом реализације наставних процеса у високошколском образовању услед реализације дела процеса по принципима „учења од куће“ услед коришћења личних рачунарских ресурса студената приликом савладавања циљева наставе и остваривања исхода учења.
- Остварена је примена принципа онтолошког инжењерства у циљу бољег управљања софтверским ресурсима у домену високошколског образовања. Развијена онтологија аутоматизује процесе дистрибуције неопходног софтвера студентима и другим учесницима наставног процеса, инсталационих процеса на крајњем одредишту, као и других релевантних процеса везано за употребу различитих врсти софтвера у наставним активностима.
- Развијен је математички модел за прорачун меморијских параметара виртуелне машине заснован на подацима прикупљеним у реалном времену са физичког и виртуелног система и предиктивним вредностима изведених на основу тих података. Предикција се остварује помоћу машинског учења уз примену модела изузетно високе тачности.
- Осмишљено је и имплементирано такво софтверско решење које омогућава адаптирање виртуелних машина на променљиве услове окружења чиме се избегава под-димензионисаност и пре-димензионисаност система. Овим се, такође, постиже да примена виртуелне машине не утиче на стабилност физичког система на ком се врши имплементација уз постизање оптималних параметара рада саме виртуелне машине.

- Примена савремених концепата виртуелизације омогућавају даљу дигиталну трансформацију високошколског образовања. Аутоматизацијом процеса везаних за рад виртуелне машине на физичком систему остварена је минимизација интеракције са актерима образовног процеса чиме је створено такво дигитално окружење у коме се поменути актери могу фокусирати у потпуности на остварење дефинисаних циљева учења.

7. Применљивост резултата у теорији и пракси

Докторска дисертација Предрага Столића, под називом „Развој самоадаптирајућих виртуелних машина у циљу побољшања исхода учења у хетерогеном рачунарском окружењу“, даје веома значајне резултате који представљају нова сазнања у области примене онтолошког инжењерства, виртуелизације и машинског учења у савременом приступу реализацији наставних процеса у високошколском образовању.

Систем описан у докторској дисертацији развијен је за примену у реализацији наставних процеса који се остварују у домену високошколског образовања. Употребом виртуелне машине остварује се униформно окружење за спровођење наставних активности када оно подразумева учење код куће где се користе лични рачунарски ресурси који поседују велику међусобну разноликост. При томе, у систем су уграђени такви аутоматизовани процеси који смањују ниво потребне интеракције са учесницима образовног процеса (студенти, предавачи и други) у смислу предузимања потребних радњи за правилну имплементацију виртуелне машине и постимплементационих процеса у виду подешавања виртуелне машине на променљивост окружења, инсталације софтвера и сличног. Овим се омогућава боље постизање позитивних исхода учења будући да се свим учесницима образовног процеса омогућава боља фокусираност на спровођење и остваривање задатих наставних циљева јер се умањују бочне активности везане за често обимну администрацију самог система. Процес дигиталне трансформације високошколског образовања овим решењем се може адекватније спровести јер се применом развијеног решења омогућава постизање високог степена адаптивности на променљивост окружења и на услове које диктира присутност изразито хетерогеног рачунарског окружења у коме ће се спровести сам наставни процес. Као што се из претходног види постоји одрживост примењеног решења у дигиталном екосистему високошколског образовања.

Решење примарно таргетира примену у домену високошколског образовања, али своју применљивост може остварити и у другим сферама образовања, основног, средњешколског, али на пример и у процесима образовања радника, стручним курсевима и сличним образовним активностима. Додатни потенцијал овог решења може се остварити повезивањем истог са већ присутним системима који се користе у процесима учења, на пример кроз синергију решења са постојећим LMS.

Применљивост се може остварити и ван образовног домена, практично у свим областима где се у раду могу искористити виртуелне машине за остваривање задатих

циљева, јер решење у потпуности третира узрочно-последичне везе које се јављају између физичког хардвера и виртуелог хардвера који се на њему извршава. Решење може бити примењиво и у серверском домену, будући да су се до сада углавном разматрале само узрочно-последичне везе међу самим виртуелним машинама, док се сада покрива и аспект међусобног дејства које виртуелне машине имају на физички хардвер и обратно.

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Као непосредни резултат рада на овој докторској дисертацији кандидат је публикувао рад у међународном научном часопису *Electronics* категорије M22 (<https://doi.org/10.3390/electronics12143057>). Тренутно су у фази припреме још два научна рада из докторске дисертације.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Предрага Столића, дипл. инж. индустријске информатике, под називом „РАЗВОЈ САМОАДАПТИРАЈУЋИХ ВИРТУЕЛНИХ МАШИНА У ЦИЉУ ПОБОЉШАЊА ИСХОДА УЧЕЊА У ХЕТЕРОГЕНОМ РАЧУНАРСКОМ ОКРУЖЕЊУ“ је у сагласности са прихваћеном темом од стране Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

Кандидат је успешно извршио реализацију одговарајућих софтверских и хардверских механизма који проширују могућности виртуелне машине и додају јој самоадаптирајућа својства. На тај начин виртуелна машина се може успешно адаптирати на променљивост услова окружења чиме се остварује њена применљивост у изразито хетерогеном рачунарском окружењу присутном у условима када се извођење наставног процеса реализује по принципима учења код куће делом или у целисти. Самоадаптирајућа виртуелна машина у софтверском смислу реализована је употребом принципа онтолошког инжењерства. Хардверска самоадаптивност остварује се на основу идентификованих узрочно-последичних веза и коришћењем одговарајућег развијеног математичког модела који користи податке прикупљене у реалном времену над којим се врше одговарајуће предикције у циљу успостављања самоадаптивности. Самоадаптирајућа виртуелна машина развијена је коришћењем мултиплатформског принципа, односно њена имплементација се може извршити у оквиру већине оперативних система који су данас у употреби – Windows, Linux, macOS. Представљено решење у домену високошколског образовања омогућава боље фокусирање различитих учесника у образовном процесу (студената, наставног особља и осталих) на остварење дефинисаних наставних активности. У складу са тим остварује се боље постизање дефинисаних исхода учења чиме се значајно унапређују наставни процеси у високошколском образовању. Наведено решење доприноси остваривању нових могућности у оквиру дигиталне трансформације високошколског образовања и у уклапа се у савремене токове који подразумевају све већу присутност информационо-комуникационих технологија у различитим аспектима наставних процеса.

На основу претходно наведених чињеница, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Предрага Столића предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да докторску дисертацију под називом

**„РАЗВОЈ САМОАДАПТИРАЈУЋИХ ВИРТУЕЛНИХ МАШИНА
У ЦИЉУ ПОБОЉШАЊА ИСХОДА УЧЕЊА
У ХЕТЕРОГЕНОМ РАЧУНАРСКОМ ОКРУЖЕЊУ“**

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

У Чачку и Београду, децембра 2023. године.

КОМИСИЈА

1. Марија Благојевић
др Марија Благојевић, ванредни професор, председник
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
ужа научна област Информационе технологије и системи
2. Јелица Протић
др Јелица Протић, редовни професор, члан
Електротехнички факултет у Београду, Универзитет у Београду
ужа научна област Рачунарска техника и информатика
3. М. Милошевић
др Марјан Милошевић, ванредни професор, члан
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
ужа научна област Информационе технологије и системи