

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 3286/3
ДАТУМ: 26.12.2014.

На основу захтева др Момчило Милиновић, редовног професора Машинског факултета Универзитета у Београду, бр. 3286/1 од 24.12.2014. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 25.12.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење (М82) под насловом: „ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ“, чији су аутори: мр Мирко Јездимировић, Војнотехнички институт у Београду, проф. др Момчило Милиновић, проф. др Драгољуб Вујић, Војнотехнички институт у Београду, проф. др Оливера Јеремић, мр Милош Павић Војнотехнички институт у Београду и асист. Милош Марковић.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



„ Д Е К А Н
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Милорад Милованчевић

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 3286/2 од 25.12.2014. године именовани смо за рецензенте нове методе под називом „**ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ**” аутора:

мр Мирка Јездимировића, дипл.инж. из Војнотехничког института у Београду,
проф. др Момчила Милиновића, са Машинског факултета Универзитета у Београду,
проф. др Драгољуба Вујића, из Војнотехничког института у Београду,
ван. проф. др Оливере Јеремић са Машинског факултета Универзитета у Београду,
мр Милоша Павића, дипл.инж., из Војнотехничког института у Београду,
асистента Милоша Марковића, М.Сс., са Машинског факултета Универзитета у Београду

На основу предлога и након анализе приложене документације подносимо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „**ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ**” представљено је на 13 страница А4 формата, коришћењем *Times New Roman* фонта величине 11 pt, једноструког проредка. Опис решења садржи двадесеттри једначине и седам слика приказа резултата примене техничког решења представљених у следећих седам тематских целина.

1. Област на коју се техничко решење односи
2. Технички проблем,
3. Постојеће стање,
4. Суштина техничког решења,
5. Детаљан опис техничког решења,
6. Приказ резултата примене,
7. Закључак.



Техничко решење под називом: **ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ** - припада области Машинства односно подгрупи роботизованих специјалних подвоза познатих као беспосадне копнене платформе. Ово изведено техничко решење представља нови оригинални метод, први пут примењен у нашој техничко-технолошкој пракси, а намењено је развоју нових концепата примене беспосадних копнених платформи у будућим технолошко-организационим системима војне и цивилне, посебно, безбедносне и заштитне намене.

Основа примена методе је функционалном моделу (ФМ) модуларне беспосадне платформе смештене на гусеничном возилу средњих димензија. Пратећи систем који се састоји од одговарајуће специјалне опреме за функционалну надградњу диктирао је захтеве и начин управљања системом базираном на мрежној технологији, управљање преко Internet Protocol-а (IP) и уграђених видео камера. Тиме је обезбеђена жељена универзалност примене и модуларност надградње система. Овакав приступ обезбедио је да се поменути функционални модели система копнених платформи без посаде користе групно за један организовани задатак. Модел је познат у свету и на другим примерима, посебно војне намене као на пример концепт ОТОТ (On Time On Target), где се захтева истовремено извршење задатака више борбено-техничких учесника у истом тренутку времена на задату тачку или област у простору. Такав задатак захтевао је посебан математичко-механички модел појединачне и интегрисане групе

навигације са изохроним резултатом кретања, примењен на начин програмског формирања трајекторија и извршење кретања, усаглашен са карактеристикама простора и времена. То је предмет ове техничке иновације и примењеног решења изнесеног у општем у првом а детаљније кроз остала поглавља.

У другом и трећем поглављу обрађен је технички проблем који се решава применом овог техничког решења. Указано је на проблеме постојећих техничких решења на различитим беспосадним системима и роботизованим уређајима војне намене надграђених различитим уређајима и алатима за извршење задатака управљаних на даљину.

Четврто поглавље даје суштину техничког решења и објашњава које су и какве перформансе беспосадне платформе неопходне да би успешно биле доведене истовремено у зону покретног објекта применом поступка праћења. Ово је посебно значајно са аспекта механичко-математичког модела синхронизованог вођења и управљања по шеми групне кординације примењене методе пропорционалне навигације.

Упетом поглављу поред детаљног описа математичког и механичког модела синхронизоване навигације по поступку пропорционалне навигације више платформи као основе овог техничког решења описан је и изведен технички систем који користи наведену методу. Систем на коме је примењена метода је просторно распоређен и састоји се од: беспосадне копнене платформе контролно-управљачког пулта самог гусеничног возила-подвоза са независним системом ослањања, уређај за покретање и управљање подвозом и уграђених модула (надграђеним системом намењеном борбеној примени и IP камере са подсистемом за њихово покретање по правцу и елевацији). Уграђени модули имају независне подсистеме за напајање енергијом, извршне елементе и њихове контролно управљачке уређаје (драјвове и контролер). Свака беспосадна платформа има комуникациони модул (бежични рутер) који служи да повеже контролно управљачке уређаје на самој платформи са контролно-управљачким пултом. Контролно-управљачки пулт се састоји од комуникационог модула (бежични рутер), управљачке конзоле за ручно управљање и контролу, управљачког рачунара (у виду лаптоп РС рачунара) са софтверским апликацијама за аутоматску контролу и управљање како беспосадне платформе тако и уграђених модула. За даљинску контролу и управљање сваке беспосадне платформе са уграђеним модулима користи се Ethernet/IP управљање. То обезбеђује да се за пренос података и контролу преко рутера користи Интернет протокол. Иницијално, свака беспосадна платформа са системом за управљање и контролу кретања подвозом, као и сви уграђени модули имају дефинисане јединствене IP адресе. Формира се локална Интранет рачунарска мрежа типа клијент-сервер коју сачињавају све беспосадне платформе са уграђеним модулима (типа клијент) и контролно-управљачког пулта (типа сервер).

У шестом поглављу описана су лабораторијска испитивањима, од 2009. до 2012, 2013 и 2014 базирана на претходно изведеним симулацијама. У току 2014 године, детаљно су верификовани у тесту хардвер и софтвер који су се показали као поуздани за демонстрације примене ове методе о чему је приложен и филм са експерименталног испитивања и 2-Д симулацијом. Систем платформе који корист ову методу представљен је на домаћим и иностраним сајмовима и изложбама наоружања и војне опреме. Публиковано је више радова на домаћим и међународним научно-стручним скуповима и часописима а усвојен је за употребу мишљењем војнотехничког института датом у овом прилогу.

У седмом поглављу уместо закључка дат је начин и могућност будуће примене техничког решења кроз истраживачке и развојне задатке на више израђених функционалних модела.

Посебно је важно истаћи да, с обзиром на општу теоријску поставку и могуће коришћење овакве навигационе методе централизоване за више платформи, ово техничко решење може бити примењено на читав спектар техничких дисциплина, као што су: грађевинарство, прецизно инжењерство, геотехника и остале стручно-техничке дисциплине али такође и у пословима цивилне заштите елементарних и технолошких

катастрофа и тако даље. Сви ови задатци и области углавном се сусрећу са потребом искључења људског фактора из зоне непосредне опасности слично као у директним борбеним дејствима. Аутономно роботизовано даљинско управљање платформом и њеним извршним надграђеним алатима са захтевом за контролисано симултано довођење у зону извршења задатка обезбеђују се универзално оваквим методолошким изведеним и примењеним решењем. У том смислу а након анализе предлога техничког решења и остварених резултата, дајемо следеће

М И Ш Љ Е Њ Е

Аутори техничког решења „ **ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ** ” су на јасан начин описали основне иновирани теоријске концепте директно везане за област аутономне навигације једне или групе роботизованих платформи на просторни објекат. Демонстрирали су прототипску употребу софтвера и хардвера на бази нове методе на прототипском решењу прилагођеном за експерименталне верификационе тестове са борбеном надградњом за војне намене. Примена оваког техничког решења омогућава употребу једне или више роботизованих беспосадних платформи надграђених уређајима за војне и цивилне сврхе са задатом прецизношћу довођења у зону објекта. Резултати остварени применом техничког решења указују да постоји јасан допринос у синтези и реализацији нових дуалних војно- цивилних технологија, као и њихове шире примене. Ово се односи на специјалне и опште задатке са прецизним просторним захтевима где није безбедан приступ људи. Ово решење представља резултате разраде дуалне технологије војно-цивилне намене, и може се сврстати у категорију доприноса М82, као изведен и развојно усвојен прототипски поступак, експериментално проверен на прототипском решењу војног возила са надграђеном опремом за прецизна и синхронизована деловања. На основу увида у предлог техничког решења као и пратеће документације као и остварених резултата предлажемо Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да се техничко решење под називом „ **ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ** ” прихвати као ново техничко-развојно решење у поменутој категорији.

У Београду, 26.12.2014.



Проф. др Војкан Лучанин
Универзитет у Београду-Машински факултет



Проф. др Срђан Бошњак
Универзитет у Београду-Машински факултет



РЕПУБЛИКА СРБИЈА
МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
ВОЈНОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ

инт. бр. 01/ 2978-1

године

БЕОГРАД

23 DEC 2014

ЧУВАТИ ДО КРАЈА 2019. ГОДИНЕ
Функција 32 / Редни број 31,
Обрађивач: ВС Д. Вујић mirko
Датум: 23.12.2014. године

ОДБРАНА
СЛУЖБЕНА ТАЈНА
ИНТЕРНО

ИЗЈАВА КОРИСНИКА О ТЕХНИЧКОМ РЕШЕЊУ

„ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И
НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ”

АУТОРА:

мр Мирка Јездимировића, дипл.инж. из Војнотехничког института у Београду,
проф. др Момчила Милиновића, са Машинског факултета Универзитета у Београду,
проф. др Драгољуба Вујића, из Војнотехничког института у Београду,
ван. проф. др Оливере Јеремић са Машинског факултета Универзитета у Београду,
мр Милоша Павића, дипл.инж., из Војнотехничког института у Београду,
асистента Милоша Марковића, М.Сс., са Машинског факултета Универзитета у
Београду

У оквиру истраживања која су обављена на истраживачком задатку *Војна роботика* као и на пројекту ИИИ47029 у коме су учествовали сарадници са Војнотехничког института, Машинског факултета, и Војне Академије, разрађена је посебна метода која је тестирана на више функционалних модела беспосадних копнених платформи средњих димензија гусеничара и точкаша за различите намене.

Учесници истраживања су у више наврата демонстрирали резултате истраживања која су се односила на даљинско управљање и контролу као и могућности израђених функционалних модела. Том приликом је први пут у нашој техничко-технолошкој пракси на једном систему војне намене демонстрирано коришћење Ethernet/IP управљања и његове бежичне (wireless) трансформације као савременог, једноставног и моћног метода управљања и тиме је наметнута његова шира примена у евентуалним будућим војним и цивилним системима. Такође је демонстрирана софтверска метода за

навигацију и управљање беспосадном гусеничном платформом као посебним доприносом даљој разради могуће тактичке примене оваквих војноопремљених возила. Ради реализације поменутих тактичких примена ова метода искоришћена је као добра основа за апликације које омогућавају довођење беспосадних платформи у жељену зону деловања, применом управо пропорционалног закона вођења возила по 2Д терену. На тај начин побољшан је постојећи функционални модел реализованог возила тако што је сигнал са управљачке палице који је коришћен за контролу и навођење беспосадне платформе замењен генерисањем сигнала за контролу и управљање платформе применом софтвера са методом пропорционалне навигације са централизованим вођењем.

Поред тога развијен је и демонстриран симулациони модел вођења беспосадних платформи на покретан циљ применом пропорционалног закона вођења по тактици Swarming где се захтева истовремено извршење задатака више техничких учесника у истом тренутку времена на задату тачку или област у простору.

Изложена метода омогућава навигацију беспосадних платформи у дводимензионалном (2D) простору што значи по равном терену (земљи или води). Модификацијом ове методе може се остварити навигација беспосадних платформи и у тродимензионалном (3D) простору.

Техничко решење под називом „ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ” представља нови оригинални метод, први пут примењен на побољшању карактеристика функционалног модела беспосадног гусеничног возила средњих димензија, а намењено је развоју нових концепата примене беспосадних копнених платформи у будућим технолошко-организационим системима како војне тако и цивилне намене.

ДВ

Умножено у 6 примерака
и достављено:

- Ауторима техничког решења,
- Архиви

ДИРЕКТОР

ПУКОВНИК

док. др Зоран Рајић, дипл.инж.



ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ

САДРЖАЈ:

1. ОБЛАСТ ТЕХНИКЕ	1
2. ТЕХНИЧКИ ПРОБЛЕМ	1
3. СТАЊЕ ТЕХНИКЕ	2
4. ИЗЛАГАЊЕ СУШТИНЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА.....	3
5. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА	4
5.1 Математички модел методе пропорционалне навигације.....	4
5.2 Техничка реализација методе пропорционалне навигације.....	8
6. КАКО ЈЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ РЕАЛИЗОВАНО И ГДЕ СЕ ПРИМЕЊУЈЕ.....	11
7. НАЧИН И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА	11

1. ОБЛАСТ ТЕХНИКЕ

Техничко решење под називом: ПРИМЕНА МЕТОДЕ ПРОПОРЦИОНАЛНЕ НАВИГАЦИЈЕ НА УПРАВЉАЊЕ И НАВОЂЕЊЕ БЕСПОСАДНЕ КОПНЕНЕ ПЛАТФОРМЕ - припада области Машинства односно подгрупи роботизованих специјалних подвоза познатих као беспосадне копнене платформе. Ово техничко решење представља нови оригинални метод, први пут примењен у нашој техничко-технолошкој пракси, а намењено је развоју нових концепата примене беспосадних копнених платформи у будућим технолошко-организационим системима војне и цивилне намене. Основа примене методе је функционални модел (ФМ) модуларне беспосадне платформе на гусеничном возилу средњих димензија. Пратећи систем који се састоји од одговарајуће опреме за функционалну надградњу диктира захтеве и начин управљања системом базираном на мрежној технологији, управљање преко Internet Protocola (IP). Тиме се обезбеђује жељена универзалност примене и модуларност надградње система.

2. ТЕХНИЧКИ ПРОБЛЕМ

Тренд смањења потребног људства као и дигитализације простора за извршење функционалних задатака добија нову димензију сведену на аутоматизацију и роботизацију жељених функција деловањем на даљину. Тенденција је да се човек замени у опасним ситуацијама извршења задатака који су везани за непосредну животну опасност а да се потребне активности препусте аутоматизованим односно роботизованим покретним платформама (возилима) којима би се руковало са неког безбедног контролног места. Овакав приступ обезбеђује да се поменути функционални

модел система беспосадних платформи користе групно за један организовани задатак. То намеће потребу да се њихове активности синхронизују у времену и простору како у фази припреме тако и у току приступа задатку. Ово је посебно важно са аспекта координације кретања и функција надграђене специјалне опреме за различите цивилне а нарочито војне намене. Дакле, беспосадна платформа и њена надграђена опрема захтевају пуну временску и просторну синхронизацију управљања на заједничким задацима организованим у форми групног извршења. Модел је познат у свету и на другим примерима, посебно војне намене као на пример концепт ОТОТ (on time on target), где се захтева истовремено извршење задатака више техничких учесника у истом тренутку времена на задату тачку или област у простору. Такав задатак захтева посебан математичко-механички модел примењен на начин програмског кретања усаглашен са карактеристикама простора и времена, што је предмет ове техничке иновације и примењеног решења.

3. СТАЊЕ ТЕХНИКЕ

У свету су познати различити беспосадни системи и роботизовани уређаји надграђени различитим уређајима и алатима за извршење задатака управљаних на даљину. Њихово заједничко име је роботизоване платформе. Роботизоване платформе се у правом смислу речи сматрају уређаји који могу да обављају функције кретања а поседују одговарајући степен аутономије и вештачке интелигенције за извршавање различитих задатака.

По својој маси овакве платформе могу бити: микро, мини, мале, средње и велике. У категорију средњих беспосадних платформи убрајају се платформе укупне масе од 250 до 500 килограма. Подвози оваквих платформи крећу се око 250 килограма и имају носивост до 200 килограма. На овакав подвоз могу се интегрисати различити модуларни уређаји цивилне и војне намене и тако формирати беспосадне платформе за различите сврхе.

Најчешће уграђени степен вештачке интелигенције и аутоматизације је такав да систем није потпуно аутономан, већ се даљински управља-контролише од стране оператера користећи конзолу за даљинско управљање беспосадне платформе и усмеравање уграђених модуларних уређаја. За специјалне задатке обично се захтева њихово вођење по задатој путањи или самонавођење.

Развој беспосадних платформи карактеристичан је за земље са високо развијеним технологијама и значајним буџетом. Развој информационе технологије и њена све већа

масовна примена омогућила је да се беспосадном технологијом на одређеном нивоу могу бавити и мање буџетиране земље и појединци, дајући акценат на јефтиној и доступној технологији уз напредак у развоју софтверских апликација којима се знатно унапрђују њихове перформансе и повећава њихов степен самосталности у извршењу специјалних цивилних и војних задатака. Као пример сложене беспосадне платформи са модуларном надградњом може се навести специјални оружни систем SWORDS (Special Weapons Observation Reconnaissance Detection System) развијен за америчку војску. Његова главна намена је извршење задатака извиђања, осматрања и детекција циљева. За те сврхе надграђен је модулима који садрже телевизијску камеру, термовизијску камеру, ласерски даљиномер, осматрачки радар и друге сензорске системе.

4. ИЗЛАГАЊЕ СУШТИНЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Суштина овог техничког решења је примена методе којом се више беспосадних платформи доводи истовремено у зону покретног објекта применом поступка праћења објекта и поступка навођења платформи. Ове две процедуре спрегнуте су такозваном методом пропорционалне навигације која повезују навођење сваке од платформи са истим покретним објектом. На тај начин се реализује групно извршење задатка дејством на објекат истовременим приступом више беспосадних платформи.

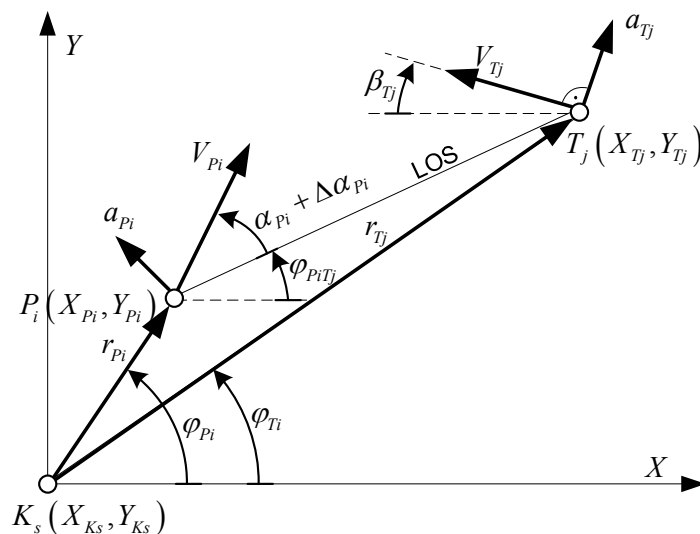
Метода је примењена и демонстрирана на управљању и навођењу беспосадне копнене платформе реализоване у форми гусеничног возила средње масе са надграђеним системом намењеном борбеној примени. Системом који користи метод пропорционалне навигације се управља бежично са једног контролно-управљачког места. Са истог места могуће је управљати са више беспосадних платформи управо због једноставности методе пропорционалне навигације примењене на сваку од беспосадних платформи које се кординирају у времену.

Такво централно контролно-управљачко место поседује уређаје за аквизицију, прикупљање и обраду података о покретном објекту и свакој од беспосадних платформи у току задатака групног деловања. Захваљујући оваквој способности централно контролно-управљачко место има могућност да генерише и проследи управљачке податке као резултат прорачуна по методи пропорционалне навигације ка свакој од беспосадних платформама у складу са њеним релативним текућим положајем у односу на објекат и на тај начин обезбеди поступно навођење групе беспосадних платформи на исти објекат у истом коначном тренутку времена.

Број и врста уређаја-сензора за прикупљање података о стању објекта и беспосадних платформи зависи од сложености и намене платформе а најчешће се користе: радар за одређивање поларних координата беспосаде платформе и објекта, ТВ камере, термовизијске камере, ласерски мерачи даљине, уређаји за навигацију и оријентацију (инерцијални-ИНС или систем за глобално позиционирање-ГПС, као и њихова комбинација). Сензори положаја, угаоне брзине и убрзања, звукометријски сензори, сензори за мерење температуре и притиска, сензори за детекцију хемијског и радиоактивног зрачења и други могу се налазити на самој управљачкој платформи и давати додатне податке од интереса за управљачко место али не утичу на методу пропорционалне навигације на теренима на којима није изражена висинска разлика објекта и платформе. Метода се дакле реализује у приближно дводимензионалном простору на терену чија проходност одговара стабилном кретању беспосадних платформи.

5. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

5.1 Математчки модел методе пропорционалне навигације



Слика 1. Геометријски односи положаја платформи и објекта у хоризонталној равни за i -ту платформу и j -ти објекат

Пропорционални закон вођења примењен на модуларно беспосадно копнено возило приказан је на слици 1. На слици 1 је и x и y координатном систему са почетком који се налази на контролно-управљачком месту (K_s) представљен општи случај где се виде основне геометријске релације између i -те беспосадне платформе j -тог објекта. Ознака P се односи на платформу (беспосадну платформу) док се ознаке T односе на објекат.

Контролно-управљачко место K_s , има могућност да одреди растојање до тачке T_j у облику интензитета вектора растојања j -тог објекта $(|\vec{r}_{Tj}|, \forall j \in (1, m))$, као и угла визирања $(\varphi_{Tj}, \forall j \in (1, m))$ који тај вектор заклапа са x осом. Контролно-управљачко место такође одређује у поларним координатама $((|\vec{r}_{Pi}|, \forall i \in (1, n)), \varphi_{Pi}, \forall i \in (1, n))$ релативни положај платформи у односу на x осу. При чему је n укупан број беспосадних платформи а m број објеката (у овом математичком моделу $m=1$). Такође, контролно-управљачко место шаље управљачке команде ка свакој беспосадној платформи које одговарају скаларним пројекцијама вектора убрзања на x и y осе сваке беспосадне платформе према пропорционалном закону вођења дефинисано следећим изразом:

$$\vec{a}_{PiTj} = N |\dot{\vec{r}}_{PiTj}| \dot{\varphi}_{PiTj}, \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (1)$$

где је

N - навигациона константа, бездимензиони коефицијент (обично 3 ...5).

Пошто су брзина беспосадне борбене платформе V_{Pi} , и брзина објекта V_{Tj} , као и углови α_{Pi} и β_{Tj} познати прорачунати из прикупљених података о релативном положају објекта и беспосадних платформи, то је за решење једначине (1) потребно одредити $|\dot{\vec{r}}_{PiTj}|$ и $\dot{\varphi}_{PiTj}$.

На основу геометријских односа датих на слици 1 софтвер решава користећи методу пропорционалне навигације следеће:

- Релативне брзине линије визирања (релативна брзина приближавања платформи и објекта) у облику:

$$\dot{r}_{PiTj} = \frac{(x_{PiTj} \dot{r}_{x, PiTj} + y_{PiTj} \dot{r}_{y, PiTj})}{r_{PiTj}}, \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (2)$$

- Угаоне брзине линија визирања у облику:

$$\dot{\varphi}_{PiTj} = \frac{x_{PiTj} \dot{r}_{y, PiTj} - y_{PiTj} \dot{r}_{x, PiTj}}{r_{PiTj}^2}, \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (3)$$

- Вектори положаја i -те беспосадне платформе су познати мерењем са контролно-управљачког места на коме је усвојени xy координатни систем и прорачунате његове пројекције у облику:

$$\vec{r}_{Pi} = (x_{Pi}, y_{Pi}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (4a)$$

$$x_{Pi} = |\vec{r}_{Pi}| \cos(\varphi_{Pi}), \text{ за } \forall i \in (1, n) \quad (4b)$$

$$y_{P_i} = |\vec{r}_{P_i}| \sin(\varphi_{P_i}), \text{ за } \forall i \in (1, n) \quad (4c)$$

- Ако постоји више (m) објеката, са контролно-управљачког места се бира један j -ти објекат и тада вектор полижаја j -тог објекат у односу на контролно-управљачко место са својим пројекцијама на x и y осу гласи:

$$\vec{r}_{T_j} = (x_{T_j}, y_{T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (5a)$$

$$x_{T_j} = |\vec{r}_{T_j}| \cos(\varphi_{T_j}), \text{ за } \forall j \in (1, m) \quad (5b)$$

$$y_{T_j} = |\vec{r}_{T_j}| \sin(\varphi_{T_j}), \text{ за } \forall j \in (1, m). \quad (5c)$$

- Вектор релативног растојања i -те беспосадне платформе и j -тог објекта са својим пројекцијама на x и y осу гласи:

$$\vec{r}_{P_i T_j} = (x_{P_i T_j}, y_{P_i T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (6a)$$

$$x_{P_i T_j} = |\vec{r}_{P_i T_j}| \cos(\varphi_{P_i T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (6b)$$

$$y_{P_i T_j} = |\vec{r}_{P_i T_j}| \sin(\varphi_{P_i T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m). \quad (6c)$$

- Релативно растојања i -те беспосадне платформе и j -тог објекта са својим пројекцијама на x и y осу гласи:

$$r_{P_i T_j} = \sqrt{x_{P_i T_j}^2 + y_{P_i T_j}^2}, \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (7a)$$

$$x_{P_i T_j} = x_{T_j} - x_{P_i}, \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (7b)$$

$$y_{P_i T_j} = y_{T_j} - y_{P_i}, \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m). \quad (7c)$$

- Вектор релативне брзине приближавања i -те беспосадне платформе и j -тог објекта са својим пројекцијама на x и y осу гласи:

$$\dot{\vec{r}}_{P_i T_j} = (\dot{r}_{x, P_i T_j}, \dot{r}_{y, P_i T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (8a)$$

$$\dot{r}_{x, P_i T_j} = |\dot{\vec{r}}_{P_i T_j}| \cos(\varphi_{P_i T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m) \quad (8b)$$

$$\dot{r}_{y, P_i T_j} = |\dot{\vec{r}}_{P_i T_j}| \sin(\varphi_{P_i T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m). \quad (8c)$$

- Вектор убрзања i -те беспосадне платформе за j -ти објекат са својим пројекцијама на x и y осу гласи:

$$\vec{a}_{P_i T_j} = (a_{x, P_i T_j}, a_{y, P_i T_j}), \text{ за } \forall i \in (1, n), \forall j \in (1, m). \quad (9)$$

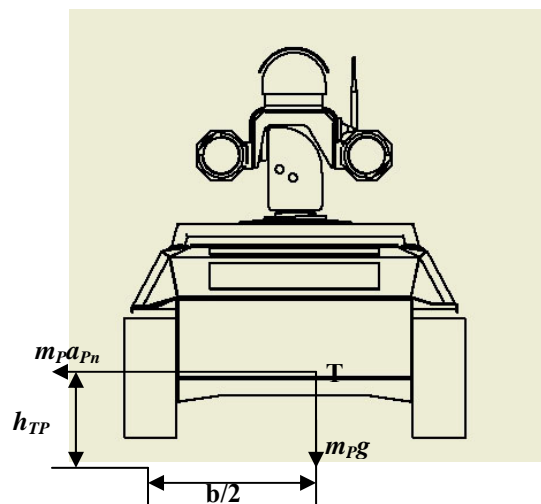
Израз (1) може се у простору стања написати као

$$\mathbf{a}_{PT} = \mathbf{N} \dot{\mathbf{R}}_{PT} \dot{\boldsymbol{\varphi}}_{PT} \quad (10)$$

где је за $\forall i \in (1, n), j = 1$ за изабране беспосадне платформе изабрани објекат:

$$\mathbf{a}_{PT} = \begin{bmatrix} a_{P1} \\ a_{P2} \\ a_{P3} \\ \vdots \\ a_{Pi} \\ \vdots \\ a_{Pn} \end{bmatrix}, \dot{\mathbf{R}}_{PT} = \begin{bmatrix} \dot{r}_{P1T1} \\ \dot{r}_{P2T1} \\ \dot{r}_{P3T1} \\ \vdots \\ \dot{r}_{PiT1} \\ \vdots \\ \dot{r}_{PnT1} \end{bmatrix}, \dot{\boldsymbol{\phi}}_{PT} = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_{P1T1} \\ \dot{\phi}_{P2T1} \\ \dot{\phi}_{P3T1} \\ \vdots \\ \dot{\phi}_{PiT1} \\ \vdots \\ \dot{\phi}_{PnT1} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Изразом (11) се одређују убрзања сваке беспосадне платформе на изабрани објекат. Жељена команда убрзања платформе \mathbf{a}_{PT} која се добија из пропорционалног закона вођења је управна на линију визирања ($\overline{P_i T_j}$), слика 1 представља командни улаз у блок аутоматског управљања беспосадних платформи и мора бити мањи од интензитета вектора убрзања беспосадне платформе одређеног условом стабилности (12) слика 2.



Слика 2. Дејство сила на беспосадну платформу

$$m_p a_{Pn} h_{TP} \leq m_p g \left(\frac{b}{2}\right) \quad (12)$$

Односно,

$$a_{Pn} \leq g \left(\frac{b}{2h_{TP}}\right) \quad (13)$$

где су:

m_p - маса платформе [kg],

a_{Pn} - интензитет убрзања беспосадне платформе нормално на уздужну осу [m/s^2],

g - убрзање земљине теже [m/s^2],

h_{TP} - висина тежишта беспосадне платформе [m] и

$\frac{b}{2}$ - половина растојања (ширине) ослањања беспосадне платформе [m].

5.2 Техничка реализација методе пропорционалне навигације

Систем који користи наведену методу се састоји од: беспосадне копнене платформе (слика 3) и контролно-управљачког пулта (слика 4). Беспосадну копнену платформу чине: гусенично возило-подвоз са погонским точковима на предњој страни возила и независним системом ослањања, уређај за покретање и управљање подвозом и уграђени модули (надграђеним системом намењеном борбеној примени и IP камере са подсистемом за њихово покретање по правцу и елевацији). Уређај за покретање и управљање подвоза се састоји од: извршних елемената (мотора са редукторима за покретање гусеница, леви и десни), уређаја за управљање и контролу мотора за покретање (драјвова и контролера) и подсистема за напајање енергијом са инсталацијом. Уграђени модули имају независне подсистеме за напајање енергијом, извршне елементе и њихове контролно управљачке уређаје (драјвова и контролер). Свака беспосадна платформа има комуникациони модул (бежични рутер) који служи да повеже контролно управљачке уређаје на самој платформи са контролно-управљачким пултом. Контролно-управљачки пулт се састоји од комуникационог модула (бежични рутер), управљачке конзоле за ручно управљање и контролу, управљачког рачунара (у виду лаптоп РС рачунара) са софтверским апликацијама за аутоматску контролу и управљање како беспосадне платформе тако и уграђених модула. За даљинску контролу и управљање сваке беспосадне платформе са уграђеним модулима користи се Ethernet/IP управљање (слика 5), што значи да се за пренос података и контролу преко рутера користи Интернет протокол. Иницијално свака беспосадна платформа са системом за управљање и контролу кретања подвозом, као и сви уграђени модули имају дефинисане јединствене IP адресе. Формира се локална Интранет рачунарска мрежа типа клијент-сервер коју сачињавају све беспосадне платформе са уграђеним модулима (типа клијент) и контролно-управљачког пулта (типа сервер). Бежична комуникација је заснована на IEEE 802.11b/g/n протоколу на фреквенцијама 2.4 GHz или 5 GHz.

Основне техничке карактеристике модуларног беспосадног гусеничног возила средње масе које је послужило као објекат за примену пропорционалног закона вођења су: брзина возила је 0-5 km/h (напред и назад, савлађивање уздужног нагиба до 30°, радијус заокрета у месту, укупна маса система до 250 kg, радна аутономија до 4 h, дужина је 1725 mm, ширина до 770 mm, висина 475 mm, покретање уграђених модула (надграђеним системом намењеном борбеној примени и IP камере са подсистемом за

њихово покретање по правцу и елевацији) по правцу $6^\circ/s$, опсег подесив од $0-350^\circ$, по елевацији $3^\circ/s$, опсег подесив од -20° до 50° .

Системом се управља даљински жично или бежично са удаљеног контролно-управљачког места. Удаљеност контролно-управљачког места зависи од начина повезивања, топологије мреже и уграђене комуникационе опреме. Креће се од 500 до 1000 m а може бити и знатно веће комбинацијом жичне и бежичне везе. Контролно-управљачки пулт (Слика 4) се састоји од управљачке конзоле са комуникационим модулима и лаптоп рачунара који служи за контролу платформе и уграђених модула (IP камере са подсистемом за њено покретање по правцу и елевацији).

Ручно управљање платформом се врши са командне конзоле која има алфанумерички екран, који приказује тренутни статус и функције док се слика са уграђеног модула (IP камере) приказује у прозору апликације староване на РС управљачком рачунару. Аутоматско навођење платформе применом методе пропорционалне навигације се врши путем стартоване софтверске апликације на РС управљачком рачунару. Додиром на командну палицу аутоматско кретање престаје и враћа се контрола на палицу.

Софтверска апликација за контролу и управљање уграђеним модулом (IP камере) омогућава бирање начина рада IP камере (вожња-осматрање-зумирање). Камера има претходно дефинисане модове зумова за осматрање и нишањење на 100, 200 или 300 метара. Простим избором са менија, камера се аутоматски поставља у тражени мод.

Софтверска апликација за аутоматску контролу и навођење подвоза беспосадне платформе применом методе пропорционалне навигације има могућности: избора беспосадних платформи и објекта, уноса почетних координата беспосадних платформи и објекта, унос константних вредности брзине, убрзања и оријентације беспосадних платформи и објекта, односно њиховог прорачуна на основу улазних података добијених са сензора (радара) о тренутном положају платформи и објекта у току времена, прорачун и слање управљачких команди за сваку платформу, резултате прорачуна записује у датотеку коју у симулационом пакету може приказати на дисплеју РС управљачког рачунара слике 6 и 7.

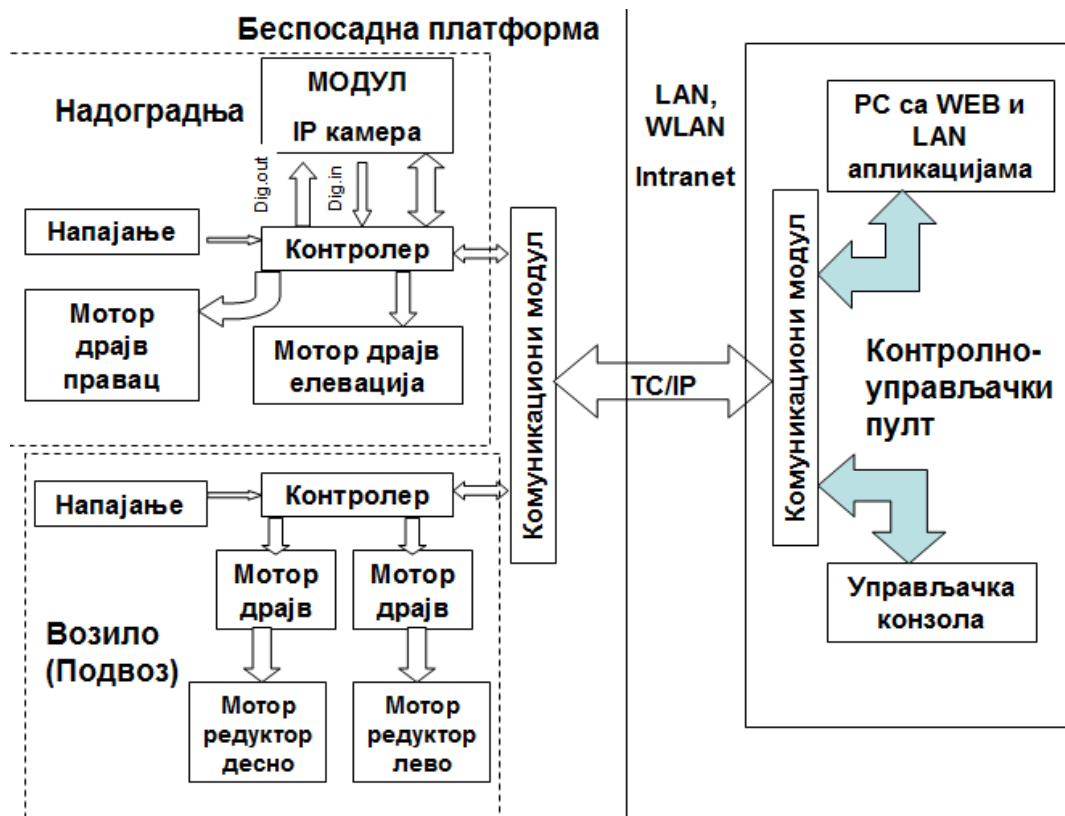


Слика 3 - Модуларно беспосадно гусенично возило



Слика 4 – Контролно-управљачки пулт

Ово решење карактерише концепт IP управљања у аутоматизацији техничких система помоћу Ethernet/IP управљања (Слика 5) и његове бежичне (wireless) варијенте као савремен, једноставан и моћан метод управљања.



Слика 5 - IP управљање као концепт у аутоматизацији беспосадних система

Од техничких карактеристика беспосадних возила и уграђених система зависи и могућност примене и намена ових система. Из техничких могућности беспосадне платформе произилазе и ограничења у примени у виду савлађивања хоризонталних и вертикалних препрека, проходности по различитим врстама терена, маневарских способности, брзине кретања и слично.

6. КАКО ЈЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ РЕАЛИЗОВАНО И ГДЕ СЕ ПРИМЕЊУЈЕ

Техничко решење ФМ МОДУЛАРНО БЕСПОСАДНО ГУСЕНИЧНО ВОЗИЛО СРЕДЊИХ ДИМЕНЗИЈА је рађено за Војску Србије у оквиру истраживачког задатка у Војнотехничком институту у периоду од 2009. до 2012. године. По завршетку задатка настављен је рад на побољшању карактеристика ФМ беспосадног гусеничног возила средњих димензија кроз активности на пројекту III 47029 подржаном од стране Министарства за образовање и науку Републике Србије, као и кроз израду докторске тезе под насловом ПРИЛОГ ИНТЕГРИСАНОМ ПРОЈЕКТОВАЊУ ДАЉИНСКИ УПРАВЉАНИХ ПЛАТФОРМИ на ВА у Београду и сарадње са Машинским факултетом Универзитета у Београду. На тај начин побољшан је постојећи функционални модел тако што је сигнал са управљачке палице који је коришћен за контролу и навођење беспосадне платформе замењен генерисањем сигнала за контролу и управљење беспосадне платформе применом методе пропорционалне навигације са централизованим вођењем.

У лабораторијским испитивањима, од 2009. до 2012. године, хардвер и софтвер су се показали као поуздани. Више пута је било приказивано на домаћим и иностраним сајмовима и изложбама наоружања и војне опреме. Публиковано је више радова на домаћим и међународним научно-стручним скуповима и часописима.

Корисник је Војска Србије.

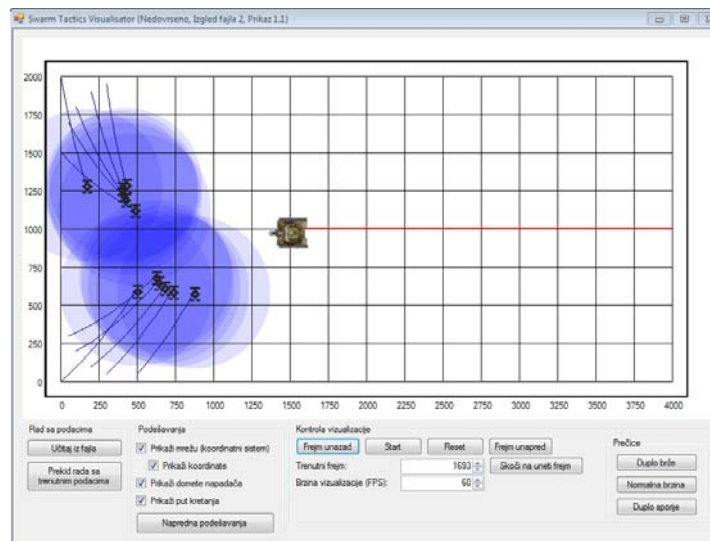
7. НАЧИН И МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

У оквиру истраживачког задатка на више израђених функционалних модела први пут је у нашој техничко-технолошкој пракси демонстрирано искоришћење Ethernet/IP управљања (Слика 4) и његова бежична (wireless) трансформација као савремен, једноставан и моћан метод управљања и тиме је наметнута његова шира примена у евентуалним будућим пројектима. Побољшањем карактеристика ових функционалних модела израђена је апликација која омогућава довођење беспосадних платформи у жељену зону од интереса применом пропорционалног закона вођења. Изложена метода омогућава навигацију беспосадних платформи у дводимензионалном (2Д) простору што значи по равном терену (земљи или води). Модификациом ове методе може се остварити навигација беспосадних платформи и у тродимензионалном (3Д) простору.

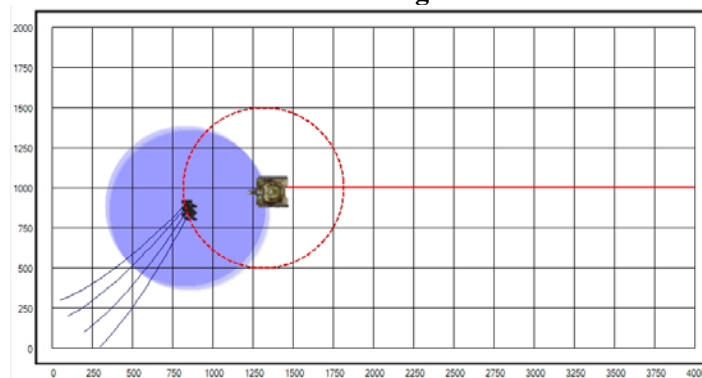
Поред достизања потребних технологија за употребу беспосадних и роботизованих платформи у будућим системима неопходно је размотрити и одговарајуће начине

њихове примене. Тако се умрежавање више беспосадних платформи по принципу Swarming-a (ројења) може успешно користити у извршењу различитих задатака. Пример може бити довођењем већег броја беспосадних платформи у истом тренутку у зону ексцесних ситуација где је присуство чобека немогуће као у ситуацији гашења пожара при ослобађању токсичних материја или нуклеарних инцидената у заштити животне средине и борби против тероризма, као и у војним применама.

Развијен је симулациони модел вођења беспосадних платформи на покретан циљ применом пропорционалног закона вођења по тактици Swarming. На Слици 6 и 7 дат је изглед графичког интерфејса за неке од симулационих ситуација по сворминг тактици.



Слика 6 – Управљачки интерфејс програма за нумеричку симулацију по захтевима Swarming



Слика 7. Симулација навигације више беспосадних платформи и њихово довођење у задату зону у истом тренутку по захтевима сворминга ($V_p=5$ [km/h]=const, $\Delta\alpha = -20^\circ$, $N=3$, $V_T=15$ [km/h]=const, $\beta = 0^\circ$)

Добијени резултати симулације потврђују могућност примене пропорционалног закона вођења на навигацију беспосадних платформи по захтевима сворминга. Кашњења у пријему, обради и слању сигнала настала као резултат примењене технологије нису критична за брзине кретања беспосадних платформи у овој конкретној примени.

АУТОРИ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА:

мр Мирка Јездимировића, дипл.инж. из Војнотехничког института у Београду,
проф. др Момчила Милиновића, са Машинског факултета Универзитета у Београду,
проф. др Драгољуба Вујића, из Војнотехничког института у Београду,
ван. проф. др Оливере Јеремић са Машинског факултета Универзитета у Београду,
мр Милоша Павића, дипл.инж., из Војнотехничког института у Београду,
асистента Милоша Марковића, М.Sc., са Машинског факултета Универзитета у
Београду